Embrapa Acre: Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável do Sudoeste da Amazônia

Rivadalve Coelho Gonçalves
Luís Cláudio de Oliveira
Editores Técnicos

Embrapa

Embrapa Acre: Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável do Sudoeste da Amazônia

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Embrapa Acre: Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável do Sudoeste da Amazônia

Rivadalve Coelho Gonçalves
Luís Cláudio de Oliveira
Editores Técnicos

Embrapa Acre
Rio Branco, AC
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre
Rodovia BR 364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho
Caixa Postal 321
Rio Branco, AC, CEP 69908-970
Fone: (68) 3212-3200
Fax: (68) 3212-3284
http://www.cpafac.embrapa.br
sac@cpafac.embrapa.br

Supervisão editorial: *Claudia Carvalho Sena/Suely Moreira de Melo*
Normalização bibliográfica: *Luiza de Marillac Pompeu Braga Gonçalves*
Editoração eletrônica: *Maria Goreti Braga dos Santos*
Tratamento de ilustrações: *Maria Goreti Braga dos Santos*
Capa: *Maria Goreti Braga dos Santos*
Ilustração da capa: *Luciano Lagares e Jairo Rodrigues (Estúdio Openthedoor)*
Concepção técnica: *Joel Ferreira Penteado Júnior (Embrapa Florestas)*

1ª edição
Versão on-line (2009)
1ª impressão (2009): 500 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Acre

©Embrapa 2009

E53e Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia / editores Rivadalve Coelho Gonçalves, Luís Cláudio de Oliveira. – Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009.
444 p.

ISBN 978-85-99190-11-1

1. Manejo florestal comunitário. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Sistema agroflorestal. 4. Melhoramento genético animal. 5. Melhoramento genético vegetal. 6. Propagação in vitro. 7. Biologia molecular. 8. Biodiversidade – Acre. 9. Tecnologia de alimento. 10. Solo – Acre. I. Gonçalves, Rivadalve Coelho, Ed. II. Oliveira, Luís Cláudio de.

CDD 634.9 21. ed.

Autores

Amauri Siviero
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Proteção de Plantas, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, asiviero@cpafac.embrapa.br

Aureny Maria Pereira Lunz
Engenheira agrônoma, D.Sc. em Agronomia–Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, aureny@cpafac.embrapa.br

Carlos Mauricio Soares de Andrade
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, mauricio@cpafac.embrapa.br

Celso Luís Bergo
Engenheiro agrônomo, doutorando em Agronomia pela Universidade Federal do Paraná, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, celso@cpafac.embrapa.br

Ciro Abbud Righi
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Agronomia–Fitotecnia, professor do Departamento Ciências Florestais - Esalq/USP , Piracicaba, SP, carighi@yahoo.com

Claudenor Pinho de Sá
Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Economia Rural, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, claude@cpafac.embrapa.br

Clodeildes Lima Nunes
Técnico agrícola, assistente da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, nunes@cpafac.embrapa.br

Fabiana Silva Reis
Licenciada em Ciências, **bolsista do CNPq na Embrapa Acre**, Rio Branco, AC, fabianasilvareis@hotmail.com

Francisco Aloísio Cavalcante
Médico-veterinário, M.Sc. em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, aloisio@cpafac.embrapa.br

Francisco de Assis Correa Silva
Administrador de empresas, M.Sc. em Administração de Empresas, analista da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, chico@cpafac.embrapa.br

Frederico Henrique da Silva Costa
Engenheiro agrônomo, doutorando em Fitotecnia pela Universidade Federal de Lavras, bolsista do CNPq, Lavras, MG, frederico_acreano@hotmail.com

Giselle Mariano Lessa de Assis
Zootecnista, D.Sc. em Genética e Melhoramento, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, giselle@cpafac.embrapa.br

Henrique José Borges de Araujo
Engenheiro florestal, M.Sc. em Recursos Florestais e Tecnologia de Produtos Florestais, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, henrique@cpafac.embrapa.br

Janiffe Peres de Oliveira
Engenheira agrônoma, M.Sc. em Produção Vegetal, bolsista Capes, Rio Branco, AC, janiffepoliveira@hotmail.com

Joana Maria Leite de Souza
Engenheira agrônoma, M.Sc. em Tecnologia de Alimentos e Frutos Tropicais, pesquisadora da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, joana@cpafac.embrapa.br

Joelma Lima Vidal Estrela
Engenheira agrônoma, M.Sc. em Entomologia, bolsista do CNPq, Rio Branco, AC, joelma@cpafac.embrapa.br

Jonny Everson Scherwinski-Pereira
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Ciências, pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF, jonny@cenargen.embrapa.br

José Marques Carneiro Júnior
Zootecnista, D.Sc. em Melhoramento Genético Animal, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, marques@cpafac.embrapa.br

Luciana Mendes Cavalcante
Geóloga, M.Sc. em Geologia Estrutural e Geomorfologia, **pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, lucianac@cpatu.embrapa.br**

Marcílio José Thomazini
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Entomologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR, marcilio@cnpf.embrapa.br

Marcos Silveira Bernardes
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Agronomia–Fitotecnia, Ph.D. em Ciências da Agricultura, professor do Departamento de Produção Vegetal - Esalq/USP, Piracicaba, SP, msbernar@esalq.usp.br

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira
Engenheiro florestal, Ph.D. em Manejo de Florestas Nativas, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, mvno@cpafac.embrapa.br

Marlene Jardim Medeiros
Engenheira agrônoma, especialista em Tecnologia de Alimentos e em Gestão Ambiental, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Acre (Emater Acre), Rio Branco, AC, jardimedeiros2@yahoo.com.br

Murielly de Sousa Nóbrega
Engenheira agrônoma, M.Sc. em Produção Vegetal, bolsista do CNPq, Rio Branco, AC, murynobrega@bol.com.br

Murilo Fazolin
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Entomologia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, murilo@cpafac.embrapa.br

Palmira Antonia Cruz Brito
Engenheira agrônoma, especialista em Tecnologia de Alimentos, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Acre (Emater Acre), Rio Branco, AC, palmiracruz39@hotmail.com

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, paulo@cpafac.embrapa.br

Rivadalve Coelho Gonçalves
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, rivadalve@cpafac.embrapa.br

Rodrigo Silva Guedes
Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Produção Vegetal, Instituto de Terras do Acre (Iteracre), Rio Branco, AC, rodrigo78br@yahoo.com.br

Sandra Tereza Teixeira
Engenheira agrônoma, D.Sc. em Produção Vegetal, bolsista de Desenvolvimento Científico Regional Funtac/CNPq, Rio Branco, AC, sandratereza@ig.com.br

Tadário Kamel de Oliveira
Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, tadario@cpafac.embrapa.br

Tony John de Oliveira
Economista, Secretaria de Agricultura e Produção Familiar do Estado do Acre, Rio Branco, AC, tonyoliveira@ac.gov.br

Apresentação

Nos últimos dez anos, o Estado do Acre se transformou em referência nacional e internacional em inovação tecnológica e no estabelecimento de políticas públicas e programas que visam conciliar desenvolvimento econômico, geração de empregos, melhoria da renda e da qualidade de vida da população com o uso sustentável e a conservação dos recursos naturais.

Neste cenário, a Embrapa Acre tem desempenhado papel de relevância, buscando viabilizar inovações tecnológicas para a sustentabilidade da agricultura e uso dos recursos florestais em benefício da sociedade amazônica, com ênfase no Estado do Acre. Os objetivos estratégicos da Embrapa Acre têm os seguintes focos: a) a prospecção da biodiversidade para o desenvolvimento de produtos diferenciados e com alto valor agregado para novos segmentos de mercado (alimentares, aromáticos, essências, fármacos, biocidas, fitoterápicos e cosméticos); b) o desenvolvimento de inovações tecnológicas para o uso sustentável do Bioma Amazônia; c) o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícolas, pecuários e integrados (lavoura-pecuária, lavoura-pecuária-floresta).

Nos últimos 34 anos, a Embrapa Acre vem desenvolvendo ações de pesquisa e desenvolvimento e de transferência de tecnologias em parceria com o governo do Estado do Acre, prefeituras municipais, organizações não-governamentais, associações de produtores familiares, comunidades extrativistas e indígenas, pequenos, médios e grandes agropecuaristas. A incorporação dessas tecnologias em políticas públicas e programas governamentais e sua efetiva adoção pelos produtores têm contribuído para: a) promover o uso sustentável de recursos naturais e a valorização dos produtos florestais; b) viabilizar a recuperação de áreas degradadas e a intensificação dos sistemas de produção agropecuários e agroflorestais; c) aumentar a produtividade, rentabilidade e competitividade das cadeias produtivas agropecuárias e florestais; d) reduzir as pressões de desmatamento.

Este livro tem como objetivo disponibilizar conhecimentos e inovações tecnológicas geradas e adaptadas pela Embrapa Acre e outras instituições de pesquisa para a comunidade científica, organizações governamentais

municipais, estaduais e federais, organizações não-governamentais e setores produtivos. A Embrapa Acre, como Empresa pública, cumpre o seu papel de dar respostas às demandas da sociedade por soluções tecnológicas que assegurem a qualidade de vida no presente mantendo a capacidade produtiva dos recursos naturais para as gerações futuras.

Judson Ferreira Valentim
Chefe-Geral da Embrapa Acre

Prefácio

A Embrapa Acre, Unidade Descentralizada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, tem como missão em seu Plano Diretor da Unidade - 2008 - 2011 - 2023 "Viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e invovação para a sustentabilidade da agricultura em benefício da sociedade brasileira."

No que se refere à transferência de conhecimentos e tecnologias, buscou-se, a partir de 2006, uma maior integração com a Universidade Federal do Acre no sentido de atuar em cursos de graduação e pós-graduação e ministrar palestras na universidade ou na Embrapa Acre para alunos desses cursos, bem como orientá-los visando contribuir na formação de mão-de-obra para a pesquisa e o desenvolvimento do Estado.

Deste modo, os temas escolhidos para os capítulos do presente livro resultaram dos trabalhos de pesquisa técnico-científica ou do conhecimento científico adquirido por meio de estudos e experiências dos pesquisadores da Unidade que alinhados à missão da Embrapa têm como objetivo promover o desenvolvimento do Estado do Acre e, por conseguinte, da região sudoeste da Amazônia. Deste modo, o livro compõe-se de 21 capítulos agrupados em seis partes. Na parte 1, Silvicultura de Florestas Nativas e Exóticas, o conteúdo abordado insere-se no objetivo geral de viabilizar a exploração da floresta tropical amazônica combinado com a sua conservação, ou seja, gerando benefícios econômicos e sociais com um mínimo de impacto ambiental negativo. Os autores apresentam resultados de experiências de 10 anos de estudos de campo, e simulações com modelos oriundos de parcelas permanentes, análise financeira e de impacto ambiental, além do uso de fitossociologia para os estudos de manejo florestal. Na parte 2, Sistemas Agrícolas, Agroflorestais e Pecuários do Estado do Acre, as informações reunidas resultam de ampla pesquisa sobre sistemas produtivos agrícolas em monocultura e em sistemas agroflorestais, especificados em consórcios temporários ou permanentes de plantas com ou sem a inclusão de animais na área. Sobretudo neste tema, as árvores voltam a ter destaque especial com o objetivo de melhorar o sistema produtivo e a renda do produtor, bem como adequar ambientalmente os sistemas de produção. Um capítulo exclusivo versa sobre os cruzamentos na pecuária, este segmento culturalmente

importante do agronegócio brasileiro. Na parte 3, Genética, Biotecnologia e Biologia Molecular, constam conhecimentos utilizados nos programas de melhoramento de plantas e de animais, propagação de plantas, interação entre insetos praga e diagnose de doenças de plantas com ferramentas da biologia molecular. Na parte 4, Biodiversidade e Recursos Genéticos de Plantas, registra-se um importante capítulo sobre o uso prático da biodiversidade de plantas da bacia hidrográfica do Rio Amazonas para o controle de insetos. Na parte 5, Tecnologia de Alimentos, abordam-se as tecnologias de alimentos aplicadas às matérias primas regionais; e na parte 6, Solos do Acre: Alterações Naturais e Uso de Resíduo Industrial, constam os dois últimos capítulos.

Espera-se que este conteúdo sirva aos cientistas, pesquisadores, professores, estudantes, produtores, fiscais de sistemas de defesa vegetal, formuladores de políticas públicas, órgãos financiadores e à sociedade em geral como fonte de informações relevantes para o desenvolvimento do País.

Rivadalve Coelho Gonçalves
Luís Cláudio de Oliveira
Editores Técnicos

Sumário

Parte 1

Silvicultura de Florestas Nativas e Exóticas

Capítulo 1

Manejo Florestal Comunitário: A Experiência do PC Peixoto **17**

Capítulo 2

Simulação de Crescimento, Rendimento e Corte Seletivo para o Manejo Florestal Sustentado em Pequenas Propriedades no Estado do Acre, na Amazônia Brasileira **39**

Capítulo 3

Regeneração Florestal em Clareiras Artificiais após Dois Anos de Abertura de Dossel no Estado do Acre – Amazônia Ocidental **69**

Capítulo 4

Análise da Rentabilidade Financeira e Avaliação dos Impactos Ambientais e Sociais para o Manejo Florestal Madeireiro em Áreas de Reserva Legal de Pequenas Propriedades, no Acre **97**

Parte 2

Sistemas Agrícolas, Agroflorestais e Pecuários no Estado do Acre

Capítulo 5

Trinta Anos de Pesquisas com Mandioca no Acre **111**

Capítulo 6

Sistemas Silvipastoris e Agrossilvipastoris: Integração entre Reflorestamento e Pecuária **123**

Capítulo 7

Crescimento e Produtividade do Cafeeiro sob Diferentes Níveis de Sombreamento com Seringueira **139**

Capítulo 8

Situação da Cultura da Pupunha no Estado do Acre **155**

Capítulo 9

Estratégias de Manejo do Pastejo para Pastos Consorciados nos Trópicos **163**

Capítulo 10

Cruzamentos na Pecuária Acreana **181**

Parte 3

Genética, Biotecnologia e Biologia Molecular

Capítulo 11

Melhoramento Genético Animal **197**

Capítulo 12

Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais: Importância e Complexidade **209**

Capítulo 13

Uso e Aplicações Biotecnológicas do Cultivo in Vitro de Células, Tecidos e Órgãos de Plantas **221**

Capítulo 14

Micropropagação de Bananeira Visando à Produção Massal de Mudas de Elevado Padrão Genético e Fitossanitário **253**

Capítulo 15

Propagação Clonal in Vitro de Abacaxizeiros: Metodologias e Aplicações para a Obtenção de Mudas em Larga Escala **291**

Capítulo 16

Biologia Molecular Aplicada à Diagnose de Doenças de Plantas..... **317**

Capítulo 17

A Comunicação Química entre os Insetos: Obtenção e Utilização de Feromônios no Manejo de Pragas **339**

Parte 4

Biodiversidade e Recursos Genéticos de Plantas

Capítulo 18

Plantas da Amazônia Ocidental com Potencial de Uso como Inseticida.. **357**

Parte 5

Tecnologia de Alimentos

Capítulo 19

Tecnologias de Processamento de Matérias-primas da Região Amazônica **385**

Parte 6

Solos do Acre: Alterações Naturais e Uso de Resíduo Industrial

Capítulo 20

Evolução Geológica e Geomorfológica do Estado do Acre e Implicações na Estratificação de Ambientes..... **405**

Capítulo 21

Uso de Resíduos de Indústrias Curtidoras na Recuperação de Áreas Degradadas..... **423**

Parte 1

Silvicultura de Florestas

Nativas e Exóticas

CAPÍTULO 1

Manejo Florestal Comunitário: A Experiência do PC Peixoto

Henrique José Borges de Araujo
Marcus Vinicio Neves d'Oliveira

1. Introdução

O aproveitamento racional e sustentado, por meio de técnicas de manejo florestal, está entre os métodos adequados para a utilização dos recursos florestais amazônicos, em especial os do Acre, (ARAUJO, 2002). Bem manejados, 10% dos recursos madeireiros amazônicos poderiam atender à demanda interna brasileira, que é a maior do mundo, e se outros 10% fossem exportados com "selo verde" ao mercado externo gerariam dezenas de milhares de empregos e algo como US$ 5 bilhões ao ano em divisas (VIANA, 2000).

Atualmente, o manejo florestal possui o aval dos mais diferentes segmentos envolvidos com o trato dos recursos amazônicos, entre os quais, a própria comunidade científica e os setores governamentais responsáveis pelas políticas públicas. O crescimento do número de projetos do chamado "bom manejo florestal", tanto comunitários como empresariais, e a intensificação dos mecanismos (p. ex., legislação e aparelhamento das instituições) para o controle de desmatamentos (em geral, para práticas agropecuárias consideradas contrárias aos princípios sustentáveis) constituem claros indicadores da adequação e expansão do manejo florestal na Região Amazônica (ARAUJO, 2005).

Araujo (2002) lista como benefícios do manejo florestal: a) redução das taxas de desmatamento; b) geração de postos de trabalho; c) redução das taxas de emigração rural; d) diversificação e elevação da renda no meio rural; e) alcance de mercados exigentes (referindo-se à aceitação de produtos florestais certificados com "selo verde"); f) manutenção dos serviços ambientais da floresta (equilíbrio climático e hídrico, conservação da biodiversidade e proteção ao solo); e g) legitimação da indústria de base florestal.

Considerando a adequação do manejo florestal e seus importantes benefícios, em meados de 1995, pesquisadores da Embrapa Acre em parceria com um grupo de pequenos produtores, hoje a Associação dos Produtores em Manejo Florestal e Agricultura (Apruma), no Projeto de Colonização Pedro

Peixoto (PC Peixoto), situado no lado oriental do Estado do Acre, iniciaram as primeiras ações de um projeto de P&D.

O objetivo do projeto da Embrapa e da Apruma foi desenvolver um sistema de manejo para pequenas áreas de floresta que demandasse uma tecnologia apropriada para produtores rurais de baixa renda, proporcionando-lhes benefícios socioeconômicos e ambientais a toda coletividade. O projeto resultou na implementação de um plano de manejo florestal (OLIVEIRA et al. 1996) adotado inicialmente por 11 famílias e que atualmente conta com 20.

O manejo florestal do PC Peixoto está sendo executado em parte da reserva legal das áreas, correspondendo a aproximadamente 36 ha em cada propriedade, totalizando para 20 propriedades 720 ha de floresta.

Cabe aqui mencionar que o objetivo da reserva legal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 da Presidência da República, atualmente regulamentada por MPs, que estabelecem em 80% a cobertura florestal a ser mantida) é conservar os ecossistemas florestais. No entanto, essas áreas destinadas à conservação sofrem pressão para serem convertidas, uma vez que são consideradas improdutivas. Além disso, essa lei tem sido insuficiente para evitar derrubadas e queimadas, em geral para práticas agropecuárias, produtivas do ponto de vista puramente econômico. Portanto, o sistema de manejo proposto para o PC Peixoto possibilita que a parte protegida por lei, vista pelos produtores como um empecilho à expansão agropecuária, torne-se uma atraente alternativa econômica, reduzindo-se as chances de removê-la.

O sistema de manejo do PC Peixoto caracteriza-se pela simplicidade operacional, baixos investimentos quando comparado a outros sistemas de exploração florestal, com exploração madeireira não mecanizada e de impacto reduzido sobre a floresta. O plano de manejo baseia-se em ciclos de corte curtos (10 anos), baixa taxa de corte (máximo de 10 $m^3.ha^{-1}.ciclo^{-1}$), processamento das toras no ponto de derrubada da árvore (com uso de serrarias portáteis ou motosserras) e emprego de animais (bois) para o tracionamento da madeira processada.

Neste trabalho são apresentadas informações sucintas acerca do projeto de manejo florestal comunitário do PC Peixoto no que se refere à descrição do sistema de produção de madeira utilizado e aos resultados alcançados, além de outras informações de caráter geral.

2. Localização da Área sob Manejo Florestal

A área do projeto de manejo florestal localiza-se nas margens da rodovia BR 364, sentido Rio Branco–Porto Velho, distante, em média, 110 km da capital Rio Branco (Fig. 1).

O PC Peixoto possui uma área total de 378.395 ha e abriga cerca de 3 mil famílias (CAVALCANTI, 1994). Os solos são, em geral, de baixa fertilidade, ocorrendo pequenas manchas com bom potencial agrícola. O clima é tipicamente tropical, bastante quente e úmido, composto de estações secas (maio a outubro) e chuvosas (novembro a abril) bem definidas. A temperatura média anual situa-se em torno de 25°C e as precipitações anuais variam de 1.700 a 2.400 mm.

A umidade relativa do ar é elevada, situando-se, em média, acima dos 80%, e a cobertura florestal constituída por floresta tropical primária densa amazônica. Segundo Araujo (1998), estima-se em cerca de 30% a 40% a alteração da cobertura florestal original, principalmente na formação de pastagens e desmatamentos para agricultura em pequena escala (subsistência).

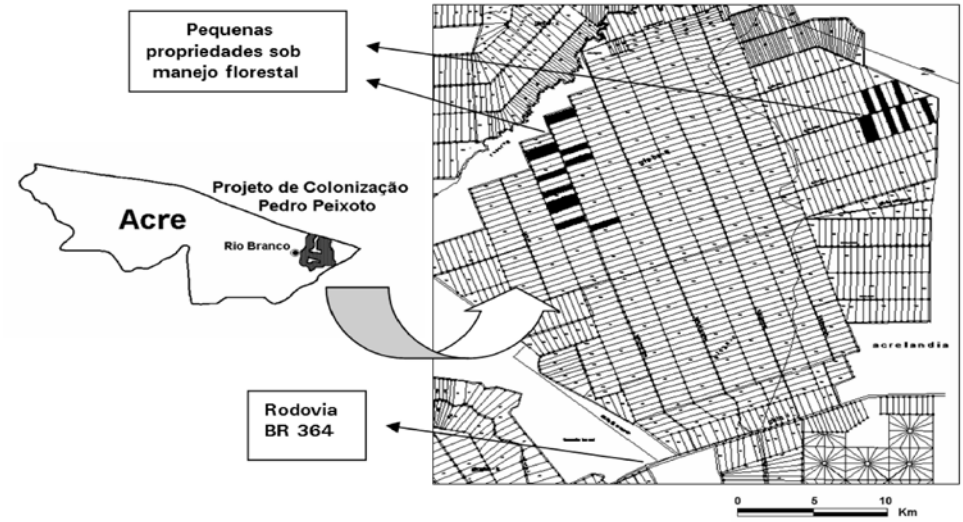


Fig. 1. Localização das pequenas propriedades sob manejo florestal no PC Peixoto.

Fonte: Incra-AC (não publicado).

Em média, cada propriedade componente do projeto de manejo florestal possui aproximadamente 75% de cobertura florestal primária. A área efetiva sob manejo florestal corresponde à metade (50%) da área total da propriedade e localiza-se na parte posterior desta, sendo em média, de 36 ha. A área total sob manejo florestal (soma das áreas das 20 propriedades) é de cerca de 720 ha.

Estudos básicos mostraram que as áreas possuem potencial de médio a bom para o manejo florestal. Segundo Araujo e Oliveira (1996), o inventário de reconhecimento (diagnóstico) revelou a ocorrência de aproximadamente 300 espécies de árvores com uma distribuição diamétrica bastante equilibrada, um número médio de 375 árvores.ha^{-1} (DAP $\geq$ 10,0 cm), área basal média de 21,96 $m^2.ha^{-1}$ (DAP $\geq$ 10,0 cm), volume total médio de 180,36 $m^3.ha^{-1}$ (DAP $\geq$ 10,0 cm) e volume comercial total de 73,07 $m^3.ha^{-1}$ (DAP $\geq$ 50,0 cm).

3. Síntese do Plano de Manejo Florestal

Em linhas gerais, o plano de manejo florestal consiste em segmentar a parte sob manejo das propriedades em 10 compartimentos de igual tamanho, com aproximadamente 3,6 ha cada, explorando-se um ao ano, a uma intensidade média de 8,0 $m^3.ha^{-1}$ (Fig. 2). O ciclo de corte é, portanto, de 10 anos.

A intensidade exploratória de 8,0 $m^3.ha^{-1}$ representa cerca de um quinto das recomendações para o manejo florestal na Amazônia Brasileira. Embora não sejam conclusivos, resultados de pesquisas indicam uma intensidade exploratória e um ciclo de corte ótimos da ordem de 40 $m^3.ha^{-1}$ e 30 anos, respectivamente (SILVA, 1990; HIGUCHI; VIEIRA, 1990; ARAÚJO et al. 1993; SILVA et al. 1999; SOUZA et al. 2004). Essas recomendações baseiam-se na produtividade volumétrica de uma floresta manejada, que se situa na faixa de 1,0 a 2,0 $m^3.ha^{-1}$ ao ano. Com base nessas informações, quanto à recomposição ou rotação sustentável da floresta, espera-se que o curto ciclo de corte de 10 anos do PC Peixoto seja compensado pela baixa intensidade exploratória de 8,0 $m^3.ha^{-1}$.

Em média, cada família extrai por ano cinco árvores, com DAP médio de 75 cm. A madeira serrada é produzida com beneficiamento primário em peças como tábuas, vigamentos e blocos de madeira bruta. São exploradas cerca de 30 espécies de madeira.

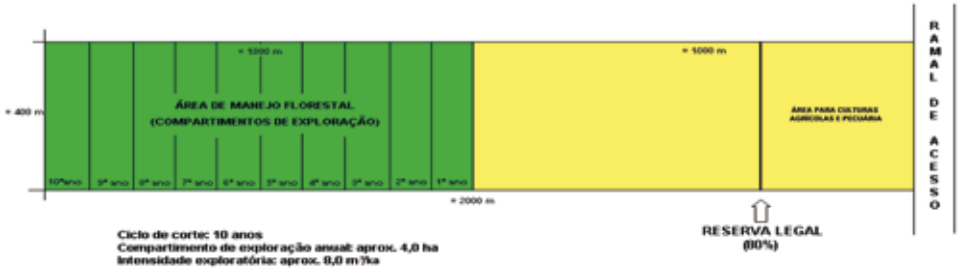


Fig. 2. Desenho esquemático de uma pequena propriedade sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto.

3.1. Exploração Florestal

Os trabalhos de exploração florestal são, normalmente, iniciados nos meses de maio ou junho, estendendo-se até setembro e outubro. Nesse período, as atividades de manejo florestal são perfeitamente compatibilizadas com aquelas do calendário agrícola dos produtores (agricultura, pecuária e extrativismo). Além disso, as condições climáticas são mais favoráveis às operações de manejo (corte, desdobro, arraste e transporte), pois é o período de estiagem amazônico.

A exploração florestal é constituída, basicamente, por três operações realizadas em seqüência: a) corte da árvore; b) desdobro (transformação da tora em peças serradas no próprio local do corte); e c) retirada, por tração animal, da madeira serrada até a via de escoamento.

As operações de exploração florestal são caracterizadas pela simplicidade operacional, o que as torna de fácil assimilação e domínio por parte do produtores manejadores. Outro aspecto importante é que são pouco agressivas à floresta, pois os danos são muito menores quando comparados com uma exploração convencional mecanizada (ARAUJO, 1998; JOHNS et al. 1996; MIRANDA; ARAUJO, 1999).

A exploração é realizada sem o uso de máquinas pesadas (tratores florestais e caminhões). As árvores são abatidas de maneira a reduzir ao máximo o dano na floresta por meio da derrubada orientada, que é o direcionamento da queda da árvore para o lado que houver menor ocorrência de outras árvores. O processamento primário das toras (desdobro em peças de madeira serrada, tais como tábuas, vigas, etc.) por sua vez é executado ainda dentro da floresta, utilizando serrarias portáteis ou motosserras. Já o transporte primário (arraste) da madeira processada, da mata até as vias de escoamento, é realizado por animais.

Após a exploração, desdobro das toras em peças serradas e transporte primário, a madeira é comercializada e transportada em caminhões por rodovias até os centros de processamento e consumo.

O sistema de manejo florestal proposto, além de operações de exploração propriamente ditas, compõe-se ainda das seguintes etapas: a) inventário pré-exploratório a 100% dos compartimentos a serem explorados; b) tratamento silvicultural de corte de cipós; c) inventário contínuo por meio de parcelas amostrais permanentes (tem como objetivo monitorar a floresta, principalmente quanto ao crescimento volumétrico e comportamento da regeneração natural); e d) avaliação de danos da exploração quanto à abertura de clareiras e trilhas de arraste e árvores danificadas.

3.2. Inventário Florestal a 100%

O inventário a 100%, também denominado pré-exploratório, é realizado em cada compartimento de manejo, normalmente, nos meses de outubro e novembro do ano antecedente à exploração. Seu objetivo é subsidiar o planejamento da exploração no que se refere às espécies, tipos de produtos possíveis de se obter e logística necessária.

Neste inventário, são abordadas todas (100%) as árvores ocorrentes com DAP ≥ a 50,0 cm e, para cada árvore, são tomadas informações sobre a denominação usual da espécie, mensurado o DAP, observadas as condições de aproveitamento da tora e feita a plotação em croqui.

Em campo, a realização do inventário a 100% segue as seguintes etapas: a) abertura das picadas delimitadoras (centro, bordas e fronteiriças) dos talhões de colheita com terçado (facão), sendo a direção de abertura (rumo e retidão) aferida por meio de bússola e de balizas (varetas obtidas na mata), e as distâncias medidas por trenas; b) caminhamento longitudinal em "ziguezague" em cada uma das duas metades do talhão (cada metade possui 50 m de largura e, em média, 360 m de comprimento) para abordagem das árvores, das quais são coletadas as informações dendrométricas e feito mapeamento (plotação em croqui). Além disso, as árvores recebem plaquetas de identificação contendo o seu número seqüencial e respectivo número do talhão.

A identificação em campo das espécies (denominação usual) é realizada por identificadores botânicos, conhecidos também como mateiros, observando-

se folhas, casca, lenho, exsudações, entre outros. Vale citar que atualmente existem mateiros habilitados entre o grupo de produtores do projeto.

As CAPs (circunferências à altura do peito) são tomadas com auxílio de uma fita métrica e, posteriormente, convertidas em DAPs.

A condição de aproveitamento da tora pode ser total, parcial e sem aproveitamento. Esta classificação é definida em função dos defeitos existentes (tortuosidade, presença de podridão, oco ou rachaduras, entre outros) e fornece um indicativo do estado da árvore, com vistas ao aproveitamento possível para peças de madeira serradas. Embora não seja quantificado o nível de aproveitamento em termos volumétricos, ou percentuais, a condição de aproveitamento da tora é um critério de escolha da árvore para o corte (as árvores defeituosas são mantidas na floresta), juntamente com a abundância (árvores.ha^{-1}), volume ($m^3.ha^{-1}$), manutenção de árvores porta-sementes e a ocorrência em áreas de preservação permanente (nascentes d'água, margens de igarapés e declives acentuados).

A plotação das árvores em croqui é realizada de modo aproximado, tendo como referenciais as picadas feitas no centro e nas bordas dos compartimentos.

Na Fig. 3 e 4 constam, respectivamente, um modelo da ficha de campo utilizada no inventário florestal a 100% e um exemplo de croqui com as árvores plotadas.

Os resultados do inventário pré-exploratório são expressos, por espécie, em: a) número total de árvores (NT) na área inventariada; b) abundância (número de árvores) por hectare (AB); c) volume total das árvores em pé (VT) na área inventariada; d) volume por hectare das árvores em pé (V); e) área basal total (ABsT) na área inventariada; f) área basal por hectare (ABs); g) índice de importância da espécie em percentual (IND); e h) condição de aproveitamento da tora em percentual.

PROJETO DE MANEJO FLORESTAL DO PC PEIXOTO
INVENTÁRIO FLORESTAL A 100%
RAMAL: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ LOTE Nº _ _ _ _ _
PROPRIETÁRIO: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _
COMPARTIMENTO DE MANEJO Nº:_____ DATA:___/___/___

Nº	ESPÉCIE	CAP	QT	Nº	ESPÉCIE	CAP	QT

Nº = número seqüencial
ESPÉCIE = nome usual da árvore
CAP = circunferência à altura do peito (cm)

QT = QUALIDADE DA TORA (condição de aproveitamento)
1. Tora com aproveitamento total
2. Tora com aproveitamento parcial
3. Tora sem aproveitamento

Fig. 3. Modelo da ficha de campo utilizada no inventário florestal a 100%.

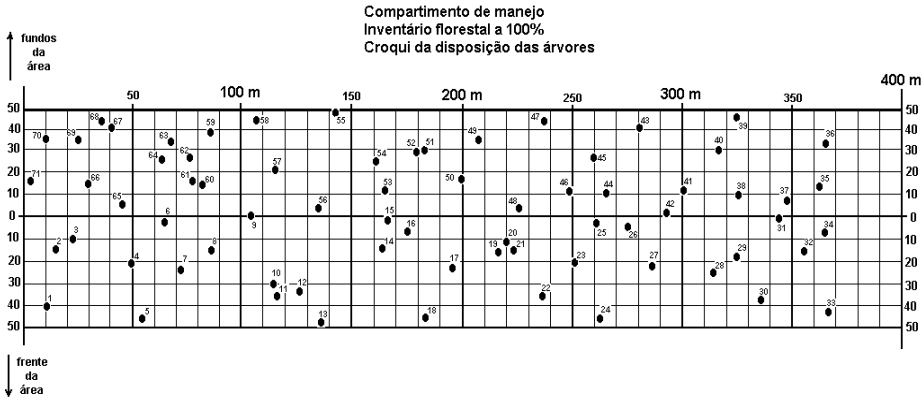


Fig. 4. Inventário florestal a 100%: exemplo de croqui com a distribuição das árvores ocorrentes no compartimento de manejo.

O volume individual da árvore em pé (V) corresponde ao volume potencialmente aproveitável da tora com casca, tendo como componentes de cálculo o DAP e a altura comercial, a qual, normalmente, é iniciada na base da árvore, junto ao solo, estendendo-se até as primeiras galhadas ou bifurcações. Esse volume é estimado pela seguinte equação matemática de simples entrada, ajustada por Araújo (1998):

$$V_{\text{Árvore em pé}} = -0{,}692349 + 0{,}001339\ DAP^2$$

Em que:

$V_{\text{Árvore em pé}}$ = volume da árvore em pé, em m^3

DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m), em cm

O índice de importância da espécie (IND) é um valor percentual, expresso pela média aritmética simples dos percentuais de cada espécie para NT, VT e ABsT, em relação aos respectivos totais (todas as espécies) dessas variáveis para a área inventariada (ARAUJO, 2002). É dado pela expressão:

$$IND_i = \frac{\left(\frac{NT_i}{NT_{total}}100\right) + \left(\frac{VT_i}{VT_{total}}100\right) + \left(\frac{ABsT_i}{ABsT_{total}}100\right)}{3}$$

Em que:

IND_i = índice de importância da i-ésima espécie, em percentual

NT_i = número total de árvores da i-ésima espécie

NT_{total} = número total de árvores da área inventariada
VT_i = volume total da i-ésima espécie, em m^3
VT_{total} = volume total das árvores na área inventariada, em m^3
$ABsT_i$ = área basal total da i-ésima espécie, em m^2
$ABsT_{total}$ = área basal total da área inventariada, em m^2

Os resultados de inventário florestal a 100% referente a 207 ha de áreas manejadas (57 talhões) encontram-se no Anexo I.

3.3. Tratamento Silvicultural de Corte de Cipós

Para que o tratamento silvicultural de corte de cipós nas árvores seja eficaz deve-se realizá-lo cerca de 3 meses antes da exploração. O principal objetivo desse tratamento é liberar as copas das árvores a serem abatidas do entrelaçamento com as copas de outras árvores, reduzindo os danos à floresta durante as atividades de derrubada.

3.4. Comercialização da Madeira

Nos primeiros anos do projeto, a comercialização da madeira produzida se efetuava, na sua maior parte, com o mercado moveleiro local (Rio Branco, principalmente), ofertando produtos na forma de blocos e pranchões processados com motosserras.

Posteriormente, no ano de 2000, com o processamento da madeira feito com serraria portátil, o mercado se diversificou. As vendas passaram também a ser feitas com empresas locais de revenda de madeira serrada, sendo comercializados produtos como tábuas, vigas e ripas.

Com a certificação do projeto pelo FSC (Forest Stewardship Council), que ocorreu em 2003, uma parcela significativa da madeira produzida passou a ser comercializada com o mercado nacional (São Paulo e Rio Grande do Sul), atingindo preços muito superiores aos praticados no mercado local. Os produtos comercializados são, na sua maior parte, pranchas com bitolas padronizadas (p. ex., 0,15 x 0,04 x 3,00 m) classificadas quanto à qualidade (1ª, 2ª e aproveitamento).

Alguns tipos de produtos, a exemplo de estacas para cercados, ainda são comercializados localmente. Há uma parcela da produção que é destinada à construção de benfeitorias (currais e cercados) nas propriedades e também de moradias dos próprios produtores.

As informações acerca de espécies, número de árvores e volumes referentes ao plano operativo anual (POA) de 2004 constam no Anexo II. O POA é um documento base encaminhado aos órgãos ambientais reguladores para as devidas autorizações do manejo. Os dados comparativos de processamento de tora com motosserra e serraria portátil e os índices de produtividade das operações de manejo encontram-se nos Anexos III e IV, respectivamente. As

informações acerca da exploração florestal e da comercialização da madeira, relativas aos anos de 2000 a 2004, constam no Anexo V.

4. Avaliação de Danos da Exploração Florestal

Avaliaram-se os danos provocados pelas explorações de 1997 e 1998. Os dados foram obtidos a partir de uma amostra de 40 árvores, correspondendo a 55% do total de árvores abatidas nos referidos anos. A avaliação baseou-se na quantificação dos impactos à vegetação causados pela: 1) queda das árvores abatidas, medindo-se a área das clareiras abertas e o número de árvores danificadas nas clareiras de derrubada; e 2) abertura das trilhas de arraste da madeira, medindo-se a superfície das trilhas e os danos às árvores ao longo dessas trilhas.

A área total das clareiras abertas pela exploração das árvores amostradas foi de 10.683 m^2, com média de 267,07 m^2 por árvore abatida. Danificaram-se cerca de 1.002 indivíduos com CAP entre 15 e 160 cm na área amostrada, com média de 25 indivíduos por clareira, significando, em termos de área basal, cerca de 13,43 m^2, com uma média de 0,3359 m^2 por clareira. Para a área total (todas as árvores abatidas), estimaram-se em 19.863,06 m^2 as áreas das clareiras abertas, ou 2,76% da área manejada. As trilhas de arraste dentro dos talhões explorados totalizaram 5.737 m lineares, resultando em uma superfície de 8.605,50 m^2, considerando-se a largura padrão de 1,50 m. A superfície aberta pelas operações de exploração florestal totalizou 28.468,56 m^2, correspondendo a pouco mais de 4% da área total manejada, nas duas explorações realizadas (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Área alterada pela exploração florestal de 1997 e 1998 no PC Pedro Peixoto, segundo o tipo de alteração.

Tipo de alteração	Largura (m)		Comprimento (m)		Área (m^2)		% área manejada	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Trilha de arraste	1,5	1,5	4.231	1.506	6.346,50	2.259,00	1,61	0,78
Clareira de derrubada	-	-	-	-	14.535,42	5.327,64	3,68	1,84
Total	-	-	-	-	20.881,92	7.586,64	5,29	2,62

Fonte: Miranda; Araujo, 1999.

Tabela 2. Resumo dos indicadores da avaliação de danos da exploração florestal de 1997 e 1998 no PC Pedro Peixoto.

Ano	Nº de talhões explorados	Nº de árvores exploradas	Área explorada (ha)	Intensidade de exploração (m^3/ha)	Superfície alterada (ha)*	ABDClaro/ ha** (m^2)
1997	11	50	39,50	7,80	2,088 (5,29%)	0,480
1998	8	23	29,00	4,57	0,758 (2,62%)	0,210
Média	9,5	36	34,25	6,18	1,423 (4,15%)	0,345
Total	19	73	68,50	-	2,846 (4,15%)	-

Fonte: Miranda; Araujo, 1999.
*Os números entre parênteses indicam o percentual de área alterada em relação à área explorada.
**ABDClaro = área basal destruída na clareira.

Os danos causados à floresta mostraram-se bastante reduzidos, proporcionando uma abertura média de apenas 4,15% da área explorada, sendo este índice um bom indicativo da sustentabilidade do manejo aplicado. Estudos realizados em florestas tropicais (DAWKINS, 1958; HARTSHORN, 1978; JONKERS, 1987) estimaram que a formação de clareiras naturais na floresta, causada por ventos, raios, etc., corresponde a 1,25% da área observada. No caso do projeto de manejo do PC Peixoto, considerando a área média aberta nos 2 anos de exploração, esse dano foi apenas três vezes maior que a alteração natural.

5. Principais Resultados Alcançados pelo Projeto

Nos seus quase 10 anos de execução, o projeto alcançou expressivos resultados, entre os quais:

a) Viabilização e desenvolvimento de um sistema próprio de manejo florestal, que inclui métodos de inventário de planejamento (a 100%), de exploração florestal (técnicas de corte, desdobro e arraste) e de comercialização da produção madeireira (requisitos administrativos e de mercados).

b) Captação e aplicação de recursos financeiros (Anexo VI).

c) Estruturação material (veículos, equipamentos, maquinários, etc.) (Anexo VII).

d) Capacitação dos produtores (técnicas de manejo florestal, legislação, operação e manutenção de equipamentos, etc.).

e) Avaliações ambientais (monitoramento da floresta e avaliação de danos).

f) Avaliações econômicas e mercadológicas.

g) Certificação pelos padrões do FSC (Forest Stewardship Council).

h) Geração de vários trabalhos técnico-científicos (publicações da série Embrapa, artigos em revistas e congressos, teses de mestrado e doutorado).

i) Diversas ações de transferência de tecnologia e imagem (cursos, palestras, artigos na mídia, reportagens em rádio e TV, dias de campo).

j) Efetivação de importantes parcerias (SEF, Seater, Incra, Ufac, Funtac, Ibama, CTA, entre outras).

6. Referências

ARAUJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. Piracicaba, 2002, 168 p. Tese (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ARAUJO, H. J. B. **Manejo florestal em pequenas propriedades do Projeto de Colonização Pedro Peixoto, no Acre**. Disponível em: http://www.ambientebrasil.com.br/. Acesso em: 6 ago. 2005.

ARAUJO, H. J. B. **Índices técnicos da exploração e transformação madeireira em pequenas áreas sob manejo florestal no PC. Pedro Peixoto - Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 1998. 30 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 23).

ARAÚJO, P. A.; SOUZA, A.L.; CAMPOS, J.C.C.; PAULA NETO, F. Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. **Revista Árvore**, v. 17, n. 1, p. 100-106, 1993.

ARAUJO, H. J. B.; OLIVEIRA, L. C. **Manejo florestal sustentado em áreas de reserva legal de pequenas propriedades rurais do PC**. Pedro Peixoto - Acre. Rio Branco, AC: Embrapa Acre. 1996. 7 p. (Embrapa Acre. Pesquisa em Andamento, 89).

CAVALCANTI, T. J. S. **Colonização no Acre:** uma análise sócio-econômica do Projeto de Assentamento Dirigido "Pedro Peixoto". Fortaleza, 1994, 196 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

DAWKINS, H. C. **The management of natural tropical higth forest with special reference to Uganda**. Oxford: Imperial Forestry Institute (GB). 1958.149 p. (Imperial Forestry Institute. Paper, 34).

HARTSHORN, G. S. Tree falls and tropical forest dynamics. In: TOMLINSON, P. B.; ZIMMERMANN, M. H., eds. **Tropical trees as living systems**. Cambridge: Cambridge University Press. 1978. p. 617-638.

HIGUCHI, N.; VIEIRA, G. Manejo sustentado da floresta tropical úmida de terra-firme na região de Manaus - um projeto de pesquisa do INPA. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Floresta e meio ambiente; conservação e produção, patrimônio social:** trabalhos convidados... Campos do Jordão: SBS: SBEF, 1990. p. 34-37.

JOHNS, J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in the eastern Amazon., **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 59-77, 1996.

JONKERS, W. B. J. **Vegetation structure logging damage and silviculture in a tropical rain forest in Suriname**. The Netherlands: Agricultural University Wageningen. 1987. 172 p.

MIRANDA, E. M.; ARAUJO, H. J. B. **Determinação de danos da exploração de madeira em áreas manejadas no Projeto de Colonização Pedro Peixoto-Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999, 3 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 102).

OLIVEIRA M. V. N.; ARAUJO H. J. B.; OLIVEIRA L. C. **Plano de manejo florestal em regime de rendimento sustentado, para 11 lotes do projeto de colonização Pedro Peixoto, ramais Nabor Júnior e Granada**. Rio Branco, AC: Embrapa – CPAF/AC. 1996.

SILVA, J. N. M. Possibilidades da producao sustentada de madeira em floresta densa de terra-firme da Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Floresta e meio ambiente; conservação e produção, patrimônio social: trabalhos convidados**... Campos do Jordão: SBS: SBEF, 1990. p. 39-50.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A. Um sistema silvicultural policíclico para produção sustentada de madeira na amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO SILVICULTURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL., 1999, Belém, PA. **Resumos expandidos**.... Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. p. 180-185. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123).

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L. Ciclo de corte econômico ótimo em floresta ombrófila densa de terra firme sob manejo florestal sustentável, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 681-689, 2004.

VIANA, V. M. Os caminhos para nossas florestas. **Folha de São Paulo**. 20 jun. 2000.

Anexo I. Inventário florestal a 100% – principais espécies ocorrentes em 207 ha de áreas manejadas (57 talhões).

Nome comum	Nome científico	NT	AB ($N.ha^{-1}$)	VT (m^3)	V ($m^3.ha^{-1}$)	IND (%)
Castanheira	*Bertholletia excelsa* H. B. K.	328	1,5861	4.092,2023	19,7882	14,73
Tauari	*Couratari macrosperma*	178	0,8607	1.299,0738	6,2818	5,38
Cumaru-cetim	*Apuleia molaris*	126	0,6093	1.096,6535	5,3030	4,31
Seringueira	*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.	168	0,8124	892,4393	4,3155	4,13
Cumaru-ferro	*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd	113	0,5464	939,9317	4,5451	3,74
Breu-vermelho	*Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart.	177	0,8559	508,4497	2,4587	3,13
Samaúma	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.	63	0,3046	601,6664	2,9094	2,31
Ipê-amarelo	*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nichols.	100	0,4836	400,8641	1,9384	2,09
Jutaí	*Hymenaea oblongifolia* Hub.	87	0,4207	413,2272	1,9982	2,00
Catuaba	*Qualea tesmannii* Milldbr.	77	0,3723	364,8811	1,7644	1,77
Cupuaçu-bravo	*Theobroma obovatum*	70	0,3385	383,5778	1,8548	1,76
Cambará	*Vochysia* sp.	56	0,2708	429,2131	2,0755	1,75
Caucho	*Castilla ulei* Warburg.	94	0,4545	299,1476	1,4466	1,74
Abiu	*Pouteria* sp.	78	0,3772	285,8928	1,3825	1,55
Copaíba	*Copaifera* sp.	52	0,2515	353,7690	1,7107	1,50
Xixá	*Sterculia* sp.	68	0,3288	290,0413	1,4025	1,47
Angico	*Parkia* sp.	42	0,2031	373,3946	1,8056	1,46
Jequitibá	*Cariniana* sp.	25	0,1209	387,9611	1,8760	1,34
Guariúba	*Clarisia racemosa* Ruiz et Pav.	62	0,2998	244,8594	1,1840	1,29
Taxi-preto	*Tachigali paniculata* Aubl.	62	0,2998	232,6725	1,1251	1,25
Manitê	*Brosimum uleanum*	43	0,2079	278,7007	1,3477	1,20
Pama-preta	*Pseudolmedia laevis*	67	0,3240	186,5376	0,9020	1,17
Espinheiro-preto	*Acacia pollyphylla* A. DC.	60	0,2901	191,0670	0,9239	1,11
Violeta	*Platymiscium duckei* Hub.	54	0,2611	207,0672	1,0013	1,10
Angelim	*Hymenolobium* sp.	47	0,2273	219,6832	1,0623	1,07
Apuí	*Ficus* sp.	28	0,1354	278,3385	1,3459	1,06
Roxinho	*Peltogyne* sp.	49	0,2369	206,7769	0,9999	1,05
Marupá	*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don.	51	0,2466	192,2089	0,9294	1,03
Imbirindiba-amarela	*Terminalia* sp.	38	0,1838	230,9090	1,1166	1,02
Maçaranduba	*Manilkara surinamensis* (Miq.) Dub.	41	0,1983	216,7616	1,0482	1,01
Total (30 espécies)		2.504	12,1083	16.097,9689	77,8432	69,53
Resto (174 espécies+desc.)		1.367	6,6117	6.146,4711	29,7168	30,47
Total		3.871	18,7200	22.244,4400	107,5600	100,00

Onde: NT = número total de árvores; AB = abundância ($árvores.ha^{-1}$); VT = volume total (m^3); V = volume por hectare ($m^3.ha^{-1}$); IND (%) = índice de importância da espécie (percentual); desc. = espécies não identificadas em campo.

Anexo II. Relação das espécies, número de árvores e volumes referentes ao plano operativo anual (POA) de 2004, elaborado para 15 propriedades.

Nº	Nome comum	Nome científico	N	Vol (m^3)
1	Cumaru-cetim	*Apuleia molaris*	19	196,3955
2	Cumaru-ferro	*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd	5	45,4390
3	Jequitibá	*Cariniana* sp.	2	42,9961
4	Cambará	*Vochysia* sp.	7	42,8199
5	Angelim	*Hymenolobium* sp.	5	33,1735
6	Catuaba	*Qualea tesmannii* Milldbr.	4	32,4521
7	Orelinha	*Enterolobium schomburgkii* Benth.	3	28,6690
8	Tauari	*Couratari macrosperma*	3	28,1079
9	Roxinho	*Peltogyne* sp.	4	20,8811
10	Samaúma	*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.	2	16,2523
11	Imbirindiba	*Terminalia* sp.	2	14,7464
12	Violeta	*Platymiscium duckei* Hub.	1	10,7174
13	Ipê-amarelo	*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nichols.	3	10,4895
14	Breu-vermelho	*Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart.	3	8,9797
15	Cambuí	*Vochysia* sp.	2	8,6204
16	Angico	*Parkia* sp.	1	7,5178
17	Maçaranduba	*Manilkara surinamensis* (Miq.) Dub.	2	5,8227
18	Angelim-amarelo	*Hymenolobium* sp.	1	5,1209
19	Sucupira-amarela	*Vatairea sericea* Ducke	1	5,0092
20	Cerejeira	*Torresea acreana* Ducke	1	3,7033
21	Abiu	*Pouteria* sp.	1	3,2285
22	Maracatiara	*Astronium lecointei* Ducke	1	3,1368
Total			73	574,2790

Onde: N = abundância planejada para exploração (quantidade de árvores); Vol = volume em tora planejado para exploração (em m^3).

Anexo III. Dados comparativos do processamento de tora com motosserra e serraria portátil.

Equipamentos	
Motosserra	**Serraria portátil**
Restrita para algumas madeiras (muito duras, como sílica, etc.)	Processa madeiras não possíveis com a motosserra (otimiza o aproveitamento da floresta)
Produtos: pranchões e estacas	Variados produtos: tábuas, vigas, ripões, etc.
Pouca qualidade do produto	Boa qualidade dos produtos
Baixo valor do produto (R$/m^3)	Bom valor do produto (R$/m^3)
Baixa produtividade	Alta produtividade
Manutenção simples e barata	Equipamento em adaptação na região
R$ 2.000,00	R$ 46.000,00

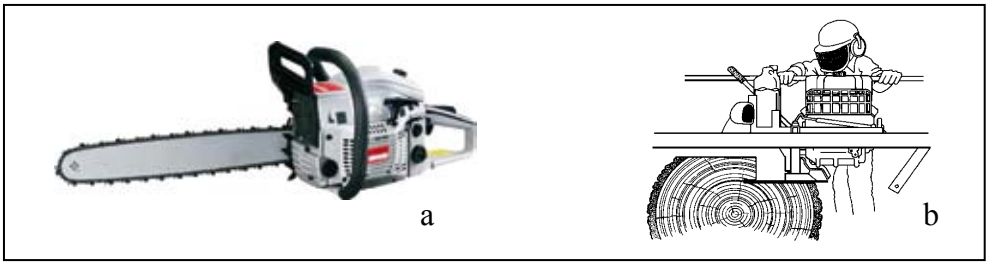


Fig.1: a - Motosserra; b - Serraria portátil.

Anexo IV. Índices básicos de produtividade das operações de manejo no PC Peixoto.

Etapa 1: Planejamento (Inventário florestal a 100% e mapeamento) e corte de cipós
Área: 4 ha Equipe: três manejadores Tempo médio de execução: 1½–2 dias (a)
Etapa 2: Manutenção/limpeza dos carreadores de manejo
Carreadores: 500 m Equipe: dois manejadores Tempo médio de execução: 1½–2 dias (b)
Etapa 3: Corte da árvore e desdobro da tora
Árvores: 5–6 Volume de madeira: 40 m^3 em tora = 20 m^3 serrada Equipe: três manejadores Tempo médio de execução: 8–10 dias com serraria portátil (c) 20–25 dias com motosserra Rendimento médio serraria portátil: 3,0 m^3/dia Rendimento médio motosserra: 1,2 m^3/dia
Etapa 4: Arraste com animal (zorra + carroça)
Volume de madeira serrada: 20 m^3 Equipe: dois manejadores Tempo médio de execução: 5–6 dias (d) Rendimento médio diário: 4,0 m^3/dia
Etapa 5: Carregamento e transporte rodoviário
Volume de madeira serrada: 20 m^3 Equipe: cinco manejadores Carga caminhão: 10 m^3 Distância: 120 km Tempo médio de execução: 2 dias (e)
Tempo total de execução (a+b+c+d+e) = aproximadamente 20–25 dias

Anexo V. Demonstrativo da exploração florestal e comercialização da madeira relativas ao período de 2000 a 2004.

Ano 2000	**Total**	**Média/ propriedade**	**Observação**
Propriedades exploradas	7	-	Em 2000 foram 11 as propriedades constantes no POA, destas, 4 não praticaram o manejo nesse ano. O volume em tora total programado no POA 2000 foi de 298,3 m^3 distribuídos por 58 árvores
Área total	28,0 ha	4,0 ha	-
Árvores exploradas	15	2,1	-
Espécies	9	-	Amarelão, angelim, breu-vermelho, cambará, cerejeira, cumaru-cetim, jitó, maçaranduba, pereiro
Volume em tora (estimado)	81,23 m^3	11,60 m^3	-
Volume serrado	33,51 m^3	4,79 m^3	-
Equipamento de desdobro	Motosserra (70%) e serraria portátil (30%)	-	A percentagem refere-se ao total do volume serrado
Produtos	Blocos, pranchões e estacas	-	-
Mercado atingido	Local	-	-
Receita estimada	R$ 6.700,00	R$ 957,00	Receita bruta, sem os custos. Valores da época (ano 2000), considerando a média de R$ 200,00/m^3
Ano 2001	**Total**	**Média/ propriedade**	**Observação**
Propriedades exploradas	11	-	Em 2001 foram 20 as propriedades constantes no POA, destas, 9 não praticaram o manejo nesse ano. O volume em tora total programado no POA 2001 foi de 580,52 m^3 distribuídos por 78 árvores
Área total	44,0 ha	4,0 ha	-
Árvores exploradas	22	2,0	-
Espécies	12	-	Amarelão, angelim-amarelo, breu- vermelho, cambará, cedro, cerejeira, cumaru-cetim, imbiridiba, jequitibá, jitó, maçaranduba, roxinho
Volume em tora (estimado)	166,98 m^3	15,18 m^3	-
Volume serrado	66,79 m^3	6,07 m^3	Estimado com base em levantamentos de rendimento que apontam um aproveitamento médio de 40% em relação ao volume em tora
Equipamento de desdobro	Motosserra e serraria portátil	-	Estima-se que a metade da madeira foi processada por motosserras e o restante por serraria portátil
Produtos	Blocos, tábuas e estacas	-	-

Continua...

Anexo V. Continuação.

Mercado atingido	Local	-	-
Receita estimada	R$ 16.700,00	R$ 1.520,00	Receita bruta, sem os custos. Valores da época (ano 2001) considerando a média de R$ 250,00/ m^3
Ano 2002	**Total**	**Média/ propriedade**	**Observação**
Não houve exploração	-	-	Em 2002 foram 19 as propriedades constantes no POA, e em nenhuma foi praticado o manejo nesse ano. O volume em tora total programado no POA 2002 foi de 659 m^3 distribuídos por 29 espécies
Ano 2003	**Total**	**Média/ propriedade**	**Observação**
Propriedades exploradas	9	-	Em 2003 não foi elaborado POA, sendo a exploração com base no POA 2002
Área total	36,0 ha	4,0 ha	-
Árvores exploradas	18,0	2,0	-
Espécies	12	-	Angelim-amarelo, angelim-amargoso, cerejeira, cumaru-cetim, cumaru-ferro, jatobá, jitó, maçaranduba, roxinho, samaúma, tauari e violeta
Volume em tora (estimado)	88,65 m^3	9,85 m^3	-
Volume serrado	45,46 m^3	5,05 m^3	-
Equipamento de desdobro	Motosserra (45%) e serraria portátil (55%)	-	A percentagem refere-se ao total do volume serrado
Produtos	Pranchões, blocos, toretes e estacas	-	Toretes são toras seccionadas em partes com 0,80 m de comprimento
Mercado atingido	Local (80%) e São Paulo (20%)	-	A percentagem refere-se ao total do volume serrado
Receita estimada	R$ 14.800,00	R$ 1.645,00	Receita bruta, sem considerar os custos. No mercado local a média de preço foi de R$ 220/m^3 e no mercado de São Paulo foi de R$ 750,00/m^3
Ano 2004	**Total**	**Média/ propriedade**	**Observação**
Propriedades exploradas	12	-	A exploração de 2004 foi das árvores remanescentes do POA 2002
Área total	48,0 ha	4,0 ha	-
Árvores exploradas	20	1,7	-
Espécies	9	-	Angelim-amarelo, breu-vermelho, copaíba-preta, cumaru-cetim, cumaru-ferro, ipê-amarelo, jitó, maçaranduba e pequi
Volume em tora (estimado)	121,32 m^3	10,11 m^3	-
Volume serrado	51,87 m^3	4,32 m^3	-

Continua...

Anexo V. Continuação.

Equipamento de desdobro	Motosserra (65%) e serraria portátil (35%)	-	A percentagem refere-se ao total do volume serrado
Produtos	Pranchões, blocos e estacas	-	-
Mercado atingido	Local (30%) e nacional (70%)	-	A percentagem refere-se ao total do volume serrado. Mercado nacional dos Estados de SP e RS
Receita estimada	R$ 25.200,00	R$ 2.100,00	Receita bruta, sem considerar os custos. No mercado local a média de preço foi de R$ 220/m^3 e no mercado nacional foi de R$ 600/m^3

Anexo VI. Aporte de recursos financeiros do projeto.

Fonte	Período	Duração (anos)	Valor (US$)*
Promanejo	2001–2004	4	155.000
FNMA	1998–2000	3	140.000
ASB/Icraf	1995–1999	5	50.000
Embrapa (recursos próprios)	1995–2004	9	200.000**
Apruma	1995–2004	9	
Total			545.000

*Valores aproximados.
**Estimativa (computando-se salários da equipe técnica, mão-de-obra, material de consumo, custos administrativos, infra-estrutura de apoio, etc.).

Anexo VII. Estrutura material/operacional montada ao longo da execução do projeto.

Equipamento/Material	Quantidade
Animal de carga (boi)	6
Caminhão de transporte (10 t)	1
Estufa solar de secagem de madeira	1
Marcenaria completa	1
Motocicleta	1
Motosserra	8
Serraria portátil	2
Telefone rural	1
Veículo utilitário (Toyota)	2

CAPÍTULO 2

Simulação de Crescimento, Rendimento e Corte Seletivo para o Manejo Florestal Sustentado em Pequenas Propriedades no Estado do Acre, na Amazônia Brasileira

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira

1. Introdução

A produção de madeira sustentável a longo prazo em florestas tropicais é o objetivo principal do manejo florestal. Para o alcance deste objetivo, é necessário informações sobre crescimento, mortalidade e ingresso de novas plantas das espécies manejadas em florestas naturais. Existem três técnicas para adquirir informação sobre crescimento: análise de anéis de crescimento, dados obtidos em inventários sucessivos e parcelas permanentes (ALDER, 1990).

A produção de madeira baseada em estudos de crescimento e rendimentos não foi praticada efetivamente na Amazônia Brasileira (SILVA et al., 1996). Ainda não há informação de campo suficiente e disponível para determinação dos ciclos e intensidade de corte, que são definidos pelo Ibama de forma genérica. A Embrapa e o Inpa têm monitorado parcelas permanentes na Floresta Nacional do Tapajós e na reserva ZF2 (Amazonas) desde os anos 80 (SILVA et al., 1989, 1995 e 1996, HIGUCHI et al., 1995). A maioria destes dados vem sendo publicada recentemente em revistas científicas, mas o acesso a estas informações por pessoas trabalhando em campo ainda é bastante limitado.

O código florestal brasileiro foi aprovado em 1965 e estabeleceu que as florestas primárias das áreas de reserva legal da Amazônia apenas poderiam ser utilizadas por meio de planos de manejo florestal. No entanto, os requerimentos técnicos (tratamentos silviculturais, ciclo e intensidades de corte, técnicas de exploração e monitoramento) para a implantação de planos de manejo florestal na Amazônia foram definidos pela primeira vez apenas em 1992 (SILVA, 1992).

Melhorias consideráveis foram verificadas na prática do manejo florestal, a partir da implementação destas normas reguladoras da atividade. No entanto,

o manejo florestal sustentável apenas será efetivamente implementado a partir de políticas adequadas de uso da terra, treinamento para técnicos que atuam no setor e disponibilização de informações sobre o crescimento das florestas manejadas. A Amazônia é a maior floresta tropical contínua do planeta e o seu manejo dependerá da integração de fatores ecológicos, sociais e econômicos. Assim, as leis e sistemas silviculturais devem ser flexíveis para serem aplicáveis, ajustando-se às diferentes circunstâncias.

Em 1999, o Ibama reconheceu oficialmente a possibilidade do manejo florestal na Amazônia em ciclos de corte de 10 anos, estabelecendo as normas básicas para a sua aplicação, na forma de manejo florestal de baixo impacto, com baixas taxas de corte e sem o uso de máquinas pesadas para o arraste (OLIVEIRA et al., 1998). Esta nova visão de manejo florestal implica em nova estratégia de intervenção na floresta, resultando em uma dinâmica de crescimento de floresta diferente da produzida pelo manejo florestal mecanizado. A única forma de garantir a produção sustentada de madeira deste sistema é por meio de estudos de longa duração sobre as respostas da floresta a esta nova forma de manejo. Estes estudos conduzem à definição de tratamentos silviculturais, ciclos e intensidades de corte mais adequados.

O manejo sustentado das florestas requer modelos de crescimento e corte para possibilitar uma estimativa confiável dos rendimentos e efeitos a longo prazo da exploração florestal. Modelos de crescimento, quando combinados com dados de inventário florestal, provêem uma forma confiável de examinar opções de exploração para determinar o rendimento sustentável da produção de madeira e os impactos promovidos em outros produtos potenciais da floresta (VANCLAY, 1991). Embora modelos para determinar intensidade de corte não tenham recebido a mesma atenção dos modelos de crescimento, são igualmente importantes na determinação dos rendimentos da floresta (VANCLAY, 1989).

Nas últimas décadas, vários modelos têm sido desenvolvidos para simular a dinâmica das florestas, usando parâmetros e funções obtidas de parcelas em florestas manejadas (NOR, 1978; VANCLAY, 1989; BOSSEL et al., 1989; APPANAH et al., 1990; BOUCHER et al., 1994; BOSCOLO; BONGIORNO, 1997). Este trabalho usou o modelo de *Cohort* (agrupamentos), no qual a floresta é classificada em grupos (árvores do mesmo grupo de espécies e classe de tamanho) (ALDER, 1995b).

O objetivo do estudo foi apresentar uma primeira aproximação na simulação da dinâmica de uma floresta tropical, submetida a um regime de manejo florestal de baixo impacto, sem o uso de máquinas pesadas, buscando identificar as melhores combinações possíveis de ciclo de corte, intensidade de corte e tratamentos silviculturais para produção sustentável de madeira em pequena escala no Estado do Acre.

2. Metodologia

2.1. Descrição da Área de Estudo

O Projeto de Colonização (PC) Pedro Peixoto (378.395 ha) envolve os municípios de Acrelândia, Senador Guiomard e Plácido de Castro e foi planejado para assentar 3 mil famílias (CAVALCANTI, 1994). O projeto de manejo florestal começou no ano de 1996 e está sendo desenvolvido em dois ramais (Nabor Júnior e Granada) na BR 364, distantes respectivamente 80 e 90 km de Rio Branco, em 11 lotes com aproximadamente 80 ha cada e área de manejo florestal de 40 ha. O clima é classificado como Awi (Koppën), com uma precipitação anual de 1.800 mm ao ano e temperatura média de 25°C (EMBRAPA, 1996a, b). A floresta manejada possui uma média de 180 m^3 ha^{-1} de madeira (árvores com DAP > 10 cm) e volume de espécies comerciais em torno de 30 m^3 ha^{-1} (OLIVEIRA et al., 1998).

2.2. Desenvolvimento das Simulações

Para este estudo, as funções de crescimento, mortalidade e recrutamento foram geradas pelo programa Cafogrom versão 2,03 (ALDER, 1995a; ALDER; SILVA, 1999) usando os dados de cinco parcelas permanentes de 1 ha instaladas nas áreas de manejo florestal, em 1996, antes da exploração. As simulações de manejo florestal foram testadas para um período de 70 anos e ciclos de corte de 5, 10, 15 e 20 anos. As intensidades de corte (Área Basal Extraída – ABE) variaram de 0,5 até 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e tratamentos silviculturais (remoção de árvores danificadas e malformadas – TS) de zero (sem tratamentos) até 2,0 m^2 ha^{-1} $ciclo^{-1}$. Os parâmetros usados para comparar as simulações foram:

a) Volume total produzido.

b) Volume de espécies comerciais ao final do tempo de simulação.

c) Volume final de espécies não comerciais ao final do tempo de simulação.

d) Volume médio produzido por ciclo ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$).

e) Coeficiente de variação do volume de madeira produzido por ciclo.

2.2.1. Descrição do Modelo

O sistema funciona por meio de uma interface com dois programas: Sistema de inventário florestal contínuo (SFC) (KORSGAARD, 1993) e Compilation of increment, mortality and ingrowth for regression (Cimir) (ALDER, 1995b; ALDER, 1996b). O SFC gera os arquivos de dados usados pelo Cimir que gera os arquivos necessários para o Cafogrom funcionar. Assim, Cimir faz a interface entre SFC e Cafogrom, usando os arquivos do SFC para calcular incremento, mortalidade e ingresso das PPs, forma os grupos de espécies e gera a base usada para simulação pelo Cafogrom com a finalidade de produzir as funções para simulação e geração dos resultados (ALDER, 1996a). Os grupos foram separados por tamanho, crescimento e espécies comerciais ou não comerciais (Tabela 1).

Tabela 1. Grupos de espécies gerados pelo Cimir.

Indicador	Descrição
Tamanho da árvore	
A	1% das árvores > 90 cm DAP
B	1% das árvores > 60 cm, mas < 90 cm DAP
C	Contém árvores > 30 cm DAP, mas apenas 1% é > 60 cm DAP
D	Não contém árvores > 30 cm DAP
P	Palmeiras
X	Tamanho desconhecido por falta de dados de diâmetro
Incremento médio	
0	Sem dados de incremento em diâmetro disponíveis
1	Crescimento inferior a 2 mm · ano^{-1}
2	Crescimento de 2 a 4 mm · ano^{-1}
3	Crescimento de 4-8 mm · ano^{-1}
4	Crescimento acima de 8 mm · ano^{-1}
Comercialização	
+	Espécie comercial
-	Espécie não comercial

Fonte: Alder, 1996a.

2.2.2. Funções Usadas pelo Cafogrom

Para a predição do incremento em diâmetro, o Cafogrom utiliza regressão de acordo com a fórmula:

$\Delta d = \alpha + \beta_1 . d + \beta_2 d^2$ (equação 1)

Onde:

Δd é o incremento em diâmetro (expresso em cm · ano^{-1}), d é o diâmetro (cm), e α, β_1 e β_2 coeficientes de regressão que variam de acordo com o grupo de espécie, árvore de sub-bosque e árvore do dossel.

A taxa anual de mortalidade das árvores (AMR) foi calculada de acordo com o proposto por Sheil et al. (1995), para cada grupo de espécies e separadamente para árvores danificadas ou mal formadas, árvores do sub-bosque e árvores do dossel (ALDER; SILVA, 1999).

$AMR \approx 1-((N_0-N_1)/N_0)^{1/t}$ (equação 2)

Onde:

t é o intervalo de tempo entre as medições, e N_0 e N_1 representam o número de árvores no começo e no final do intervalo de medições excluindo os ingressos.

O ingresso é calculado pela fórmula:

$RBA = \alpha \, . \, exp \, (-\beta \, . \, SBA)$ (equação 3)

Onde:

RBA é a área basal do ingresso, SBA é a área basal da floresta, e α e β coeficientes de regressão.

As árvores são alocadas em classes de copa de acordo com a área basal. Duas classes de copa foram consideradas no modelo: sub-bosque e dossel. A proporção de árvores de sub-bosque é calculada em função da área basal:

$UBA = \beta . Ln (SBA) - \alpha$ (equação 4)

Onde:

UBA é a área basal do sub-bosque, *SBA* a área basal total, e α e β coeficientes de regressão.

O dano promovido pela exploração é calculado pelo Cafogrom relacionando árvores severamente danificadas e mortalidade após a exploração, com a área basal extraída. As árvores danificadas são colocadas em grupos separados das árvores saudáveis. Danos e mortalidade causados pela exploração são calculados pela equação:

$DBA = \alpha HBA^{\beta}$ (equação 5)

Onde:

DBA é a área basal das árvores mortas e danificadas, *HBA* é a área basal extraída pela exploração, e α e β coeficientes de regressão.

Para limitar o incremento em área basal, Cafogrom utiliza uma função de restrição de crescimento da área basal.

$SBAI = \alpha . exp (-\beta . SBA)$ (equação 6)

Onde:

SBA é a área basal total e *SBAI* o incremento anual em área basal.

Para a análise, dois conjuntos de simulações foram utilizados: um gerado pelas PPs do PC Pedro Peixoto no Acre e outro com base no trabalho de Alder e Silva (1999), usando dados do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental (Cpatu) que possui grande volume de dados de dinâmica de florestas acumulados em medições de mais de 20 anos (136 PPs implantadas e medidas entre 1980 e 1994) em florestas manejadas no Estado do Pará. Os resultados do Cpatu foram usados como referência para os resultados obtidos pela Embrapa Acre, pelas características semelhantes entre os dois sítios em termos de estrutura da floresta, dinâmica da floresta, clima e latitude.

2.2.3. Funções Geradas pelo Cafogrom com os Dados das PPs do Cpatu

Nas Tabelas 2 e 3 constam as estimativas obtidas com a equação para incremento em diâmetro com os coeficientes e equações gerados pelo Cafogrom com base nas parcelas permanentes do Cpatu.

Tabela 2. Coeficientes e equações geradas pelo Cafogrom, a partir das parcelas permanentes do Cpatu para incremento em DAP.

Incremento em DAP	Árvores do dossel					Árvores do sub-bosque				
Grupos de espécies	Na	Nc	α	β_1	β_2	Na	Nc	α	β_1	β_2
A1	24	9	0,10989	0,00206	-0,00002	38	6	0,09958	0,00086	-0,00001
A2	3.009	17	0,29189	0,00701	-0,00007	2.703	18	0,10980	0,01095	-0,00017
A3	527	17	0,30365	0,01783	-0,00014	485	16	0,11953	0,01869	-0,00023
A4	361	14	0,01535	0,05965	-0,00056	358	14	0,05097	0,03725	-0,00034
B1	1.126	15	0,16465	0,00503	-0,00006	1.999	15	0,07510	0,00905	-0,00019
B2	5.343	16	0,21351	0,00945	-0,00011	7.837	17	0,11895	0,01022	-0,00016
B3	2.134	15	0,30446	0,03452	-0,00043	3.398	16	0,20725	0,02736	-0,00047
B4	28	10	0,19420	0,07168	-0,00082	37	5	0,23804	0,03731	-0,00070
C1	3.917	13	0,02044	0,01236	-0,00016	21.410	12	0,05056	0,01099	-0,00022
C2	4.668	15	0,26315	0,01457	-0,00022	21.414	15	0,17512	0,01444	-0,00035
C3	2.858	13	0,42921	0,04824	-0,00096	10.217	14	0,49032	0,02275	-0,00084
C4	1.463	6	1,96588	0,02504	-0,00173	2.676	7	0,75317	0,07960	-0,00297
D1	591	5	0,06244	0,01413	-0,00043	11.363	8	0,02852	0,01377	-0,00049
D2	311	8	0,10063	0,02907	-0,00096	1.561	10	0,07048	0,03106	-0,00120
D3	41	5	0,06260	0,13402	-0,00459	112	7	0,03540	0,06872	-0,00233
D4	17	4	0,25675	0,17045	-0,00598	76	4	-0,21628	0,21837	-0,00770
X0	2.911	8	0,18822	0,00924	-0,00011	9.892	9	0,07243	0,01223	-2,11E-04

Onde: Na = número de árvores no grupo e Nc = número de espécies no grupo.

Tabela 3. Coeficientes e equações geradas pelo Cafogrom, a partir das parcelas permanentes do Cpatu para taxa anual de mortalidade, ingresso, alocação de árvores em classe de copa, dano produzido pela exploração e dinâmica da área basal.

Cpatu – Taxa de mortalidade (%)				Número total de árvores na amostra		
Grupo de espécies	Danificadas	Sub-bosque	Dossel	Danificadas	Sub-bosque	Dossel
A1	3,90	3,79	1,62	7	40	35
A2	3,44	2,55	0,73	783	2.645	2.973
A3	2,30	2,83	1,81	331	394	377
A4	3,90	4,65	3,32	62	355	361
B1	2,23	2,15	0,86	472	1.977	1.108
B2	1,85	2,21	1,33	4.484	5.986	4.348
B3	3,81	2,88	1,92	657	3.348	2.110
B4	3,90	3,79	1,62	1	37	28
C0	3,90	3,79	1,62	0	1	0
C1	4,23	3,49	1,35	3.944	20.809	3.657
C2	5,47	4,51	1,94	2.926	20.989	4.422
C3	5,86	3,96	2,74	1.246	10.073	2.741
C4	9,30	9,52	1,63	135	2.703	1.436
D0	3,90	3,79	1,62	0	4	0
D1	4,84	3,74	1,60	1.332	10.955	527
D2	5,75	3,29	1,65	209	1.530	299
D3	3,90	3,26	1,62	28	109	39
D4	3,90	3,79	1,62	5	74	17
X0	3,86	3,23	1,60	1.929	9.613	2.761
Ingresso: RBA = 12,558 $e^{-0,148\ SBA}$ (R^2 = 0,32)						
Alocação de árvores em classes de copa: UBA = 12,531 Ln (SBA) – 33,113 (R^2 = 0,63)						
Dano produzido pela exploração: DBA = 4,377 * $HBA^{0,3763}$ (R^2 = 0,29)						
Dinâmica da área basal: ISBA = 1,6603 $e^{-0,0346\ SBA}$						

2.2.4. Análise de Sensibilidade

A utilidade de um modelo depende da sua sensibilidade a erros na estimativa dos parâmetros. A análise de sensibilidade foi feita com as funções de ingresso e mortalidade do Cafogrom para verificar o efeito da modificação de valores estimados no volume comercial (DAP > 50 cm) e no volume de espécies não comerciais (DAP > 5 cm). O volume das espécies comerciais acima de 50 cm DAP foi escolhido devido ao interesse desta variável nas predições, e o volume das árvores acima de 5 cm DAP, porque os ingressos são de pequenas plantas incluídas nas medições das parcelas permanentes quando alcançam 5 cm DAP. A técnica usada foi aumentar e diminuir em 10% a taxa de mortalidade de cada grupo de espécies. A mudança no recrutamento foi obtida por meio do aumento e diminuição em 10% do coeficiente α da equação do recrutamento. Na análise de sensibilidade o curso da simulação foi ampliado para 100 anos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Coeficientes do Cafogrom

Os coeficientes gerados pelo Cafogrom com os dados das PPs do PC Peixoto para incremento em diâmetro, a ser comparados com dados do Cpatu (Tabelas 2 e 3), constam nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Coeficientes e equações geradas pelo Cafogrom com os dados das parcelas permanentes do PC Pedro Peixoto para incremento em diâmetro.

Incremento em DAP	Árvores do dossel					Árvores do sub-bosque				
Grupos de espécies	Na	Nc	α	β_1	β_2	Na	Nc	α	β_1	β_2
A2	132	17	0,21299	0,00729	-0,00005	65	11	0,06293	0,01045	-0,00007
A3	73	13	0,35934	0,00631	-0,00004	24	5	0,06956	0,01252	0,00000
B1	43	5	-0,11459	0,02015	-0,00023	48	7	-0,05109	0,01336	-0,00020
B2	250	14	-0,01336	0,01913	-0,00021	209	13	0,04477	0,02272	-0,00042
B3	88	10	0,27082	0,01760	-0,00019	58	11	0,22330	0,02332	-0,00040
B4	36	9	-0,15920	0,06889	-0,00066	25	8	-0,22937	0,22046	-0,00663
C1	476	13	0,02562	0,01048	-0,00016	944	13	0,03817	0,00913	-0,00014
C2	795	15	0,06262	0,01777	-0,00025	1.181	13	0,15766	0,00938	-0,00019
C3	111	11	0,17172	0,01470	-0,00012	78	10	0,38327	0,02273	-0,00057
C4	30	4	-0,01621	0,05168	-0,00090	14	4	0,44548	0,02473	-0,00011
D1	107	4	0,03887	0,01899	-0,00056	841	8	0,01474	0,01613	-0,00055
D2	109	5	0,25832	0,00735	-0,00020	420	7	0,13802	0,02766	-0,00103
D3	36	5	0,10855	0,06741	-0,00244	80	7	0,07919	0,12466	-0,00549
D4	2	2	-	-	-	9	1	1,28000	-	-

Onde: Na = número de árvores no grupo e Nc = número de espécies no grupo.

Tabela 5. Coeficientes e equações geradas pelo Cafogrom, a partir das parcelas permanentes do PC Pedro Peixoto para taxa anual de mortalidade, ingresso, alocação de árvores em classe de copa, dano produzido pela exploração e dinâmica da área basal.

PC Peixoto – Taxa de mortalidade (%)				Número total de árvores na amostra		
Grupo de espécies	Danificadas	Sub-bosque	Dossel	Danificadas	Sub-bosque	Dossel
A2	6,16	2,69	2,64	4	70	134
A3	6,16	2,69	2,19	2	26	74
B1	6,16	2,69	2,19	7	56	48
B2	6,16	1,06	2,30	9	222	262
B3	6,16	2,69	2,19	2	60	92
B4	6,16	2,69	2,19	-	25	38
C1	6,16	2,74	1,87	38	984	486
C2	6,16	3,15	1,95	39	1.243	811
C3	6,16	2,69	2,19	6	82	113
C4	6,16	2,69	2,19	-	17	26
D0	6,16	2,69	2,19	-	7	1
D1	6,16	2,02	2,15	19	866	119
D2	6,16	2,27	2,06	23	434	115
D3	6,16	2,69	2,19	4	79	35
D4	6,16	2,69	2,19	-	11	1
Ingresso: $RBA = 0{,}0055\ e^{0{,}1833\ SBA}$ ($R^2 = 0{,}39$)						
Alocação das copas em classes: $UBA = 6{,}1709\ Ln\ (SBA) - 10{,}754$ ($R^2 = 0{,}071$)						
Dano produzido pela exploração: $DBA = 0{,}8167 * HBA^{0{,}7757}$ ($R^2 = 0{,}65$)						
Dinâmica da área basal: $ISBA = 1{,}8344\ e^{-0{,}0462\ SBA}$ ($R^2 = 0{,}18$)						

3.1.1. Função de Incremento em Área Basal

O modelo gerado, usando dados das PPs do PC Peixoto e Cpatu, produziu resultados semelhantes. O modelo do Cpatu produziu sempre um incremento maior com diferenças variando entre 0,2 e 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$. Estes resultados representam uma diferença em crescimento abaixo de 0,1 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ entre os dois conjuntos de funções, o que é um indicativo de que as duas florestas realmente têm um comportamento semelhante (Fig. 1).

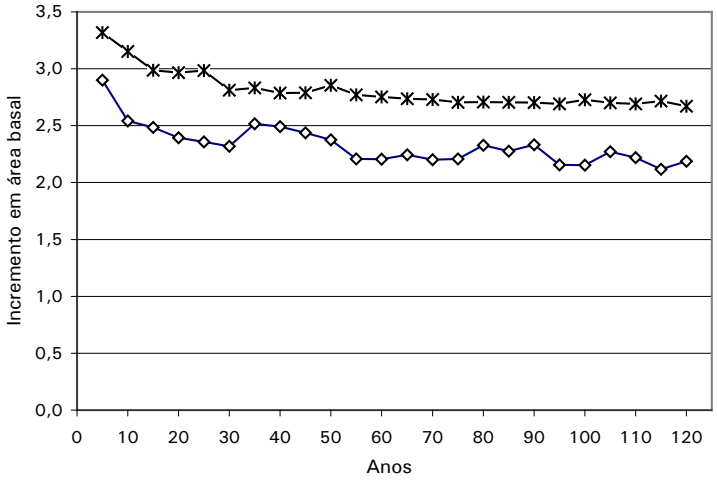


Fig. 1. Curso da simulação do incremento em área basal (m^2 ha^{-1}), em floresta não perturbada, usando funções derivadas de dados do Cpatu (símbolos fechados) e PC Peixoto (símbolos abertos).

3.1.2. Taxa de Mortalidade

A taxa de mortalidades obtida usando dados do PC Pedro Peixoto para a maioria dos grupos de espécies foi a mesma na mesma classe (ex. árvores danificadas). A razão para isto ter acontecido é que Cafogrom substitui estimativas fracas pela média da classe. Assumindo que não existem diferenças significativas em mortalidade entre as classes de diâmetro ou grupos de espécies, o uso da média das classes não afeta significativamente as simulações. Os resultados das simulações do Cpatu e PC Pedro Peixoto foram também bastante similares (Fig. 2).

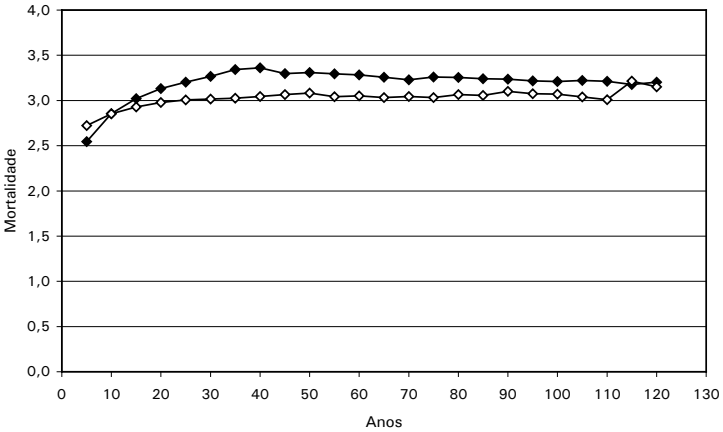


Fig. 2. Curso da simulação da taxa de mortalidade (%) na floresta não perturbada usando taxas obtidas dos dados do Cpatu (símbolos fechados) e PC Pedro Peixoto (símbolos abertos).

3.1.3. Ingresso

Boas predições de ingresso são normalmente difíceis de obter e necessitam de estudos de longo prazo em um grande número de PP. Mesmo com os dados do Cpatu, um baixo R^2 (0,32) foi obtido para esta função. A função gerada usando os dados do PC Pedro Peixoto foi irreal, uma vez que os resultados apresentaram uma tendência contrária ao que seria esperado em floresta tropical onde o ingresso declina com o aumento da área basal (Fig. 3) e, por esta razão, não será usada neste trabalho. Por outro lado, apesar do baixo R^2, a função produzida com os dados do Cpatu obteve um resultado razoável que foi assumido como adequado à floresta do PC Pedro Peixoto.

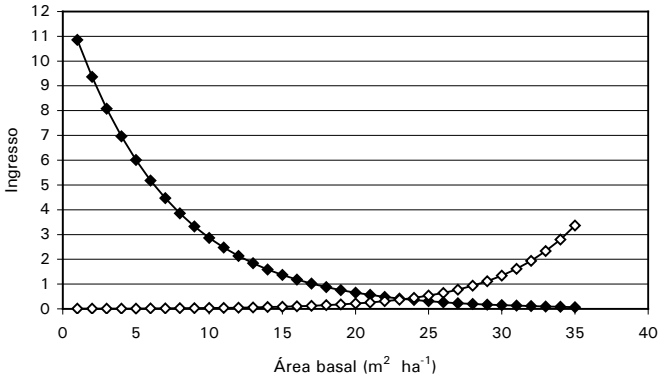


Fig. 3. Ingresso estimado (m^2 ha^{-1}) com as funções do PC Pedro Peixoto (símbolos abertos) e Cpatu (símbolos fechados).

3.1.4. Alocação das Copas em Classes

Os resultados obtidos para alocação das copas em classes, com os dois conjuntos de dados, apresentaram grandes diferenças, especialmente na estimativa da área basal do sub-bosque, quando a área basal da floresta é baixa. No entanto, existiu uma tendência a ambas estimativas se tornarem similares, quando a área basal da floresta se torna mais alta (Fig. 4).

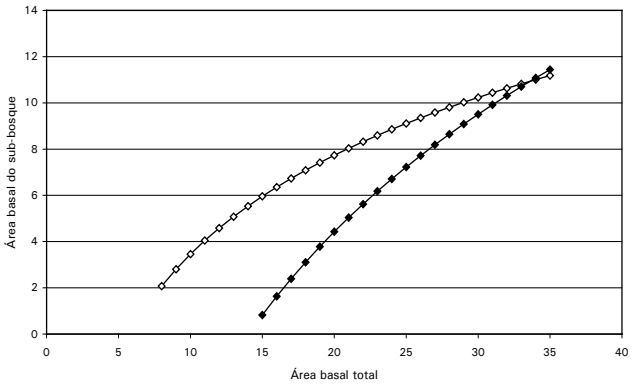


Fig. 4. Estimativa da área basal (m^2 ha^{-1}) do sub-bosque com as funções do PC Peixoto (símbolos abertos) e Cpatu (símbolos fechados).

3.1.5. Danos Produzidos pela Exploração Florestal

Comparando os coeficientes do Cpatu e PC Pedro Peixoto, os resultados para os danos produzidos pela exploração florestal foram de acordo com o esperado. O baixo dano, causado pela exploração na função produzida pelos coeficientes do PC Pedro Peixoto, é resultado da exploração não mecanizada e da baixa intensidade de corte praticada nas áreas de manejo (Fig. 5).

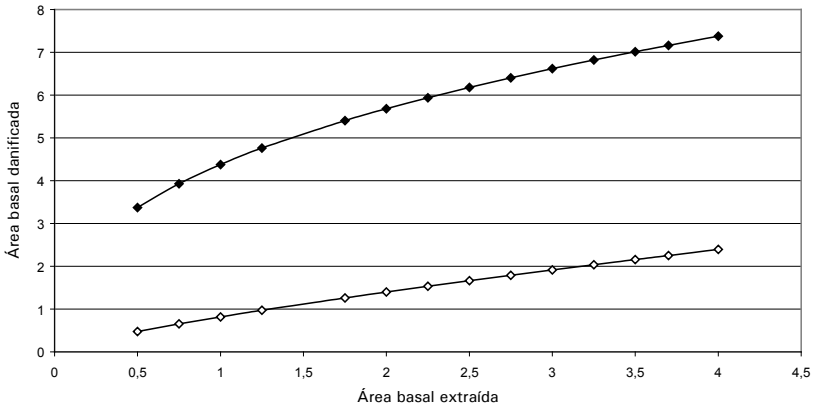


Fig. 5. Dano produzido pela exploração (m^2 ha^{-1}) estimado com as funções geradas com os dados do PC Peixoto (símbolos abertos) e Cpatu (símbolos fechados).

3.1.6. Dinâmica da Área Basal

Apesar do baixo coeficiente de correlação obtido para a estimativa da dinâmica da área basal, a equação produzida com os dados do PC Peixoto gerou resultados bastante similares aos do Cpatu. As duas equações geraram curvas realistas, limitando o incremento em área basal em torno de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ quando a área basal total se aproxima de 35 $m^2 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 6).

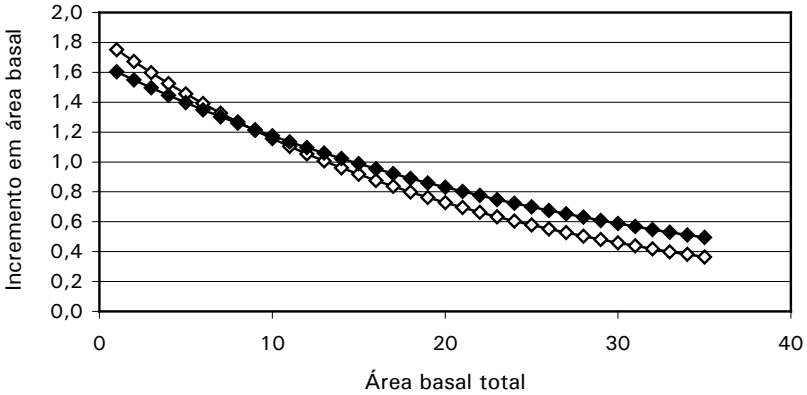


Fig. 6. Incremento em área basal (m^2 ha^{-1}) estimado com funções do PC Peixoto (símbolos abertos) e Cpatu (símbolos fechados).

3.2. Análise de Sensibilidade

3.2.1. Mortalidade

O volume das espécies comerciais (DAP > 50 cm) na floresta não perturbada durante curso da simulação variou entre 28 e 22 $m^3 \cdot ha^{-1}$. A redução da taxa de mortalidade em 10% aumentou o incremento em volume das espécies comerciais (DAP > 50 cm), ao final da simulação, de 22 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (usando a taxa de mortalidade calculada) para 28 $m^3 \cdot ha^{-1}$, volume equivalente ao observado no início da simulação. O aumento da taxa de mortalidade em 10% resultou em um volume de espécies comerciais de 18 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 7).

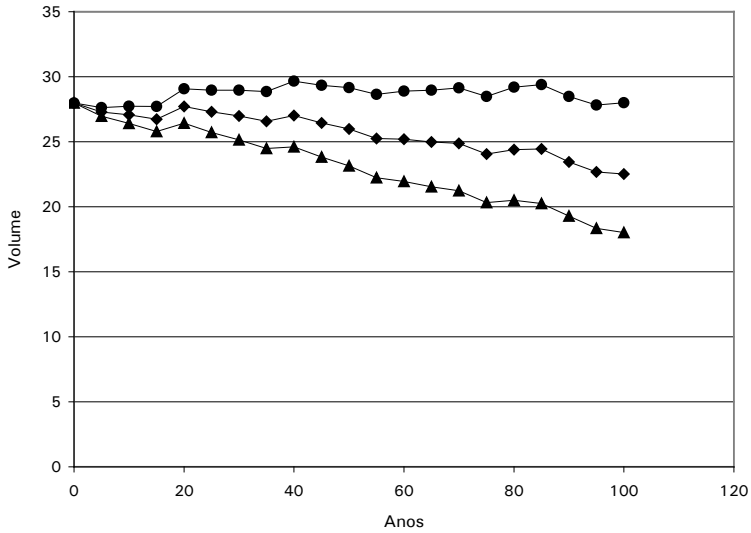


Fig. 7. Volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de espécies comerciais (DAP > 50 cm) ao longo do curso da simulação com a taxa de mortalidade calculada (losângulos), taxa de mortalidade calculada acrescida de 10% (triângulos) e diminuída em 10% (círculos).

3.2.2. Ingresso

Nos primeiros 40 anos da simulação, a variação da taxa de ingresso não promoveu grandes alterações no volume da floresta das espécies não comerciais (DAP > 5 cm). O efeito do aumento do ingresso começa a ficar claro a partir do sexagésimo ano da simulação devido ao acúmulo de volume das plantas ingressantes e à passagem gradual destas plantas para classes de diâmetro maiores. O volume inicial de plantas de espécies não comerciais (DAP > 5 cm) foi 107 $m^3 \cdot ha^{-1}$ e o volume ao final do tempo da simulação, usando a taxa de ingresso calculada, 132 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Aumentando a taxa de ingresso em 10%, o volume das espécies não comerciais, ao final da simulação, sobe para 144 $m^3 \cdot ha^{-1}$, e reduzindo a taxa em 10%, o volume final é de 125 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 8).

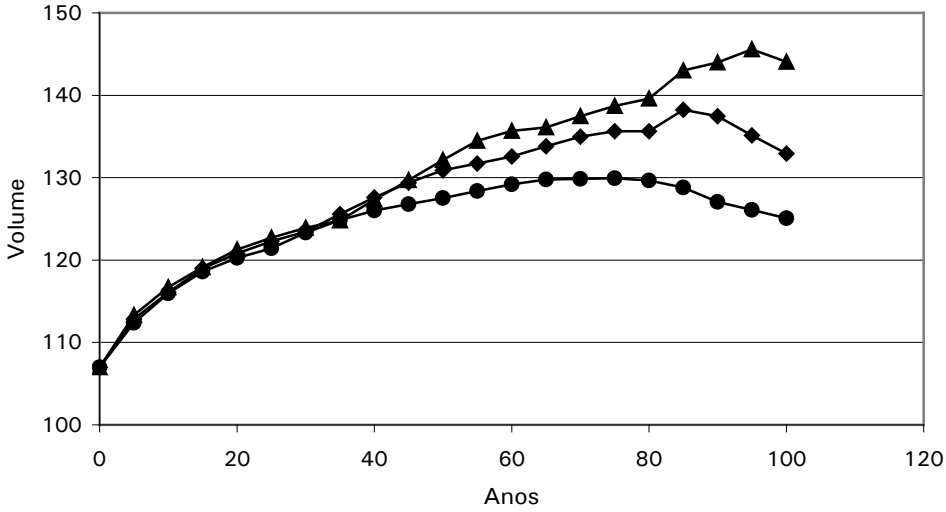
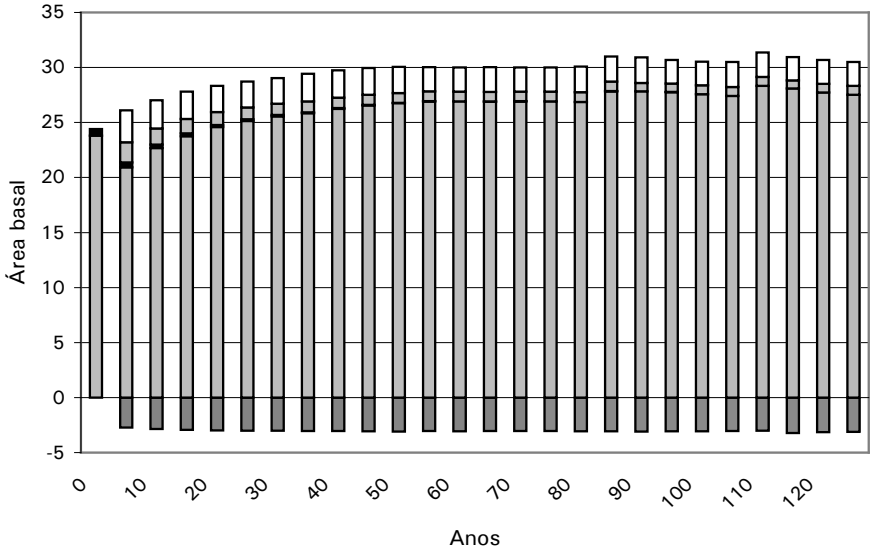


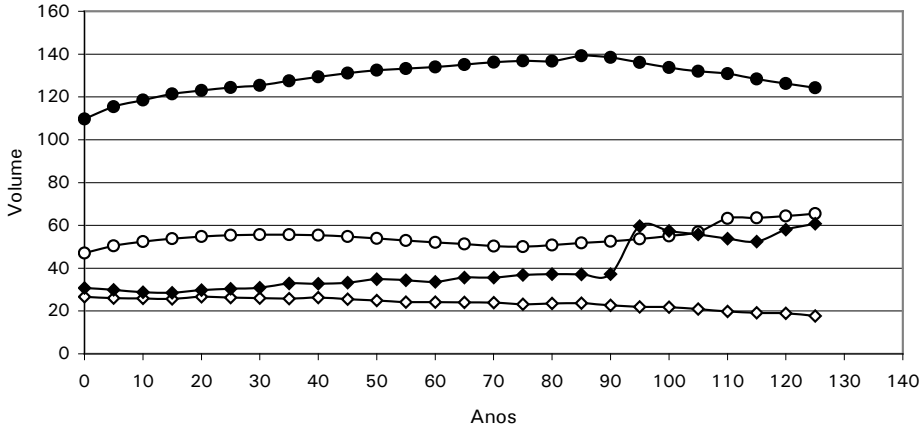
Fig. 8. Volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) das espécies não comerciais (DAP > 5 cm) ao longo do tempo da simulação com a taxa de ingresso calculada (losângulos), ingresso calculado acrescido em 10% (triângulos) e ingresso calculado reduzido em 10% (círculos).

3.3. Simulação da Dinâmica da Floresta não Perturbada

O crescimento da floresta não perturbada estabiliza por volta do quadragésimo ano da simulação com uma área basal em torno de 28 $m^2 \cdot ha^{-1}$. Neste ponto, a soma do incremento da floresta (2,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$) e do ingresso (0,9 $m^2 \cdot ha^{-1}$) foi ainda maior do que a mortalidade (3,1 $m^2 \cdot ha^{-1}$), permitindo que a área basal crescesse em ritmo lento até o nonagésimo ano da simulação, quando começa a oscilar em torno de 30 $m^2 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 9a). Os componentes do volume, para espécies comerciais e não comerciais, apresentaram uma tendência similar à da área basal, crescendo mais rapidamente no início da simulação e estabilizando em torno do octogésimo ano. O volume das espécies não comerciais variou entre 110 e 140 $m^3 \cdot ha^{-1}$ durante o tempo da simulação e o volume das espécies comerciais entre 47 e 67 $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 9b).



a) Componentes da área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$): nas colunas de cima para baixo, incremento (em branco), ingresso (cinza), danificada (preto), aproveitável (linhas diagonais) e mortalidade (pontilhado).



b) Componentes do volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de espécies comerciais (símbolos abertos: losângulos DAP > 50 cm e círculos DAP > 5 cm) e espécies não comerciais (símbolos fechados: losângulos DAP > 50 cm e círculos DAP > 5 cm).

Fig. 9. Simulação dos componentes da área basal (a) e volume (b), na floresta não perturbada.

3.4. Ciclos de Corte de 5 Anos

A produção total (Fig. 10a) variou de acordo com o tratamento silvicultural aplicado (TS), a partir de 35 $m^3 \cdot ha^{-1}$ sem tratamentos silviculturais, atingindo 41 $m^3 \cdot ha^{-1}$ com tratamentos leves (remoção de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$) e se mantendo em torno de 40 até 98 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ quando tratamentos mais pesados foram aplicados (remoção de 1 a 2 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$).

O volume comercial total (Fig. 10b) apresentou uma diminuição acentuada em todas as simulações, mesmo quando tratamentos pesados foram utilizados. De forma geral, ao final das simulações este volume ficou em torno de zero. As exceções foram para extração de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ com os tratamentos silviculturais removendo 1 e 2 $m^2 \cdot ha^{-1}$, quando o volume comercial terminou a simulação com 17 e 12 $m^3 \cdot ha^{-1}$ respectivamente.

O volume das espécies não comerciais (Fig. 10c) aumentou em torno de 50 $m^3 \cdot ha^{-1}$ quando não foram aplicados tratamentos silviculturais. A aplicação de baixas taxas de corte (0,5 e 1,0 $m^3 \cdot ha^{-1}$ ABE) pode funcionar como tratamento silvicultural para as espécies não comerciais, aumentando a sua proporção na população. O uso de tratamentos silviculturais removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ resultou em um volume final de espécies não comerciais semelhantes ao da floresta natural variando entre 22 e 38 $m^3 \cdot ha^{-1}$.

Tratamentos silviculturais removendo mais do que 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$, combinados com intensidades de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$, resultaram na quase completa extinção das espécies não comerciais com DAP > 50 cm. Intensidades de corte superiores a 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ podem manter a população das espécies não comerciais em situação semelhante à das florestas naturais ou mesmo fazer aumentar a área basal destas espécies na floresta manejada (ex. combinação de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ ABE e 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ TS).

Tratamentos silviculturais removendo mais do que 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ reduziram as árvores de espécies não comerciais com DAP > 50 para quase zero. Entretanto quando combinados com a mais alta taxa de corte testada (2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ ABE) elas permanecem com volume de 18 $m^3 \cdot ha^{-1}$.

O volume de espécies não comerciais apresentou a tendência de aumentar com o aumento da intensidade de corte (Fig. 10d) de 128 para 147 $m^3 \cdot ha^{-1}$ e diminuir quando tratamentos silviculturais, removendo mais do que 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$, foram aplicados.

O volume médio cortado por ciclo (Fig. 10e) ficou entre 2 e 3 $m^3 \cdot ha^{-1}$, para simulações sem ou com tratamentos leves, e 4 a 6 $m^3 \cdot ha^{-1}$ $ciclo^{-1}$ quando tratamentos mais pesados foram aplicados nas simulações com intensidade de corte entre 0,5 e 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. Taxas de cortes acima de 1,0 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ produziram uma série de cortes muito baixos ou mesmo nulos, eliminando a possibilidade de qualquer análise.

Em todas as simulações o coeficiente de variação (Fig. 10f) foi muito alto e apresentou tendência de aumentar sempre que o limite de área basal extraída aumentava. Os melhores resultados deste ciclo foram uma combinação de taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ com tratamentos silviculturais removendo

1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. A produção total foi de 98 $m^3 \cdot ha^{-1}$ e, apesar de alguma variação ao longo da simulação, os cortes foram regulares, oscilando entre 5 e 6 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

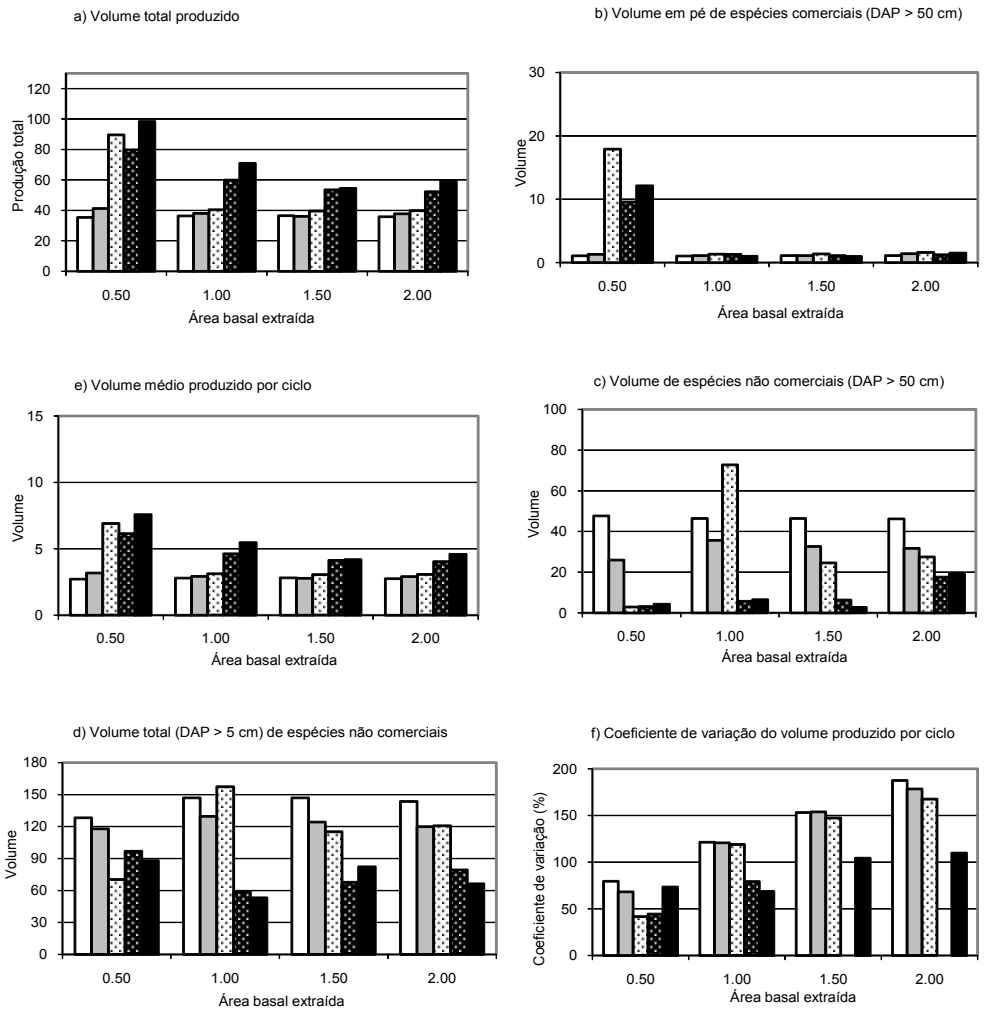


Fig. 10. Componentes da simulação para ciclo de corte de 5 anos em uma simulação de 70 anos com diferentes taxas de corte (área basal extraída – $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo$) e tratamentos silviculturais - TS (sem TS – colunas brancas; TS removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas cinza; TS removendo 1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas diagonais; TS removendo 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas cruzadas; e TS removendo 2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas pretas): a) volume total explorado ($m^3 \cdot ha^{-1}$); b) volume de espécies comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); c) volume de espécies não comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); d) volume total das espécies não comerciais ($m^3 \cdot ha^{-1}$); e) volume médio cortado por ciclo ($m^3 \cdot ha^{-1}$); e f) coeficiente de variação do volume cortado.

3.5. Ciclos de Corte de 10 Anos

A produção, ao final da simulação, não muda muito quando não são aplicados tratamentos silviculturais ou são aplicados apenas tratamentos silviculturais leves (removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$), variando de 32 a 40 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$, mesmo quando diferentes limites para área basal extraída são aplicados (de 0,5 a 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$) (Fig. 11a). A produção aumenta quando tratamentos silviculturais removendo mais do que 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ de área basal são aplicados combinados com taxas de corte mais baixas (de 0,5 a 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$). O pico de produção (77 $m^3 \cdot ha^{-1}$) é obtido com a combinação de taxa de corte de 1,0 e 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ de tratamentos silviculturais (Fig. 11a). A produção total se torna constante para taxas de corte maiores (1,5 a 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$).

O volume das espécies comerciais (DAP > 50 cm) foi semelhante a zero ao final da simulação, com exceção da taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ combinada com tratamentos silviculturais removendo mais do que 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ ou taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ combinada com tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 11b).

O volume das espécies não comerciais (Fig. 11c) com DAP superior a 50 cm decresce rapidamente quando tratamentos silviculturais pesados são aplicados conjuntamente com baixas taxas de corte (0,5 e 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$). A utilização de taxas de corte mais altas também diminuiu o volume total destas espécies, ficando sempre, ao final da simulação, abaixo de 40 $m^3 \cdot ha^{-1}$.

O volume total das espécies não comerciais (Fig. 11d) tende a aumentar, quando a taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ é aplicada sem TS. Neste caso, o corte funciona como um tratamento silvicultural para as espécies não comerciais. O corte médio por ciclo (Fig. 11e) foi sempre ao redor de 5 a 6 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. Entretanto, quando combinados taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ com tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ aumentou para 11 $m^3 \cdot ha^{-1}$.

A variância (Fig. 11f) apresentou uma tendência quase linear de aumentar com o aumento da taxa de corte e diminuir quando tratamentos silviculturais mais pesados foram aplicados.

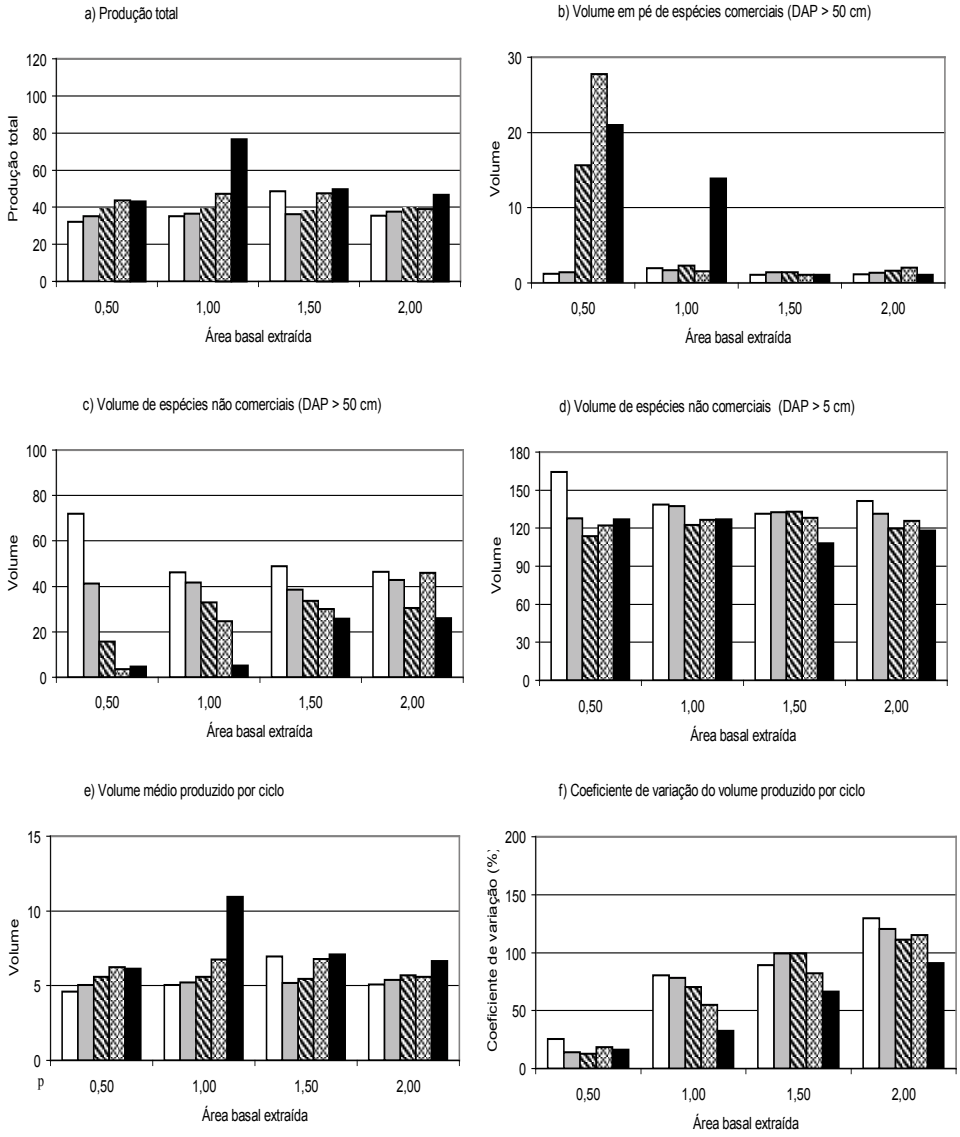


Fig. 11. Componentes da simulação para ciclo de corte de 10 anos em uma simulação de 70 anos com diferentes taxas de corte (área basal extraída $m^2 \cdot ha^{-1}$ ciclo) e tratamentos silviculturais - TS (sem TS – colunas brancas; TS removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas cinza; TS removendo 1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas diagonais; TS removendo 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas cruzadas; e TS removendo 2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas pretas): a) volume total explorado (m^3 ha^{-1}); b) volume de espécies comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); c) volume de espécies não comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); d) volume total das espécies não comerciais; e) volume médio cortado por ciclo ($m^3 \cdot ha^{-1}$); e f) coeficiente de variação do volume cortado.

3.6. Ciclos de Corte de 15 Anos

A produção total não variou muito com o uso de diferentes intensidades de tratamentos silviculturais (Fig. 12a), entretanto, apresentou uma pequena tendência de aumentar quando tratamentos silviculturais mais pesados foram aplicados. A produção teve uma maior tendência a aumentar quando as taxas de corte foram entre 0,5 e 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$, permanecendo constante quando taxas mais altas foram aplicadas.

A mais alta produção ao final da simulação (48 $m^3 \cdot ha^{-1}$) foi observada com a combinação de taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ e tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

O volume comercial (Fig. 12b), ao final do tempo da simulação, aumentou com a aplicação de tratamentos silviculturais removendo mais do que 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ combinados com taxas de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$. Quando aplicadas intensidades de corte superiores a 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ o volume comercial terminou as simulações abaixo de 5 $m^3 \cdot ha^{-1}$, com exceção da combinação de taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ e tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$.

O volume das espécies não comerciais (DAP > 50 cm e DAP >5 cm) diminuiu rapidamente com o aumento da intensidade dos tratamentos silviculturais, mantendo taxas de corte muito baixas (0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$) (Fig. 12c e 12d). Este efeito tende a diminuir com o uso de taxas de corte mais pesadas e na simulação com 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ foi nulo.

O corte de madeira médio (Fig. 12e) de 5 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ para taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ foi quase constante, variando entre 6 e 8 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ para as outras simulações. A média de corte mais alta foi obtida com a combinação de tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e taxa de corte de 1,0 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ que produziu um corte médio de 9 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

A variância (Fig. 12f) seguiu o mesmo padrão do observado nos ciclos de 10 anos com uma tendência de aumentar, de forma linear, com a taxa de corte e diminuir com a aplicação de tratamentos silviculturais, especialmente na simulação com taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$.

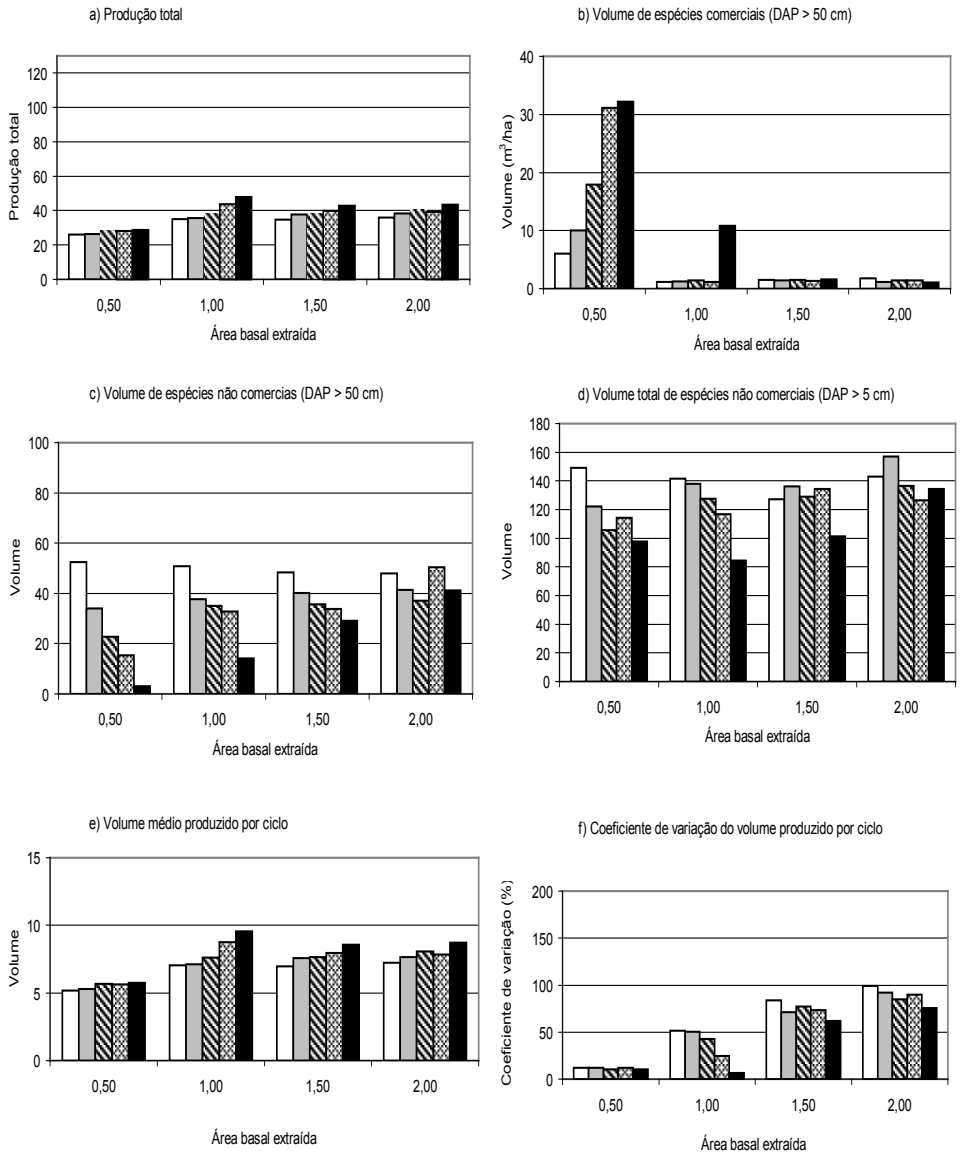


Fig. 12. Componentes da simulação para ciclo de corte de 15 anos em uma simulação de 70 anos com diferentes taxas de corte (área basal extraída – $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot$ ciclo) e tratamentos silviculturais - TS (sem TS – colunas brancas; TS removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas cinza; TS removendo 1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas diagonais; TS removendo 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas cruzadas; e TS removendo 2 m^2 ha^{-1} – colunas pretas): a) volume total explorado ($m^3 \cdot ha^{-1}$); b) volume de espécies comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); c) volume de espécies não comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); d) volume total das espécies não comerciais; e) volume médio cortado por ciclo ($m^3 \cdot ha^{-1}$); e f) coeficiente de variação do volume cortado.

3.7. Ciclo de Corte de 20 Anos

A produção total foi quase 20 $m^3 \cdot ha^{-1}$ para todos os tratamentos silviculturais aplicados com a utilização de taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e, em torno de 40 $m^3 \cdot ha^{-1}$, para as outras taxas de corte estudadas (Fig. 13a).

O volume de espécies comerciais (Fig. 13b) apresentou um grande aumento com o uso de tratamentos silviculturais combinados com a taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ com um máximo de 36 $m^3 \cdot ha^{-1}$ quando combinada com tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. Nas outras simulações, o volume das espécies comerciais ficou sempre abaixo de 5 $m^3 \cdot ha^{-1}$, com exceção da combinação de taxa de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ e tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$ quando foi 16 $m^3 \cdot ha^{-1}$ ao final da simulação. O feito da taxa de corte e dos tratamentos silviculturais no volume das espécies não comerciais (DAP > 50 cm e DAP > 5 cm) foi similar ao observado no ciclo de 15 anos, diminuindo com o aumento da intensidade dos tratamentos silviculturais, principalmente quando combinados com taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ (Fig. 13c e 13d). Novamente, este efeito tende a diminuir com o uso de taxas de corte mais pesadas.

O volume médio de madeira explorado por ciclo (Fig. 13e) de 5 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ com taxa de corte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ foi quase constante, variando entre 8 e 11 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$, para as outras simulações. A maior média de corte foi obtida com a combinação de tratamentos silviculturais removendo 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e taxa de corte de 2,0 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ com produção média de 11 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

A variância apresentou a tendência de aumentar, de forma linear, com o aumento da taxa de corte e diminuir com a aplicação de tratamentos silviculturais (Fig. 13f).

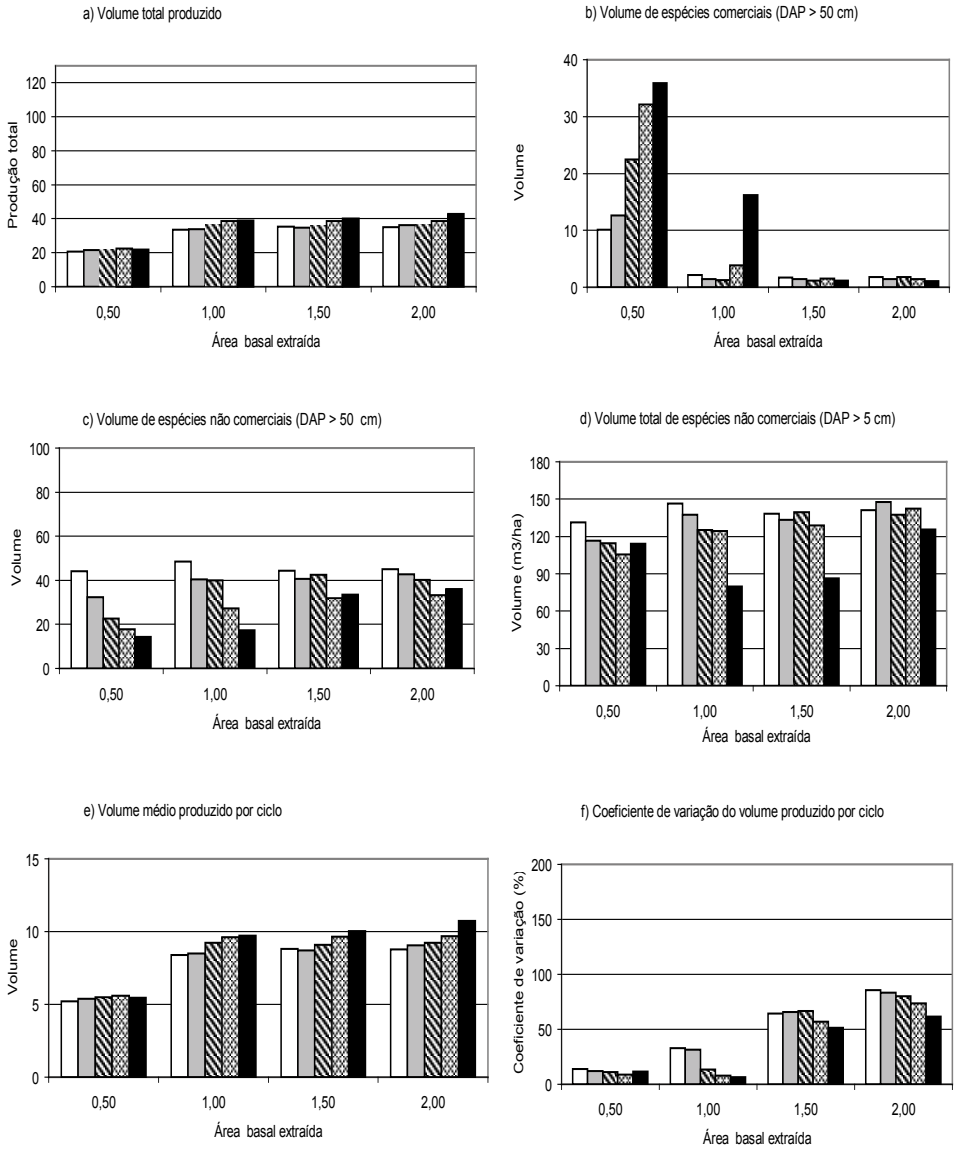


Fig. 13. Componentes da simulação para ciclo de corte de 20 anos em uma simulação de 70 anos com diferentes taxas de corte (área basal extraída – $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot$ ciclo) e tratamentos silviculturais - TS (sem TS – colunas brancas; TS removendo 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas cinza; TS removendo 1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas diagonais; TS removendo 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas brancas com linhas cruzadas; e TS removendo 2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ – colunas pretas): a) volume total explorado ($m^3 \cdot ha^{-1}$); b) volume de espécies comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); c) volume de espécies não comerciais DAP > 50 cm ($m^3 \cdot ha^{-1}$); d) volume total das espécies não comerciais; e) volume médio cortado por ciclo ($m^3 \cdot ha^{-1}$); e f) coeficiente de variação do volume cortado.

4. Discussão

4.1. Análise de Sensibilidade

O modelo obteve boa sensibilidade para as duas funções testadas. Os resultados das variações nas taxas de mortalidade apareceram logo no início das simulações devido a sua direta influência na população de árvores. Isto, em contraste com o ingresso de novas plantas que representa a entrada de pequenas árvores, contribuindo com pequenos volumes em torno de 0,2 a 0,4 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$. Desta forma, era esperado que, nos primeiros 40 anos de simulação, as diferenças em taxa de ingresso produzissem pequeno efeito na população quando comparadas às diferenças promovidas pelas variações nas taxas de mortalidade. A taxa de mortalidade pode ser calculada diretamente, o que proporciona a esta função grande precisão. O ingresso é calculado por meio de uma regressão entre a área basal total e o número de plantas que ingressaram no período. Assim, é esperado que florestas com área basal mais baixa tenham um número maior de clareiras, aumentando a possibilidade de estabelecimento de novas plantas.

Como outros modelos, Cafogrom demanda um grande volume de dados para produzir boas simulações. No caso deste estudo, foi possível gerar simulações bastante realistas com um número relativamente pequeno e recente de dados, demonstrando a robustez do modelo. Em um estudo comparando valores estimados com valores reais ao longo de 16 anos (ALDER; SILVA, 1996), o sistema apresentou a tendência de superestimar o crescimento (ex. para todas as espécies com diâmetro > 45 cm DAP o crescimento observado foi 2,56 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ e o estimado 3,13 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

4.2. Tratamentos Silviculturais (TSs)

Para todas as simulações de manejo florestal testadas, o volume total produzido durante os 70 anos de duração das simulações, usando tratamentos silviculturais, foi maior do que o equivalente sem tratamentos silviculturais. Também os cortes foram mais regulares quando tratamentos silviculturais foram usados. A floresta manejada sem TS apresentou uma brusca diminuição no volume de espécies comerciais ao final do tempo de simulação e o volume total produzido ao final da simulação foi constante (não variou em função do aumento das taxas de corte) para ciclos curtos de 5 e 10 anos.

Em ciclos curtos, os tratamentos silviculturais reduziram drasticamente a população das espécies não comerciais com diâmetro acima de 50 cm de DAP. Nas simulações, um equilíbrio pode ser obtido entre o volume final de espécies comerciais e não comerciais, combinando tratamento silvicultural intensivo com ABE igual ou superior a 1 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

Tratamentos silviculturais devem ser praticados com cuidado para evitar a remoção de espécies potenciais que podem, em um futuro próximo, se tornar comerciais. Desta forma, uma árvore pode ser eliminada somente se estiver competindo diretamente com uma outra mais valiosa. Neste caso é importante

ressaltar que a lista de espécies comerciais não mudou ao longo da simulação (o que é bem provável de acontecer considerando a evolução do mercado de madeira). Também, o sistema foi desenhado originalmente para pequenos produtores rurais e algumas espécies (ex. *Ceiba* spp.) não foram consideradas como comerciais devido à dificuldade na extração das toras e aos preços ainda baixos praticados pelas indústrias na aquisição destas toras. Estas espécies são efetivamente comerciais e, em algum tempo no futuro, poderão ser utilizadas pelos produtores.

4.3. Intensidade de Corte (Área Basal Extraída)

O limite de área basal extraída para ciclos de 5 anos não pode ser superior a 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. Os outros ciclos de corte obtiveram o seu pico de produção em torno de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e, quando intensidades de corte superiores foram testadas, o volume de espécies comerciais diminuiu rapidamente, tornando a produção de madeira não sustentável. Intensidades de corte mais leves combinadas com TS, também leves, beneficiaram as populações das espécies não comerciais fazendo o volume destas espécies aumentar com o declínio do volume das espécies comerciais até próximo a zero. Em ciclos curtos de 5 a 10 anos houve uma tendência de diminuir a produção com o aumento das intensidades de corte até a total extinção das espécies comerciais durante o período da simulação. Os outros ciclos apresentaram um aumento na produção total de madeira quando a intensidade de corte aumentou de 0,5 para 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$, permanecendo constante para ABE acima deste patamar. Os ciclos de 15 e 20 anos permitiram que a floresta crescesse de forma a manter a produção total constante apesar da grande variação no volume de madeira produzido por ciclo.

4.4. Ciclos de Corte de 5 Anos

Algumas simulações razoáveis puderam ser obtidas com cortes regulares entre 4 e 5 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. No entanto, estes resultados foram obtidos pela combinação de baixas intensidades de corte com tratamentos silviculturais pesados, resultando numa rápida diminuição do volume de espécies comerciais e não comerciais. A diminuição do volume de espécies comerciais depois do corte não é um grande problema e é esperada quando se trabalha com ciclos longos, mas, para ciclos de corte muito curtos, algumas reservas são necessárias como forma de garantir a produção nos próximos ciclos. O coeficiente de variação do volume produzido por ciclo foi muito alto para ser aceitável. Também, a baixa produtividade, aliada à necessidade de compartimentos maiores, aumenta os custos e o trabalho necessário para a exploração e deve ser considerada como forte limitação econômica. Devido à necessidade de uma produção regular, ciclos mais longos são recomendados.

4.5. Ciclos de Corte de 10 Anos

A exploração, mesmo na mais baixa intensidade de corte (0,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$), diminuiu o volume das espécies comerciais com DAP > 50 cm e, por

conseqüência, o volume produzido nos últimos ciclos do tempo de simulação. O manejo sem o uso de TS permite a manutenção de uma floresta com volume elevado, porém com baixo volume de espécies comerciais, porque a floresta permanece dominada por espécies não comerciais. Os melhores resultados foram obtidos com a combinação de intensidades de corte entre 0,5 e 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e tratamentos silviculturais intensivos. Tratamentos silviculturais removendo entre 1,0 e 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ resultaram em cortes regulares e na manutenção do volume das espécies comerciais após o último ciclo da simulação entre 17 e 30 $m^3 \cdot ha^{-1}$. No entanto, os tratamentos silviculturais acima de 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ promoveram a redução no volume das espécies não comerciais com DAP > 50 cm.

Houve uma forte resposta em crescimento das espécies comerciais quando tratamentos silviculturais foram aplicados em intensidade de corte de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$, mas ainda com forte declínio da população das espécies não comerciais nas classes de DAP > 50 cm pela repetição dos tratamentos silviculturais. O uso de tratamentos silviculturais repetidamente é uma decisão que deve ser tomada pelo engenheiro florestal, acompanhando o desenvolvimento da floresta, de maneira a manter alta a produtividade das espécies manejadas, mas, ao mesmo tempo protegendo a biodiversidade e as espécies potenciais.

Entre todas as simulações o manejo florestal usando ciclos de 10 anos com ABE de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e TS removendo 1,5 e 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ apresentou o melhor resultado com uma produção de 5 a 10 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot$ ciclo e manutenção da estrutura da floresta como um todo.

4.6. Ciclos de Corte de 15 e 20 Anos

A floresta não respondeu aos tratamentos silviculturais da mesma forma que no caso dos ciclos mais curtos, provavelmente pela necessidade de tratamentos silviculturais intermediários, por exemplo, após o quinto ano da exploração, e pelo baixo número de árvores das espécies comerciais.

Para estes ciclos, taxas de corte mais fortes devem ser aplicadas para compensar o menor número de cortes. Taxas de corte mais elevadas produziram um volume de madeira de acordo com o esperado para ciclos longos apenas nos dois primeiros ciclos. Após dois ciclos, a floresta não pôde mais resistir às intervenções e, mesmo com a aplicação de TS, tanto o volume cortado por ciclo como o volume de espécies comerciais ao final do ciclo caíram para próximo a zero. O volume final de espécies comerciais (DAP > 50 cm), neste caso, não é tão importante como para os ciclos curtos, por causa do maior tempo para recuperação da floresta. No entanto, a manutenção de um volume entre 10 e 20 $m^3 \cdot ha^{-1}$ é sempre uma garantia para os próximos ciclos.

A decisão de usar ciclos mais longos deve considerar não apenas fatores ecológicos e econômicos, mas também fatores políticos. A pressão pela posse e uso da terra na Amazônia tende a ficar cada vez mais forte e o risco de que a floresta venha a ser utilizada para outros fins, durante o intervalo entre os

ciclos, é bastante considerável e tem sido um dos fatores mais importantes para a falência do manejo florestal nos trópicos.

Uma alternativa para o uso de ciclos mais longos em projetos de colonização poderia ser um intervalo de 2 anos entre os cortes nos compartimentos, o que não é muito desejável pela necessidade de uma produção contínua. Ainda assim, nas condições deste estudo, a produção total destes ciclos seria abaixo da verificada para ciclos de 10 anos, provavelmente pela necessidade de mais do que um TS e de um conjunto maior de espécies comerciais. Alternativamente, tratamentos silviculturais 5 anos após a exploração poderiam ser tentados. Também deve ser considerado para estes ciclos o uso de máquinas pesadas (skidders) como forma de viabilizar a exploração florestal com taxas de corte superiores a 2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$. Ciclos longos podem ser desejáveis para pequenas propriedades quando o manejo florestal não for considerado uma das atividades principais ou onde as atividades extra manejo florestal tiverem maior importância econômica.

5. Conclusões

1) A necessidade dos tratamentos silviculturais deve-se ao pequeno número de árvores de espécies comerciais competindo com um grande número de espécies potenciais e não comerciais. Com um grupo maior de espécies comerciais, o corte por si só poderia produzir o efeito de um TS. A baixa e quase constante produção de madeira observada sem o uso de TS indica a necessidade de prover benefícios competitivos para as espécies manejadas.

2) Tratamentos silviculturais pesados (2,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$) devem ser aplicados com cuidado, especialmente em ciclos curtos, porque podem afetar negativamente a população das espécies potenciais e aumentar os riscos de perda de biodiversidade.

3) O coeficiente de variação do volume produzido por ciclo aumenta com o aumento da área basal extraída em todas as simulações estudadas. Isto significa que taxas de corte mais elevadas produzem cortes irregulares pela ausência de árvores de espécies comerciais com diâmetro mínimo de corte (50 cm DAP).

4) Ciclos de 10 anos parecem ser os mais adequados para o manejo florestal de acordo com o sistema proposto neste trabalho. Uma produção de madeira regular de 5 a 10 m^3 ha^{-1} $ciclo^{-1}$ pode ser esperada com a combinação de ABE de 1,0 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$ e TS removendo 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ciclo^{-1}$.

5) Ciclos de corte de 20 anos não são aplicáveis em pequenas áreas de projetos de colonização.

6) Os resultados das simulações devem ser interpretados como tendências da floresta para as diversas intervenções testadas. Em geral, predições tendem a ser mais precisas com o tempo, e o sistema de manejo deve ser flexível o

suficiente para assimilar as mudanças que se fizerem necessárias de acordo com as respostas da floresta.

6. Referências

ALDER, D. **GHAFOSIM**: a projection system for natural forest growth and yield i Ghana. Ghana: Ministry of Lands and Natural Resources, 1990. 144 p.

ALDER, D. **The preliminary development of the CAFOGROM forest growth model**. ODA/ CPATU. Silviculture research Project, Brazil. Internal Consultancy Report, 1995a. 28 p.

ALDER, D. **Growth Modelling for Mixed Tropical Forests**. Oxford, U.K: Oxford Forestry Institute, 1995b. 231 p. (Tropical forestry papers n. 30).

ALDER, D. **Further development of growth modelling techniques for Amazonian selection forest management:** report of a consultancy to CPATU. Belém, PA: 1996a 17 p.

ALDER, D. **CAFOGROM.XLS:** a simulation model for natural forest management: User's guide and technical reference manual. U.K. Overseas: Development Administration Oxford, 1996b. 40 p.

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. An empirical cohort model for management of terra-firme forest in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 130, n. 1, p. 141-157, 2000.

APPANAH, S.; WEINLAND, G.; BOSSEL, H.; KRIEGER, H. Are tropical rain forests non-renewable? An enquiry through modelling. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 2, n. 4, p. 331-348, 1990.

BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO 1990-1994, n. 5, 1996.

BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO 1995, n. 6, 1995.

BOSCOLO, M.; BUONGIORNO, J. Managing a tropical rainforest for timber, carbon storage and tree diversity. **Commonwealth Forestry Review**, v. 76, n. 4, p. 246-253, 1997.

BOSSEL, H., BRUENIG, E. F.; HUANG, Y. W. Tropical rainforest ecosystem structure, functions and dynamics: the state of system analysis and modelling of structural change and growth in CERP and ASEAC. In: MOHD, W. R. W.; CHAN, H. T.; APPANAH, S. (Ed.) **Proceedings of the Seminar on Growth and Yield in Tropical Mixed/moist Forest**. Malaysia: Forest Research Institute, 1989. p. 35-50.

BOUCHER, D. H.; VANDERMEER, J. H.; MALLONA, M. A.; ZAMORRA, N.; PERFECTO, I. Resistance and resilience in a directly regenerating rainforest: Nicaragua trees of Volchysiaceae after hurricane Joan. **Forest Ecology and Management**, v. 68, p. 127-136, 1994.

CAVALCANTI, T. J. da S. 1994. 196 f. **Colonização no Acre**: uma análise sócio-econômica do projeto de assentamento dirigido Pedro Peixoto. Dissertação (Mestrado

em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza.

HIGUCHI, N.; RIBEIRO, R. J.; SANTOS, J.; MINETTE, L.; VIEIRA, G. **Crescimento e incremento de uma floresta Amazônica de terra-firme manejada experimentalmente**. Manaus: INPA, 1995.

KORSGAARD, S. **A user's guide to the computer programmes used in processing and tabulating forest research data from the CPATU permanent sample plots**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: IICA, 1993. 100 p. (Technical paper 1).

NOR, S. M. FORSTAM a preliminary simulation model for forest stand management. **Malaysian Forester**, v. 41, n. 2, p. 143-148, 1978.

OLIVEIRA, M. V. N. d'; BRAZ, E. B.; BURSLEM, D. F. R. P.; SWAINE, M. D. Small-Scale Natural Forest Management: A new model for small farmers in the Brazilian Amazon. **Tropical Forest Update**, v. 8, n. 1, p. 5-7, 1998.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do C. A. Growth of a logged over tropical rain forest of the Brazilian Amazon. In: SEMINAR ON GROWTH AND YIELD ON TROPICAL MIXED/MOIST FOREST, 1989, Malaysia. **Proceedings**... Kuala Lampur: Forest Research Institute, 1989. p. 117- 136.

SILVA, J. N. M. A note on Brazil's tropical rain forests under new forest management regulations. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 4, n. 4, p. 355-356, 1992.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES. J. C. A.; ALMEIDA, B. F.; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C.; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. 1995. Crescimento and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and Management**, v. 71, n. 3, p. 267-274, 1995.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, L. C. Crescimento and yield studies in the Tapajós region, Central Brazilian Amazon. **Commonwealth Forestry Review**, v. 75, n. 4, p. 325-329, 1996.

VANCLAY, J. K. Modelling selection harvesting in tropical rain forests. Journal of **Tropical Forest Science**, v. 1, n. 3, p. 280-294, 1989a.

VANCLAY, J. K. A growth model for North Queensland Rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 27, p. 245-271, 1989b.

VANCLAY, J. K. Aggregating tree species to develop diameter increment equation for tropical rainforests. **Forest Ecology and Management**, v. 42, p. 143-168, 1990.

VANCLAY, J. K. Review: Data requirement for developing growth models for tropical moist forests. **Commonwealth Forestry Review**, v. 70, n. 4, p. 248-271, 1991.

CAPÍTULO 3

Regeneração Florestal em Clareiras Artificiais após Dois Anos de Abertura de Dossel no Estado do Acre – Amazônia Ocidental

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira

1. Introdução

Clareiras abertas no dossel da floresta são consideradas como um dos fatores mais importantes para a regeneração das florestas. A criação da clareira provoca mudanças nos padrões estabelecidos no sub-bosque (BROKAW, 1989), é o ponto de partida para a sucessão vegetal (BROWN; WHITMORE, 1992), inicia o ciclo florestal e influencia na germinação, estabelecimento e crescimento das plantas. As variáveis mais importantes para determinação do resultado desse processo são tamanho, idade, tipo de micro habitat, características ecológicas e tamanho das plantas nas clareiras (UHL et al., 1988). A queda das árvores também contribui para a diversidade de espécies na floresta tropical, fornecendo oportunidades para a diferenciação dos nichos na regeneração (GRUBB, 1977; WELDEN et al., 1991). Desse modo, a fase da clareira é o estágio mais importante do ciclo de crescimento da floresta, para o estabelecimento da regeneração natural de árvores de espécies de dossel (WHITMORE, 1989; BROKAW, 1985a, 1989).

Um número de mudanças ambientais ocorre logo após a formação da clareira na floresta e a magnitude de cada uma é determinada pelo tamanho da clareira (ARRIAGA, 1988). A disponibilidade de luz aumenta e a competição das raízes declina, por causa da morte de árvores, da borda para o centro das clareiras (RICHARDS, 1952; HARTSHORN, 1978; BROKAW, 1985a). Como conseqüência a decomposição pode ser acelerada (BORMANN; LIKENS, 1979). Nas clareiras, a disponibilidade dos recursos como água e nutrientes do solo pode aumentar temporariamente (SWAINE et al., 1997; DENSLOW et al., 1998), mas a competição por nutrientes tende a aumentar a partir da sua criação. A maior irradiação no solo reduz a umidade relativa e aumenta a temperatura em relação ao sub-bosque (BROWN, 1993).

Embora mudanças na irradiação sejam fundamentais para o processo de regeneração em clareiras, há também modificações na disponibilidade de outros recursos (água e nutrientes) e condições microclimáticas (umidade e temperatura), que afetarão as plantas nas clareiras (BROKAW, 1985b; BURSLEM et al., 1996; SWAINE et al., 1997). As diferentes quantidades de irradiação geralmente conduzem a diferentes taxas de crescimento, composição das espécies e sobrevivência em clareiras. A irradiação é positivamente correlacionada com o tamanho das clareiras (BARTON et al., 1989; BROWN, 1993), mas diferentes tamanhos podem produzir medidas de irradiação similares (WHITMORE et al., 1993).

A dependência da abertura de clareiras para germinação de sementes e estabelecimento de plântulas tem sido usada para definir a diferença entre espécies pioneiras e não pioneiras (SWAINE; WHITMORE, 1988). Entretanto, a sobrevivência das plântulas é, provavelmente, o fator chave na diferenciação entre espécies (KEBBEDY; SWAINE, 1992; SWAINE; WHITMORE, 1988). Espécies pioneiras têm alta mortalidade em floresta sombreada, mas respondem positivamente aos aumentos de irradiação, enquanto não pioneiras têm baixa mortalidade em sombras, mas não respondem tão bem ao aumento da irradiação (HARTSHORN, 1978; BROKAW, 1985a; KOBE et al., 1995; SWAINE et al., 1997). Estas diferenças entre espécies pioneiras e tolerantes afetam a densidade relativa de diferentes tipos de espécies nas florestas com diferentes freqüências ou intensidades de perturbação (BROKAW, 1989).

Assim, ao contrário dos locais sem perturbação na floresta, a combinação das espécies primárias e secundárias é encontrada em clareiras do dossel (CHANDRASHEKARA; RAMAKRISHNAN, 1994). A criação de clareira provoca também o crescimento de plântulas de espécies não pioneiras, que têm a capacidade de germinação abaixo do dossel fechado, permanecendo suprimidas até uma clareira ser criada (BAZZAZ; PICKETT, 1980; BROKAW, 1985a).

A exploração florestal resulta na formação de clareiras de diferentes tamanhos, de acordo com o tamanho da árvore cortada, topografia, estrutura da floresta circunvizinha, método de exploração (ex. arraste das toras mecanizado ou tração animal) e intensidade de corte. As clareiras de exploração (originadas pela exploração das árvores) têm características muito variáveis. Estudos sobre a influência do tamanho da clareira na regeneração natural têm sido conduzidos em clareiras naturais (ex. BROKAW, 1989) e artificiais. As clareiras artificiais são usadas para obter um melhor controle do experimento considerando as características das clareiras abertas (ex. idade, tamanho, topografia e orientação) facilitando a análise dos resultados. Esta técnica também tem sido usada por diversos autores para estudar a sucessão vegetal na regeneração natural da floresta (BROWN; WHITMORE, 1992; KENNEDY; SWAINE, 1992; TOUMELA et al., 1996).

Os objetivos deste estudo foram: a) identificar mudanças no crescimento, ingresso, mortalidade, riqueza e diversidade das espécies produzidas pela abertura de clareiras artificiais de diferentes tamanhos no Estado do Acre; b) comparar o uso da definição de tamanho de clareira de Brokaw (1982) com medidas diretas realizadas por fotografia hemisférica; c) estudar qual o melhor tamanho de clareira para o estabelecimento da regeneração de espécies de dossel, com vistas à produção sustentável de madeira.

A densidade relativa de espécies pioneiras foi usada como parâmetro ambiental para demonstrar as diferenças entre a floresta natural, bordas das clareiras e diferentes tamanhos de clareiras. De acordo com Swaine e Whitmore (1988), existem dois grupos qualitativamente distintos de espécies: pioneiras e tolerantes. Subgrupos são aceitáveis, contanto que sejam considerados como segmentos arbitrários de um contínuo. Para este estudo três grupos foram considerados: espécie pioneira (Anexo I), tolerante e comercial (espécies que têm sido comercializadas no mercado de madeira em Rio Branco) (Anexo II).

2. Métodos

2.1. Descrição do Local

Os experimentos foram instalados em uma área de floresta densa, na estação experimental da Embrapa Acre (Centro de Pesquisa Agroflorestal do Estado do Acre), latitude 9° 58′ 22″ e longitude 67° 48′ 40″ W, no Estado do Acre, Amazônia Ocidental. Os solos são predominantemente Latossolos Distróficos, com alto índice de argila. O clima é Awi (Köppen) com precipitação anual de 1.800 mm, temperatura média de 25° e estação seca entre os meses de junho e setembro durante os quais o índice pluviométrico médio é normalmente abaixo de 100 mm por mês (BOLETIM..., 1996a; 1996b).

2.2. Criação das Clareiras e Estabelecimento dos Transectos

O estudo foi realizado em clareiras artificiais, e a floresta sem perturbação foi usada como controle do experimento. A regeneração natural foi estudada usando-se transectos de tamanho variável (de acordo com o tamanho da clareira) com subparcelas de 5 m x 5 m, instalados em floresta não perturbada e em clareiras. As clareiras artificiais foram criadas em 1997, durante a estação seca entre os meses de julho e agosto, removendo-se todas as árvores e plântulas acima de 1 m de altura para que as clareiras ficassem do tamanho adequado.

A definição de clareira de Brokaw (1982) foi usada para determinar o tamanho da clareira (projeção da borda da copa das árvores circunvizinhas até o solo). Embora tenha sido criticada (ex. por POPMA et al., 1988, que sugeriu a inclusão das áreas perturbadas das bordas da floresta como parte da clareira), essa definição vem sendo usada como padrão em estudos desta natureza (ex. OLIVEIRA; BRAZ, 1995). Clareiras artificiais foram criadas com áreas abertas de 100 m^2, 400 m^2, 800 m^2 e 1.200 m^2.

O experimento foi instalado em quatro linhas com oito clareiras em cada uma. No total foram 16 repetições de clareiras pequenas (100 m^2), 8 de clareiras médias (400 m^2) e 4 repetições para clareiras grandes (800 m^2) e muito grandes (1.200 m^2).

Os transectos foram compostos de acordo com o tamanho da clareira por quatro e até oito subparcelas de 5 x 5 m instalados ao longo das clareiras na direção leste–oeste, seguidos por mais duas subparcelas (5 x 5 m), entrando

no sub-bosque da floresta (Fig. 1). As duas últimas subparcelas localizadas além da borda da clareira foram classificadas como borda da floresta 1 e 2 e as subparcelas adjacentes às florestas como borda da clareira. Todas as outras subparcelas foram consideradas como centro da clareira, não obstante o tamanho de abertura. Quatro transectos adicionais formados por oito subparcelas contíguas de 5 x 5 m foram estabelecidos na floresta não perturbada, paralelos às linhas formadas pelos eixos centrais das clareiras, a uma distância de 50 m (Fig. 1).

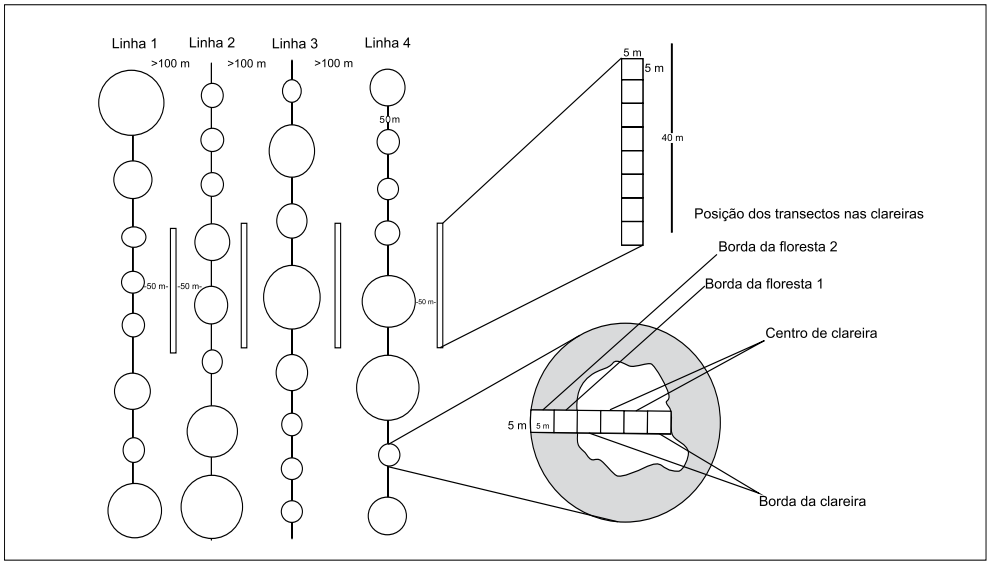


Fig. 1. Distribuição das clareiras, transectos e subparcelas nas clareiras artificiais e no sub-bosque da floresta natural.

O estudo envolveu medidas do crescimento das plântulas, ingresso, mortalidade, densidade, riquezas e diversidade das espécies. Todas as plântulas acima de 1 m de altura foram etiquetadas, identificadas e medidas (diâmetros tomados a 0,30 m de altura). Imediatamente após a abertura da clareira nenhuma plântula com mais de 1 m de altura sobreviveu.

As medidas nas parcelas iniciaram-se um ano após a abertura da clareira. Para analisar o crescimento no primeiro ano nas clareiras artificiais, considerou-se que as plantas cresceram do zero. Esta suposição foi possível tendo em vista que após a abertura das clareiras nenhuma plântula com mais de 1 m de altura foi encontrada.

A densidade relativa de espécies pioneiras foi usada como um parâmetro ambiental para demonstrar as diferenças entre floresta natural, bordas e tamanhos diferentes de clareiras.

2.3. Fotografia Hemisférica

As fotografias hemisféricas das clareiras, obtidas medindo a porcentagem de abertura do dossel (WHITMORE et al., 1993), foram tiradas no centro das clareiras, 1,3 m acima do solo em dias nublados no fim da estação seca (outubro de 1997).

As clareiras foram classificadas de acordo com suas porcentagens de abertura de dossel em sete classes (0,0%-9,9%, 10,0%-14,9%, 15,0%-19,9%, 20,0%-24,9%, 25,0%-29,9%, 30,0%-34,9% e > 35,0%).

Estes resultados foram obtidos com fotografias hemisféricas analisadas usando Winphot versão 4.0 (TER STEEGE, 1994). Antes da análise, as imagens foram tratadas pelo software Adobe Photoshop versão 4.01, usando o comando "Threshold" para converter a escala cinza das fotografias em imagens de alto contraste preto e branco.

O comando "Threshold" permitiu que um determinado nível da escala cinza fosse especificado como ponto inicial, de modo que todos os pixels mais claros do que este ponto inicial fossem convertidos ao branco, e todos os pixels mais escuros convertidos ao preto. O ponto inicial de 250 (em uma escala de 255) foi selecionado por experimentação e erro, e aplicado às fotografias hemisféricas, a fim de evitar problemas na interpretação das imagens (ex. confusão entre troncos cinzentos e o dossel aberto ou entre nuvens e as copas das árvores).

2.4. Manipulação de Dados e Análises

2.4.1.Taxa de Mortalidade

A taxa de mortalidade foi calculada como sugerido por Sheil et al. (1995), pela fórmula:

$$M = 1 - (N_1/N_0)^{1/T}$$

Onde:

N_0 e N_1 são contagens das populações no início e no fim do intervalo de medição *t.*

2.4.2. Taxa de Ingresso

Foram considerados ingressos todas as plântulas nas subparcelas que alcançaram o mínimo de 1 m de altura. A taxa de ingresso foi padronizada dividindo o número total de ingressos em um censo pelo número de plantas em um censo precedente, dividido pelo intervalo em anos entre os censos (CONDIT et al., 1995).

2.4.3. Taxa de Crescimento

A taxa de crescimento foi calculada pela fórmula:

$\Delta = (dbh_2 - dbh_1)/tempo$

Onde:

dbh_1 - diâmetro da árvore em um censo precedente
dbh_2 - diâmetro da árvore em um censo subseqüente
tempo - intervalo em anos entre os censos

2.4.4. Riqueza das Espécies e Diversidade

A riqueza das espécies foi definida como o número total de espécies nas subparcelas (KENT; COKER, 1992) e a diversidade calculada pelo índice α de Fisher (CONDIT et al., 1996; 1998) que é adequado a mudanças no tamanho da amostra e pode ser usado para extrapolar e predizer o número de espécies em amostras maiores (CONDIT et al., 1996; 1998). Diferenças no crescimento de plântulas foram estatisticamente testadas pela análise de variância.

2.4.5. Análise Estatística

As diferenças estatísticas de densidade relativa, taxa de mortalidade e taxa de ingresso foram testadas pelo teste do χ^2 (MANOKARAN; KOCHUMMEN, 1994).

Algumas clareiras pequenas foram completamente cobertas por apenas uma ou duas subparcelas. Nestes casos, estas subparcelas foram classificadas unicamente como centro da clareira. Por conseqüência, nestas clareiras não foi possível classificar nenhuma subparcela como borda da clareira. A análise estatística para as taxas de crescimento, mortalidade e ingresso foi feita em quatro estágios:

1) Dados de todas as quatro classes de tamanho da clareira foram analisados pela análise de variância usando um modelo que reflete o efeito de "nesting" (efeito de ninho) para os tratamentos de posição dentro das clareiras e usando apenas as três posições que podem ser identificadas em todas as clareiras (borda da floresta 1, borda da floresta 2 e clareira). Os fatores linha e tamanho foram considerados como principais e sua significância foi testada contra o erro principal da parcela, enquanto posição e posição em interação com tamanho da clareira foram testadas contra o erro restante da variância.

2) Para as três maiores classes de tamanho, foi possível identificar duas posições dentro da clareira (borda e centro da clareira). Crescimento, ingresso e mortalidade foram analisados por análise de variância usando um modelo que reflete o efeito de "nesting" para os tratamentos de posição dentro das clareiras. Os fatores linha e tamanho foram considerados como principais e sua significância foi testada contra o erro principal da parcela, enquanto posição e posição em interação com tamanho das clareiras foram testadas contra o erro restante da variância.

3) Dados das quatro classes de tamanho de clareira foram analisados por análise de variância usando um modelo que reflete o efeito de "nesting" para os tratamentos de posição dentro das clareiras, usando apenas as duas posições localizadas fora da clareira: borda da floresta 1 (subparcela na floresta em contato com a borda da clareira) e borda da floresta 2 (subparcela adjacente à anterior e sem contato com a clareira). Os fatores linha e tamanho foram considerados como principais e sua significância foi testada contra o erro principal da parcela, enquanto posição e posição por interação com tamanho foram testadas contra o erro restante da variância.

4) A análise de variância das classes de tamanho das clareiras, para crescimento, ingresso e mortalidade foi conduzida usando um modelo que considerou os fatores linha e tamanho e as diferenças estatísticas entre tamanhos de clareiras testadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O efeito das aberturas de dossel no crescimento, ingresso e mortalidade da população de mudas amostradas nas clareiras artificiais e no sub-bosque da floresta natural foi analisado por regressão. Como houve evidência de que os resíduos não possuíam distribuição normal, os dados foram normalizados usando a transformação pela raiz quadrada.

3. Resultados

3.1. Classificação do Tamanho da Clareira

Quando a classificação de tamanho da clareira foi comparada com a abertura de dossel medida por meio de fotografia hemisférica, observou-se que algumas clareiras grandes apareceram classificadas de forma equivocada, uma vez que apresentaram aberturas de dossel menores do que clareiras em classes de tamanho menores (Fig. 2). Este erro na classificação foi causado pelas características da estrutura da floresta ao redor das clareiras.

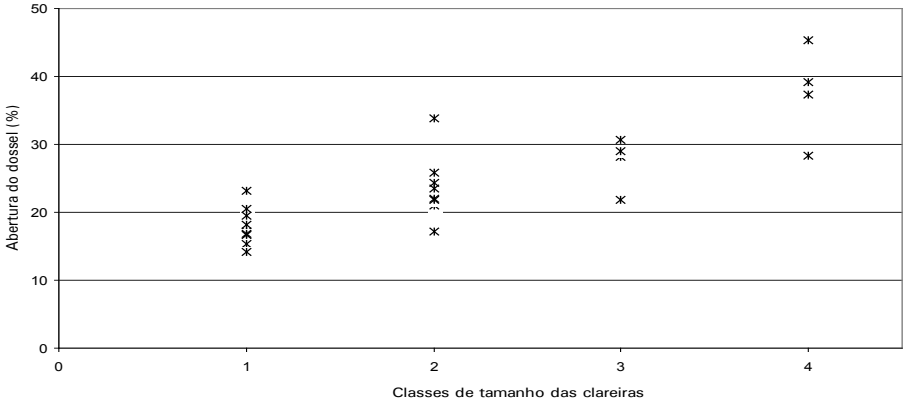


Fig. 2. Abertura do dossel de acordo com a distribuição das clareiras nas diferentes classes de tamanho: 1) pequena – 100 m^2; 2) média – 400 m^2; 3) grande – 800 m^2; 4) muito grande – 1.200 m^2.

3.2. Densidade das Plântulas

A densidade das plântulas nas clareiras, um ano após sua abertura, foi similar à do sub-bosque da floresta apenas nas grandes clareiras. Houve uma tendência para o aumento da densidade das clareiras pequenas para as maiores. A densidade também aumentou com a abertura do dossel, mas somente para clareiras com aberturas do dossel acima de 30%.

No segundo ano foi observada uma redução na densidade das plantas nas clareiras grandes e na maior classe de abertura do dossel. As clareiras pequenas tiveram um pequeno aumento enquanto as clareiras médias e as outras classes de abertura do dossel permaneceram com densidade de plantas semelhante ao primeiro ano (Tabela 1). Este efeito foi provocado pelo aumento do ingresso nas clareiras menores e pelas taxas de mortalidade mais elevadas nas clareiras maiores.

A densidade de plantas nas clareiras, dois anos após a abertura, ainda foi menor dentro das clareiras do que no sub-bosque da floresta, com uma tendência para aumentar das bordas para os centros das clareiras. Nas bordas da floresta não houve nenhuma diferença significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade média (número de plantas por hectare) e erro padrão nas clareiras artificiais (por classe de tamanho de clareira) e no sub-bosque da floresta natural no primeiro (1998) e segundo (1999) ano após a abertura das clareiras.

		Ano			
	Nº	1998	Erro padrão	1999	Erro padrão
Sub-bosque	4	9.675	619	10.150	449
Tamanho da clareira					
Pequena	16	5.829	491	7.375	632
Média	8	9.431	898	9.389	835
Grande	4	9.913	724	9.185	1.004
Muito grande	4	9.725	1.250	8.862	1.443
Posição na clareira					
Borda da floresta 2	32	10.875	624	10.887	624
Borda da floresta 1	32	9.762	693	10.350	688
Borda da clareira	21	8.421	509	8.643	576
Centro da clareira	32	8.397	604	8.719	699

3.3. Composição, Riqueza e Diversidade de Espécies

As dez espécies mais comuns nas clareiras artificiais e floresta natural representaram respectivamente 43% e 32% do total da população de plântulas nestes ambientes em 1999. Não houve diferenças maiores porque clareiras artificiais foram consideradas juntas sem distinção de tamanho, mas ainda assim apenas uma espécie de urtiga (*Solanum* sp.) representou 17% da população total desta comunidade. Como esperado a maioria das espécies nas clareiras artificiais foi de pioneiras e, em floresta natural, de espécies tolerantes (Tabela 2).

Tabela 2. Número de plantas e densidade relativa das espécies mais comuns nas clareiras e no sub-bosque da floresta natural.

Clareiras artificiais			Sub-bosque da floresta natural		
Espécies	**Nº de plantas**	**%**	**Espécies**	**Nº de plantas**	**%**
Solanum sp.*	402	17,2	*Psychotria* sp.	57	7,1
Cecropia spp.*	131	5,2	*Annona ambotay*	34	4,2
Urera sp.*	104	4,4	*Brosimum uleanum*	29	3,6
Aegiphila sp.*	92	3,9	*Tetragastris altissima*	23	2,9
*Sapium marmiere**	61	2,6	*Piper hispidinervium**	20	2,5
Justicia sp.*	55	2,4	*Neea* sp.	20	2,5
*Metrodorea flavia**	43	1,8	*Quararibea guianensis*	19	2,4
*Cassia lucens**	39	1,7	*Metrodorea flavia*	18	2,2
*Schizolobium amazonicum**	38	1,6	*Pithecellobium* sp.	18	2,2
*Piper hispidinervium**	36	1,5	*Galipea trifoliata*	16	2,0
Total das espécies mais comuns	1.001	42,7		256	31,9
Total	2.342			802	

*Espécies que fazem parte do grupo de espécies pioneiras considerado neste estudo.

Espécies como *Metrodores flavia* aparentemente têm a capacidade de se regenerar tanto em clareiras como no sub-bosque da floresta. No entanto, 31 espécies se regeneraram apenas nas clareiras, entre elas algumas de alto valor de mercado (ex. *Callycophyllum acreanum*, *Dipterix odorata* e *Hura creptans*) e quatro apenas no sub-bosque da floresta (ex. *Rheedia acuminata*). Rebrotos de espécies menos comuns na regeneração (ex. *Micropholis venulosa* e *Brosimum rubescens*) foram encontrados em clareiras. Eles cresceram a partir de árvores e plântulas cortadas durante a criação da clareira (Tabela 3).

O número de espécies variou de acordo com o tamanho da clareira. Subparcelas no sub-bosque da floresta, bordas e centros de pequenas e médias clareiras possuíram um número similar de espécies, gêneros e famílias. Nos centros das clareiras maiores foi observado um número menor de espécies um e dois anos após a abertura (Tabela 4).

Tabela 3. Ocorrência de espécies arbóreas com distribuição restrita às clareiras, bordas, sub-bosque da floresta natural, bordas e sub-bosque e bordas e clareiras.

Clareira	Bordas	Sub-bosque	Bordas e sub-bosque	Bordas e clareiras
Aegiphila sp.	*Ampelocera ruizii*	*Cordia goeldiana*	*Aspidosperma auriculatum*	*Abuta* sp.
Astronium leicotei	*Bactris gaviona*	*Escheweilera grandiflora*	*Ecclinusa* sp.	*Acalypha* sp.
Bauhinia sp.1	*Gallesia gorazema*	*Heisteria ovata*	*Guarea kunthiana*	*Ampelocera* sp.
Bauhinia sp.2	*Genoma* sp.	*Rheedia acuminata*	*Himatanthus sucuuba*	*Annona* sp.
Brosimum rubecens	*Gettarda* sp.		*Maytenus* sp.	*Apeiba timbourbou*
Callycophyllum acreanum	*Licaria* sp.		*Micropholis* sp.	*Apuleia leiocarpa*
Cecropia sp.1	*Oxandra* sp.		*Oenocarpus bacaba*	*Brosimum acutifolium*
Ceiba pentandra	*Palicourea guianensis*		*Theobroma* sp.	*Casearia silvestris*
Ceiba sumauma	*Socratea exorriza*		*Tetragastris altissima*	*Cassia lucens*
Coccoloba paniculata	*Tapura juruna*			*Castilla ulei*
Cordia alliodora	*Theobroma microcarpum*			*Cecropia leucoma*
Dipterix odorata				*Cecropia* sp.2
Drypetes sp.				*Chrysophyllum auratum*
Erythrina glauca				*Eschweileira odorata*
Hura creptans				*Guadua werbembaueri*
Jaracatea espinosa				*Heliocarpus* sp.
Maclura tinctoria				*Hirtella* sp.
Micropholis venulosa				*Inga velutina*
Miroxilum balsamum				*Iryanthera paradoxa*
Parinari sp.				*Jacaranda copaia*
Perebea mollis				*Micropholis guyanensis*
Pouroma sp.1				*Pausandra trianae*
Pseudobombax coriacea				*Pouroma* sp.2
Schefflera morototoni				*Pouteria* sp.
Sclerolobium sp.				*Solanum* sp.
Schizolobium amazonicum				*Spondias lutea*
Spondias mombin				*Theobroma sylvestris*
Spondias testudinis				*Theobroma ovoratum*
Trema micrantha				*Urera* sp.
Vernonia ferruginia				*Zanthoxylum*
Vismia sp.				

Tabela 4. Número total de plantas nas parcelas, densidade relativa de espécies pioneiras, riqueza de espécies e índice de diversidade α de Fisher nas clareiras artificiais (classificados de acordo com o tamanho da clareira, abertura do dossel e posição da subparcela na clareira).

	Número de plantas	Densidade relativa de pioneiras (%)*	Riqueza de espécies	α (Fisher)
1998				
Sub-bosque	802	4,1a	112	35,4
Posição na clareira				
Borda da floresta 1	870	3,3a	115	35,5
Borda da floresta 2	782	4,2a	109	34,4
Borda da clareira	1.236	38,9b	134	38,2
Centro da clareira	1.243	48,6c	132	37,3
Tamanho da clareira				
Pequena	553	30,2b	108	40,1
Média	680	46,4c	105	34,7
Grande	582	38,0d	89	29,3
Muito grande	669	45,1c	80	23,7
1999				
Sub-bosque	803	3,0a	114	36,3
Posição na clareira				
Borda da floresta 1	852	3,2a	113	34,9
Borda da floresta 2	802	5,8b	121	39,6
Borda da clareira	1.191	36,9c	140	41,2
Centro da clareira	1.277	45,4d	138	39,3
Tamanho da clareira				
Pequena	672	28,5a	127	46,3
Média	667	42,8b	114	39,5
Grande	534	36,8c	93	32,5
Muito grande	595	52,4d	87	28,1

*Porcentagens seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes (teste χ^2, $p < 0,05$).

No primeiro ano, a diversidade foi mais alta no sub-bosque da floresta (controle) do que nas clareiras. No segundo ano após a abertura, clareiras pequenas e médias e subparcelas estabelecidas na borda da floresta (borda da floresta 1) apresentaram índice de diversidade de Fisher maior do que aqueles obtidos no sub-bosque da floresta. Em geral, a diversidade na maioria das áreas perturbadas (clareiras e borda da floresta 1) aumentou enquanto nas áreas não perturbadas (sub-bosque e borda da floresta 2) permaneceu constante (Tabela 4).

A porcentagem de espécies pioneiras na comunidade de plântulas aumentou das bordas para o centro das clareiras. No entanto, não houve diferenças significativas entre as bordas da clareira e o sub-bosque da floresta (controle).

As diferenças entre as bordas da floresta e clareiras foram altamente significativas. Diferenças entre bordas das clareiras e centro das clareiras também foram significantes ($p < 0,05$) (Tabela 4).

A proporção de espécies pioneiras em clareiras variou em torno de 30% a mais de 50%, de acordo com o tamanho da clareira e das aberturas do dossel (Fig. 3 e 4).

A proporção de espécies pioneiras na comunidade das plântulas também aumentou quando a abertura do dossel aumentou de 5% até 25%. Acima deste valor permaneceu quase constante até aumentar novamente nas clareiras maiores com aberturas de dossel acima de 40% (Fig. 4). A correlação entre abertura do dossel e a porcentagem de espécies pioneiras foi significativa ($R^2 = 0,32$, GL = 35, $p < 0,001$ no primeiro ano e $R^2 = 0,29$, GL = 35, $p = 0,001$ no segundo ano após a exploração) (Fig. 3).

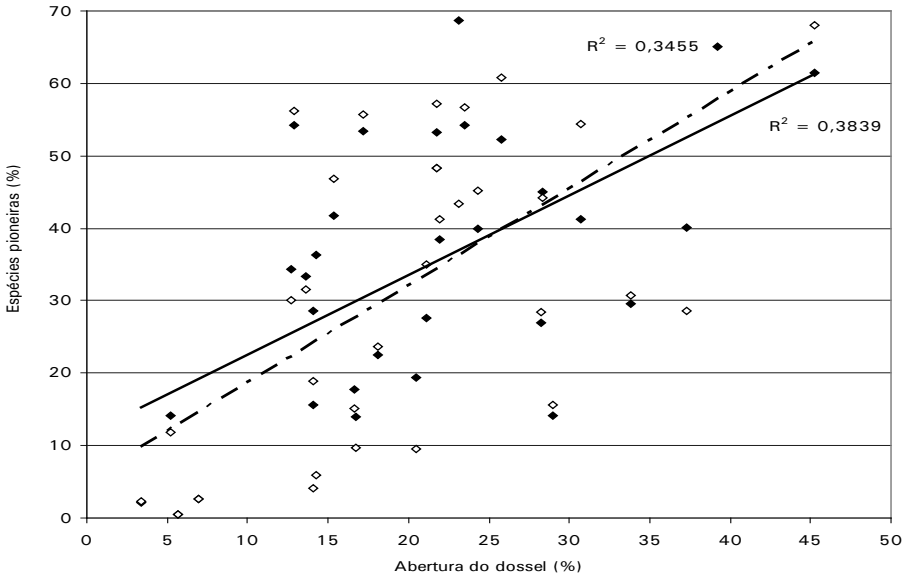


Fig. 3. Porcentagem média de espécies pioneiras na comunidade de plântulas, em relação à abertura do dossel, um ano (símbolos fechados) e dois anos (símbolos abertos) após a abertura das clareiras.

As linhas de regressão indicadas são as seguintes: $y = 12,4 + 0,25\ x$ ($R^2 = 0,32$, GL = 35, $p < 0,001$) um ano (linha interrompida) e $y = 11,6 + 0,271\ x$ ($R^2 = 0,29$, GL = 35, $p = 0,001$) dois anos (linha cheia) após a abertura das clareiras.

Conseqüentemente, as clareiras pequenas tiveram uma menor proporção de espécies pioneiras do que as de outros tamanhos. Era esperado que a proporção de espécies pioneiras aumentasse da menor clareira para a maior, no entanto, neste estudo, não houve nenhuma diferença significante entre os outros tamanhos de clareira (Fig. 4).

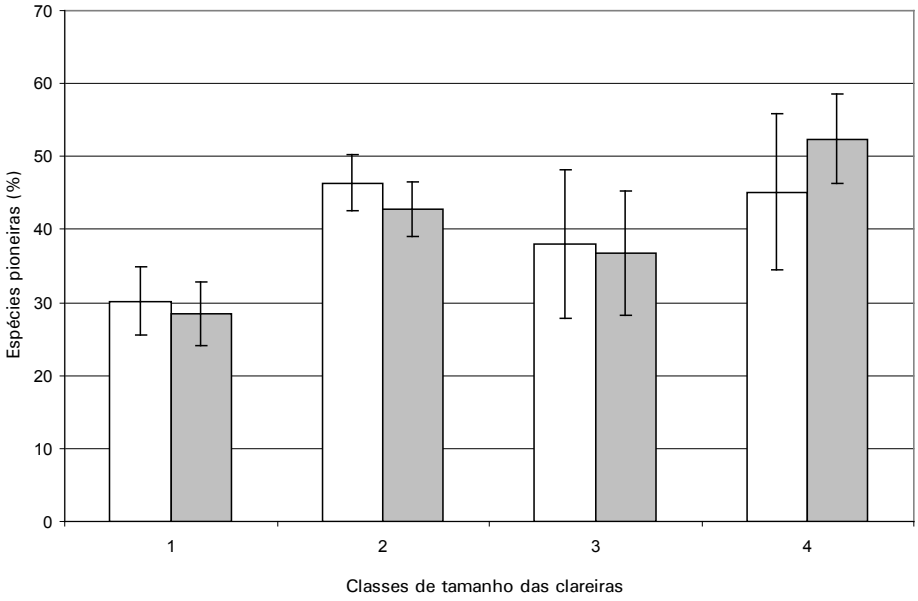


Fig. 4. Densidade relativa das espécies pioneiras de acordo com a classe de tamanho das clareiras: 1) pequena – 100 m^2; 2) média – 400 m^2; 3) grande – 800 m^2 ; e 4) muito grande – 1.200 m^2), um ano (colunas brancas) e dois anos (colunas cinza) após a abertura das clareiras.

3.4. Taxa de Crescimento de Plântulas

No primeiro ano, o crescimento de plântulas em clareiras foi alto e positivamente correlacionado com o tamanho da clareira, mas a taxa de crescimento diminuiu no segundo ano. Ambos, tamanho da clareira e aberturas do dossel, tiveram forte influência no crescimento das plântulas. O crescimento foi menor em clareiras pequenas, não houve diferenças entre clareiras médias e grandes, e clareiras muito grandes apresentaram crescimento significativamente maior (Tabelas 5 e 6, Fig. 5).

Tabela 5. Média e desvio-padrão para o incremento médio anual em diâmetro (cm · ano^{-1}) nas clareiras no primeiro e segundo ano após a abertura.

Tamanho da clareira	Nº	Incremento (cm · ano^{-1})*	Erro padrão	F	p
Pequena	16	1,04a	0,06		
Média	8	1,29ab	0,08		
Grande	4	1,24ab	0,12		
Muito grande	4	1,53b	0,12	5,62	< 0,004

*Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes (teste de Tukey, $p < 0,05$).

Os valores de F e p são derivados da análise de variância para testar os efeitos do tamanho da clareira isoladamente.

Tabela 6. Incremento médio anual e erro padrão (cm · ano^{-1}) das plântulas dois anos após a criação das clareiras e resultados da Anova para comparar os efeitos do tamanho da clareira e da posição na clareira.

	Posição na clareira	Nº	Incremento médio anual (cm · ano^{-1})	Erro padrão	Valor de F	Valor de p
a)	Borda da clareira 1	32	0,27	0,04		
	Borda da clareira 2	32	0,35	0,04	1,63	0,21
b)	Borda da clareira	21	1,26	0,04		
	Centro da clareira	21	1,35	0,04	1,97	0,18
c)	Borda da floresta 1	32	0,27	0,04		
	Borda da floresta 2	32	0,35	0,04		
	Clareira	32	1,27	0,04	161,00	< 0,001
	Sub-bosque	4	0,20	0,01		

Os valores F e p são derivados da análise de variância para testar: a) efeito das clareiras separadamente; b) efeito da posição borda da floresta "nested" no tamanho da clareira usando dados de todas as quatro classes de tamanho das clareiras; c) efeito das posições dentro das clareiras (borda x centro) "nested" no tamanho da clareira usando os dados das três maiores classes de tamanho; e d) efeito da posição das subparcelas considerando bordas da floresta 1, bordas da floresta 2 e todas as clareiras juntas "nested" no tamanho da clareira.

Do mesmo modo, aberturas do dossel nas classes 1 (testemunha de 0% a 10%), 2 (de 10% a 15%), 3 e 4 (de 15% a 25%), 5 e 6 (de 25% a 35%) e 7 (aberturas do dossel maior que 35%) apresentaram diferenças significantes na taxa de crescimento (Fig. 5 e Tabela 6). A regressão linear entre aberturas do dossel e taxa de crescimento de plântulas apresentou um alto R^2 = 0,61 (Fig. 5).

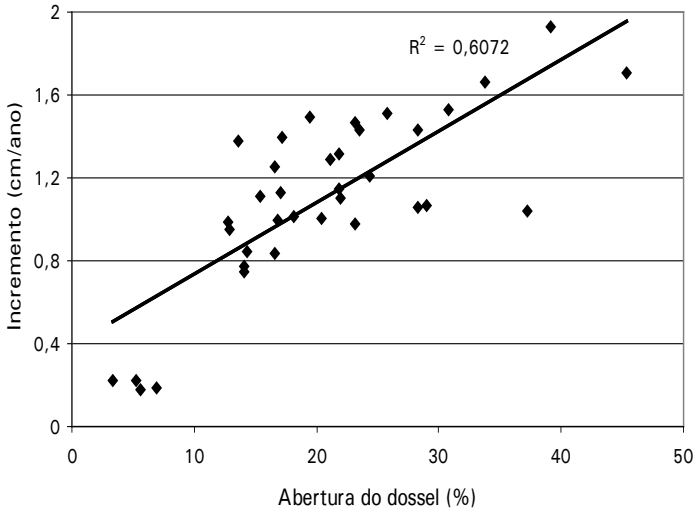


Fig. 5. Incremento médio em diâmetro em relação à abertura do dossel para as plântulas crescendo nas 32 clareiras artificiais e no sub-bosque da floresta natural nos dois primeiros anos após a abertura das clareiras.

A linha de regressão indicada tem a fórmula: y = 0,387 + 0,0347 x (R^2 = 0,61, GL = 35, p = 0,001).

O crescimento das plântulas foi semelhante no sub-bosque e nas bordas da floresta 1 e 2. Não houve diferenças significativas entre as taxas de crescimento das plântulas na borda e centro das clareiras, mas as plântulas nas clareiras cresceram significativamente mais rápido do que as das bordas da floresta 1 e 2 (Tabela 6).

3.5. Ingresso e Mortalidade de Plântulas

Considerando que não havia plantas acima de 1 m de altura nas clareiras após a abertura em 1997, a densidade de plântulas amostrada em 1998 pode ser considerada como ingresso para este período.

Não houve diferenças significativas no ingresso com relação ao tamanho das clareiras. No entanto, nas clareiras maiores (classe 4) o ingresso apresentou valores bastante menores do que os observados nas outras classes de tamanho de clareiras.

O ingresso foi menor no sub-bosque do que nas clareiras e semelhante às médias da borda da floresta 2. O ingresso na borda da floresta 1 foi significativamente maior do que na borda da floresta 2. As três maiores classes de tamanho apresentaram ingresso no centro das clareiras superior ao das bordas (Tabela 7). A correlação entre abertura de dossel e ingresso não foi significante (R^2 = 0,03, GL = 35, p > 0,29).

Tabela 7. Ingresso médio e erro padrão nas clareiras artificiais de acordo com o tamanho da clareira e posição da subparcela no segundo ano após a abertura das clareiras e no sub-bosque da floresta natural.

		Nº	Ingresso (plantas · ha^{-1})	Erro padrão	Valor de F	Valor de p
1)	Tamanho da clareira					
	Pequena	16	2.250	260		
	Média	8	1.261	367		
	Grande	4	1.133	520		
	Muito grande	4	979	520	1,03	> 0,05
2)	Posição na clareira					
a)	Borda da floresta 2	32	350	215		
	Borda da floresta 1	32	987	215	9,13	0,004
b)	Borda da clareira	21	1.129	235		
	Centro da clareira	21	1.833	235	4,48	0,049
c)	Borda da floresta 2	32	350	171		
	Borda da floresta 1	32	987	171		
	Clareira	32	1.406	171	9,79	< 0,001
	Sub-bosque	4	606	145		

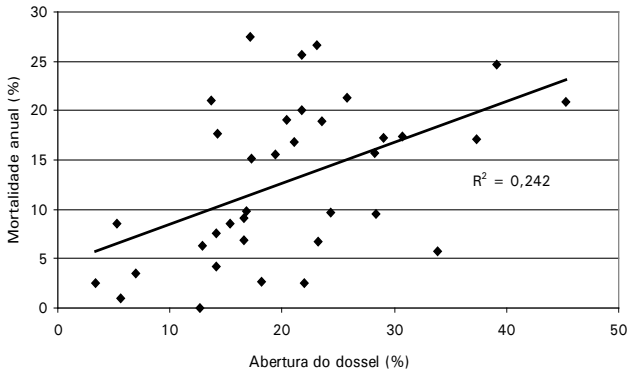
Os valores F e p são derivados da análise de variância para testar: 1) efeito das clareiras separadamente; 2a) efeito da posição borda da floresta "nested" no tamanho da clareira usando dados de todas as quatro classes de tamanho das clareiras; 2b) efeito das posições dentro das clareiras (borda x centro) "nested" no tamanho da clareira usando os dados das três maiores classes de tamanho; e 2c) efeito da posição das subparcelas considerando bordas da floresta 1, bordas da floresta 2 e todas as clareiras juntas "nested" no tamanho da clareira.

A mortalidade média anual das plântulas foi de 3,9% no sub-bosque da floresta natural, não apresentando diferença significativa entre os diferentes tamanhos de clareira estudados ou posições dentro ou ao redor das clareiras. No entanto, foi possível observar um aumento no valor da taxa de mortalidade das clareiras menores para as maiores. A mortalidade também foi significativamente mais alta nas clareiras do que nas bordas da floresta 1 e 2 (Tabela 8).

Tabela 8. Mortalidade média anual e erro padrão nas clareiras artificiais dois anos após a abertura das clareiras e no sub-bosque da floresta natural.

		Nº	Mortalidade (% ano^{-1})	Erro padrão	Valor de F	Valor de p
1)	Tamanho da clareira					
	Pequena	16	11,82	0,02		
	Média	8	13,80	0,03		
	Grande	4	18,99	0,04		
	Muito grande	4	18,04	0,04	1,33	0,287
2)	Posição na clareira					
a)	Borda da floresta 2	32	2,65	2,19		
	Borda da floresta 1	32	4,50	2,19	0,36	0,554
b)	Borda da clareira	21	17,75	2,44		
	Centro da clareira	21	16,03	2,44	0,19	0,667
c)	Borda da floresta 2	32	4,49	2,06		
	Borda da floresta 1	32	2,65	2,06		
	Clareira	32	13,06	2,06	4,22	< 0,05
	Sub-bosque	4	3,91	2,87		

Os valores F e p são derivados da análise de variância para testar: 1) efeito das clareiras separadamente; 2a) efeito da posição borda da floresta "nested" no tamanho da clareira usando dados de todas as quatro classes de tamanho das clareiras; 2b) efeito das posições dentro das clareiras (borda x centro) "nested" no tamanho da clareira usando os dados das três maiores classes de tamanho; e 2c) efeito da posição das subparcelas considerando bordas da floresta 1, bordas da floresta 2 e todas as clareiras juntas "nested" no tamanho da clareira.



A abertura do dossel apresentou uma correlação relativamente alta (R^2 = 0,24, DF = 35, p < 0,002) com uma clara tendência a aumentar com o aumento da abertura do dossel (Fig. 6).

A linha de regressão tem a fórmula y = 4,33 + 0,416 x (R^2 = 0,24, GL = 35, p < 0,02).

Fig. 6. Taxa de mortalidade das plântulas de acordo com a abertura do dossel nas 32 clareiras artificiais e no sub-bosque da floresta natural nos dois primeiros anos após a abertura das clareiras.

3.6. Regeneração de Espécies Comerciais

O número total de plântulas de espécies comerciais foi muito baixo para conduzir a análise estatística, e a densidade relativa apresentou uma tendência a diminuir das clareiras menores para as maiores (Tabela 9).

O ingresso de espécie comercial foi muito variável entre o tamanho da clareira e não mostrou nenhuma tendência consistente a aumentar ou diminuir, com picos nas clareiras pequenas e muito grandes e valores semelhantes nas outras classes de tamanho de clareira (Tabela 9).

Tabela 9. Médias e erro padrão para densidade de plântulas (ha^{-1}), ingresso (ha^{-1}), crescimento (cm · ano^{-1}) e mortalidade (% · ano^{-1}), das espécies comerciais nas clareiras artificiais e no sub-bosque da floresta natural.

Densidade	Nº	Número de plantas (ha^{-1})	Erro padrão
Clareiras pequenas	16	892	221
Médias	8	728	141
Grandes	4	562	72
Muito grandes	4	646	294
Sub-bosque	4	1.137	275
Ingresso		Número de plantas (ha^{-1})	Erro padrão
Clareiras pequenas	16	471	215
Médias	8	71	38
Grandes	4	98	35
Muito grandes	4	200	82
Sub-bosque	4	150	54
Crescimento		Incremento médio em diâmetro (cm · ano^{-1})	Erro padrão
Clareiras pequenas	16	0,87	0,08
Médias	8	1,00	0,09
Grandes	4	1,08	0,13
Muito grandes	4	0,99	0,17
Sub-bosque	4	0,38	0,09
Mortalidade		Mortalidade média anual (%)	Erro padrão
Clareiras pequenas	16	2,08	2,01
Médias	8	7,71	3,84
Grandes	4	3,55	3,55
Muito grandes	4	13,00	9,43
Sub-bosque	4	3,08	1,08

O crescimento das espécies comerciais variou de modo similar ao tamanho da clareira, quando foi feita a análise com todas as espécies de plantas conjuntamente. A taxa de crescimento destas espécies foi maior (0,38 cm · ano^{-1}) no sub-bosque da floresta do que a média obtida para toda a população de plantas (0,24 cm · ano^{-1}) (Tabela 9). Provavelmente isto ocorreu porque a maioria das espécies comerciais é pioneira (sensu SWAINE; WHITMORE, 1988), enquanto no sub-bosque a maior parte da população (97%) é composta por espécies tolerantes (Tabela 4).

A mortalidade foi bem maior em clareiras muito grandes (13,0%) do que nas clareiras menores (2,1%), sugerindo que a mortalidade não afetou as espécies comerciais diferentemente das outras espécies (Tabela 9).

4. Discussão

A presença de *Piper hispidinervum* entre as espécies mais comuns na floresta natural é uma evidente influência de clareira natural na regeneração do sub-bosque da floresta.

A ocorrência de algumas espécies exclusivamente nas bordas das clareiras amostradas parece ser mais um acidente do que uma necessidade específica deste ambiente para a regeneração destas espécies. Algumas espécies pioneiras ocorreram apenas nas clareiras (ex. *Trema* sp., *Schefflera* sp., *Jaracatea* sp. e *Ceiba* sp.), assim como espécies (também pioneiras) comuns às áreas inundadas (*Callycophyllum* sp., *Erythrina* sp. e *Hura* sp.). As espécies *Ceiba* spp. na Amazônia Central e Oriental só são comuns nas várzeas (florestas inundadas) e aparentemente apenas nos estados do Acre e Rondônia são encontradas em terra firme (observação pessoal). Algumas espécies tolerantes à sombra, como *Micropholis venulosa* e *Brosimum rubecens*, foram encontradas somente em áreas de clareiras. Uma possível explicação para a presença destas espécies nesse ambiente são os rebrotos produzidos pelo corte de árvores e plântulas, o que também contribuiu para a elevada riqueza de espécies das clareiras.

A baixa diferença relativa entre riqueza e diversidade de espécies (índice α de Fisher) entre pequenas e médias clareiras e a floresta natural um ano após a abertura suporta a suposição de Hawthorne (1993) de que há pouca evidência para afirmar que a exploração florestal, quando bem conduzida, produza danos significativos à diversidade de espécies como um todo ou cause prejuízo à extração de produtos não-madeireiros.

O aumento observado no índice α de Fisher em todos os tamanhos de clareiras e classes de abertura de dossel, no segundo ano após a abertura das clareiras, considerando que este índice permaneceu praticamente estável no sub-bosque da floresta, sugere que há uma tendência de que a diversidade continuará a aumentar nas clareiras. Há também uma clara indicação de que essa diversidade se recupera mais lentamente em clareiras maiores que 1.000 m^2 ou em aberturas do dossel maiores que 25%. Clareiras deste tamanho são raras mesmo quando a extração das toras é mecanizada (ex. OLIVEIRA; BRAZ, 1995). Ainda assim, a tendência parece ser de que a composição e a riqueza das espécies em clareiras grandes, mesmo que de forma mais lenta, aumentarão com a continuidade do processo de sucessão vegetal (ex. RAJESH et al., 1996), tornando-se maior do que na floresta natural.

O aumento significativo da densidade relativa de espécies pioneiras com o aumento do tamanho da clareira e aberturas do dossel, nos dois primeiros anos da abertura das clareiras, suporta a afirmação de Barton (1984) de que a densidade de espécies pioneiras é maior em clareiras grandes. No estudo de Barton (1984), as espécies tolerantes à sombra mostraram uma pequena diferença na densidade relativa entre tamanhos de clareiras, e nenhuma evidência

pôde ser encontrada para a hipótese de que espécies pioneiras regeneram mais efetivamente (sic) no centro e espécies tolerantes à sombra nas bordas da clareira. No entanto, o resultado desse estudo com clareiras artificiais sugere que há uma diferença significante na densidade relativa de espécies pioneiras da borda para o centro das clareiras. Este resultado indica a possibilidade de que espécies pioneiras tenham maior sucesso de estabelecimento na regeneração natural no centro das clareiras, especialmente em grandes clareiras onde a diferenciação destes ambientes (borda e centro) em número de horas de luz, temperatura e disponibilidade de água é mais evidente.

A elevada proporção de espécies pioneiras em clareiras grandes pode também ser um efeito da sazonalidade descrito por Brokaw (1982), uma vez que as clareiras artificiais foram abertas no meio da estação seca, período que coincide com a dispersão das sementes da maioria das espécies pioneiras. Embora as sementes não germinem durante a estação seca (junho–outubro) (GARWOOD, 1983), a chuva de semente nas clareiras pode favorecer posteriormente a germinação e estabelecimento das espécies pioneiras.

A menor densidade de plântulas em clareiras comparada com sub-bosque da floresta dois anos após a criação da clareira pode ser interpretada como resultado da alta taxa de mortalidade de plântulas no segundo ano, especialmente em clareiras grandes (Tabela 9).

Somente as pequenas clareiras (considerando classe de tamanho 1 e aberturas do dossel < 25%) continuaram a mostrar um alto ingresso de plântulas no segundo ano. O ano de 1998 foi marcado pelo evento "El Ninõ", que promoveu uma longa estação seca no Acre e, provavelmente, resultou em um microclima (temperatura, umidade e variação da disponibilidade de água) desfavorável à sobrevivência das plântulas.

Desta forma, o centro das clareiras pequenas pode ter um ambiente similar à borda das clareiras grandes. Embora neste estudo nenhuma diferença significativa tenha sido encontrada na taxa de mortalidade entre o centro e a borda das clareiras, a maior mortalidade em grandes clareiras pode ser um efeito indireto do gradiente do microclima dentro das clareiras.

Apesar das espécies de Gramineae não terem sido amostradas neste estudo, a colonização por um tipo de Gramineae não identificada (nome vernacular Taquari), que não foi observada nas pequenas clareiras, provavelmente afetou a densidade e ingresso de plântulas em grandes clareiras.

Taxas de crescimento também foram muito afetadas pelo tamanho e aberturas do dossel. Após dois anos a taxa de crescimento diferiu significativamente entre quatro classes de abertura do dossel das seis consideradas no estudo das clareiras. Em clareiras grandes (classes de tamanho 3 e 4 e aberturas de dossel acima de 35%), provavelmente o número de horas de luz por dia foi maior e composto de maiores proporções de comprimentos de onda fotossinteticamente ativos (PAR – photosynthetically active radiation) do que nas pequenas clareiras ou no sub-bosque da floresta, favorecendo o crescimento de plantas e a germinação de sementes fotoblásticas (DENSLOW et al., 1990).

A posição das plântulas nas clareiras não resultou em uma diferença significativa na taxa de crescimento. No entanto, clareiras são reconhecidas

como ambientes não uniformes para o crescimento das plântulas, assim, embora PAR recebida decline com o aumento da distância do centro da clareira ainda permanece acima das condições normais do sub-bosque da floresta, muitos metros além da borda da clareira, dentro da floresta circunvizinha (BRONW, 1996), favorecendo o crescimento das plântulas nesta região.

Taxas de crescimento foram maiores no centro do que na borda das clareiras, mas não foram significativamente diferentes. Em clareiras grandes e muito grandes essa diferença foi ainda maior e caso fosse analisada de forma separada poderia ser estatisticamente significativa. No entanto, isto não pode ser verificado quando todas as clareiras foram analisadas juntas (sem distinção de tamanho ou abertura do dossel), indicando que um tamanho mínimo de clareira é necessário para que este efeito seja percebido.

Embora a regeneração das espécies comerciais tenha apresentado uma grande variação na densidade e ingresso nos diferentes tamanhos das clareiras estudadas, esta variação não foi estatisticamente significativa. A criação das clareiras afetou significativamente a taxa de crescimento das plântulas destas espécies, mas o tamanho da clareira não produziu variação no crescimento destas espécies. No entanto, algumas espécies pioneiras comerciais, como a *Cedrela odorata*, provavelmente poderão ser beneficiadas pela abertura de clareiras de tamanhos diferentes e isto foi mascarado pelo efeito do grupo.

5. Conclusões

1) Clareiras pequenas e médias (até 800 m^2), ou clareiras com menos de 25% de abertura do dossel resultaram em melhores perspectivas para regeneração do ponto de vista do manejo florestal, com uma proporção menor de espécies pioneiras, maior diversidade e menor mortalidade, apesar das taxas de crescimento médio anual das plântulas nos dois primeiros anos terem sido significativamente menores do que nas grandes clareiras.

2) Tamanho de clareira e aberturas do dossel afetaram o crescimento, ingresso, mortalidade e composição da regeneração.

3) A classificação prévia de clareiras por tamanho concordou amplamente com medidas subseqüentes em aberturas do dossel, mas a categoria de tamanho às vezes subestima as aberturas do dossel, devido à influência da estrutura da floresta circunvizinha às clareiras. A proximidade de clareiras naturais pode potencializar o efeito da abertura do dossel de pequenas ou médias clareiras, fazendo suas aberturas apresentarem resultados similares aos de clareiras grandes. Esse fator limita o uso da definição de Brokaw (1982) com base unicamente na projeção das copas das árvores, e os resultados fornecidos pelas medidas das aberturas do dossel possuem maior precisão.

4) Apesar da impossibilidade da realização da análise estatística, aparentemente a regeneração das espécies comerciais não foi afetada pela abertura do dossel em nenhum outro modo, senão no aumento da taxa de crescimento.

5) A diferença não significativa em crescimento das espécies comerciais, nos diferentes tamanhos de clareiras, pode ter sido causada pelo fato de que

este grupo é composto por espécies com diferentes características ecológicas, e o crescimento mais lento das espécies tolerantes mascara o crescimento mais rápido das pioneiras.

6. Referências

ARRIAGA, L. Gap dynamics of a tropical cloud forest in Northeaster Mexico. **Biotropica**, v. 20, 178-184, 1988.

BARTON, A. M. Neotropical pioneer and shade tolerant tree species: do they partition treefall gaps? **Tropical Ecology**, v. 25, p. 196-202, 1984.

BARTON, A. M.; FETCHER, N.; REDHEAD, S. The relationship between treefall gap size and light flux in a Neotropical rain forest in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, p. 437-439, 1989.

BAZZAZ, F. A.; PICKETT, S. T. A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. **Annual Review Ecology Systems**, v. 11, p. 287-310, 1980.

Boletim Agrometereológico 1990-1994. Rio Branco, AC, n. 5, 1996a. Não paginado.

Boletim Agrometereológico 1995. Rio Branco, AC, n. 6, 1996b. Não paginado.

BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E. Development of vegetation after clear cutting: species strategy and plant community dynamics. In: BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E. **Pattern and process in a forested ecosystem:** disturbance, development and the steady state based on the hubbard brook ecosystem study. New York: Springer-Verlag, 1979. 253 p. il. chap. 4, p. 101-137, 1979.

BROKAW, N. V. L. The definition of treefall gap and Its effect on measures of forest dynamics. **Biotropica**, v. 14, p. 158-160, 1982.

BROKAW, N. V. L. Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, v. 66, p. 682-687, 1985a.

BROKAW, N. V. L. Treefalls, regrowth, and community structure in tropical forest. In: PICKET, S. T. A.; WHITE, P. S. **The ecology of natural disturbance and path dynamics**. New York: Academic Press, 1985b.

BROKAW, N. V. L. 1989. Species composition in gaps and structure of a tropical forest. **Ecology**, v. 70, n. 3, p. 538-541, 1989.

BROWN, N.; WHITMORE, T. C. Do dipterocarp seedlings really partition tropical rain forest gaps. **Philosophical Transactions the Royal Society B**, n. 335, p. 369-378, 1992.

BROWN, N. A gradient of seedling growth from the centre of tropical rain forest canopy gap. **Forest Ecology and Management,** v. 82, n. 1/3, p. 239-244, 1996.

BROWN, N. The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 153-168, 1993.

BURSLEM, D. F. R. P.; ALDER, D.; WHITMORE, T. C. **COSSI:** a cohort simulation model of forest growth and yield in the Salomon Islands. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1996. 64 p. (Occasional papers, 50).

CHANDRASHEKARA, U. M.; RAMAKRISHNAN, P. S. Successional patterns and gap phase dynamics of a humid tropical forest of the Western Ghats of Kerala, India: ground vegetation, biomass, productivity and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 70, n. 1/3, p. 23-40, 1994.

CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Demography and harvest potential of Latin American timber species: data from a large permanent plot in Panama. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 7, n. 4, p. 599-622, 1995.

CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; LAFRANKIE, J. V.; SUKUMAR, R.; MANOKARAN, N.; FOSTER, R. B. F.; ASHTON, P. S. Specie-area and species-individual relationships for tropical trees: a comparison of three 50-ha plots. **Journal of Ecology**, 84:549-562, 1996.

CONDIT, R.; FOSTER, R. B.; HUBBELL, S. P.; SUKUMAR, R.; LEIGH, E. G.; MANOKARAN, N.; LAO, S. L.; La FRANKIE, J. V.; ASHTON, P. S. Assessing forest diversity on small plots: calibration using species-individual curves from 50-ha plots. In: DALLMEIER, F.; COMISKEY, J. A. (Ed). **Forest biodiversity research, monitoring and modelling:** conceptual back ground and old World Case Studies. Agroforest Systems, v. 41, n. 3, 1998.

DENSLOW, J. S.; SCHULTZ, J. C.; STRAIN, B. R. Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. **Ecology,** 71:165-179, 1990.

DENSLOW, J. S.; ELLISON, A. M.; SANFORD, R. Treefall gap size effects on above and below -ground process in a tropical wet forest. **Journal of Ecology,** v. 86, p. 597-609, 1998.

GARWOOD, N. C. Seed germination in a seasonal tropical forest in Panama: a community study. **Ecological Monographs**, v. 53, n. 2, p. 159-181, 1983.

GRUBB, P. J. The maintenance of species richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. **Biology Review,** v. 52, p.107-145, 1977.

HARTSHORN, G. S. Tree falls and tropical forest dynamics. In: TOMLINSON, P. B.; ZIMMERMAN, M. H. (Ed.) **Tropical trees as living systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1978. p. 617-637, Chap. 26.

HAWTHORNE, W. D. Forest regeneration after logging. In: FINDINGS of a study in the Bia South Game Production Reserve Ghana. 1993. (ODA Forestry Series, n. 3) 52 p.

KENNEDY D. N. and SWAINE M. D. Germination and growth of colonising species in artificial gaps of different sizes in dipterocarp forest. **Philosophical Transactions the Royal Society B**, n. 335, p. 357-366, 1992.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis: a practical approach**. England: J. Wiley and Sons, 1992. 363 p.

KOBE, R. K.; PACALA, S. W.; SILANDER JUNIOR, J. A. Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. **Ecological Applications**, v. 5, p. 2, p. 517-532, 1995.

KYEREH, B.; SWAINE, M. D.; THOMPSON, J. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana. **Journal of Ecology,** v. 87, p. 772-783, 1999.

MANOKARAN, N.; KOCHUMMEN, K. M. Recruitment, growth and mortality of three species in a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 3, p. 315-330, 1987.

OLIVEIRA, M. V. N. d'; BRAZ, E. M. Reduction of damage to tropical moist forest through planned harvesting. **Commonwealth Forestry Review,** v. 74, n. 3, p. 208-210, 1995.

POPMA J.; BONGERS, F.; MARTINEZ-RAMOS, M.; VENEKLAAS, E. Pioneer species distribution in tree-fall gaps in Neotropical rain forest; a gap definition and its consequences. **Journal of Tropical Ecology,** v. 4, p. 77-88, 1988.

RAJESH, N.; KUMAR, B. M.; VIJAYAKUMAR, N. K. Regeneration characteristics of selection felled forest gaps of different ages in the ever green forests of Sholayar, Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 8, n. 3, p. 355-368, 1996.

RICHARDS, P. W. **The Tropical Rain Forest**. Cambridge: Cambridge University Press, 1952. 450 p.

SHEIL, D.; BURSLEM, D. F. R. P.; ALDER, D. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. **Journal of ecology**, v. 83, p. 331-333, 1995.

SWAINE, M. D. and WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in Tropical rain forests. **Vegetatio,** v. 75, p. 81-86, 1996.

SWAINE, M. D.; AGYEMAN, V. K.; KYEREH, B.; THOMPSON, J.; VEENENDAAL, E. M. 1997. **Ecology of tree species in Ghana.** 76 p. (ODA Forestry Series. n. 7).

TER STEEGE, H. **Hemiphot**: a programme to analyse vegetation indices, light and light quality from hemispherical photographs. The Netherlands: Tropenbos Wageningen, 1994. (Tropenbos. Documents No. 3).

TUOMELA, K.; KUUSIPALO, J.; VESA, LAURI, NURYANTO, K., SAGALA, A. P. S. and ADJERS, G. 1996. Growth of dipterocarp seedlings in artificial gaps: an experiment in a logged-over rainforest in south Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 81, n. 1/3, p. 95-100, 1996.

UHL, C.; CLARK, C.; DEZZEO, N.; MAQUIRINO, P. Vegetation Dynamics in Amazonian Treefall Gaps. **Ecology**, v. 69, p. 751-763, 1988.

WELDEN, C. W.; HEWETT, S. H.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. 1991. Sapling survival, growth, and recruitment: relationship to canopy height in a Neotropical forest. **Ecology,** v. 72, p. 35-50, 1991.

WHITMORE, T. C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology,** v. 70, p. 536-538, 1989.

WHITMORE, T. C.; BROWN, N. D.; SWAINE, M. D.; KENNEDY D.; GOODWIN-BAILEY; GONG, W. K. Use of hemispherical photographs in forest ecology: measurement of gap size and radiation totals in a Bornean tropical rain forest. Journal of Tropical **Ecology,** v. 9, p. 131-151, 1993.

Anexo I. Lista das espécies pioneiras.

Nome científico	Família	Nome comum
Acacia pollyphylla A. DC.	Mimosaceae	Espinheiro-vermelho
Acalypha sp.	Euphorbiaceae	Maria-preta
Acalypha sp.	Euphorbiaceae	Pirarucu
Apeiba echinata Gaertn.	Tiliaceae	Envira-pente-de-macaco
Apeiba timbourbou Aubl.	Tiliaceae	Malva-pente-de-macaco
Calycophillum spruceanum Benth.	Rubiaceae	Mulateiro
Cavanilezia sp.	Bombacaceae	Butijão
Cecropia spp.	Cecropiaceae	Embaúba
Cedrela odorata L.	Meliaceae	Cedro-vermelho
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.	Bombacaceae	Sumaúma-branca
Ceiba samauma	Bombacaceae	Sumaúma-preta
Chorizia speciosa St. Hill.	Bombacaceae	Sumaúma-barriguda
Cordia alliodora (R.F.) Chaw	Boraginaceae	Freijó
Cordia goeldiana Hub.	Boraginaceae	Freijó-preto
Cordia sp.	Boraginaceae	Freijó-branco
Erythrina glauca Willd.	Fabaceae	Mulungu
Goupia glabra Aubl.	Celastraceae	Capoeiro
Heliocarpus sp.	Tiliaceae	Malva-branca
Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don.	Bignoniaceae	Marupá
Jaracatia espinosa Aubl.	Caricacea	Jaracatia
Maclura tinctoria (L.) D. Don. ex. Steud.	Moraceae	Tatajuba
Ochroma pyramidalis Urb.	Bombacaceae	Pau-balsa
Pachira sp.	Bombacaceae	Paineira
Piptadenia suaveolens Miq.	Mimosaceae	Angico-amarelo
Pourouma aspera Trécul.	Cecropiaceae	Torém-lixa
Sapium marmiere Hub.	Euphorbiaceae	Burra-leiteira-folha-grande
Sapium glandulatum Pax.	Euphorbiaceae	Burra-leiteira-folha-miúda
Schyzollubium amazonicum Hub.	Caesalpiniaceae	Canafístula
Solanum sp.	Solanaceae	Jurubeba
Tabebuia impetiginosa (Mart.) Tol.	Bignoniaceae	Pau-d'arco-roxo
Tabebuia serratifolia (Vahl.) Nichols.	Bignoniaceae	Pau-d'arco-amarelo
Trema micrantha (L.) Blume	Ulmaceae	Piriquiteira
Urera sp.	Urticaceae	Urtiga-branca
Zanthoxylum rhoifolium Lam.	Rutaceae	Limãozinho (amarelo)

Anexo II. Lista das espécies consideradas comerciais neste trabalho.

Nome científico	Família	Nome comum
Aniba canelila (H.B.K.) Mez.	Lauraceae	Casca-preciosa
Apuleia molaris Spruce ex. Benth.	Caesalpiniaceae	Cumaru-cetim
Aspidosperma vargasii A. DC.	Sapotaceae	Amarelão
Aspidosperma sp.	Sapotaceae	Amarelinho-pereiro
Aspidosperma macrocarpa Mart.	Sapotaceae	Pereiro
Astronium leicotei Ducke	Anacardiaceae	Aroeira/Maracatiara
Buchenavia sp.	Combretaceae	Imbirindiba-roxa
Calycophyllum spruceanum Benth.	Rubiaceae	Mulateiro
Carapa guianensis Aubl.	Meliaceae	Andiroba
Caryocar glabrum (Aubl.) Pers.	Cariocaraceae	Piquiarana
Cariniana sp.	Lecythidaceae	Jequitibá
Cedrela odorata L.	Meliaceae	Cedro/Cedro-vermelho
Copaifera multijuga Hayne	Caesalpiniaceae	Copaíba
Cordia alliodora (R.F.) Chaw	Boraginaceae	Freijó
Cordia goeldiana Hub.	Boraginaceae	Freijó-preto
Cordia sp.	Boraginaceae	Freijó-branco
Couratari macrosperma A.S. Smith	Lecythidaceae	Tauari/Toari-vermelho
Diplotropis purpurea (Rich.) Amsh.	Fabaceae	Sucupira-preta
Dipteryx odorata (Aubl.) Willd	Fabaceae	Cumaru-ferro
Enterolobium schomburskii Benth.	Mimosaceae	Orelha-de-macaco
Goupia glabra Aubl.	Celastraceae	Capoeiro
Guarea purusiana C. DC.	Meliaceae	Jitó-terra-firme
Guarea kunthiana A. Juss.	Meliaceae	Jitó-preto
Guarea pterorachis Harms	Meliaceae	Jitó-vermelho
Heisteria ovata Benth.	Olacaceae	Itaubarana
Hymenaea courbaril L.	Caesalpiniaceae	Jatobá
Hymenaea oblongifolia Hub.	Caesalpiniaceae	Jutaí
Hymenolobium excelsum Ducke	Fabaceae	Angelim-da-mata
Hymenolobium sp.	Fabaceae	Angelim-amarelo
Hymenolobium sp.	Fabaceae	Angelim-rajado

Continua...

Anexo II. Continuação.

Nome científico	Família	Nome comum
Macrolobium acaceifolium Benth.	Caesalpiniaceae	Arapari
Manilkara surinamensis (Miq.) Dub.	Sapotaceae	Maçaranduba
Mezilaurus itauba (Meissn.) Taub.	Lauraceae	Itaúba
Myroxylon balsamum Harms	Fabaceae	Bálsamo
Parkia pendula Benth. ex. Walp.	Mimosaceae	Angelim-pedra
Peltogyne sp.	Caesalpinaceae	Roxinho
Protium apiculatum Swartz	Burseraceae	Breu-vermelho
Qualea grandiflora Mart.	Volchisyaceae	Catuaba-roxa
Qualea tesmannii Milldbr.	Vochysiaceae	Catuaba
Swietenia macrophylla King.	Meliaceae	Aguano
Tabebuia impetiginosa (Mart.) Tol.	Bignoniaceae	Pau-d'arco-roxo
Tabebuia serratifolia (Vahl.) Nichols.	Bignoniaceae	Pau-d'arco-amarelo
Terminalia sp.	Combretaceae	Imbirindiba-amarela
Torresea acreana Ducke	Caesalpinaceae	Cerejeira
Vatairea sericea Ducke	Fabaceae	Sucupira-amarela
Vatairea sp.	Fabaceae	Angelim-amargoso

CAPÍTULO 4

Análise da Rentabilidade Financeira e Avaliação dos Impactos Ambientais e Sociais para o Manejo Florestal Madeireiro em Áreas de Reserva Legal de Pequenas Propriedades, no Acre

Claudenor Pinho de Sá
Francisco de Assis Correa Silva
Tony John de Oliveira
Clodeildes Lima Nunes

1. Introdução

O Brasil é um País florestal, com aproximadamente 60% do seu território coberto por floresta, contudo, as florestas têm sido ameaçadas pelo uso madeireiro predatório, por incêndios e pela expansão agropecuária. A Amazônia, a maior de todas as florestas tropicais, já perdeu quase 600 mil km^2 de sua cobertura original, o equivalente ao território da Região Sul do Brasil (SOBRAL et al., 2002).

Essa acelerada remoção da cobertura florestal tem sua origem em diversos fatores, dentre os quais se destacam as implantações de projetos de colonização, projetos agropecuários, de exploração mineral e formação de reservatórios de hidrelétricas (ANUÁRIO, 1998). Isso trouxe como resultado o direcionamento dos pequenos produtores, especialmente dos projetos de colonização, para a adoção da pecuária extensiva, como forma de poupança, e da agricultura migratória de subsistência, como alternativa de produção de alimentos básicos necessários à sobrevivência (SANTOS et al., 1999).

O Acre possui uma área de 152.522 km^2, uma cobertura florestal de aproximadamente 90% e forte aptidão e tradição extrativista. Contudo, modelos de produção agropecuária e de exploração extrativa da madeira, caracterizada pela exploração seletiva, têm contribuído com elevados danos ao meio ambiente florestal, particularmente, nas áreas de reserva legal, onde as derrubadas continuam avançando. Um dos elementos que mais tem contribuído para que isto aconteça é o fato de não ser atribuído nenhum valor econômico à floresta.

Na visão do produtor, essas áreas são consideradas como impedimento para obtenção de maior renda, pela expansão das áreas destinadas à agropecuária (SÁ; SILVA, 2003).

Devido a sua natureza, a exploração florestal sempre produzirá algum dano ao ecossistema, e a intensidade dependerá do método utilizado. Nas explorações convencionais, numerosos estudos indicam um dano de aproximadamente 50% sobre a vegetação residual, resultando na diminuição da área útil de manejo com possibilidades de regeneração (MIRANDA; ARAÚJO, 1999).

Nesse aspecto, o desafio para a comunidade científica e populações da Amazônia é conciliar o desenvolvimento socioeconômico das comunidades com a preservação dos seus recursos florestais. Durante muitos anos, o manejo florestal sustentável comunitário foi um grande tabu na engenharia florestal brasileira. A justificativa mais comum para não se pesquisar este modelo era a inviabilidade econômica do processo, considerando que as empresas madeireiras para se tornarem competitivas necessitam de investimentos elevados, como o trator de arraste, incompatíveis com a renda do pequeno produtor familiar e tamanho da área a ser manejada. Esse fato exigiria uma maior escala de produção para viabilizar o processo. No início da década de 90, pesquisadores da Embrapa Acre e da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (Funtac) buscaram soluções para extrair madeira da floresta nativa sem utilização de equipamentos caros; incluir esta atividade junto as outras atividades agrícolas do pequeno produtor; e realizar esta atividade de forma sustentável do ponto de vista ambiental e econômico. A concepção inicial baseou-se na observação da viabilidade do método tradicional de exploração de florestas inundáveis (várzeas e igapós) e de terra firme no Amazonas e Pará. Este sistema de uso da terra vem garantindo a subsistência e fixação à terra de milhares de famílias através de gerações, em toda Amazônia (OLIVEIRA, 1992).

Neste aspecto, em meados de 1995, a Embrapa Acre iniciou um projeto de manejo florestal madeireiro, em parceria com 11 produtores rurais do Projeto de Colonização Pedro Peixoto, sendo 7 do ramal Nabor Júnior e 4 do ramal Granada. Em 2001 houve ampliação do número de participantes com a entrada de 10 produtores florestais, totalizando 21 produtores. Deste total registraram-se 2 desistências. Atualmente, o projeto conta com 19 produtores e tem como principais características: a exploração da floresta da reserva legal das propriedades; a prática da exploração madeireira não mecanizada e de baixo impacto ambiental; e a efetiva participação de pequenos produtores rurais (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2003). A finalidade do projeto é demonstrar um modelo que permite a exploração madeireira da reserva legal proporcionando vantagens econômicas e ambientais.

Este trabalho propõe analisar o desempenho financeiro do manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal de pequenas propriedades no Acre e determinar os impactos ambientais e sociais da utilização da tecnologia proposta. Para avaliação, a tecnologia do manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal será comparada com a exploração florestal de madeira sem plano de manejo (madeira clandestina).

2. Metodologia

O manejo florestal comunitário consiste na execução de um inventário florestal e compartimentalização de área a ser explorada. O inventário compreende o levantamento de 100% das espécies comerciais com DAP ≥ 50 cm (diâmetro mínimo de corte permitido). A compartimentalização é a divisão da área de reserva em dez subáreas ou compartimentos, explorados de maneira sucessiva a cada ano. A área de manejo anual de cada propriedade é de quatro hectares e o ciclo de corte está previsto para 10 anos. A exploração madeireira consiste no abate das árvores selecionadas, e seu processamento é realizado na área da floresta pelos próprios produtores com a utilização de motosserra. Os produtos de madeira gerados pela exploração são peças com dimensões 0,21 x 0,21 x 2,50 m.

O principal produto a ser enfocado no presente plano é a madeira manejada e certificada com o selo FSC – Forest Stewardship Council. A exploração refere-se a uma área total manejada de aproximadamente 800 ha. A capacidade de exploração florestal anual prevista oscila entre 400 e 800 m^3 de madeira em tora, dependendo do Plano Operativo Anual (POA). Esses volumes referem-se à capacidade potencial de produção individual por hectare de 10 a 20 m^3 de madeira serrada por propriedade/ano, explorados na área total de cada talhão que é de quatro hectares. No período entre 1995 e 2003, a exploração média foi de 10 m^3 de madeira serrada por propriedade/ano, não inclusos os produtores que não exploraram madeira. O transporte para fora da área do manejo é feito com uso de um equipamento rústico de madeira, denominado zorra, e com carroça, ambos tracionados por animais de carga. Para proceder à análise financeira, inicialmente foi realizado o fluxo de caixa para o manejo florestal madeireiro de um talhão de quatro hectares (Tabela 1). A análise foi realizada para um período de 10 anos, considerando a produção anual média de 10 m^3 de madeira serrada de árvores de densidade média. Portanto, os coeficientes técnicos de produção foram levantados e estimados para uma produção anual de 10 m^3 de madeira beneficiada.

Na determinação da rentabilidade do investimento foram utilizados como indicadores de viabilidade: a) o valor presente líquido (VPL); b) a relação benefício–custo (RBC); c) o custo unitário de produção (CUP); d) a remuneração da mão-de-obra familiar (RMOF).

A RBC é o quociente entre o valor atualizado das rendas a serem obtidas e o valor atualizado dos custos, incluindo os investimentos necessários ao desenvolvimento da atividade. Isso permite comprovar a viabilidade do empreendimento, comparando as receitas com os custos e investimentos, conforme Hoffmann et al. (1987). Matematicamente tem-se:

$$RBC = \frac{\sum_{i=1}^{t} B_i (1+r)^{-i}}{\sum_{i=1}^{t} C_i (1+r)^{-i}}$$

Onde:

B_i = valor nominal das receitas no período *i*
i = tempo variando de 1 a 10 anos
C_i = valor nominal dos custos no período *i*
r = taxa de desconto que reflete o custo de oportunidade do capital
t = tempo de duração do projeto.

O VPL ou método do valor presente líquido é a fórmula matemático-financeira de se determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos os custos. Este critério atualiza todos os fluxos de caixa líquido futuros para o presente e é a forma mais rápida de se chegar ao valor ou mérito de um projeto. Sua interpretação, quando a taxa de juros reflete o custo de oportunidade do capital, representa o valor atual dos benefícios gerados por um investimento e, quando o seu cálculo expressa valores maiores que zero, diz-se que o projeto apresenta viabilidade econômica. Matematicamente tem-se:

$$VPL = \sum_{i=1}^{t} \frac{(B_i - C_i)}{(1+r)^i}$$

O CUP foi definido como a razão entre a despesa total necessária e o total da produção de madeira em pranchas obtida. O valor de referência para análise foi o preço do produto comercializado (R$ 500,00/m³ de madeira).

A RMOF foi estimada pela divisão da renda do trabalho familiar (RTF) pelo número de homem/dia (diárias) de mão-de-obra familiar (HDF) utilizado na exploração. A RTF foi obtida subtraindo-se da renda bruta (RB) todas as despesas, exceto as de mão-de-obra familiar, que passou a ser remunerada pelo resíduo. Esse indicador representa o valor máximo da diária que a exploração, no caso o manejo florestal, pode pagar pelo trabalho familiar. Considerou-se que todo serviço humano será executado pelo produtor e sua família, pressupondo-se que eles estejam capacitados a fazê-lo, não havendo contratação de mão-de-obra externa. Para análise por esse indicador, utilizou-se R$ 18,00 como referência, que é o valor mínimo de mercado da diária no meio rural da região. A RMOF apresenta como vantagem uma comparação direta entre a remuneração que o agricultor pode obter com a venda de sua mão-de-obra (seu custo de oportunidade) e a que pode ter em sua propriedade (SANTOS et al., 1999).

Diante das definições estabelecidas, tem-se:

CUP = DT/PM
RTF = RB – (DT – DMOF)
RMOF = RTF/MOF

Onde:

RL = renda líquida (R$)
RB = renda bruta (R$)
DT = despesa total (R$)
PM = produção de madeira (m^3 de madeira serrada)

CUP = custo unitário de produção (R$/$m^3$ de madeira serrada)
RTF = renda do trabalho familiar
RMOF = remuneração da mão-de-obra familiar (R$/diária)
DMOF = despesa total relativa à mão-de-obra familiar (R$)
MOF = quantidade total de mão-de-obra familiar (diária).

Para a análise foram levantados os custos, representados pelos gastos com a elaboração do plano de manejo, despesas com deslocamento e estadia do proprietário para regularizar a documentação necessária, custos da certificação, incluindo sua renovação, monitoramento e a taxa anual de certificação, transporte interno e externo da madeira para Rio Branco, impostos, taxas, combustível, lubrificantes, serviços, incluindo mão-de-obra familiar, depreciações e conservação de motores e equipamentos. As receitas correspondem à venda anual de 10 m^3 de madeira em bloco, preferencialmente nas dimensões de 0,21 x 0,21 x 2,5 m, comercializada em Rio Branco, ao preço médio de R$ 500,00/m^3.

Os valores dos custos e receitas utilizados para o cálculo da relação benefício–custo foram atualizados com taxa de desconto de 10% ao ano, por ser uma das mais utilizadas pelo setor florestal brasileiro, que tradicionalmente trabalha com taxas entre 4% e 15%, embora seja mais coerente a aplicação de taxas de longo prazo, mais condizentes com o tempo de maturação dos projetos, calculadas em função de seus fatores formadores (LIMA JÚNIOR et al., 1997). Enquanto os preços dos fatores de produção e do produto considerados foram os de mercado, válidos para maio de 2006, o horizonte temporal de análise foi de 10 anos.

A avaliação dos impactos ambientais foi realizada em conformidade com o sistema de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária (Ambitec-Agro), que compreende 4 parâmetros de avaliação, expressos por 8 indicadores e 36 componentes, todos integrados em matrizes de ponderação formuladas em planilhas eletrônicas automatizadas. O procedimento de avaliação do Ambitec-Agro consiste em solicitar ao produtor/responsável adotante da tecnologia que indique os coeficientes de alteração dos componentes para cada indicador, em razão específica da aplicação da tecnologia à atividade e nas condições de manejo particulares a sua situação, sendo cada produtor uma unidade amostral de impacto ambiental da tecnologia. A inserção desses coeficientes de alteração do componente diretamente nas matrizes e seqüencialmente nas planilhas de eficiência tecnológica, conservação ambiental e recuperação ambiental resulta na expressão automática do coeficiente de impacto ambiental da tecnologia, relativizada por fatores de ponderação devido à escala da ocorrência da alteração e ao peso do componente na composição do indicador.

Os resultados finais da avaliação são expressos graficamente na planilha de avaliação de impactos ambientais da tecnologia, após ponderação automática dos coeficientes de alteração fornecidos pelo produtor/responsável (RODRIGUES et al., 2003).

A avaliação dos impactos sociais foi realizada em conformidade com o sistema de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária (Ambitec-Agro), módulo de avaliação social da inovação tecnológica (Ambitec-

Social), construídas para permitir a consideração de quatro aspectos de uma dada inovação tecnológica que contribuem para melhoria social na produção agropecuária, quais sejam: emprego, renda, saúde, gestão e administração (RODRIGUES et al., 2004).

Finalmente, os indicadores são considerados em seu conjunto, para composição de dois índices: índice de impacto ambiental da inovação tecnológica (IIA) e índice de impacto social da inovação tecnológica (IIS).

3. Resultados e Discussões

3.1. Análise Financeira

Para proceder à análise financeira, inicialmente foi realizado o fluxo de caixa para o manejo florestal madeireiro de um talhão de quatro hectares (Tabela 1). A análise foi realizada para um período de 10 anos, considerando a produção anual média de 10 m^3 de madeira serrada por propriedade.

Tabela 1. Fluxo de caixa, em R$ 1,00, para o manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal de pequenas propriedades, Acrelândia, Acre, 2006.

Ano	Receita	Despesa	Receita atualizada	Despesa atualizada	Fluxo atualizado
1	5.000,00	4.510,22	4.545,45	4.100,20	445,26
2	5.000,00	4.409,88	4.132,23	3.644,53	487,70
3	5.000,00	4.409,88	3.756,57	3.313,21	443,37
4	5.000,00	4.409,88	3.415,07	3.012,01	403,06
5	5.000,00	4.409,88	3.104,61	2.738,19	366,42
6	5.000,00	3.919,88	2.822,37	2.212,67	609,70
7	5.000,00	4.069,88	2.565,79	2.088,49	477,30
8	5.000,00	4.069,88	2.332,54	1.898,63	433,91
9	5.000,00	4.069,88	2.120,49	1.726,03	394,46
10	5.000,00	4.069,88	1.927,72	1.569,11	358,60
Total	50.000,00	42.349,14	30.722,84	26.722,06	4.419,77

Elaborado o fluxo de caixa, as receitas e despesas totais atualizadas com a taxa de desconto de 10% ao ano, chegou-se aos indicadores de desempenho financeiro da atividade, conforme discriminado na Tabela 2. Na análise observa-se que os indicadores de rentabilidade avaliados apresentaram valores positivos, demonstrando a viabilidade financeira do manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal de pequenas propriedades rurais.

3.2. Valor Presente Líquido

A viabilidade econômica do manejo florestal madeireiro pelo método VPL é calculada pela diferença entre as receitas e custos, atualizados de acordo com a taxa de desconto de 10% ao ano. Corresponde ao lucro líquido atual

do empreendimento no período analisado, ou seja, o valor atual dos benefícios gerados pela atividade. No estudo, o VPL calculado foi de R$ 4.419,77. Portanto, a atividade apresenta viabilidade econômica.

3.3. Relação Benefício–Custo

Na análise deste indicador, verificou-se que quando os cálculos foram efetivados a uma taxa de desconto de 10% ao ano, produziram o valor da RBC de 1,17. Isso indica que para cada R$ 1,00 de custo que absorve, o modelo tem capacidade de retornar R$ 1,17 como benefício.

3.4. Custo Unitário de Produção

O CUP calculado (R$ 396,21) apresentou uma margem de lucro de R$ 103,79 por m^3 de madeira produzida, ou seja, 20,76% do preço pago ao produtor pelo m^3 de madeira comercializada. Isto torna a produção de madeira certificada e manejada uma atividade altamente atrativa.

3.5. Remuneração da Mão-de-obra Familiar

A remuneração da mão-de-obra familiar que trabalha no manejo florestal comunitário para produção de madeira serrada foi calculada em R$ 58,40. Neste sentido, a mão-de-obra familiar das atividades do manejo florestal que não exigem qualificação representa três vezes o valor de mercado da região, enquanto para a mão-de-obra qualificada a remuneração por dia trabalhado supera em aproximadamente R$ 8,40. Portanto, maior que o custo de oportunidade da mão-de-obra que trabalha neste setor no Acre.

Tabela 2. Indicadores de viabilidade financeira do manejo florestal para produção de madeira certificada por propriedade em áreas de reserva legal, Acre, 2006.

Indicadores financeiros	Unidade	Valor obtido
Valor presente líquido	R$	4.419,77
Relação benefício–custo	-	1,17
Custo unitário de produção	R$/$m^3$	396,21
Remuneração da mão-de-obra familiar	R$/diária	58,40

4. Impactos Ambientais

4.1. Alcance da Tecnologia

A tecnologia está sendo difundida no Projeto de Colonização Pedro Peixoto, Município de Acrelândia, Acre. A área efetiva sob manejo florestal é de aproximadamente 800 hectares, correspondente às áreas de reserva legal das 20 propriedades.

4.2. Eficiência Tecnológica para Conservação Ambiental

O impacto ambiental negativo na eficiência da inovação tecnológica (manejo florestal em pequenas propriedades) decorre do uso de energia e recursos naturais. Neste sentido, observa-se o aumento do consumo de gasolina e óleo combustível, utilizados na motosserra nas operações de abate, desdobro e beneficiamento da madeira, como também no componente de restos vegetais, empregado na produção de carvão para consumo e comercialização. Quanto ao uso de agroquímicos, observa-se que a inovação tecnológica apresenta-se neutra em relação a essa variável, portanto, com um coeficiente de impacto igual a zero.

4.3. Conservação da Qualidade Ambiental

A conservação ambiental da inovação tecnológica apresentou um impacto ambiental positivo devido aos indicadores capacidade produtiva do solo, água e biodiversidade, enquanto a atmosfera apresentou um impacto ambiental negativo. Na análise da capacidade produtiva do solo, observou-se a diminuição da erosão, da perda de matéria orgânica, de nutrientes e da compactação, comparando-se ao sistema de exploração de madeira clandestina, que utiliza na maioria das vezes maquinário pesado (trator florestal e/ou caminhão). O coeficiente de impacto ambiental resultante foi igual a 7,5. Referindo-se à água, observou-se que a tecnologia contribuiu para reduzir a erosão, diminuindo a sedimentação/assoreamento e ocasionando um coeficiente de impacto ambiental igual a 1. Enquanto no indicador biodiversidade, o manejo florestal contribuiu para redução em todos os seus componentes, sendo o coeficiente de impacto ambiental igual a 3. Para a atmosfera, o impacto ambiental negativo (-2) está relacionado ao aumento da emissão de gases efeito estufa provenientes do uso de combustível fóssil, material particulado/fumaça e ruídos, devido à prática de desdobro realizada na floresta com a motosserra.

4.4. Recuperação Ambiental

O impacto positivo na recuperação ambiental está relacionado ao estabelecimento de áreas de reserva legal. Na avaliação dos componentes, área de preservação permanente, reserva legal, solos e ecossistemas degradados apresentaram impactos ambientais positivos. O coeficiente de impacto ambiental resultante foi igual a 6.

4.5. Índice de Impacto Ambiental

Na análise da Tabela 3, observa-se que os indicadores uso de energia, uso de recursos naturais e atmosfera apresentam coeficientes de impactos negativos. Portanto, não atendem às pressuposições de obtenção de coeficientes positivos de impactos ambientais.

Ressalta-se que o manejo florestal em pequenas propriedades não ocasiona alteração no uso de agroquímicos. Os indicadores capacidade

produtiva do solo, água, biodiversidade e recuperação ambiental apresentaram impactos ambientais positivos, com destaque à contribuição da tecnologia para a conservação da capacidade produtiva de solo, que apresentou um coeficiente de impacto ambiental igual a 7,5.

Nesse sentido, a tecnologia manejo florestal madeireiro em pequenas propriedades rurais apresentou um índice de impacto ambiental igual a 0,69, de um máximo possível de 15. Portanto, é recomendável para aplicação no campo, uma vez que no todo minimiza os impactos ambientais negativos, quando comparada com a exploração madeireira clandestina.

Tabela 3. Indicadores de impactos ambientais do manejo florestal em pequenas propriedades no Projeto de Colonização Pedro Peixoto, Acre, 2003.

Indicadores de impactos ambientais	Coeficiente de impacto
Uso de agroquímicos	0
Uso de energia	-7,5
Uso de recursos naturais	-2,5
Atmosfera	-2
Capacidade produtiva do solo	7,5
Água	1
Biodiversidade	3
Recuperação ambiental	6
Índice de impacto ambiental	0,69

5. Impactos Sociais

5.1. Aspecto Emprego

Na análise do aspecto do emprego na contribuição do manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal de pequenas propriedades para melhoria social, observou-se o aumento do número de cursos básicos e maiores oportunidades de trabalho para os produtores das propriedades beneficiadas com a inovação tecnológica, seus familiares e para moradores da localidade. Referindo-se à mão-de-obra para a atividade são exigidos trabalhadores com capacitação no manuseio da motosserra como também produtores sem qualificação. Assim, foram criadas oportunidades de trabalho para os produtores familiares e outros trabalhadores temporários da localidade, principalmente no período de estiagem. Referindo-se ao indicador qualidade do emprego, não foi observada alteração comparando-se ao sistema anterior.

Em síntese, nesse aspecto, os indicadores de impactos sociais avaliados, como capacitação, oportunidade de emprego local qualificado, oferta de emprego e condição do trabalhador apresentaram impactos positivos, enquanto a melhoria da qualidade do emprego não foi alterada com a inovação tecnológica.

5.2. Aspecto Renda

No aspecto da geração da renda na contribuição da inovação tecnológica para melhoria social, observou-se um grande aumento na segurança e montante,

enquanto os atributos estabilidade e distribuição tiveram aumentos moderados. A renda do estabelecimento se diversificou com a comercialização dos produtos madeireiros e oportunidade do trabalho fora da propriedade com a venda de mão-de-obra especializada. A propriedade ficou mais valorizada devido aos investimentos em benfeitorias (casas, cerca, etc.) e também à manutenção da reserva legal, fato que garante a produção e comercialização da madeira certificada.

Nestes aspectos, os indicadores de impactos sociais avaliados, como geração de renda, diversificação de fonte de renda e valor da propriedade apresentaram impactos positivos, contribuindo com a melhoria da qualidade de vida dos beneficiários da tecnologia.

5.3. Aspecto Saúde

No aspecto da saúde, os indicadores saúde ambiental e pessoal, segurança e saúde ocupacional apresentaram valores negativos, observando-se o aumento da emissão de poluentes da atmosfera e a maior exposição do homem às condições insalubres de trabalho de abate e desdobro das toras, como periculosidade, ruídos, vibração, calor/frio e umidade. O indicador segurança alimentar apresentou impacto positivo devido à maior garantia da produção.

5.4. Aspecto Gestão e Administração

Na análise do indicador dedicação e perfil do responsável observam-se uma maior capacitação dos produtores na atividade de manejo, maior permanência do produtor na propriedade, engajamento da família na atividade e a implantação de um sistema de certificação da madeira. Entretanto, os indicadores uso de um sistema contábil e implantação de um modelo formal de planejamento permaneceram inalterados. O indicador condição de comercialização apresentou impacto positivo devido à comercialização solitária, processamento local, cooperação com outros produtores locais, além da utilização de uma marca própria, produto da Amazônia certificado. O não aproveitamento dos resíduos da produção para fabricar pequenas peças na marcenaria, como também dos restos vegetais para produção de carvão contribuiu negativamente. Referindo-se ao indicador relacionamento institucional observou-se o acesso à assistência técnica e ao desenvolvimento do sistema associativismo/cooperativismo.

5.5. Índice de Impacto Social

Na análise da Tabela 4, observa-se que os indicadores saúde ambiental e social, segurança e saúde ocupacional e disposição de resíduos apresentam coeficientes de impactos negativos. Portanto, não atendem às pressuposições de obtenção de coeficientes positivos de impactos sociais.

Ressalta-se que o manejo florestal em pequenas propriedades não ocasiona alteração na qualidade do emprego. Os indicadores capacitação, oportunidade de emprego local qualificado, oferta de emprego e condição do trabalhador, valor da propriedade, segurança alimentar, condição de comercialização e

relacionamento institucional apresentaram resultados positivos, destacando-se a contribuição da tecnologia para a geração de renda, diversidade de fontes de renda e dedicação e perfil do responsável, que apresentaram coeficiente de impacto social igual a 10,0, 6,0 e 10,5, respectivamente.

Nesse sentido, a tecnologia manejo florestal madeireiro em pequenas propriedades rurais apresentou um índice de impacto social igual a 2,56, de um máximo possível de 15. Portanto, é recomendável para aplicação no campo, uma vez que no todo minimiza os impactos sociais negativos, quando comparada com a exploração madeireira clandestina.

Tabela 4. Indicadores de impactos sociais do manejo florestal em pequenas propriedades no Projeto de Colonização Pedro Peixoto, Acre, 2005.

Indicadores de impactos sociais	Coeficiente de impacto
Capacitação	5,3
Oportunidade de emprego local qualificado	2,8
Oferta de emprego e condição do trabalhador	2,3
Qualidade do emprego	0,0
Geração de renda	10,0
Diversidade de fontes de renda	6,0
Valor da propriedade	5,0
Saúde ambiental e social	-3,0
Segurança e saúde ocupacional	-0,6
Segurança alimentar	0,3
Dedicação e perfil do responsável	10,5
Condição de comercialização	0,7
Disposição de resíduos	-6,0
Relacionamento institucional	4,8
Índice de impacto social	2,56

6. Conclusões

O manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal na Amazônia Ocidental apresenta viabilidade financeira e proporciona elevada remuneração do produtor e sua família, uma vez que os indicadores analisados tiveram resultados positivos. No aspecto ambiental, a tecnologia obteve um índice de avaliação de impacto igual a 0,69, de um máximo possível de 15. Enquanto no aspecto social o índice de impacto social foi igual a 2,56. Nesse sentido, a inovação tecnológica minimiza os danos ambientais e sociais, quando comparada à exploração madeireira clandestina, oferecendo indicativos favoráveis de sustentabilidade econômica, ambiental e social.

7. Referências

Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, v. 57, 1998.

ARAÚJO, H. J. B. de; OLIVEIRA, M. V. N. d'. O segundo estágio do manejo florestal em pequenas propriedades no Pedro Peixoto – Acre. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS E MADEIRA TROPICAL, 6.; FEIRA DE MÁQUINAS E PRODUTOS DO SETOR MADEIREIRO, 5., 2005, Belém, PA. **Atividade florestal**: responsabilidades do estado e da indústria. São Paulo: aiamec, 2005.

HOFFMANN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E. M.; THAME, A. C.; ENGLER, J. J. C. (1987). **Administração da empresa agrícola.** 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1987. 325 p.

LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. de. **Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais**. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/Cerne/revistav3n1-1997/TAXDESC.PDF>. Acesso em: 28 jun. 2008.

MIRANDA, E. M. de; ARAÚJO, H. J. B. de. **Determinação de danos da exploração de madeira em áreas manejadas no Projeto de Colonização Pedro Peixoto-Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999. 3 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 102).

OLIVEIRA, M. V. N. d'. **Exploração de madeira pelo método tradicional no Paraná Abufari no Médio Purus**. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC. 1992. 15 p. (Embrapa-CPAF/AC. Boletim de Pesquisa, 7).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica agropecuária: ABITEC-AGRO**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 2003. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 34).

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa II**: avaliação da formulação de projetos – Versão I. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 28 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 10).

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I.; IRIAS, L. J. M.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Métodos para avaliação em impactos da pesquisa – dimensão social**. Sistema de Avaliação de impacto social da inovação tecnológica: AMBITEC-SOCIAL. Embrapa Meio Ambiente, 2004.

SANTOS, J. C. dos; SÁ, C. P. de; ARAÚJO, H. J. B. de. **Aspectos financeiros e institucionais do manejo florestal madeireiro de baixo impacto em áreas de reserva legal de pequenas propriedades, na Amazônia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37., 1999, Foz do Iguaçu. O agronegócio do Mercosul e a sua inserção na economia mundial: anais. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1999.

SÁ, C. P. de; SILVA, F. de A. C. **Análise financeira do manejo florestal para produção de madeira certificada em áreas de reserva legal de pequenas propriedades, no Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 2 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 158).

SOBRAL, L.; VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; AZEVEDO, T.; SMERALDI. **Acertando o alvo 2:** consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém, PA: Imazon, 2002. 72 p.

TSUKAMOTO FILHO, A. de A.; SILVA, M. L. de; COUTO, L.; MULLER, M. D. **Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622003000400009&script=sci _ arttext>. Acesso em: 15 set. 2005.

Parte 2

Sistemas Agrícolas, Agroflorestais e Pecuários no Estado do Acre

CAPÍTULO 5

Trinta Anos de Pesquisas com Mandioca no Acre

Amauri Siviero

1. As Pesquisas com a Mandioca na Embrapa Acre

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, está difundida por várias regiões tropicais do planeta, sendo uma das maiores contribuições da América para a erradicação da fome, principalmente em locais subdesenvolvidos do mundo como a África. Estima-se que mais de 900 milhões de habitantes da faixa tropical dos continentes africano, asiático e americano dependem do cultivo da mandioca (MANDIOCA, 2005).

A mandioca produzida é destinada, principalmente, para uso doméstico como farinha ou in natura (cozida ou frita), fabricação industrial de amido e produtos derivados como álcool e nutrição animal. Estima-se que mais de 600 produtos derivados das raízes podem ser elaborados pela indústria do amido. O potencial agrícola desta planta encontra-se ainda praticamente inexplorado, já que toda a tecnologia do processamento é voltada basicamente para produção da farinha de mandioca (CEREDA; VILPOUX, 2003).

A mandioca é a principal cultura alimentícia na Amazônia. Cultivada há muito tempo pelas populações locais e indígenas, é consumida como farinha, goma e produtos derivados, tapioca, caiçuma (cerveja indígena), maniçoba, tucupi e outros.

O ciclo da maioria das cultivares de terra firme na Amazônia varia de 12 a 18 meses. No intuito de obter matéria-prima o ano inteiro, faz-se a plantação de manivas em diversas épocas, provocando uma heterogeneidade no campo, onde se observam plantas em vários estágios vegetativos. A mandioca é cultivada, geralmente, sem nenhuma adubação e preparo do solo. A primeira plantação ocorre em área recém-queimada; a segunda em solo mais limpo, onde se retira maior produção; e a terceira na mesma área de terra firme, sendo a produção menor que as demais, fazendo com que o agricultor mude seu cultivo para uma nova área queimada (agricultura de derruba e queima).

As cultivares de mandioca exploradas nas áreas de várzea são precoces, homogêneas e mais produtivas, alcançando até 30 t/ha em 8 meses de cultivo. O sistema de produção rural na Amazônia é do tipo familiar e tem como base a mandioca e outros alimentos para subsistência. O excesso de produção é

comercializado para geração de renda (SIVIERO, 2000; NODA, 2002). No Acre a mandioca é o principal produto agrícola cultivado em termos de geração de renda.

A cultura é importante em termos sociais e econômicos para o Estado, sendo tipicamente de exploração familiar e envolvendo aproximadamente 20 mil produtores rurais. Ocupa uma área estimada em 18.500 ha e a produtividade é em torno de 18,5 t/ha, destacando-se como o principal produto agrícola de valor econômico do Acre e respondendo por 48% do valor bruto da produção (CENSO, 2004).

A primeira citação de atividade de pesquisa associando a Embrapa com a cultura da mandioca no Acre está contida no relatório semestral publicado em dezembro de 1977 (EMBRAPA, 1977), cujo título é Projeto Mandioca e inclui dois subprojetos: Sistema de produção para mandioca no Município de Rio Branco e Introdução, avaliação e multiplicação de cultivares. O primeiro subprojeto tinha como objetivo avaliar o efeito da adubação e produtividade em três épocas de colheita (14, 18 e 24 meses). Os ensaios foram montados na área recém-criada, Uepae/Rio Branco, e seis cultivares faziam parte da pequena coleção de trabalho que se iniciava: Paxiúba, Branquinha, Caboquinha, Baiana, Metro e Arauri. Todos os genótipos estão conservados na coleção de trabalho ou banco de germoplasma. Em 1978, o Projeto Mandioca registrou a ocorrência de mancha-foliar causada por *Cercospora* spp. em plantas dos dois subprojetos em andamento (EMBRAPA, 1978). Os resultados do subprojeto Sistema de produção para mandioca no Município de Rio Branco destacaram a cultivar Metro que apresentou produtividade de 25 t/ha. O melhor intervalo de colheita se deu entre 14 e 18 meses após o plantio, não se observando resposta das plantas para a adubação (EMBRAPA, 1981).

No biênio 1979–1980, o subprojeto Introdução, avaliação e multiplicação de cultivares de mandioca em Rio Branco recebeu materiais coletados em Brasiléia e Xapuri: Xerém, Vinagreira, Amarelão, Pão, Caruari, Pare, Pacaré, Paxiubão, Vassourinha, Olho-roxo, Priquita (mansa e brava), Amarela-catarinense, Cabocla, Goela-de-jacu, Amarela, Branca-boliviana, Varejão e outras duas cultivares não identificadas (EMBRAPA, 1981).

Mais dois subprojetos/experimentos foram acrescentados ao Projeto Mandioca: Estudo de espaçamento para diferentes cultivares de mandioca em dois níveis de fertilidade do solo, que indicou o espaçamento de 1,00 x 0,60 m como melhor no tratamento sem adubação, alcançando produtividade de 20 t/ha na safra 1977–1978; e Levantamento das doenças da mandioca que constatou a ocorrência de quatro doenças na cultura: mancha-branca (*Cercospora* sp.), antracnose (*Colletotrichum* sp.), mancha-parda (*Cercospora* sp.) e podridão-negra-das-manivas (patógeno não identificado na época, possivelmente *Phytophthora* spp.) (EMBRAPA, 1981).

No período de 1981 a 1982 a mandioca perdeu o espaço de cultura principal e foi alocada no projeto Avaliação de sistemas de cultivo consorciado com culturas de subsistência, que constava de dois experimentos: cultivo de arroz entre fileiras duplas de mandioca e cultivo de milho entre fileiras duplas de mandioca. O primeiro ensaio teve como objetivo testar o uso de adubação verde usando quatro leguminosas em quatro épocas de semeadura plantadas

nas entrelinhas de mandioca. O experimento indicou que a melhor combinação foi o uso da puerária (*Pueraria phaseoloides*) instalada aos 60 dias após o plantio da mandioca (MOURA; FREITAS, 1982). O segundo experimento revelou que o cultivo de mandioca em fileiras duplas, no espaçamento 2,00 x 0,50 x 0,50 m, usando três linhas de milho ou seis de arroz nas entrelinhas, foi o sistema de consórcio mais eficiente (OLIVEIRA et al., 1981; OLIVEIRA; MOURA, 1982).

No período de 1983 a 1995, houve um declínio nos trabalhos com a cultura da mandioca na Embrapa. Nesses 12 anos apenas a coleção de trabalho de mandioca do Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre se expandiu com a introdução de materiais coletados no Estado e outros recebidos das Unidades da Embrapa de Manaus (Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental) e Cruz das Almas (Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical).

Os trabalhos de pesquisa com a cultura da mandioca foram retomados com mais expressão somente a partir de 1995 quando as cultivares pertencentes à coleção de trabalho foram classificadas por porte e produtividade. Na oportunidade observou-se que as cultivares de porte médio foram mais produtivas, apresentando em média 18,5 t/ha quando comparadas com as de porte baixo que atingiram 11,0 t/ha (EMBRAPA, 1996).

2. Fitotecnia e Cultivares Recomendadas pela Embrapa Acre

Os principais trabalhos desenvolvidos no Acre com a mandioca visaram manter a coleção de trabalho, avaliar germoplasma local e testar materiais promissores coletados em outros estados da Amazônia. A produtividade, época de colheita e teor de amido são os fatores mais pesquisados quando o objetivo é obter cultivares para farinha. No caso da mandioca de mesa ou mansa (macaxeira) buscam-se materiais que apresentam rápido cozimento, cor amarela e baixo teor de ácido cianídrico.

Em 1990, a coleção de trabalho de mandioca atingiu 106 acessos, sendo 66 procedentes de municípios do Acre, oportunidade em que a coleção foi caracterizada botânica e agronomicamente. Neste trabalho foram avaliados diversos descritores vegetativos de caule e folha como porte, ramificação e coloração (RITZINGER, 1991).

Moura (1996), avaliando a produtividade de cultivares da coleção de trabalho de mandioca da Embrapa Acre, detectou que cerca de metade dos acessos apresentou produtividade superior à média estadual (18,6 t/ha). Brito e Moura (1998), realizando novamente a avaliação e a caracterização botânico-agronômica de 15 genótipos de mandioca da coleção de trabalho da Embrapa Acre, detectaram que a cultivar Branquinha apresentou produtividade de até 40 t/ha com o teor de amido variando entre 15% e 26% e a cultivar Seis Meses apresentou 100% de incidência à podridão-radicular.

Moura (1997) avaliou dez cultivares de mandioca mais produtivas quanto à época de colheita, ciclo, % de amido, altura e teor de HCN. Os primeiros cinco melhores genótipos não se diferenciaram quanto à época de colheita. Em

relação ao teor de amido observou-se aumento de 4% da primeira (9 meses) para a quarta (18 meses) época de colheita para todas as cultivares testadas.

Em 1998, a Embrapa Acre lançou duas cultivares de mandioca para farinha denominadas Panati e Araçá, indicadas para o cultivo na microrregião do Alto Purus (MOURA; CUNHA, 1998), cujas principais características estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características das cultivares de mandioca lançadas pela Embrapa Acre.

Características	BRS Caipora	BRS Colonial	BRS Araçá	BRS Panati
Uso	Mesa	Mesa	Farinha	Farinha
Altura da planta m	2,30	1,92	2,30	1,86
Cor do caule	Marrom	Marrom	Verde	Verde-prateado
Cor da brotação nova	Verde	Verde	Verde-arroxeada	Roxa
Cor do pecíolo	Verde-arroxeado	Verde-claro	Verde	Verde
Cor da polpa	Amarela	Branca	Creme	Branca
Forma da raiz	Cônica	Cônica	Fusiforme	Fusiforme
Teor de HCN mg/kg de polpa	25,00	37,00	50,00	72,00
Produtividade da parte aérea – t/ha	16,50	14,00	22,06	14,90
Produtividade de raiz	31,50	37,00	31,70	29,20
Teor de amido %	29,00	32,50	33,03	32,99
Matéria seca das raízes	33,00	35,50	36,12	36,00
Ciclo – meses	6 a 12	6 a 12	14	14
Cor da película da raiz	Marrom-escura	Marrom-escura	Marrom-clara	Creme
Cor da casca sem película	Creme	Creme	Roxa	Creme
Resistência à podridão-radicular	Média	Resistente	Resistente	Média
Resistência ao superalongamento	Resistente	Resistente	Resistente	Suscetível

O sistema de produção de mandioca para o Acre pode variar desde o atual (baixa tecnologia) até um sistema com alta tecnologia que vai exigir mais custos em insumos e mão-de-obra; no entanto, observou-se que ocorre um aumento na renda líquida do agricultor quando emprega tecnologias (MOURA, 1999) (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade e receita líquida em sistemas de produção de mandioca no Acre.

Sistema de produção	Atual	Baixa tecnologia	Média tecnologia	Alta tecnologia
Produtividade t/ha	18	24	35	45
Receita líquida R$/ha	105,00	273,00	385,00	480,00

Fonte: Adaptada de Moura, 1999.

O Acre apresenta apenas 27% de solos inaptos ao cultivo da mandioca, situados, notadamente, no Vale do Rio Juruá. A principal limitação é de ordem química, que pode ser solucionada com uso de corretivos, adubação mineral e emprego de leguminosas (adubação verde) (MOURA et al., 2001).

Com o objetivo de avaliar o efeito da altura e frequência de poda sobre a produtividade de parte aérea e de raízes de mandioca, foi realizado um experimento na Embrapa Acre usando-se as cinco cultivares mais plantadas no Estado. O rendimento de raízes foi reduzido tanto pela altura como pela frequência de poda, enquanto o rendimento de matéria verde foi influenciado pela frequência de poda. Observou-se redução no teor de matéria seca de raízes e elevação do ataque de podridão-radicular devido ao maior tempo de exposição da planta aos patógenos. A freqüência de poda reduziu o teor de ácido cianídrico nas raízes. Para o aproveitamento simultâneo da parte aérea e raízes recomenda-se a cultivar Paxiubão com poda aos 6 e 12 meses (MOURA; COSTA, 2001).

A prensagem mecânica da raspa de mandioca ralada após o descascamento pode ser realizada com mais eficiência e praticidade, usando-se a prensa mecânica específica desenvolvida pela Embrapa Acre (PIMENTEL; CUNHA, 2001).

Mendonça et al. (2002) avaliaram genótipos de mandioca para consumo in natura em diferentes épocas de colheita no Estado do Acre e indicaram o genótipo Pão, que apresentou alta produtividade de raízes (46,81 t/ha), baixo teor de ácido cianídrico (21,88 mg/kg de polpa fresca de raiz) e resistência à podridão-radicular. O maior rendimento de raiz dos genótipos avaliados foi obtido realizando-se a colheita aos 14 meses após o plantio.

Mendonça et al. (2003) avaliaram genótipos de mandioca mansa e brava em diferentes épocas de colheita no Estado do Acre, medindo caracteres como altura da planta, rendimento de matéria verde da parte aérea, rendimento de raiz; porcentagem de raízes com podridão-radicular; teor de amido (%), porcentagem de matéria seca e teor de ácido cianídrico na polpa fresca de raízes. Com relação ao consumo in natura e à industrialização, os genótipos Pão e MD-33, respectivamente, foram os mais indicados. Obteve-se o maior rendimento de raiz quando os genótipos foram colhidos aos 14 meses após o plantio, desde que não apresentassem suscetibilidade à podridão-radicular. O teor de amido, porcentagem de matéria seca e resistência à podridão-radicular variam em razão dos genótipos e épocas de colheita.

Em 2005, a Embrapa Acre lançou duas cultivares de mandioca para mesa (macaxeira) denominadas BRS Colonial e BRS Caipora. A primeira apresenta porte baixo, ciclo médio, polpa branca e reduzido tempo de cozimento (21 minutos), destacando-se das demais no campo pela alta produtividade de parte aérea e raízes. A cultivar BRS Caipora possui uma série de características favoráveis para o consumo in natura como cozimento rápido (22 minutos), pouca fibra e polpa amarela. Ambas apresentaram baixo teor de ácido cianídrico nas raízes e resistência às principais pragas e doenças da cultura (SIVIERO et al., 2005; SOUZA et al., 2005) (Tabela 1).

3. Fitossanidade

O maior problema fitossanitário da cultura da mandioca no Acre são as ervas daninhas. A alta insolação, disponibilidade de água e o longo período

entre o plantio até o fechamento do dossel são fatores que favorecem o desenvolvimento de plantas daninhas na cultura da mandioca. A competição por água, nutrientes e pelas plantas daninhas é mais significativa até 60 dias após o plantio, exigindo controle quinzenal do mato, fator que onera consideravelmente o sistema de produção. Em locais de ocorrência do sapé (*Imperata brasiliensis*) o problema se agrava, pois os perfilhos são capazes de perfurar as raízes provocando ferimentos e facilitando a entrada de pragas e patógenos.

As melhores épocas de capina na cultura da mandioca no Acre são 30 e 45 dias após o plantio. Caso as plantas permaneçam no campo por mais de um ano tornam-se necessárias no mínimo três capinas (MOURA, 1998a).

Moura (2000) conduziu experimentos de mandioca em Rio Branco, avaliando sete épocas de capinas em duas cultivares e observou que o período de prevenção de interferência das plantas daninhas na cultura foi de 60 dias depois do plantio. Os teores de amido e de ácido cianídrico e a percentagem de raiz podre não foram influenciados pelas plantas daninhas.

O primeiro levantamento sistemático de pragas e doenças da mandioca no Acre revelou a ocorrência das doenças antracnose, mancha-foliar (*Cercospora* spp.) e podridão-radicular e das pragas broca-do-broto, broca-da-haste e cecideas (RITZINGER, 1991).

Fazolin (1993) detectou um surto de mandorová (*Erinnyis ello*) na cultura da mandioca no Município de Cruzeiro do Sul na safra 1992–1993. Na oportunidade foi observado o ataque de até 36 lagartas por planta, reduzindo a produtividade da cultura em até 50%.

Entre as principais doenças que ocorrem no Acre destacam-se a podridão-radicular e esporadicamente o superalongamento, sendo as duas também problemáticas em outras regiões da Amazônia onde se observam trabalhos de melhoramento visando à seleção de materiais resistentes para estes patógenos (CIAT, 2002). As manchas foliares, causadas por diversos patógenos como *Cercospora* spp. e *Colletotrichum* sp., ocorrem em algumas cultivares mas não afetam significativamente a produtividade.

Os trabalhos desenvolvidos para controle da podridão e superalongamento baseiam-se na seleção de cultivares resistentes. A resistência ao superalongamento (*Sphaceloma manihoticola*) de 87 cultivares de mandioca da coleção de trabalho da Embrapa Acre foi avaliada na safra 1995–1996. Observou-se que 67 genótipos apresentaram resistência ao patógeno aos 6 e 9 meses (SIVIERO; CUNHA, 1995A; SIVIERO; CUNHA, 1997). Siviero e Cunha (1995b) realizaram estudos de tratamento químico de manivas visando combater o superalongamento usando produtos à base de tiocarbamato e oxicloreto de cobre. O tratamento químico foi efetivo apenas para 6 genótipos dos 13 testados.

A reação de resistência à podridão-radicular de cultivares de mandioca da coleção de trabalho da Embrapa Acre foi avaliada na safra 1995–1996. Observou-se que 75% dos materiais apresentaram resistência ao patógeno (0% a 5% de raízes podres) aos 12 e 18 meses após o plantio (MOURA, 1997; MOURA; SILVA, 1997).

Siviero et al. (1996) avaliaram genótipos da coleção de trabalho de mandioca da Embrapa Acre quanto à resistência à podridão-radicular e observaram que das 83 cultivares avaliadas, 29 genótipos se comportaram como resistentes (0,5%-2,5% de raízes podres), 12 como moderadamente resistentes (2,5%-5%), 27 como suscetíveis (5%-15%) e 15 como altamente suscetíveis (> 15%) ao patógeno. Apenas quatro cultivares se comportaram como altamente resistentes, não apresentando raízes podres.

Siviero et al. (2006) avaliaram o comportamento quanto à podridão-radicular de 102 genótipos da coleção de trabalho de mandioca da Embrapa em diversas safras agrícolas. Foram computados dados referentes às safras de 1995–1996, 1997–1998, 2003–2004 e 2004–2005. Observou-se que 17%, 30%, 32%, 14% e 7% dos genótipos avaliados se comportaram como altamente resistentes (0% de raízes podres), resistentes (0,5%-2,5%), moderadamente resistentes (2,5%-5%), suscetíveis (5%-15%) e altamente suscetíveis (> 15%) à doença, respectivamente.

4. Socioeconomia

O baixo padrão tecnológico empregado no cultivo, processamento e armazenamento da mandioca e seus subprodutos associado aos problemas na comercialização, falta de política pública e desorganização dos agricultores, entre outros, limitam a expansão do setor da mandioca no Acre. Importante salientar que o Acre é auto-suficiente em mandioca e exporta para outros estados do Norte o excedente da produção na forma de farinha.

Sá et al. (1997a) estudaram a produção de mandioca no Vale do Juruá e no Baixo Acre. Os agricultores do Baixo Acre cultivam a mandioca associada com outras espécies agrícolas por 2 a 3 anos em áreas de 1,0 ha no sistema de derruba e queima da floresta, sendo a formação de pastagens o objetivo final da exploração. Na região de Cruzeiro do Sul, os agricultores têm a cultura como principal fonte de renda e exploram uma área com a média de 5,0 ha. A mandioca é cultivada em consórcios apenas no primeiro ano. Em ambos os sistemas há pouco uso de insumos na produção, baixa tecnologia na industrialização, problemas históricos na comercialização como subordinação e dependência de atravessadores, comprometendo a eqüidade e a capitalização do produtor.

Sá et al. (1997b) e Sá et al. (1998) realizaram estudos da cadeia produtiva da mandioca no Acre e concluíram que esta cultura é a melhor alternativa econômica para a pequena produção agrícola familiar no Acre, mesmo com a carência de opções de cultivares; o aumento da demanda por farinha deve promover uma modernização natural de casas de farinha, uma vez que o setor produtivo carece de organização nas áreas de produção, beneficiamento e armazenagem; a comercialização da farinha, controlada por poucos compradores, impede a capitalização do produtor.

Entre os fatores críticos que afetam a cadeia produtiva da mandioca no Acre se destacam: o cultivo em regime de consórcio com outras espécies produtoras de grãos como o milho em áreas recém-abertas de floresta dentro do sistema derruba e queima; e a não realização de tratos culturais como

adubações, capinas e controle de pragas. O processamento da farinha é a etapa mais importante da cadeia produtiva, representando 70% das atividades e despesas operacionais. Estima-se que somente na região de Cruzeiro do Sul existam, aproximadamente, 3 mil casas de farinha em operação, beneficiando milhares de famílias (SANTOS et al., 2003).

Observando o sistema produtivo de mandioca empregado no Acre com pouco aporte de recursos tecnológicos, como correção e adubação do solo, mudanças no espaçamento, substituição de cultivares, modernização das casas de farinha, e impondo alterações nessas tecnologias, é possível triplicar a oferta de mandioca no Acre em um curto espaço de tempo. Este cenário, se concretizado, deve ocasionar queda no preço da mandioca no mercado pela maior oferta de produto. Outro problema gerado seria o que fazer com este excesso de produção de mandioca caso se incentive o setor: farinha? fécula? álcool?

Embora a farinha de mandioca do Acre já tenha uma marca (farinha de mandioca de Cruzeiro do Sul) é interessante salientar que o consumo per capita de farinha de mandioca no Brasil tem caído na proporção direta ao êxodo rural. Uma alternativa viável para o uso da farinha seria embuti-la em alimentos como barra de cereais ou granolas (amido oculto), agregando mais valor ao produto. Este é um desafio real da pesquisa e inovação.

Uma outra alternativa para carrear um suposto excesso de produção de mandioca no Acre seria a fabricação de fécula (amido). Esta via depende de política pública, pois o Acre não tem tradição no setor industrial alimentício. Outro fator limitante é a concorrência com os produtores de mandioca para fécula do centro-sul, os quais estão mais próximos dos insumos e do mercado consumidor e possuem tradição no setor.

A fabricação de álcool a partir da mandioca pode ressurgir, em tempos de incentivos, ao uso da biomassa para produção de energia (biodiesel). Esta área enfrenta a concorrência e o poder do setor da cana-de-açúcar. Pequenos projetos de produção de álcool a partir da mandioca poderiam ser desenvolvidos para abastecimento de comunidades na Amazônia distantes das grandes cidades, visando principalmente o consumo local.

A prospecção e o desenvolvimento de cultivares de mandiocas biofortificadas, ou seja, ricas em carotenos é um outro desafio da pesquisa no Acre que deve ser incentivado, pois, no Acre, observa-se a ocorrência de cultivares de mandioca de mesa biofortificadas em diversos povos indígenas e populações locais (ribeirinhos). A incorporação dos genótipos em plantios comerciais de mandioca (agronegócio) é uma tarefa trabalhosa, no entanto, compensadora.

Atualmente a Embrapa Acre coordena um projeto de pesquisa e desenvolvimento na área de melhoria da produção e da qualidade da farinha de mandioca do Vale do Juruá (Farinhavaj) com recursos da Finep. Nesta e em outras atividades de pesquisa e validação procura disponibilizar aos produtores as tecnologias desenvolvidas nas áreas de fitotecnia, doenças, processamento e socioeconomia da mandioca.

5. Referências

BRITO, P. A. C.; MOURA, G. de M. Avaliação e caracterização botânico-agronômica de genótipos de mandioca no Acre. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFAC, 7., 1998, Rio Branco. **Anais**. Rio Branco, AC: UFAC, 1998.

CENSO DEMOGRÁFICO. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas.** São Paulo: Fundação Cargill, 2003. 771 p.

EMBRAPA. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Territorial de Rio Branco. **Relatório semestral**: julho/dezembro/77. Rio Branco, AC, 1977.

EMBRAPA. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Territorial de Rio Branco. **Relatório anual/78**. Rio Branco, AC, 1978.

EMBRAPA Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Territorial de Rio Branco. **Relatório técnico anual da unidade de execução de pesquisa de âmbito estadual de Rio Branco**: 1979-1980. Brasília, DF: Embrapa-DID. 1981.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Florestal do Acre. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Florestal do Acre 1995**. Rio Branco, AC, 1996. 80 p.

FAZOLIN, M. **Surto do mandarová da mandioca.** Rio Branco, AC: EMBRAPA-CPAFAC, 1993. 10 p.

MANDIOCA: O pão do Brasil. Brasília, DF: Embrapa - Assessoria de Comunicação Social, 2005. 279 p.

MENDONÇA, H. A. de; MOURA, G. de M.; CUNHA, E. T. **Avaliação de genótipos de mandioca para consumo in natura em diferentes épocas de colheita na Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2002. 22 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 36).

MENDONÇA, H. A. de; MOURA, G. de M.; CUNHA, E. T. Avaliação de genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no estado do Acre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 761-769, 2003.

MOURA, G. de M. **Araçá**: cultivar de mandioca para a microrregião do Alto Purus, Acre. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. 1 folder.

MOURA, G. de M.; FREITAS, T. S. de. **Influência de leguminosas no rendimento da mandioca quando semeadas entre linhas em diferentes épocas**. Rio Branco, AC: EMBRAPA-UEPAE de Rio Branco, 1982. 2 p. (EMBRAPA-UEPAE Rio Branco. Pesquisa em andamento, 10).

MOURA, G. de M. Caracterização botânico-agronômica da coleção de germoplasmas de mandioca do CPAF-Acre. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1996, São Pedro. **Programa e resumos**... São Pedro: Sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. Resumo.

MOURA, G. de M. **Avaliação de cultivares de mandioca em diferentes épocas de colheita, no estado do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1997. 4 p. (Embrapa-CPAF/AC. Pesquisa em andamento, 103).

MOURA, G. de M.; SILVA, M. D. O. **Avaliação de resistência de cultivares de mandioca a podridão de raízes**. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1997. 5 p. (Embrapa-CPAF/AC. Comunicado técnico, 76).

MOURA, G. de M. **Épocas de capina na cultura da mandioca no estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1998a. 4 p. (Embrapa. CPAF/AC. Comunicado técnico, 96).

MOURA, G. de M. Avaliação de cultivares de mandioca em diferentes épocas de colheita, no estado do Acre. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 17, n. 1/2, p. 13-23, 1998b.

MOURA, G. de M.; CUNHA, E. T. **Panati e Araçá**: novas cultivares de mandioca para o cultivo na microrregião do Alto Purus no estado do Acre. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1998. 4 p. (Embrapa CPAF/AC. Comunicado Técnico, 86).

MOURA, G. de M. **Mandioca**: sustentáculo do agricultor acreano. Rio Branco, AC: Embrapa-CPAFAC, 1999. 2 p.

MOURA, G. de M. Interferência de plantas daninhas na cultura de mandioca (*Manihot esculenta*) no Estado do Acre. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 451-456, 2000.

MOURA, G. de M.; COSTA, N. de L. Efeito da freqüência e altura de poda na produtividade de raízes e parte aérea em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 8, p. 1053-1059, 2001.

MOURA, G. de M.; AMARAL, E. F. do; ARAÚJO, E. A. de. **Aptidão natural dos solos do estado do Acre para o cultivo da mandioca.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 6 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 133).

NODA, H. (Coord.) **Pequena produção de terra firme no Amazonas**. Manaus: INPA, 2002. 80 p. (INPA. Série Documentos, 5).

OLIVEIRA, E. B.; MOURA, G. de M. **Mandioca consorciada em fileiras duplas com milho e arroz**. Rio Branco, AC: Embrapa–CPAF/AC, 1982. (Embrapa-CPAF/AC. Comunicado técnico, 30)

OLIVEIRA, E. B.; MOURA, G. de M.; FRANCO, F. G. S. **Cultivo do arroz e milho entre fileiras duplas de mandioca**. Rio Branco, AC: EMBRAPA-UEPAE de Rio Branco, 1981. 3 p. (EMBRAPA-UEPAE Rio Branco. Pesquisa em andamento, 7).

OSPINA, B.; CEBALLOS, H. (Comp.) **La Yuca en el tercer milenio; sistemas modernos de producción, processamiento, utilización y comercialización**. Cali: CIAT, 2002. 586 p.

PIMENTEL, F. A.; CUNHA, E. T. **Prensagem mecânica para obtenção de farinha de mandioca.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 3 p. (Embrapa Acre. Instruções técnicas, 39).

RITZINGER, C. H. S. P. **Caracterização botânica e agronômica de variedades de mandioca no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: EMBRAPA-CPAF/AC, 1991. 4 p. (EMBRAPA-CPAF/AC. Pesquisa em andamento, 72).

SÁ, C. P. de; ANDRADE, F. G.; ALMEIDA, N. F. **Fatores críticos que afetam a eficiência da cadeia produtiva da mandioca, nos municípios de Rio Branco e Cruzeiro do Sul.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1997a. 4 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 82).

SÁ, C. P. de; ANDRADE, F. G. de; ALMEIDA, N. F. de. Estudo da cadeia produtiva da mandioca. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA, 1, 1997, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa: CNPq, 1997b. p. 80-81.

SÁ, C. P. de; ANDRADE, F. G.; ALMEIDA, N. F. Estudo da cadeia produtiva mandioca no Acre. In: CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; GOEDERT, W. J.; VASCONCELOS J. R. P. (Org.). **Cadeias produtivas e sistemas naturais**. Brasília, DF: Embrapa - SPI, 1998, v. 1, p. 321-341.

SANTOS, J. C. dos; GONDIM, T. M. de S.; SÁ, C. P. de; CARTAXO, C. B. da C.; NASCIMENTO, G. C. do; SILVA, M. R. da. **Avaliação econômica de sistemas de produção de farinha de mandioca na região do Vale do Juruá, Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 44 p. (Embrapa Acre. Documentos, 80)

SILVA, M. D. O.; MOURA, G. de M. Levantamento de podridão de raízes em cultivares de mandioca no CPAF-AC. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 1997, Rio Branco, AC. **Anais.** Rio Branco, AC: UFAC, 1997. p. 88.

SIVIERO, A.; CUNHA, E. T. Reação de cultivares de mandioca ao superalongamento (Sphaceloma manihoticola). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 280, 1995a. Suplemento.

SIVIERO, A.; CUNHA, E. T. Tratamento químico de manivas de mandioca visando o controle do superalongamento (Sphaceloma manihoticola). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 336, 1995b. Suplemento.

SIVIERO, A.; CUNHA, E. T.; MOURA, G. M.; THUNG, M. Reação de cultivares de mandioca a Phytophthora drechsleri, em condições naturais de infecção. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 384, ago. 1996. Suplemento,

SIVIERO, A.; CUNHA, E. T. Reação de cultivares de mandioca a *Sphaceloma manihoticola.* **Fitopatologia brasileira**, v. 22, n.1, p. 103-104. 1997.

SIVIERO, A. O sistema de produção rural adotado pelos produtores do alto Juruá. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Sistemas agroflorestais**: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural: resumos expandidos. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 374-379.

SIVIERO, A.; SOUZA, J. M. L. de; MENDONÇA, H. A. de; ALVERGA, P. P. Caipora e Colonial: cultivares de mandioca de mesa para o Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11, 2005, Campo Grande. **Ciência e tecnologia para a raiz do Brasil**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 1 CD-ROM.

SIVIERO, A.; SANTOS, S. P.; TORRES, A. L.; SALLA, D. A. Resistência de genótipos de mandioca a *Phytophthora drechsleri.* Botucatu. **Summa Phytophatologica,** Botucatu, v. 32, 2006. p. 81-81. Suplemento. Edição do XXIX Congresso Paulista e Fitopatologia, 2006.

SOUZA, J. M. L. de; SIVIERO, A.; MENDONÇA, H. A. de; REIS, F. S. Caracterização de raízes e da qualidade da massa de genótipos de mandioca para consumo in natura no estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11., 2005, Campo Grande**. Ciência e tecnologia para a raiz do Brasil**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 1 CD-ROM.

CAPÍTULO 6

Sistemas Silvipastoris e Agrossilvipastoris: Integração entre Reflorestamento e Pecuária

Tadário Kamel de Oliveira

1. Introdução

A introdução de árvores em pastagem ou o pastoreio em plantações florestais constituem exemplos de sistemas silvipastoris, assim como os cultivos intercalares nos anos iniciais de reflorestamentos, seguidos da formação de pastagem no sub-bosque, caracterizam um sistema agrossilvipastoril sequencial.

Os sistemas agrossilvipastoris são representados por consórcios de animais com cultivos agrícolas e árvores ou arbustos, em uma mesma área, de forma simultânea ou ao longo do tempo. A característica que mais se sobressai nestes sistemas, além das árvores, é a presença de animais e de forragem necessária para sua alimentação. O que os difere dos sistemas silvipastoris é a presença dos cultivos agrícolas (MONTAGNINI et al., 1992).

Devem-se destacar as diversas interações que podem ocorrer entre os componentes dos sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. Dentre elas, o fato das árvores favorecerem o aumento da qualidade da forragem das gramíneas em sombreamento (CARVALHO, 1998) e proporcionarem um microclima favorável para os animais (sombra e ambiente com temperatura amena, etc.) (SILVA et al., 1998). As várias possibilidades de combinações de espécies ou cultivares/clones e os arranjos estruturais determinam diretamente as interações entre os componentes e o manejo. Estes fatores constituem importante objeto de pesquisa nestes sistemas agroflorestais pecuários.

"A recente conscientização da importância da árvore na estabilidade ecológica e produtiva das pastagens tem motivado a criação de alternativas que visam compatibilizar a silvicultura com a pecuária em sistemas de produção. Dessa forma, a associação de pastagens com árvores, ou seja, os sistemas silvipastoris, podem interferir positivamente na disponibilidade e valor nutritivo da forragem, além da geração de empregos, obtenção de produtos florestais e serviços ambientais" (RIBASKI; RAKOCEVIC, 2002).

A importância dos sistemas silvipastoris para o Estado do Acre e para a região da Amazônia Legal pode ser discutida com relação a vários aspectos, por exemplo, quanto ao déficit de madeira no Brasil, à degradação de pastagens na Amazônia e à legislação referente à recomposição florestal da área de reserva legal.

2. Déficit de Madeira no Brasil

A demanda da humanidade por madeira e derivados cresce anualmente, assim como por alimento e outros produtos necessários à sobrevivência. Contudo, o uso inadequado e a superutilização de determinados recursos naturais, em resposta à intensa demanda, vêm esgotando esta fonte, tanto para recursos renováveis quanto para não renováveis.

Atenção especial é dispensada à reposição da vegetação em áreas antropizadas, recuperação de matas ciliares e atividades de reflorestamento.

Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o déficit de madeira plantada no Brasil correspondia, no início desta década, a aproximadamente 300 mil hectares (SILVA, 2003).

A utilização crescente das madeiras oriundas de reflorestamentos para serraria é evidente nos últimos anos, especialmente as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (VALE et al., 2002). O uso de madeira proveniente destas espécies é generalizado, especialmente nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste. Na Região Norte, a tendência é que o cultivo de espécies florestais madeireiras seja ampliado, também em função da escassez de madeira de espécies nativas, preferencialmente exploradas na atualidade.

Dados apresentados por Bacha e Barros (2004) mostram que as serrarias têm nas florestas nativas a sua fonte principal de madeira. Todavia, em 1990, 25,5% do consumo de madeira das serrarias advinha de florestas plantadas, alcançando 36,4% em 2000. Para produção de laminados e compensados 20% eram fornecidos por florestas plantadas em 1990, passando para 65,7% em 2000, demonstrando a tendência para a maior utilização de madeira de reflorestamento ao longo dos anos.

O número de empreendimentos voltados para o setor florestal vem aumentando. Em 2000, a área plantada com eucaliptos no Brasil foi estimada em aproximadamente três milhões de hectares (MORA; GARCIA, 2000). Analisando o consumo de madeira em toras no Brasil (Tabela 1), verifica-se que no referido ano as florestas plantadas forneceram toda a matéria-prima para celulose e papel, aglomerados, chapas de fibra e MDF (Medium Density Fiberboard), em relação às florestas nativas. As áreas de reflorestamento foram responsáveis por 75% da madeira produzida para carvão. A maior quantidade de madeira destinada a serrarias foi proveniente das florestas nativas, sendo próximos os valores para produção de lenha industrial e praticamente o dobro do volume fornecido por florestas plantadas para produção de lâminas e compensados, em comparação com as nativas (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2006).

O estoque de área reflorestada no Brasil diminuiu de 1995 a 2000. Até 2001 houve aumento da taxa anual de reflorestamento e presume-se que entre 2003 e 2010 esteja em 220 e 230 mil hectares por ano. No entanto, este crescimento será conduzido principalmente pelas empresas produtoras de papel e celulose, as quais em 2000 detinham 28,1% do estoque de árvores plantadas no Brasil. As empresas siderúrgicas (19,1%), as empresas produtoras de painéis de madeira reconstituída e os pequenos produtores (áreas plantadas inferiores a 20 ha) responderam por 56,4% deste estoque. O restante inclui os plantios feitos pelos governos em florestas públicas, estações experimentais e hortos florestais, bem como os plantios realizados por outras empresas e fazendeiros com talhões maiores do que 20 hectares (BACHA; BARROS, 2004).

Tabela 1. Consumo de madeira industrial em toras no Brasil em 2000 (1.000 m^3).

Produto	Nativas	Plantadas	Total
Celulose e papel	-	32.000	32.000
Carvão vegetal	11.800	33.400	45.200
Lenha industrial	16.000	13.000	29.000
Serrados	34.000	15.100	49.100
Lâminas e compensados	2.050	3.960	6.010
Painéis reconstituídos*	-	5.000	5.000
Total	63.850	102.460	166.310

*Incluem aglomerados, chapas de fibra e MDF.

Fonte: Abracave, STCP, Abipa, Abimci, Bracelpa, SBS, 2001 (SBS, 2006).

A produção de madeira para serraria está condicionada a um ciclo de corte mais longo, tratos silviculturais específicos e espaçamentos mais amplos, o que excede os padrões de manejo da maioria das florestas plantadas na atualidade.

Uma vez consolidadas as vantagens de um sistema alternativo de cultivo de espécies florestais, existiria considerável interesse de empresas reflorestadoras no sentido de se adotarem espaçamentos maiores e arranjos espaciais variados, o que implicaria em mudanças no comportamento silvicultural das plantas, na produtividade e na finalidade da madeira.

O emprego de espaçamentos mais amplos permite o consórcio com espécies agrícolas e ou pastagem, o que sugere a implantação de sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris seqüenciais. Poucos estudos foram desenvolvidos, visando avaliar o componente arbóreo em variadas condições de plantio, em linhas simples ou duplas, mais ou menos adensado, uma vez que a maioria dos estudos concluídos aborda espaçamentos em torno de dois ou três metros entre as plantas e entre as linhas, em arranjos simplificados. Botelho (1998) cita que o arranjo espacial ou o modo de distribuição das plantas pode variar, mantendo-se a mesma densidade do povoamento, com implicações no crescimento e produtividade.

A implantação de sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris constitui uma das alternativas extremamente promissoras para amenizar a deficiência de madeira no Brasil, tornando monoculturas florestais ou de gramíneas forrageiras em áreas mais produtivas.

3. Degradação de Pastagens na Amazônia

A maioria das áreas desmatadas na Amazônia é utilizada durante os primeiros anos para o plantio de culturas anuais, sendo convertida em pastagem quando há diminuição da fertilidade do solo e infestação de plantas daninhas, o que torna a atividade agrícola economicamente inviável (VALENTIM, 2003).

A presença de árvores na pastagem é uma eventualidade, considerada indiferente, na medida em que extensas monoculturas de gramíneas forrageiras são instaladas. O crescimento destas gramíneas é favorecido pelas condições climáticas da região, porém pragas, doenças e plantas daninhas também se utilizam deste fator para seu desenvolvimento. O surgimento de plantas não forrageiras (plantas daninhas) depende da criação de espaços livres na pastagem, seja pelo manejo inadequado (superpastejo, principalmente), pelo uso do fogo, pela queda da fertilidade do solo ou pela pressão de outros fatores, tais como o ataque das cigarrinhas-das-pastagens em áreas formadas com braquiarinha (*Brachiaria decumbens*) e, mais recentemente, a síndrome da morte do capim-brizantão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), causada pela pouca adaptação desta gramínea a solos sujeitos ao encharcamento. Estes são os principais fatores responsáveis por aproximadamente 60% das pastagens cultivadas na região estarem degradadas ou em processo de degradação (VALENTIM et al., 2000).

A reforma ou renovação da pastagem degradada, ou em degradação, constitui uma oportunidade para implantar esses sistemas, com vantagens significativas em relação ao plantio de mudas de espécies arbóreas em pastagens formadas. Em virtude de reduzir a competição proporcionada pela gramínea já estabelecida no pasto formado, do preparo do solo e do efeito residual positivo da adubação da cultura anual, o plantio das árvores no momento da recuperação da pastagem, via integração lavoura–pecuária–silvicultura, promove maior porcentagem de sobrevivência, maior altura de plantas e diâmetro do tronco, ao final de 6 meses e do 1º ano após o plantio (LESSA et al., 2006; SILVA et al., 2006).

A implantação de sistemas agrossilvipastoris e silvipastoris é recomendada como uma das principais estratégias de recuperação de pastagens degradadas em regiões tropicais. Tal prática pode conferir benefícios ao ambiente quando comparada às pastagens tradicionais, sem a presença de árvores, assim como a conservação do solo e dos recursos hídricos, promoção da fixação de carbono e aumento da biodiversidade (DIAS-FILHO, 2005).

4. Aspectos da Legislação (Recomposição Florestal da Reserva Legal)

Em vigor desde 24 de agosto de 2001, com força de lei, a Medida Provisória nº 2.166-67 altera artigos e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal. Na forma em vigor, apresenta-se no artigo 16 e artigo 44 (BRASIL, 2006):

"Art. 16. As florestas e outras formas de vegetação nativa, ressalvadas as situadas em área de preservação permanente, assim como aquelas não sujeitas ao regime de utilização limitada ou objeto de legislação específica, são suscetíveis de supressão, desde que sejam mantidas, a título de reserva legal, no mínimo: (BRASIL, 2006, grifo nosso).

I - Oitenta por cento, na propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal; (...)" (BRASIL, 2006, grifo nosso).

"Art. 44. O proprietário ou possuidor de imóvel rural com área de floresta nativa, natural, primitiva ou regenerada ou outra forma de vegetação nativa em extensão inferior ao estabelecido nos incisos I, II, III e IV do art. 16, ressalvado o disposto nos seus §§ 5º e 6º, deve adotar as seguintes alternativas, isoladas ou conjuntamente: (BRASIL, 2006, grifo nosso).

I - Recompor a reserva legal de sua propriedade mediante o plantio, a cada três anos, de no mínimo 1/10 da área total necessária à sua complementação, com espécies nativas, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental estadual competente; (BRASIL, 2006, grifo nosso).

II - Conduzir a regeneração natural da reserva legal; e (BRASIL, 2006, grifo nosso).

III - Compensar a reserva legal por outra área equivalente em importância ecológica e extensão, desde que pertença ao mesmo ecossistema e esteja localizada na mesma microbacia, conforme critérios estabelecidos em regulamento. (BRASIL, 2006, grifo nosso).

§ 1º Na recomposição de que trata o inciso I, o órgão ambiental estadual competente deve apoiar tecnicamente a pequena propriedade ou posse rural familiar.

§ 2º A recomposição de que trata o inciso I pode ser realizada mediante o plantio temporário de espécies exóticas como pioneiras, visando à restauração do ecossistema original, de acordo com critérios técnicos gerais estabelecidos pelo Conama.

§ 3º A regeneração de que trata o inciso II será autorizada, pelo órgão ambiental estadual competente, quando sua viabilidade for comprovada por laudo técnico, podendo ser exigido o isolamento da área. (...)"

Baseando-se nos dispositivos e recomendações legais, existem três alternativas para o produtor restabelecer a reserva legal em 80% da área total da propriedade: plantio, condução da regeneração natural e compensação com outra área equivalente em importância ecológica e extensão.

Registra-se que para recomposição da área de floresta na reserva legal, a tentativa de restaurar a vegetação nativa por meio da regeneração natural pode ser considerada. Contudo, trata-se de uma meta a longo prazo, dependente da distância, dimensão e complexidade ecológica das matas mais próximas, as quais promoveriam o aporte de sementes para o repovoamento da área por variadas formas de dispersão.

O simples isolamento da área e a conseqüente formação de capoeiras, representadas por vegetação secundária em diversos estádios de sucessão, contradizem a tendência atual de otimizar o uso de áreas antropizadas e com essa fisionomia vegetal.

O impacto econômico negativo ao produtor teria grandes proporções, considerando a obrigatoriedade de comercializar a maioria do rebanho por falta de espaço para manter os animais e ainda a impossibilidade de recuperar o capital investido na formação da pastagem, principalmente as mais jovens, além de reduzir a escala de produção da fazenda, com menos área destinada à atividade pecuária.

Vale mencionar ainda o seguinte texto, que consta na MP 2.166-67 (BRASIL, 2006):

"Art. 44-C. O proprietário ou possuidor que, a partir da vigência da Medida Provisória nº 1.736-31, de 14 de dezembro de 1998, suprimiu, total ou parcialmente florestas ou demais formas de vegetação nativa, situadas no interior de sua propriedade ou posse, sem as devidas autorizações exigidas por lei, não pode fazer uso dos benefícios previstos no inciso III do art. 44." (NR).

Ou seja, o produtor que a partir de dezembro de 1998 suprimiu área de floresta, sem autorização, não pode compensar a reserva legal adquirindo outra área na mesma microbacia. A condução da regeneração natural é inviável em determinadas situações, portanto, restando a recomposição da reserva legal da propriedade mediante o plantio até a complementação total.

A finalidade básica da recomposição florestal em área de reserva legal é ter recuperada a biodiversidade, a regulação do ciclo hidrológico, a conservação do solo, carbono fixado no lenho das árvores e evitar a degradação ambiental, dentre outros efeitos benéficos proporcionados pelas florestas. Os sistemas silvipastoris prestam grande parte destes serviços ambientais. Conferem uma nova conformação ao manejo da atividade pecuária, com a introdução do componente florestal, a divisão de pastagens, o controle de plantas daninhas, podas, desbastes, aliados à exclusão definitiva do uso do fogo, fixação de carbono e possibilidade de conservação da biodiversidade com as árvores de regeneração natural ou introduzidas na pastagem, assim como vantagens técnicas, quanto à produção de forragem, das árvores e dos animais.

Sugere-se discutir entre os órgãos competentes a implantação de sistemas silvipastoris na área de reserva legal para aqueles produtores notificados quanto à necessidade de reposição florestal em suas propriedades. Francisco et al. (2004) avaliaram a percepção de profissionais da área ambiental a respeito do uso de sistemas agroflorestais para recuperação de áreas de reserva legal e concluíram que práticas envolvendo a sucessão ecológica e alta biodiversidade estão inseridas no processo. Segundo os autores "seu uso não causa conflito em relação à legislação vigente, desde que se tenha muito claro o objetivo maior, que é o de garantir o retorno das funções ecológicas e biológicas desses ecossistemas, aliado à redução dos custos de recuperação da floresta".

Entre as propostas, os sistemas silvipastoris poderiam ser empregados como compensação à reserva legal ou, a princípio, considerados como etapa intermediária no processo de conversão de áreas de pastagem em florestas para recomposição da reserva legal. Sob nenhuma hipótese cogita-se transformar áreas de reserva em sistemas silvipastoris. Contudo, para os casos já existentes, cita o inciso I do artigo 44, que o proprietário deverá recompor a reserva legal com espécies nativas, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão

ambiental estadual competente, portanto, sendo possível a recomendação ou mesmo regulamentação desta proposta de recomposição florestal.

Além dos impactos positivos citados, outros seriam obtidos, como o aproveitamento da forragem disponível e o tempo suficiente para comercialização dos animais, contornando a proposta de isolamento da área, que implicaria na venda imediata do gado pelo produtor, tendo em vista que os 20% da propriedade não seriam suficientes para comportar o rebanho existente. Continuar obtendo algum recurso financeiro, com a implantação do sistema silvipastoril, poderia reduzir o prejuízo do suposto isolamento da área.

O sistema silvipastoril possibilitaria o estabelecimento de uma floresta produtiva no futuro, passível de ser submetida a um plano de manejo florestal enquanto área de reserva, conciliando-se aos inúmeros serviços ambientais advindos da floresta. Assim sendo, a inserção das técnicas de implantação de sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris como alternativa à recomposição da vegetação nativa nas áreas de reserva legal facilitaria a adoção do que rege o artigo 44 da MP 2.166-67 por parte dos produtores, em propriedades rurais da Amazônia.

5. Vantagens dos Sistemas Silvipastoris

Os sistemas silvipastoris apresentam vantagens potenciais em relação aos sistemas convencionais. Quando implantados e manejados de maneira correta proporcionam melhor conforto térmico para os animais (SANTOS et al., 2004), aumentando o ganho de peso (OLIVARES; CARO, 1998) e a produção de leite (BETANCOURT et al., 2003). Além disso, as árvores da família das leguminosas, capazes de fixar o nitrogênio do ar em associação com bactérias, enriquecem o solo e conseqüentemente melhoram a fertilidade (MARTINS et al., 2004) e o valor nutritivo do pasto (CARVALHO et al., 1997; PEZO; IBRAHIM, 1998; ANDRADE et al., 2002).

Outras vantagens que podem ser mencionadas são a suplementação animal, pois algumas árvores produzem vagens comestíveis pelos animais, especialmente na época seca do ano; a implantação de cercas vivas (LUDEWIGS et al., 1998); o controle da erosão do solo (PEZO; IBRAHIM, 1998), com as árvores plantadas em nível e nos terraços (SILVA; MAZUCHOWSKI, 1999); e a obtenção de produtos direta ou indiretamente fornecidos pelas árvores (madeira, frutos, sementes, resinas, óleos essenciais, mel, etc.).

6. Aspectos Gerais na Implantação do Sistema

As etapas para instalação de sistemas silvipastoris dependem de vários fatores, mas são definidas principalmente a partir da escolha da área. O sistema pode ser implantado em um roçado, em uma pastagem formada ou por ocasião da reforma ou renovação de pastagem. O processo torna-se especialmente vantajoso em se tratando de pastagens degradadas ou em degradação.

No roçado podem-se conduzir as brotações de tocos ou indivíduos arbóreos originados de sementes, controlando-se o estande da população por

meio de desbastes. Quando da formação da pastagem e introdução dos animais na área, as árvores já terão porte suficiente para evitar danos físicos causados pelo gado.

O plantio em pastagem formada tem algumas limitações quanto ao estabelecimento das mudas das espécies arbóreas introduzidas. A condição de baixa fertilidade geralmente encontrada nos solos com pasto e a competição com a gramínea, previamente estabelecida, tornam-se obstáculos a serem superados. Práticas como coroamento e adubação em cobertura são recomendáveis neste caso.

No plantio das árvores na integração lavoura–pecuária–silvicultura, por ocasião da reforma ou renovação da pastagem, deve-se atentar para a escolha das espécies arbóreas, priorizando aquelas de rápido crescimento; sem efeito alelopático para as culturas anuais e forrageiras ou tóxicas para os animais em consórcio; com copa não muito densa (que permita o crescimento da forrageira no sub-bosque); preferencialmente leguminosas arbóreas e, se possível, de uso múltiplo (madeira, frutos, sementes, sombreamento, adubação, etc.), dentre outras características.

Uma vez selecionada(s) a(s) espécie(s) arbórea(s) procede-se à coleta de sementes de boas matrizes, produção de mudas, ao preparo do solo, plantio e tratos silviculturais como podas.

Sugestões para implantação de sistemas silvipastoris foram dadas por Oliveira et al. (2003), os quais citam, para áreas de pastagem na Amazônia, o plantio próximo aos tocos remanescentes do corte da floresta, como forma de proteger as mudas plantadas em pastos formados e em convivência com o gado, bem como a condução da regeneração natural de espécies de árvores como bordão-de-velho (*Samanea* sp.), baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.), mulateiro (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) e faveira ou paricá (*Schizolobium amazonicum* Hub.).

Em geral, conforme recomendação de Silva (2003) "toda a base tecnológica já existente para intervenções em forragicultura, silvicultura e para o manejo das pastagens e do rebanho deve ser considerada para o êxito em sistema silvipastoril, assim como as práticas agrossilviculturais necessárias para a manipulação microclimática do ambiente".

7. Resultados Preliminares de Pesquisas

Estudos sobre avaliação e seleção de procedências de árvores de uso múltiplo para sistemas silvipastoris, realizados por Franke e Miranda (1998), bem como documentos que abordam fundamentos e aplicabilidade dos sistemas silvipatoris (FRANKE; FURTADO, 2001), avaliação de árvores de baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental (ANDRADE et al., 2002) e noções básicas para implantação de sistemas silvipastoris (OLIVEIRA et al., 2003) são publicações que contribuem com o avanço das investigações científicas neste tema, para o Estado do Acre.

Unidades de observação de sistemas silvipastoris, situadas em áreas de produtores do Projeto de Colonização Pedro Peixoto, Município de Senador Guiomard-AC, foram implantadas em pastagens de capim *Brachiaria* sp., constando dez espécies arbóreas nativas, em arranjos e espaçamentos diferentes. Experimentos também foram instalados em pastagens já formadas e por ocasião da reforma do pasto (integração lavoura–pecuária–silvicultura) conforme sugestões de Oliveira et al. (2003), constituindo quatro sistemas:

- Sistema 1 – Plantio em linha simples, no espaçamento 5 x 5 m, em pastagem formada, sem isolamento da área. Delineamento em blocos casualizados, com quatro blocos e cinco tratamentos (espécies arbóreas): cedro (*Cedrela odorata* L.), mogno (*Swietenia macrophylla* King.), faveira (*Schizolobium amazonicum* Hub.), jenipapo (*Genipa americana* L.) e bordão-de-velho (*Samanea* sp.).
- Sistema 2 – Plantio em linha simples, no espaçamento 5 x 10 m, em pastagem formada, sem isolamento da área. Delineamento em blocos casualizados, com seis repetições e quatro tratamentos: faveira, bordão-de-velho, mogno e jenipapo.
- Sistema 3 – Plantio em linha simples, no espaçamento 5 x 10 m, integração lavoura–pecuária (reforma do pasto com plantio de arroz, com adubação da cultura anual e 150 gramas de superfosfato simples em cada cova para as espécies arbóreas). Delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e cinco tratamentos: faveira, bordão-de-velho, mogno, cedro e jurema (*Pithecellobium* sp.).
- Sistema 4 – Plantio em linha simples, no espaçamento 10 x 10 m, integração lavoura–pecuária (consórcio de milho e arroz, sem adubação). Delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: faveira, bordão-de-velho, mogno e jenipapo.

Na Fig. 1 observa-se a porcentagem de sobrevivência de faveira, bordão-de-velho, mogno e cedro, nas diferentes formas de implantação de sistemas silvipastoris (sistemas 1 a 4).

Na integração lavoura–pecuária, verifica-se a tendência de manutenção da porcentagem de sobrevivência das espécies arbóreas até 1 ano de idade (Fig. 1), demonstrando bom estabelecimento para esta forma de implantação de sistema silvipastoril. Deve-se destacar que a porcentagem de sobrevivência da faveira (apenas 60%) no sistema 3 foi em decorrência da destruição de plantas em algumas parcelas durante gradagens realizadas nas entrelinhas.

Quanto ao plantio no pasto, houve um evidente decréscimo no número de plantas para faveira, situado entre 37,5% e 41,7% 1 ano pós-plantio, seja pelos danos provocados pelos animais ou pela não tolerância desta espécie às condições de competição provocada pela gramínea.

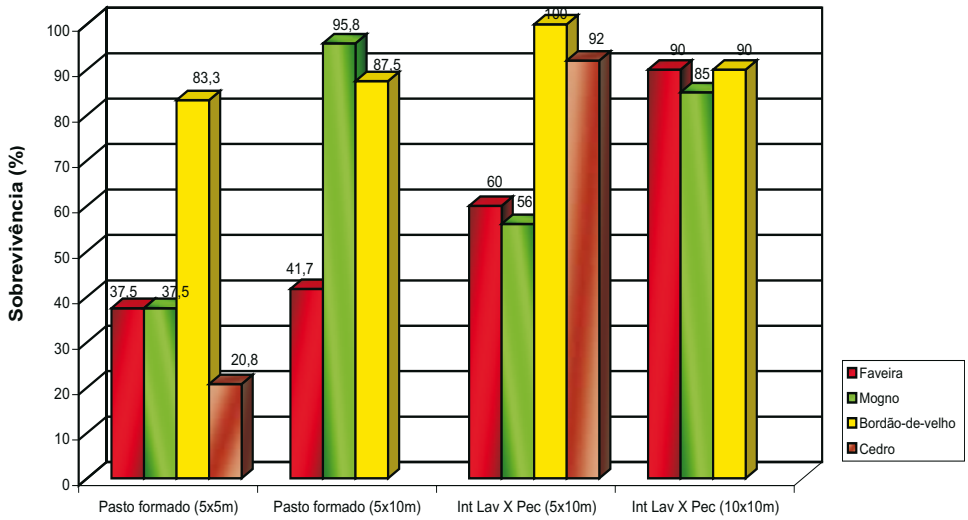


Fig. 1. Porcentagem de sobrevivência de faveira (*Schizolobium amazonicum* Hub.), mogno (*Swietenia macrophylla* King.), bordão-de-velho (*Samanea* sp.) e cedro (*Cedrela odorata* L.), 1 ano após o plantio dos sistemas silvipastoris, em pastagem formada e na integração lavoura–pecuária.

Os resultados revelaram que tanto na integração lavoura–pecuária (10 x 10 m) quanto para o plantio em pastagem formada (5 x 10 m), o mogno manteve a porcentagem de sobrevivência acima de 85%. Todavia houve diminuição na porcentagem de sobrevivência para 37,5% e 56% nos sistemas 1 e 3. É possível supor que a menor qualidade das mudas tenha influenciado o baixo desempenho do mogno nestes tratamentos (Fig. 1).

O bordão-de-velho apresentou elevada porcentagem de sobrevivência para o plantio em pastagem formada e na integração lavoura–pecuária, variando de 83,3% a 100% (Fig. 1). Trata-se de uma espécie de leguminosa arbórea de ocorrência natural em pastos do Acre, portanto, adaptada às condições encontradas no ambiente da pastagem.

Quanto ao cedro, verificou-se elevada porcentagem de sobrevivência na integração lavoura–pecuária (92%) e redução no plantio em pastagem formada (20,8%) com 1 ano de idade. A diminuição da fertilidade do solo, comum em áreas de pastagem com mais de 10 anos (assim como na área do estudo), a competição com as gramíneas, a incidência da broca-das- florestais (*Hypsiphyla grandella*) e os danos causados pelos animais prejudicaram o crescimento das mudas.

Destaca-se o rápido crescimento da faveira, com altura de plantas superior a 3,5 m ao final de 1 ano pelo plantio na integração lavoura–pecuária (5 x 10 m) (Fig. 2). Contudo, plantada no pasto, sem adubação, a faveira apresentou altura máxima de pouco mais de 60 cm. Mesmo o bordão-de-velho, com excelente desempenho quanto à sobrevivência das mudas (Fig. 1), não apresentou crescimento satisfatório até 1 ano, quando plantado no pasto e sem adubação (45 a 76 cm de altura).

Vale ressaltar o impacto positivo do efeito residual da adubação da cultura anual e da adubação de base para cada muda das espécies florestais (sistema 3), comparando-se os resultados para faveira, bordão-de-velho e mogno, na integração lavoura–pecuária, bastante superiores quanto à altura de plantas no espaçamento 5 x 10 m em relação ao 10 x 10 m.

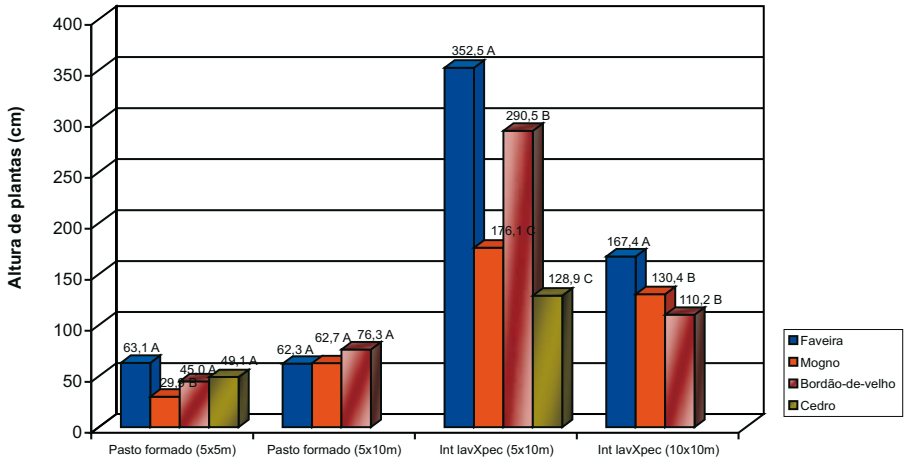


Fig. 2. Altura de plantas de faveira (*Schizolobium amazonicum* Hub.), mogno (*Swietenia macrophylla* King.), bordão-de-velho (*Samanea* sp.) e cedro (*Cedrela odorata* L.), 1 ano após o plantio dos sistemas silvipastoris*.

*Em cada método de implantação, médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Scott & Knott (P<0,05).

As operações de preparo do solo e adubação para implantação da cultura anual possivelmente favoreceram o crescimento das espécies pelo método da integração lavoura–pecuária. Deve-se destacar ainda que uma gradagem realizada nas entrelinhas após a colheita da cultura anual para eliminar as plantas daninhas e incorporar os restos de cultura provavelmente incrementou o crescimento das espécies no sistema 3, suprimindo a competição causada pelas forrageiras e vegetação espontânea.

Em avaliação aos 6 meses após a implantação destes e outros sistemas silvipastoris, Silva et al. (2006) observaram que para o plantio no espaçamento 5 x 8 m, na integração lavoura–pecuária, com a cultura do arroz, sem adubação, as maiores alturas de planta foram verificadas em ingá (*Inga* sp.) e bordão-de-velho (129,2 e 113,0 cm, respectivamente). Piranheira (*Swartzia* sp.), bacuri (*Platonia insignis* Mart.) e copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) apresentaram os menores valores para diâmetro à altura do colo (DAC) e altura de plantas, inferiores a 30 cm aos 6 meses pós-plantio. Trata-se de espécies de crescimento lento, o que constitui um fator limitante ao seu uso na implantação de sistemas silvipastoris, especialmente bacuri e copaíba, que podem ser consideradas espécies clímax, quanto ao grupo ecológico, exigentes em sombra na fase inicial do seu desenvolvimento.

Atualmente, experimentos vêm sendo instalados pela Embrapa Acre, em áreas de produtores, tanto pelo método de plantio em pastagem formada quanto na integração lavoura–pecuária–silvicultura, mediante o plantio de espécies arbóreas nativas e exóticas com culturas anuais, principalmente milho, e gramíneas forrageiras. Um dos principais objetivos é definir o espaçamento mais adequado para as árvores e formar a pastagem no sub-bosque. Macedo et al. (2000) citam que uma das características desejáveis das espécies arbóreas para sistemas silvipastoris é ter sua silvicultura conhecida.

Em fases mais maduras do sistema, possivelmente entre 5 e 10 anos de idade, será possível avaliar o desempenho produtivo das forrageiras em sombreamento e ainda dos animais componentes, apresentando-se recomendações mais completas para o emprego destes sistemas agroflorestais pecuários na Amazônia.

8. Considerações Finais

As árvores consorciadas com as pastagens podem fornecer tanto serviços (sombra para o gado, fixação de nitrogênio, melhoria na ciclagem de nutrientes, redução da erosão do solo, proteção de nascentes, etc.) quanto produtos (madeira, frutos, forragem, óleos, resinas, etc.) (FRANKE; FURTADO, 2001; CARVALHO et al., 2002; ANDRADE et al., 2002), contribuindo para minimizar as implicações ecológicas negativas da implantação das pastagens homogêneas e com o aumento da sustentabilidade.

Os sistemas silvipastoris despontam como alternativa promissora, por serem mais diversificados e potencialmente mais produtivos e sustentáveis que os sistemas pecuários tradicionais.

A implantação de sistemas silvipastoris poderia ser citada como ação intermediária entre a pastagem presente em área de reserva legal e a fase final de recomposição da floresta. Assim, seria possível conciliar a condução da regeneração natural e a introdução de espécies arbóreas ao aproveitamento da forragem presente na área, que a princípio seria isolada ou submetida a um reflorestamento tradicional, segundo a legislação vigente.

O objetivo final da recomposição da área de reserva legal, em síntese, deve ser entendido como a recuperação dos efeitos positivos e benéficos das florestas, assim como a conservação da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e a fixação de carbono, por exemplo.

Serviços ambientais desta natureza são inerentes aos sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. Uma vez implantado, o sistema agrega técnicas de manejo como a exclusão definitiva do uso do fogo nas pastagens, aliada à conservação *ex situ* de espécies arbóreas potenciais produtoras de sementes e outros produtos de valor ambiental e econômico, além das vantagens técnicas com relação à produtividade da forragem e dos animais e das funções ecológicas próprias de um ambiente florestal.

9. Referências

ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. Árvores de baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 574-582, 2002.

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. de. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 191-203, dez. 2004.

BETANCOURT, K.; IBRAHIM, M.; HARVEY, C. A.; VARGAS, B. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. **Agroforesteria en las Américas**, v. 10, p. 47-51, 2003.

BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA: FAEPE, 1998. p. 381-405.

BRASIL. **Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001.** Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/MPs/mp2166-67.htm>. Acesso em: 25 ago. 2006.

CARVALHO, M. M.; SILVA, J. L. O. da; CAMPOS JÚNIOR, B. de A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 2, p. 213-218. 1997.

CARVALHO, M. M. **Arborização de pastagens cultivadas**. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, 1998. 37 p. (Embrapa-CNPGL. Documentos, 64).

CARVALHO, M. M.; ALVIN, J. M.; XAVIER, D. F.; YAMAGUCHI, L. C. T. **Estabelecimento de sistemas silvipastoris**: ênfase em áreas montanhosas e solos de baixa fertilidade. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2002. 12 p. (Embrapa Gado de Leite. Circular técnica, 68).

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 2. ed. Belém,PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173 p.

FRANCISCO, C. E.; ZAKIA, M. J. B.; TORRES, R. B.; COELHO, R. M.; RAMOS-FILHO, L. O. Percepção de profissionais da área ambiental a respeito do uso de sistemas agroflorestais para recuperação de áreas de preservação permanente e de reserva legal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs**: desenvolvimento com proteção ambiental: anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p. 192-194. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris**: fundamentos e aplicabilidade. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 51 p. (Embrapa Acre. Documentos, 74).

FRANKE, I. L.; MIRANDA, E. M. de. **Ocorrência de árvores e arbustos de uso múltiplo em pastagens no Estado do Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC, 1998. 3 p. (Embrapa-CPAF/AC. Pesquisa em andamento, 130).

LESSA, L. S.; OLIVEIRA, T. K. de; FURTADO, S. C.; LUZ, S. de A.; SANTOS, F. C. B. dos. Estabelecimento de espécies arbóreas nativas em unidades de observação de sistemas silvipastoris no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6., 2006, Campos dos Goytacazes. **Bases científicas para o desenvolvimento sustentável**: resumos expandidos. Campo de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Salvador: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2006. 1 CD-ROM.

LUDEWIGS, T.; MENESES-FILHO, L. C.; LEITE, A. P.; PINTO, E. M.; SILVA, R. F. da; BRILHANTE, N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estacas de *Erythrina verna* para uso em cercas vivas no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém, PA. **Sistemas agroflorestais no contexto da qualidade ambiental e competitividade:** resumos expandidos. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1998. p. 49-51.

MACEDO, R. L.; FURTADO, S. C.; OLIVEIRA, T. K. de; GOMES, J. E. Caracterização e manejo dos principais sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. In: MACEDO, R. L. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA: FAEPE, 2000. p. 90-137.

MARTINS, C. E. N.; FEISTAUER, D.; VIEIRA, A. R. R.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; QUADROS, S. F. A. de. Crescimento de espécies nativas e produção de material formador da serapilheira em um sistema silvipastoril. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs**: desenvolvimento com proteção ambiental: anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p. 192-194. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

MONTAGNINI, F. et al. **Sistemas agroforestales**: principios y aplicaciones en los trópicos. 2. ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

OLIVARES, A.; CARO T. W. Efecto de la presencia de sombra en el consumo de agua y ganancia de peso de ovinos en pastoreo. **Agro sur**, Valdivia, v. 26, n. 1, 1998.

OLIVEIRA, T. K. de; FURTADO, S. C.; ANDRADE, C. M. S. de; FRANKE, I. L. **Sugestões para implantação de sistemas silvipastoris**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 84).

PEZO, D.; IBRAHIM, J. **Sistemas silvopastoriles**. Turrialba: CATIE: GTZ, 1998. 258 p. (Materiales de Ensenanza, n. 40; Colección módulos de enseñanza agroforestal. Modulo de Ensenanza agroflorestal, n. 2).

RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M. Disponibilidade e qualidade da forragem de braquiária (*Brachyaria bryzantha*) em um sistema silvipastoril com eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos:** sustento da vida e sustento de vida**. Anais.** Ilhéus: CEPLAC: UESC, 2002. 1 CD-ROM.

SANTOS, W. B. R.; PIANO, L. M.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Utilização de bosques em sistema de criação a pasto, para o conforto térmico animal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **SAFs**: desenvolvimento com proteção ambiental: anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p. 192-194. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

SILVA, V. P. da; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Sistemas silvipastoris**: paradigma dos pecuaristas para agregação de renda e qualidade. Curitiba: EMATER-Paraná, 1999. 52 p. (Série informação técnica, 50).

SILVA, V. P. da. Sistemas silvipastoris em Mato Grosso do Sul – para que adotá-los? In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., 2003, Campo Grande. **Palestras.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, V. P. da ; VIEIRA, A. R. R.; CARAMORI, P. H.; BAGGIO, J. A. Sombras e ventos em sistema silvipastoril no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém, PA. **Sistemas agroflorestais no contexto da qualidade ambiental e competitividade:** resumos expandidos. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1998. p. 215-218.

SILVA, J. M. de A.; OLIVEIRA, T. K. de; FURTADO, S. C.; LESSA, L. S. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas em sistemas silvipastoris no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6., 2006, Campos dos Goytacazes. **Bases científicas para o desenvolvimento sustentável**: resumos expandidos. Campo de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Salvador: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2006. 1 CD-ROM.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**. Disponível em: <http:/ www.sbs.org.br/estatisticas.htm>. Acesso em: 17 jun. 2006.

VALE, R. S. do; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORI, F. A.; MORAIS, A. R. de. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 285-297, maio/jun. 2002.

VALENTIM, J. F. **Integração lavoura e pecuária no Acre**. Disponível em: <http://www.cpafac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/lavoura.html>. Acesso em: 10 jun. 2003.

VALENTIM, J. F.; AMARAL, E. F.; MELO, A. W. F. **Zoneamento de risco edáfico atual e potencial de morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2000. 26 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa, 29).

CAPÍTULO 7

Crescimento e Produtividade do Cafeeiro sob Diferentes Níveis de Sombreamento com Seringueira

Aureny Maria Pereira Lunz
Marcos Silveira Bernardes
Ciro Abbud Righi

1. Introdução

A cultura do cafeeiro ocupa papel de elevada importância na agricultura e na economia brasileira. O café é uma importante commodity agrícola de exportação no mundo e, dentre os países produtores, o Brasil ocupa posição de destaque, sendo o maior produtor e exportador mundial. Contudo, é um produto bastante vulnerável às flutuações de preço no mercado (CAIXETA, 2001; FNP, 2004). Neste sentido, a diversificação da produção é uma importante estratégia para manter o equilíbrio econômico da propriedade, e os sistemas agroflorestais podem ser uma alternativa.

O cafeeiro pode ser conduzido a pleno sol ou sombreado. No continente africano, seu local de origem, é encontrado como vegetação de sub-bosque de florestas tropicais, onde cresce sob constante sombreamento. Nos países da América Latina, seu cultivo em associação com diversas espécies arbóreas sombreadoras é uma prática que tem se mostrado promissora. No Brasil, é cultivado predominantemente a pleno sol, sendo o melhoramento genético voltado para a adaptação da planta a essas condições. No entanto, sob esse sistema de cultivo, apresenta bienalidade de produção e menor longevidade.

A associação de cafeeiro com espécies arbóreas, além de diversificar a fonte de renda dos agricultores, por meio do fornecimento de diferentes produtos oriundos das árvores, pode apresentar outros benefícios, tais como maior biodiversidade e conservação ambiental; melhoria do microclima; proteção contra geadas; redução da bienalidade de produção; redução da incidência de plantas daninhas; maior estabilidade de produção; redução da incidência de seca dos ponteiros; melhor qualidade do produto final, entre outros (FERNANDES, 1986; BEER, 1987; BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

Os maiores benefícios fisiológicos que o cafeeiro recebe das árvores de sombra estão associados à redução do estresse da planta, pela melhoria do

microclima e do solo (BEER, 1987; BEER et al., 1998). Essas modificações microclimáticas interferem no desempenho do cafeeiro, alterando as trocas gasosas, a anatomia, a morfologia, o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo, refletindo conseqüentemente em sua produtividade.

O comportamento produtivo do cafeeiro sob sombreamento é muito variável, em função de fatores como condições locais de clima e de solo, cultivar de cafeeiro e espécie sombreadora utilizada, espaçamento e arranjo das espécies, grau de sombreamento e manejo adotado no sistema. Há bastante controvérsia acerca dos efeitos presumivelmente positivos da arborização sobre a produção de café. A literatura é abundante em exemplos demonstrando incrementos, decréscimos ou invariabilidade da produção de café, em função da arborização (FOURNIER, 1988; DAMATTA; RENA, 2002; DAMATTA, 2004). Em condições ambientais adequadas e com a utilização intensiva de insumos, plantios a pleno sol normalmente produzem mais do que os arborizados. Todavia, alguns trabalhos mostram que em regiões marginais à cafeicultura, ou seja, onde as condições de solo e de clima não são plenamente favoráveis à cultura, a prática de sombreamento pode beneficiar o cafeeiro aumentando sua produtividade (BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

Cafezais mantidos a pleno sol encontram elevada potencialidade de produção, resultando em maior demanda de nutrientes pela planta e na morte dos ponteiros, diminuindo a longevidade das lavouras (CAMARGO, 1985; FAHL et al., 1994). Em alguns casos, a baixa produtividade de cafeeiros sob sombreamento poderia ser compensada pelo menor investimento em insumos, maior estabilidade da produção, maior número de colheitas, fornecimento de outros produtos oriundos dos demais componentes do sistema, melhoria da qualidade do café e pela maior conservação ambiental. Em cafezais com sombreamento bem planejado e bem conduzido, espera-se que a equivalência de uso da terra seja superior à do monocultivo.

Para Camargo (1990), a prática do sombreamento, em muitos casos, tem falhado no Brasil. Certamente, a causa principal é a condução desacertada, quase sempre com sombreamento muito denso, tornando insuficiente a disponibilidade de radiação solar aos cafeeiros. Conforme Fahl e Carelli (2004), baseados em experimentos conduzidos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), sombreamento moderado com espécies arbóreas, em torno de 30 %, favorece os processos fisiológicos, atenua o depauperamento das plantas e não reduz significativamente a produção. Segundo Muschler (1999), a análise concomitante de fatores como objetivos da produção, características ambientais e nível tecnológico disponível dará subsídios para a tomada de decisão sobre o uso ou não de arborização em cafezais.

No Brasil e no mundo, diversas pesquisas relacionadas ao sombreamento de cafeeiros têm sido desenvolvidas. Tais estudos envolvem desde espécies arbóreas como seringueira, grevílea, eucalipto, paricá, freijó, teca, eritrina, coqueiro, ingazeiro, pupunheira, bananeira, cajueiro, entre outras, até o uso de sombrites, para simular a redução da radiação solar. Para Camargo (1990), uma prática essencial na condução da cafeicultura sustentada é o emprego da técnica da arborização, ou seja, o seu sombreamento ralo. Dessa forma, ganha relevância o avanço do conhecimento científico nesse tema, o que induz

ao objetivo do presente estudo que é avaliar o efeito de diferentes níveis de radiação solar no crescimento e produtividade do cafeeiro.

2. Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro de 2002 a março de 2005, no Campo Experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) em Piracicaba-SP (22°42'30" S, 47°38'00" W – altitude 550 m). De acordo com a classificação de Koppen o clima local é mesotérmico Cwa, com verão chuvoso e inverno seco. O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico, Latossólico, textura argilosa, A moderado, com declividade de até 1,5%.

O experimento foi composto de seringueira do clone PB 235, plantada em dezembro de 1991, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m e cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002, no espaçamento de 3,4 x 0,9 m. Os cafeeiros foram plantados sob diferentes condições de radiação solar, no sub-bosque do seringal, em interface com as árvores de seringueira e em monocultivo (pleno sol) (Fig. 1).

a b

Fotos: Aureny Maria P. Lunz

Fig. 1. Vista parcial da interface seringueira-cafeeiro (a) e dos cafeeiros no interior do seringal (b).

O manejo das culturas foi conduzido conforme as recomendações técnicas para cada espécie, sendo o cafeeiro irrigado por gotejamento. A radiação solar disponível aos cafeeiros foi mensurada com tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelkamp), instalados acima das copas dos cafeeiros e conectados a uma estação automática de coleta de dados (Delta-T Device Inc.).

Os tratamentos foram constituídos por um gradiente de luminosidade de 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 80%, 90%, 95%, 98%, 99% e 100%, formado por linhas de cafeeiros plantados a diferentes distâncias das árvores de seringueira, tanto dentro como em interface com o seringal e em monocultivo (pleno sol). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com 11 tratamentos e 4 repetições. Foram analisadas variáveis relativas ao crescimento e produtividade do cafeeiro.

2.1. Crescimento do Cafeeiro

A análise de crescimento dos cafeeiros foi efetuada aos 38 meses após o plantio, em parcelas constituídas por 6 plantas, sendo analisadas as seguintes variáveis: diâmetro do caule, altura da planta, altura inicial da copa, diâmetro da copa e área foliar total.

O diâmetro do caule foi medido a 5 cm do solo, utilizando-se um paquímetro, e o da copa foi avaliado com uma régua graduada, colocada transversalmente aos ramos ortotrópicos em dois sentidos (linha e entrelinha), medindo-se a distância entre o primeiro par de folhas presentes nos ramos plagiotrópicos opostos. A altura dos cafeeiros foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do ramo ortotrópico. A altura inicial da copa também foi medida com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo da planta até o ponto de inserção do ramo plagiotrópico mais baixo. A área foliar total de cada planta foi obtida utilizando-se um método não destrutivo, conforme a equação a seguir:

$$AFT = N \times Fm$$

Onde:

N = número de folhas da planta

Fm = área da folha média de cada planta

2.2. Modificações Morfofisiológicas no Cafeeiro

As modificações morfofisiológicas avaliadas foram tamanho da folha e área foliar específica. O tamanho da folha foi determinado pelo produto do seu comprimento por sua maior largura, multiplicando-se por um fator de correção K (0,6862). Esse fator foi calculado por meio da correlação linear entre a área de 100 folhas, mensurada com o integrador de área foliar – Li-3100 (Li-COR Inc) –, e o produto do comprimento e da largura dessas folhas. A área foliar específica foi determinada pela relação entre área foliar e massa seca da folha.

2.3. Produção do Cafeeiro

Quando os cafeeiros estavam com aproximadamente 2 anos e meio, realizou-se a primeira colheita. Efetuaram-se duas avaliações relativas à produtividade, referentes às safras dos anos 2004 e 2005. Para avaliar a produção, foi utilizada uma amostra de seis plantas por parcela. A colheita foi efetuada manualmente, sendo os frutos derriçados no pano e colocados para secar ao sol, até atingir umidade em torno de 11%, obtendo-se o café coco, que em seguida foi beneficiado. A produtividade foi determinada por meio da massa, em quilogramas, de café produzido por parcela (café coco e beneficiado), sendo os dados posteriormente transformados em quilogramas por planta.

Determinou-se também o rendimento, obtido pela razão entre o peso do café beneficiado e o do café coco, e o índice de bienalidade de produção, que objetiva medir a intensidade dos ciclos bienais, indicando a diferença de

produção da planta de um ano para o outro. Esse dado foi obtido pela razão entre a produtividade da safra atual (ano em curso) e a anterior.

Realizou-se inicialmente uma análise exploratória dos dados para verificação da normalidade e homogeneidade de suas variâncias. Como estes satisfaziam os pressupostos básicos para análise estatística paramétrica, procedeu-se à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico The SAS System for Windows versão 8.0. Posteriormente, efetuou-se a análise de regressão para as variáveis que apresentaram resultado significativo, aplicando-se modelos matemáticos que melhor se ajustavam aos dados, utilizando o programa Curve Expert versão 1.38.

3. Resultados e Discussão

3.1. Crescimento do Cafeeiro

Com exceção das variáveis altura da planta e diâmetro da copa houve efeito significativo ($p<0,01$) da disponibilidade de irradiância sobre as demais variáveis.

A regressão exponencial entre a porcentagem de irradiância disponível e o diâmetro basal (Fig. 2) demonstra a estreita relação entre essas duas variáveis, com uma tendência assintótica dada pelo expoente negativo. Tais resultados discordam dos observados por Rodriguez et al. (1999), que estudando o crescimento de cafeeiros em Cuba, sob diferentes níveis de irradiância (70%, 85% e 100%), encontraram um nível ótimo de radiação para o diâmetro do caule a 85%.

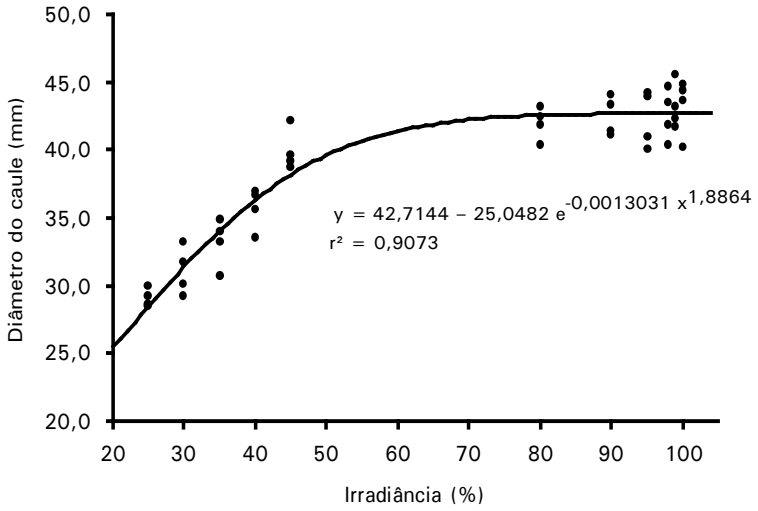


Fig. 2. Diâmetro do caule do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

A altura média das plantas foi de 145,53 cm, estando de acordo com os estudos realizados por Carelli et al. (2002); Fahl et al. (1994) e Salgado (2004). No entanto, esse resultado discorda de Carelli et al. (1999), que observaram menor crescimento, em altura, em mudas de cafeeiros com excesso de sombreamento (30% de radiação solar) e não detectaram diferença significativa entre as plantas a pleno sol e com 50% de sombreamento. A ausência de efeito do sombreamento na altura dos cafeeiros pode ser devida a sua origem de sub-bosque. Mesmo sendo cultivado predominantemente a pleno sol em alguns países, o cafeeiro é considerado como uma espécie de sombra facultativa. No entanto, ressalta-se que apesar das plantas terem atingido altura similar em todos os tratamentos, observou-se um maior comprimento dos internódios do ramo ortotrópico nos tratamentos com maior sombreamento, o que demonstra um leve estiolamento das plantas, mas não o suficiente para sobrepor a altura dos cafeeiros sob maior irradiância.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004) e Majerowicz e Peres (2004), as plantas que alongam o caule, em resposta ao sombreamento, fazem-no como forma de evitar a baixa irradiância. O sombreamento induz as plantas de sol a alocarem uma maior parte de seus recursos para crescer em altura, por meio do alongamento dos entrenós, o que não ocorre com a maioria das plantas tipicamente de sombra, as quais normalmente já crescem em ambientes sombreados. Como apresentam pouco ou nenhum estiolamento, parece haver relação sistemática entre o crescimento controlado pelo fitocromo e o habitat da espécie. Tais resultados indicam o envolvimento do fitocromo na percepção da sombra. Para uma planta de sol, existe um claro valor adaptativo em alocar seus recursos em direção a um crescimento mais rápido em extensão (estiolamento), quando ela é sombreada por outra planta. Desse modo, ela pode aumentar suas chances de crescer acima do dossel e adquirir uma maior porção de radiação fotossinteticamente ativa não filtrada.

Houve um decréscimo linear na altura inicial da copa dos cafeeiros com o aumento da radiação solar (Fig. 3). Com o crescimento da planta, aumenta o auto-sombreamento provocado pelas folhas e ramos da copa do cafeeiro. Assim, as folhas localizadas nos ramos inferiores passam a receber radiação abaixo do seu ponto de compensação de luz, sendo segundo Hopkins (1995), descartadas pela planta. Em seguida, esses ramos também são eliminados, aumentando a altura inicial da copa. Este fato ocorre com maior intensidade nos cafeeiros com menor disponibilidade de radiação, do que nas plantas sob radiação plena, uma vez que nestas últimas chega maior quantidade de radiação na parte inferior da copa.

Diante desses resultados e uma vez que não ocorreu diferença significativa na variável altura das plantas, conclui-se que houve um achatamento da copa à medida que a disponibilidade de radiação diminuiu, como também foi observado por Righi (2005).

O diâmetro médio da copa dos cafeeiros foi de 144,53 cm, resultado semelhante aos encontrados por Salgado (2004). No entanto, Carelli et al. (2002), trabalhando com essa mesma cultivar (Obatã), verificaram diâmetro da copa menor a pleno sol. Ressalta-se que nos cafeeiros com menor disponibilidade de radiação, o número de nós dos ramos plagiotrópicos primários foi menor e o

comprimento dos internódios desses ramos maior, o que evidencia uma maior elongação dos ramos plagiotrópicos nessas plantas.

A área foliar total aumentou com a disponibilidade de irradiância (Fig. 4), representando um incremento de 153% nos cafeeiros a pleno sol. Uma vez que a área foliar individual reduziu com o aumento de disponibilidade de radiação solar (conforme será discutido posteriormente), conclui-se que houve um acréscimo no número de folhas por planta. O aumento da área foliar específica (AFE) e da área foliar individual, nos cafeeiros mais sombreados, não foi suficiente para equiparar a área foliar total dos cafeeiros sob maior disponibilidade de radiação.

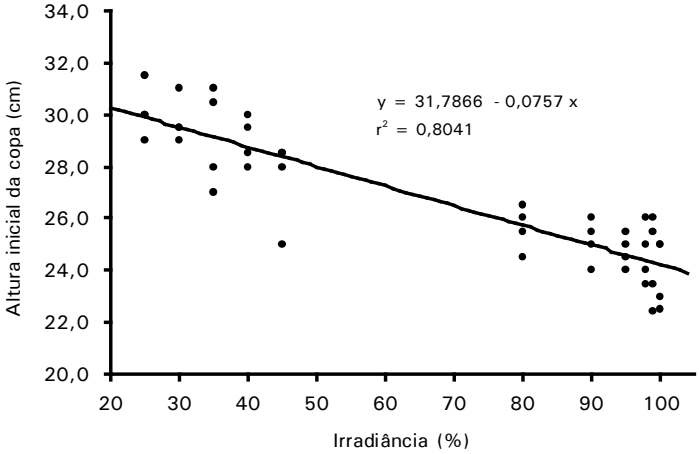


Fig. 3. Altura inicial da copa do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

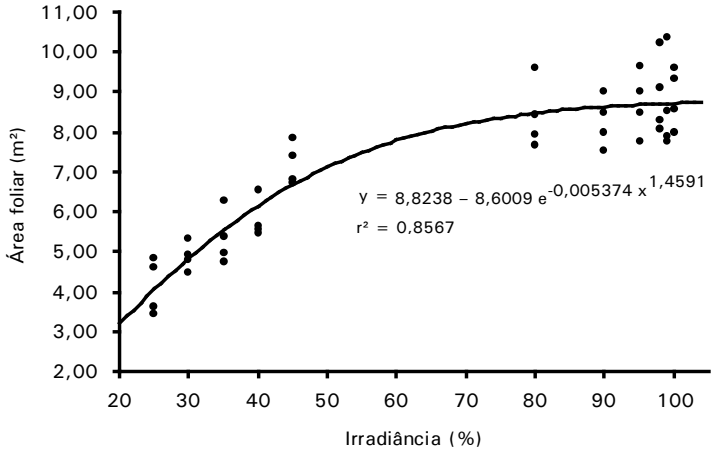


Fig. 4. Área foliar total do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

A área foliar individual, dada pela superfície de uma folha, foi inversamente proporcional à irradiância disponível (Fig. 5 e 6). O tamanho médio da folha variou de 42,1 a 80,9 cm^2, estando de acordo com os resultados reportados por Voltan et al. (1992); Fahl et al. (1994); Carelli et al. (2002) e Morais et al. (2003).

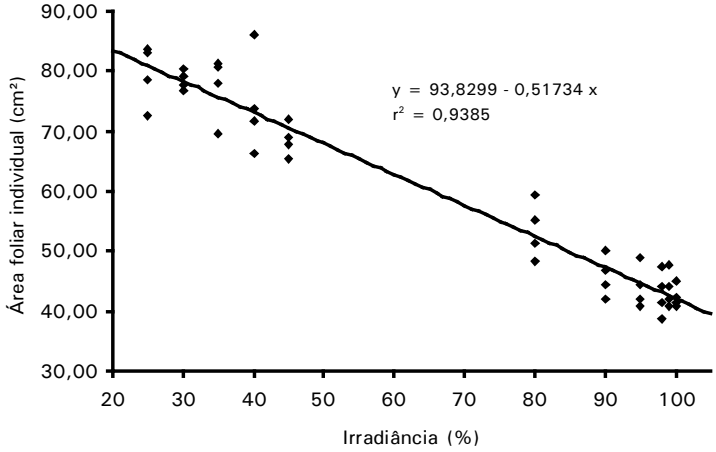


Fig. 5. Área foliar individual do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

O aumento do tamanho das folhas nos cafeeiros sob menor disponibilidade de radiação é, possivelmente, um mecanismo de alocação de energia para o crescimento de estruturas da planta. Esse mecanismo otimiza a captura de energia solar nessas condições, como forma de garantir a sobrevivência da planta.

Houve uma redução significativa ($p<0,01$) da área foliar específica do cafeeiro, com o aumento da disponibilidade de radiação solar, que variou de 0,0124 a 0,0198 $m^2.g^{-1}$, representando um decréscimo de 37% (Fig. 7).

Os resultados observados para a AFE demonstram a ampla plasticidade fenotípica do cafeeiro para se adaptar a uma amplitude de regimes luminosos, conforme já demonstrado por alguns autores: (CARVAJAL, 1984; FAHL et al., 1994; VOLTAN et al., 1992; CARELLI et al., 1999; RIGHI et al., 2002; MORAIS et al., 2003; RIGHI, 2005), que observaram menor área foliar específica ou maior massa foliar específica, em várias cultivares de cafeeiro, com o aumento da irradiância disponível. De modo oposto, Carelli et al. (2002) não constataram efeito significativo do nível de sombreamento na massa foliar específica na cultivar Obatã, apesar de terem verificado folhas de maior tamanho com o aumento do sombreamento.

O aumento da AFE nas plantas, à medida que se reduz a radiação solar disponível, proporciona maior interceptação de radiação, visto que as folhas são mais finas e maiores. Por outro lado, sua redução nos cafeeiros sob maior irradiância protege as plantas do excesso de radiação, devido à maior espessura das folhas, denotando o auto-ajustamento das plantas em função da irradiância

disponível. Segundo Larcher (2000) e Taiz e Zeiger (2004), as plantas, em geral, apresentam capacidade de adaptações durante seu desenvolvimento, em função da quantidade e da qualidade de radiação local dominante e, entre essas alterações, estão mudanças na anatomia foliar. A adaptação da planta conduz a uma otimização do desempenho, sob ajustes que não buscam a mais alta capacidade, mas sim, a melhor relação entre ganhos e riscos.

Foto: Aureny Maria P. Lunz

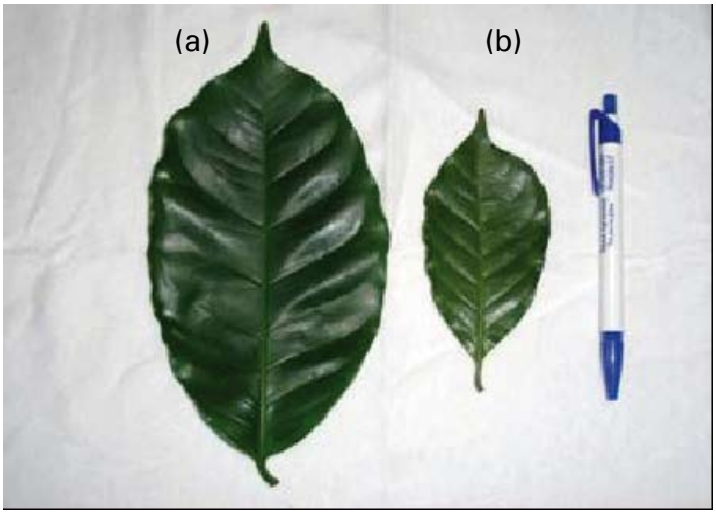


Fig. 6. Comparação entre folhas de cafeeiros, aos 38 meses após o plantio, sob 25% de irradiância (a) e a pleno sol (b), em Piracicaba, SP.

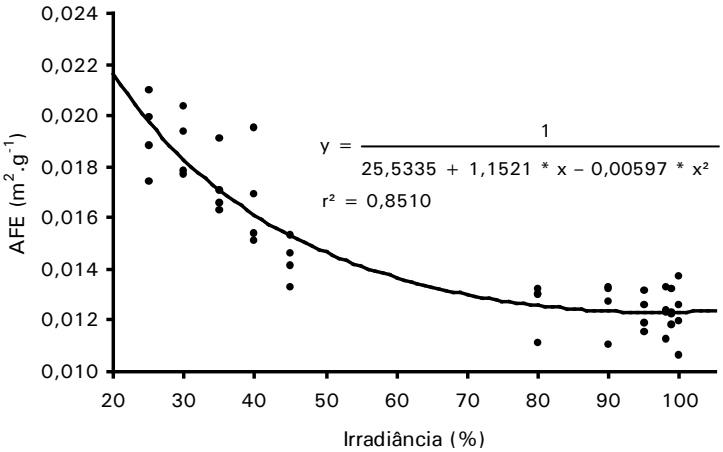


Fig. 7. Área foliar específica do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

3.2. Produção do Cafeeiro

Houve efeito significativo ($p<0,01$) da disponibilidade de irradiância na produtividade do cafeeiro, nas duas safras avaliadas. Na primeira safra (ano 2004), a produção de café beneficiado cresceu consideravelmente com o aumento da disponibilidade de irradiância até um nível de aproximadamente 50% de radiação, sendo menor seu aumento, a partir desse ponto. Com aproximadamente 60% de luminosidade a produtividade correspondeu a 95% da obtida a pleno sol e estabilizou-se em torno de 70% de irradiância. A segunda safra (ano 2005) apresentou comportamento similar, no entanto com ligeiro aumento nos níveis de radiação para a inflexão e a estabilização da curva de produtividade, com valores respectivos de 55% e 75% (Fig. 8).

A produtividade de café coco e beneficiado, estimada pela curva de regressão, variou, respectivamente, de 0,091 a 1,167 e 0,058 a 0,699 kg.planta^{-1}, na primeira safra (Fig. 8a) e 0,096 a 0,982 e 0,057 a 0,535 kg.planta^{-1} na segunda safra (Fig. 8b). Sob menor disponibilidade de radiação (25%), ou seja, maior sombreamento, a produtividade de café beneficiado correspondeu a 8% e 11% da produtividade obtida a pleno sol, na primeira e segunda safras, respectivamente.

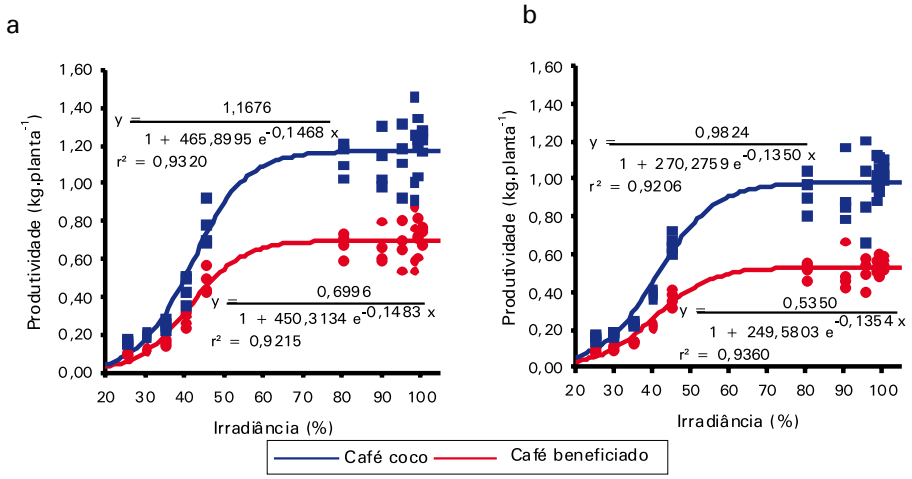


Fig. 8. Produtividade de café coco e beneficiado, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

Os resultados obtidos estão de acordo com os reportados por Soto-Pinto et al. (2000) e Freitas (2000), que observaram queda na produtividade da cultura sob sombreamento mais intenso e produtividade semelhante em cafeeiros sob sombreamento moderado e a pleno sol. No entanto, diferem, em parte, dos resultados encontrados por Carelli et al. (2002), que trabalharam com a mesma cultivar utilizada nesta pesquisa. Estes autores, utilizando sombrites para reduzir a radiação solar, observaram acréscimo significativo na produção acumulada de 2 anos, com o aumento do nível de irradiância.

Mesmo em condições moderadas de sombreamento (70% de radiação solar), a produção dos cafeeiros foi menor do que a pleno sol, fato que não ocorreu no experimento em estudo.

A produção do cafeeiro depende de vários fatores, entre eles, a disponibilidade de luz, de água e de nutrientes. Uma vez que os cafeeiros foram irrigados e o solo mantido próximo à capacidade de campo, acredita-se que a água não foi o fator limitante à produção. É possível que a disponibilidade de luz e nutrientes tenha sido a maior limitação. Apesar da ausência de monitoramento do estado nutricional dos cafeeiros, nenhum sintoma de deficiência de nutrientes foi observado, levando a crer que a baixa disponibilidade de radiação solar tenha sido a principal responsável pela menor produtividade dessas plantas.

O excesso de sombreamento provavelmente alterou a atividade fotossintética e metabólica dessas plantas, bem como a emissão de gemas floríferas, além de reduzir o número de nós por ramo; esses eventos, grandemente afetados pela intensidade de radiação solar, influenciam diretamente na produção. Segundo Cannell (1976), o mais importante componente da produção é o número de nós formados, assim como o número de frutos presentes em cada nó.

Castillo e Lopez (1966) observaram que a diferenciação floral no cafeeiro e, conseqüentemente, a formação de frutos dependem da radiação solar que os nós potencialmente floríferos recebem. Esses autores constataram que a redução da disponibilidade de radiação às plantas promoveu um decréscimo no número de nós por ramo, no número de nós com flores, no número de inflorescências por nó e no número de flores por nó e por inflorescência.

Para Kumar (1978), a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros deve-se ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que tem efeito inibidor na formação de gemas florais. O referido autor observou elevadas concentrações desse hormônio em cafeeiros sob alta densidade de plantas, ou seja, sob intenso auto-sombreamento, reduzindo a iniciação floral e a capacidade de produção das plantas. No entanto, a produtividade aumentou em 30%-35% com a aplicação de CCC (cloreto 2-cloroetil-trimetilamônio), retardador do crescimento, que restringe a biossíntese de giberelinas. Conforme Kumar & Tieszen (1980), são exigidos diferentes níveis de ácido giberélico ao longo do processo de desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. A diferenciação das inflorescências é favorecida por uma baixa concentração de giberelinas, enquanto um nível intermediário é necessário para o desenvolvimento de gemas florais e um nível endógeno ainda maior é indispensável para garantir a antese normal das gemas florais.

Campanha et al. (2004), avaliando cafeeiros a pleno sol e em sistemas agroflorestais, também observaram menor número de nós produtivos, de botões florais, de retenção de frutos e de produtividade nas plantas sob sombreamento, atribuindo o fato à grande densidade de árvores no sistema, que promoveu uma baixa disponibilidade de radiação aos cafeeiros, influenciando na produção e no armazenamento de carboidratos para formação de nós, e na produção e manutenção de frutos.

Houve uma redução significativa ($p<0,01$) no índice de bienalidade de produção, calculado pela razão entre a produtividade da safra de 2005 e a de

2004, com o aumento da disponibilidade de radiação solar (Fig. 9). Os referidos índices foram de 0,91, 0,86, 0,83, 0,80 e 0,79 para os tratamentos com 25%, 30%, 35%, 40%, 45% de radiação, respectivamente. Houve uma estabilização dos valores desses índices em 0,76 com a radiação em torno de 65%.

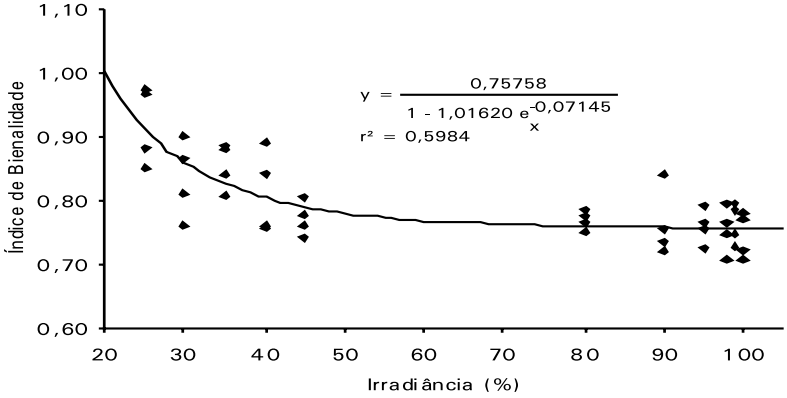


Fig. 9. Índice de bienalidade de produção do cafeeiro, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

Os resultados acima indicam que, nos níveis de sombreamento mais intensos, houve uma redução da bienalidade de produção do cafeeiro; no entanto, sob níveis moderados de sombreamento e a pleno sol, esse efeito foi aumentado. Ressalta-se que os dados obtidos neste trabalho referem-se apenas a 2 anos de produção, sendo necessárias mais safras para uma melhor avaliação do seu comportamento bienal.

A redução dos ciclos bienais de produção do cafeeiro, que reflete numa maior estabilidade de produção, é uma das vantagens promovidas pelo sombreamento da cultura, sendo relatada por alguns autores (BEER, 1987; BEER et al., 1998; MUSCHLER, 2001; FERNANDES, 1986). Conforme Cannell (1985), o cafeeiro produz poucas flores em seu ambiente nativo sombreado e, portanto, não desenvolveu, ao longo de sua evolução, mecanismos para manter a carga de frutos balanceada com a disponibilidade de carboidratos e minerais. Sob pleno sol a planta produz muitas flores, tendo um grande carregamento de frutos, que constituem dreno preferencial. Essa alocação prioritária de carboidratos para os frutos, em detrimento da parte vegetativa da planta, promove um reduzido crescimento dos ramos, diminuindo a produção da planta no ano seguinte, uma vez que o cafeeiro leva 2 anos para completar seu ciclo fenológico de produção.

O rendimento fornecido pela relação entre café beneficiado e em coco foi significativo ($P<0,01$) apenas na safra de 2004. Houve uma redução linear do rendimento com o aumento da disponibilidade de irradiância, que variou de 59% a 64% (Fig. 10). Na safra seguinte o rendimento médio foi de 56%. O maior rendimento na primeira safra, nos tratamentos com menor disponibilidade de irradiância, provavelmente deveu-se à melhor formação dos frutos, em função das adequadas condições microclimáticas nesses ambientes, que originou grãos

maiores e com menor quantidade de defeitos. No entanto, não se sabe por que tal comportamento não se repetiu na segunda safra.

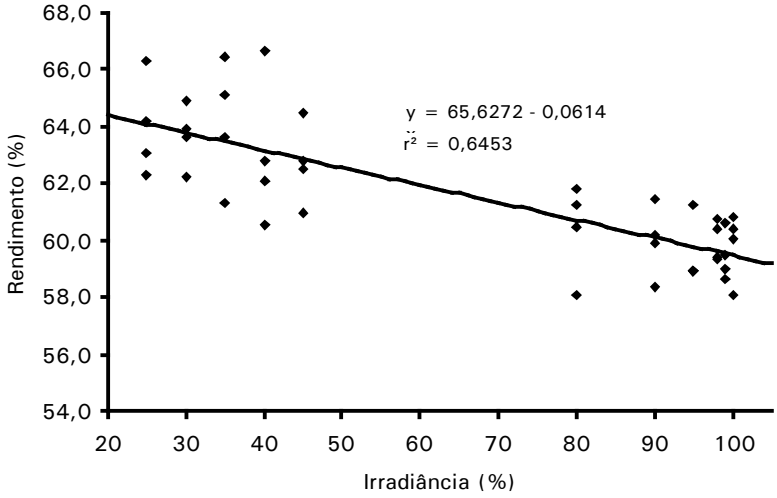


Fig. 10. Rendimento do café da safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

4. Conclusões

O crescimento e a produtividade do cafeeiro foram modificados pela disponibilidade de irradiância.

Algumas variáveis de crescimento do cafeeiro que indicam ganho de massa seca, como diâmetro do caule e área foliar total, aumentaram com o incremento de irradiância. As plantas sob menor disponibilidade de radiação solar apresentaram modificações morfofisiológicas, como aumento do tamanho da folha e da AFE, capazes de garantir sua sobrevivência em tais condições; contudo, apresentando crescimento reduzido.

A produtividade de café beneficiado aumentou com o incremento de radiação solar, modificando-se pouco a partir de aproximadamente 60% de irradiância e estabilizando-se em torno de 70%. Sob sombreamento muito intenso (25% de irradiância), a produtividade média de café beneficiado, nos 2 anos, foi muito baixa, correspondendo a 9% da obtida a pleno sol.

Para as condições estudadas, demonstrou-se que um sombreamento moderado, na faixa de 20% a 30% (70% a 80% de irradiância), pode ser adequado para a cultura do cafeeiro, pois não prejudica seu crescimento e produtividade.

5. Referências

BEER, J. W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems,** Dordrecht, v. 5, p. 3-13, 1987.

BEER, J. W.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems,** Dordrecht, v. 38, p. 139-164, 1998.

CAIXETA, G. Z. T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 1-24.

CAMARGO, A. P. de. A arborização como meio de reduzir as adversidades climáticas e promover a sustentação da cafeicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. p. 6-7.

CAMARGO, P. C. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. de; MARTINEZ, H. E. P.; GARCIA, S. L. R.; FINGER, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brasil. **Agroforestry Systems,** Dordrecht, v. 63, p. 75-82, 2004.

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee,** Nairobi, v. 41, n. 484, p. 245-253, July 1976.

CANNELL, M. G. R. Physiology of the coffee crop. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee:** botany, biochemistry and production of beans and beverage. New York: Croom Helm, 1985. p. 108-134.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; ALFONSI, E. L. Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2002. v. 2, p. 16.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; TRIVELIN, P. C. O.; VOLTAN, R. B. Q. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffea species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal,** Campinas, v. 11, n. 2, p. 63-68, 1999.

CARVAJAL, J. F. **Cafeto:** cultivo y fertilización. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254 p.

CASTILHO, Z. J.; LOPES, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. **Cenicafé,** Chichina, n. 17, p. 51-60, 1966.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Fields Crops Research,** Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. cap. 3, p. 93-136.

FAHL, J. I; CARELLI, M. L. C. Sombreamento na fisiologia e produtividade do cafeeiro. **News Cafeicultura,** Patrocínio, 3 set. 2004. Disponível em: <http://www.newscafeicultura.com.br/noticias.htm>. Acesso em: 12 dez. 2005.

FAHL, J. I; CARELLI, M. L. C.; VEJA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **The Journal of Horticultural Science,** London, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994.

FERNANDES, D. R. Manejo do cafezal. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 275-301.

FNP. Agrianual 2005. São Paulo, 2004. 496 p.

FOURNIER, L. A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. **Agronomía Costarricence,** San José, v. 12, n. 1, p. 131-146, 1988.

FREITAS, R. B. **Avaliações ecofisiológicas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull Arg.) em diferentes sistemas de cultivo.** 2000. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

HOPKINS, W. G. **Introduction to plant physiology.** New York: John Willey, 1995. 464 p.

KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). **Kenya Coffee,** Nairobi, v. 43, n. 510. p. 263-272, Sep. 1978.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: I. effects of light and temperature. **Experimental Agriculture,** Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, 1980.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** Tradução de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 532 p.

MAJEROWICKS, N.; PERES, L. E. P. Fotomorfogênese em plantas. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. cap. 19, p. 421-438.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Caracterização microclimática de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 29., 2003, Araxá. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2003. p. 91-92.

MUSCHLER, R. G. **Árboles em cafetales.** Turrialba: CATIE; Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. 139 p. (CATIE. Materiales de Enseñanza, 45).

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems,** Dordrecht, v. 85, p. 131-139, 2001.

RIGHI, C. A. **Avaliação ecofisiológica do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e em monocultivo.** 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S.; TERAMOTO, E. R.; FAVARIN, J. L. Adaptação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) ao sombreamento em sistema agroflorestal com seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais eletrônicos...** Ilhéus: CEPLAC; UESC, 2002. 1 CD-ROM.

RODRIGUEZ, L. A.; OROZCO, V.; VELASCO, E.; MEDINA, R.; VERDECIA, J.; FONSECA, I. Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del cafeto (*Coffea arabica* L.). **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 20, n. 4, p. 45-49, 1999.

SALGADO, B. G. **Caracterização de sistemas agroflorestais com cafeeiro em Lavras – MG.** 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Amsterdam, v. 80, p. 61-69, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Tradução de E.R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal,** Londrina, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

CAPÍTULO 8

Situação da Cultura da Pupunha no Estado do Acre

Celso Luís Bergo

1. Introdução

A exploração comercial da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) no Acre baseia-se, predominantemente, em áreas cultivadas para produção de palmito. Esta cultura caracteriza-se pelo uso exclusivo da mão-de-obra familiar. O sistema tecnológico de produção é bastante simplificado, mesmo nas áreas financiadas. A maioria dos pequenos produtores de pupunha para palmito e/ou frutos não utiliza motomecanização ou qualquer tipo de adubação. Predominantemente, utiliza-se o espaçamento de 2,0 (entrelinhas) por 1,0 m (entre plantas), perfazendo, portanto, 5 mil plantas por hectare. O controle das ervas invasoras limita-se à capina manual no primeiro ano e roço a partir do segundo, sem que nenhum outro trato cultural seja feito.

No Estado, a área média plantada por produtor de palmito é de 1,0 hectare, com exceção de uns poucos plantios comerciais de maior porte, como os implantados pelas agroindústrias Vereda e Bonal S.A., as maiores produtoras, processadoras e exportadoras de palmito de pupunheira. O processo de colheita ainda não é suficientemente conhecido entre os pequenos produtores locais, acarretando problemas de controle de qualidade e desperdícios da produção. É comum que na venda do produto (palmito in natura), a colheita seja totalmente realizada pelo comprador e sua equipe de cortadores de palmito.

Na exploração de frutos in natura de pupunheiras, o sistema de produção e comercialização é ainda mais simplificado. Basicamente, a maioria das produções provém de "quintais" agroflorestais próximos à capital Rio Branco, ou ainda do Projeto Reflorestamento Econômico Consorciado Adensado (Reca), localizado na BR 364, km 150, sentido Rio Branco–Porto Velho, na localidade de Vila Califórnia, Porto Velho, RO.

Esta situação possivelmente decorre da política de crédito praticada pelo único agente financiador da cultura da pupunha-palmiteira no Acre, o Banco da Amazônia S.A. (Basa), por meio de recursos do Fundo Constitucional do Norte (FNO).

Essa estrutura de produção de palmito envolve cerca de 1.600 famílias em todo o Estado, sendo os Municípios de Sena Madureira, Acrelândia e Plácido de Castro aqueles que relativamente mais financiaram e plantaram pupunha para produção de palmito.

Este trabalho tem por objetivo relatar a situação da pupunha-palmiteira cultivada no Estado do Acre, podendo servir também para orientar futuras discussões e pesquisas sobre a cultura da pupunha na Região Norte.

2. Estimativa de Área Plantada no Estado

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2004, o Estado tem uma área plantada de 1.125 ha. Somando os 1.317 ha (Tabela 1) financiados pelo Banco da Amazônia S.A. no período de janeiro de 1989 até setembro de 2004, mesmo considerando que nem todos eles tenham sido plantados, com os 116 ha da agroindústria Bonal S.A. e 14 ha da Vereda, tem-se um total de 1.447 ha, que acrescido de no mínimo 10% de outras áreas plantadas com recursos próprios, totalizará 1.600 ha aproximadamente, superior, portanto, ao relatado pelo IBGE.

Esta área total de 1.600 ha tem um potencial de produção de 1.600 t, considerando uma produtividade média de 1.000 kg de palmito extraído por hectare. Como as duas maiores agroindústrias do Acre processam cerca de 22 toneladas, tem-se, portanto, um aproveitamento de apenas 1,4% desse potencial, o que explica grande parte da inadimplência alegada pelo agente financeiro (Basa), quanto aos financiamentos realizados.

Tabela 1. Financiamentos realizados pelo Banco da Amazônia S.A., no período de janeiro de 1989 até setembro de 2004, destinados ao plantio de pupunha para palmito nos diferentes municípios do Acre.

Municípios	Área (ha)	Nº contratos	Área média	R$ contratado
Sena Madureira	340,25	323	1.05	1.307.798,00
Acrelândia	313,15	203	1.54	1.285.250,00
Plácido de Castro	219,25	166	1.32	1.013.416,00
Senador Guiomard	127,6	121	1.05	563.236,00
Rio Branco	75,9	120	0.63	706.003,00
Porto Acre	71,5	51	1.40	345.580,00
Xapuri	65	58	1.12	286.658,00
Rodrigues Alves	33,5	58	0.58	92.075,00
Manoel Urbano	22	22	1.00	90.211,00
Porto Walter	15	30	0.50	46.716,00
Brasiléia	14	14	1.00	78.585,00
Cruzeiro do Sul	13,5	14	0.96	21.025,00
Capixaba	4,4	7	0.63	26.265,00
Epitaciolândia	2	2	1.00	11.466,00
Total	1.317,05	1.189	1.11	5.874.284,00

3. Diagnóstico

A Secretaria de Estado de Produção do Acre elaborou no ano de 2000 o Plano Estadual da Pupunha, concebido a partir de uma "oficina" com a participação de 45 agentes da cadeia agroindustrial da pupunha (Tabela 2). Embora este diagnóstico tenha sido feito em 2000, poucas mudanças que viessem modificar este cenário ocorreram após os últimos 6 anos.

Tabela 2. Resumo do diagnóstico da produção, industrialização e comercialização da pupunha para palmito elaborado pela Secretaria de Estado de Produção do Acre. Rio Branco, AC, 2000.

Etapas do sistema produtivo	Pontos fortes	Pontos fracos
Produção	Nativa da região Crescimento rápido e perfilhamento Situação edafoclimática favorável Agricultura familiar	Desorganização dos produtores Dispersão dos plantios Acesso e escoamento precários Alto custo de produção
Industrialização	Disponibilidade de mão-de-obra a custo baixo Longo tempo de prateleira Não poluente Pupunha cultivada sem agrotóxico	Localização da matéria-prima e transporte Dificuldades de registro no Ministério da Agricultura Baixa escala de produção e altos custos Alta proporção de palmito de segunda
Comercialização	Boa qualidade do palmito Potencialidade de comércio in natura Boa aceitação do produto acabado Preço satisfatório	Concorrência com palmitos de espécies mais conhecidas Baixa escala para comercialização Falta de capital de giro nas indústrias Dificuldade para vender o palmito de segunda

Em setembro de 2004, a Embrapa Acre realizou uma reunião técnica com a participação de produtores rurais, representantes de associações e das agroindústrias, técnicos e pesquisadores, na qual foram arrolados e discutidos os principais problemas e dificuldades enfrentadas pelos pequenos produtores na condução de suas lavouras de pupunheira para produção de palmito. Um dos principais problemas relatados foi o baixo aproveitamento anual médio de hastes por hectare, situado em 1.500 hastes (30%) para uma população de 5 mil touceiras por hectare, que segundo os participantes é um dos fatores do insucesso do cultivo da pupunha para palmito na região.

As principais causas apontadas pelos agricultores como desencadeadoras desse baixo aproveitamento de hastes nos plantios comerciais são, entre outras: a) baixa qualidade das mudas utilizadas; b) plantio fora da época recomendada (isto é, período chuvoso de outubro a fevereiro); c) não realização de replantio no primeiro ano, gerando portanto um baixo estande; d) colheita, na maioria das vezes, realizada com atraso e apenas uma vez ao ano, prejudicando a renovação das touceiras para os cortes subseqüentes.

4. Considerações sobre as Principais Agroindústrias

4.1. Palmito Vereda

Localizada na cidade de Rio Branco, esta agroindústria processa anualmente cerca de 7,0 t de palmito e embora possua um plantio próprio de 14 hectares, para atender a demanda mencionada, adquire a matéria-prima (palmito in natura) de pequenos produtores distantes 50 km da sua sede industrial. Segundo o proprietário, a Palmito Vereda está pleiteando junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) licença para importação de palmito de açaí solteiro (*Euterpe precatoria* Mart.) da Bolívia, país limítrofe ao Acre, como forma de suprir sua agroindústria na entressafra do corte do palmito da pupunha (período de estiagem de julho a outubro). Outra justificativa alegada seria a demanda de palmito de açaí por grandes cadeias varejistas do centro-sul do Brasil, embora, atualmente, a maior parte de sua produção seja destinada ao mercado acreano, especialmente o de Rio Branco.

4.2. Palmito Bonal

Esta agroindústria foi uma das pioneiras no cultivo de pupunha para palmito do Brasil. Localizada na BR 364, km 76, trecho Rio Branco–Porto Velho, atualmente cultiva uma área de 410 ha do consórcio seringueira x pupunheira, fazendo uso da puerária (*Pueraria phaseoloides*) como adubação verde incorporada.

Considerando o arranjo do consórcio e o espaçamento entre as espécies, a empresa possuiria uma área equivalente a 116 ha, caso o espaçamento fosse de 2,0 x 1,0 m, que é o utilizado na região para o cultivo solteiro da pupunha.

A agroindústria processa anualmente 15 t de palmito e comercializa sua produção no mercado local e no centro-sul do País. A fazenda Bom Destino, que incorpora a agroindústria Bonal, possui 10.500 ha e está sendo negociada junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária que tem planos de assentar pequenos produtores na área.

Outras empresas, como a Indústria e Comércio de Alimentos e Corantes da Amazônia Ltda. (Corial) e Palmito Quinari, localizadas no Município de Senador Guiomard, e a Agroindústria Amazônia no Município de Rio Branco, embora tenham uma capacidade instalada de 74 toneladas de palmito/mês, encontram-se fora de atividade ou processando esporadicamente.

5. Experimentos na Embrapa Acre

O experimento "Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos em progênies de meios-irmãos de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae) na Amazônia Ocidental" foi instalado no campo experimental da Embrapa Acre em novembro de 2000. Estão sendo avaliadas cem progênies da raça primitiva "macrocarpa" Putumayo pertencentes à população de Benjamin Constant,

AM, selecionadas no Projeto Reca, cujos plantios foram efetuados nos anos de 1989/90 a partir de sementes adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

Atualmente o projeto Reca é um dos grandes fornecedores de sementes (mista ou hibridizada) de pupunheira, produzindo em torno de 30 mil kg anualmente, que são comercializados em Rondônia, Acre e em outros estados do Brasil. O objetivo desse experimento em parceria com o projeto Reca e Agroindústria Vereda (onde são feitas as avaliações de rendimento dos palmitos) é avaliar as progênies de meios-irmãos de pupunheira para palmito e estimar parâmetros genéticos para selecionar indivíduos com características desejáveis. Isto permitirá aos produtores locais, especialmente os do projeto Reca, além de produzir palmito, comercializar sementes de pupunha de boa qualidade atendendo ao mercado nacional. Na Tabela 3 são apresentados resultados médios das características destrutíveis e não destrutíveis avaliadas nos anos de 2003 a 2005.

Tabela 3. Médias das produções acumuladas (2003 a 2005) e número de perfilhos por touceira (2005) com suas respectivas amplitudes de variação de progênies de meios-irmãos de pupunheira da raça Putumayo. Rio Branco, AC, 2005.

Características destrutíveis		
Indicador*	**Médias**	**Amplitude de variação**
TP	184 g	84 g – 291 g
TS	125 g	59 g – 183 g
TB	425 g	207 g – 614 g
TL	734 g	394 g – 1.064 g
NT	2,9	2,3 – 3,6
NH	7,0	4,0 – 10,3
Características não destrutíveis		
NP	2,9	1,5 – 5,0

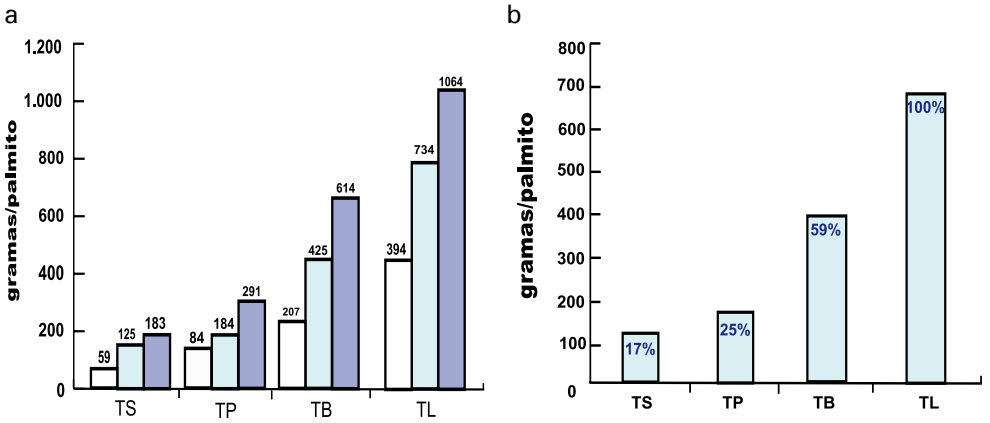
*TP: peso total do palmito de primeira nobre/tolete; TS: peso total do palmito de primeira simples; TB: peso total da base ou coração dos palmitos; TL: peso total líquido dos palmitos; NT: número de toletes por haste; NH: número médio de hastes; e NP: número de perfilhos.

Na Fig. 1, esses dados são apresentados graficamente, inclusive o rendimento percentual de cada subdivisão do peso total líquido dos palmitos. Apenas 25% desse total corresponde ao palmito de primeira nobre ou tolete (TP) que é uma característica desfavorável ao palmito dessa espécie, já que 75% das demais subdivisões são vendidas como palmito de segunda.

Chama a atenção o número médio de sete hastes avaliadas por progênie nas três avaliações (Tabela 3). Isto representa 39% do potencial de 18 possíveis hastes que poderiam ser aproveitadas – 6 touceiras úteis por parcela x 3 repetições.

Embora este aproveitamento seja baixo, os dados experimentais são semelhantes aos obtidos em reunião técnica realizada na Embrapa Acre em setembro de 2004, com a participação de produtores, que declararam um aproveitamento anual médio de 1.500 hastes (30%) para uma população de 5 mil touceiras/ha nos plantios comerciais do Acre. Na Tabela 4 encontram-

se os percentuais de aproveitamento total do experimento na Embrapa Acre das três avaliações realizadas no período 2003-2005, com média de 39% de aproveitamento das hastes.



TS = peso total do palmito de primeira simples

TP = peso total do palmito de primeira nobre/ tolete

TB = peso total da base ou coração dos palmitos

TL = peso total líquido dos palmitos

TS = peso total do palmito de primeira simples

TP = peso total do palmito de primeira nobre/ tolete

TB = peso total da base ou coração dos palmitos

TL = peso total líquido dos palmitos

Fig. 1. Rendimento mínimo, médio e máximo, em gramas de palmito (a), e rendimento médio, em percentual (b), obtidos de progênies de meio-irmão de pupunheira segundo critérios de aproveitamento industrial. Rio Branco, AC, 2005*.

*Médias das produções acumuladas nos anos de 2003 a 2005.

Embora as causas geradoras de baixos rendimentos nos plantios comerciais tenham sido evitadas no experimento da Embrapa Acre o percentual de aproveitamento nas três avaliações também foi baixo (Tabela 4).

Alguns fatores técnicos podem justificar o baixo aproveitamento industrial ocorrido, principalmente quanto à implantação e ao manejo cultural:

a) Realização de apenas uma adubação por ano, usando-se uma quantidade média requerida pela cultura (80 g de sulfato de amônio + 60 g de superfosfato triplo + 20g de cloreto de potássio).

b) Destruição estimada de 5% das hastes em ponto de corte por ataque de roedores (capivara).

c) Não realização do manejo dos perfilhos por touceira, de modo que aquelas touceiras com maior número ficaram prejudicadas.

d) Por ser um experimento, optou-se por um único corte ao ano quando a maioria das plantas apresentava, pelo menos, uma haste em ponto de corte, o que ocorre no final do período chuvoso. Isto prejudicou aquelas mais precoces que poderiam ter sido cortadas antes, favorecendo um desenvolvimento mais rápido dos perfilhos remanescentes.

e) Após o primeiro corte (planta-mãe) na safra 2003, os perfilhos não tiveram vigor e desenvolvimento suficiente, para que pelo menos uma haste por touceira estivesse em ponto de corte na safra seguinte (2004).

Tabela 4. Números de hastes cortadas e avaliadas nos anos de 2003 a 2005 e sua representação percentual em relação às hastes potenciais (1.800 hastes).

Ano	Hastes cortadas	Hastes potenciais	% aproveitamento
2003	1.352	1.800	75%
2004	216	1.800	12%
2005	521	1.800	29%
Média	696	1.800	39%

Bonaccini (1997) considera como ideal a produtividade entre 5 e 12 mil hastes por hectare/ano obtida em dois a três cortes por planta/ano, gerando um rendimento de 1.500 a 2.400 kg/ha. Estas produções, comerciais ou nos experimentos, estão muito aquém, com exceção do peso médio total líquido dos palmitos obtidos no experimento que foi de 734 gramas, bastante superior à média apresentada por Bonaccini.

6. Avaliação Socioeconômica do Cultivo da Pupunha para Palmito

Baseando-se nas informações da reunião técnica realizada na Embrapa Acre em setembro de 2004, Sá et al. (2004) estabeleceram os indicadores de viabilidade financeira da produção de palmito de pupunha no Acre (Tabela 5).

Para determinar a rentabilidade da atividade, foram utilizados como indicadores de viabilidade: a) valor presente líquido (VPL); b) relação benefício-custo (RBC); e c) remuneração da mão-de-obra (RMOF). O VPL corresponde ao valor atual dos benefícios gerados pela atividade durante o período analisado (8 anos) e a RBC é o quociente entre o valor atualizado das rendas a serem obtidas e o valor atualizado dos custos, incluindo os investimentos necessários ao desenvolvimento da atividade. Este indicador permite analisar a viabilidade do empreendimento, comparando as receitas com os custos e investimentos (HOFFMANN et al., 1987). A RMOF foi estimada pela divisão da renda do trabalhador familiar (RTF) pelo número de homem/dia (diárias) de mão-de-obra familiar (HDF) utilizado na exploração. A RTF foi obtida subtraindo-se da renda bruta todas as despesas, exceto as de mão-de-obra familiar, que passou a ser remunerada pelo resíduo. Esse indicador representa o valor máximo de diária que a exploração, no caso do cultivo da pupunha para produção de palmito, pode pagar pelo trabalho familiar (SANTOS et al., 1999).

Para análise, foram levantados os custos, representados pelos gastos para implantação e condução das lavouras, transporte da produção comercializada, serviços, inclusive a mão-de-obra familiar, depreciações e conservação dos equipamentos. As receitas correspondem à venda anual de 1.500 hastes comercializadas para a agroindústria ao preço de R$ 1,00. A mão-de-obra familiar empregada na atividade foi remunerada, segundo seu custo de oportunidade,

ao preço de R$ 15,00 por dia de serviço. Os valores dos custos e receitas foram atualizados à taxa de desconto de 6% ao ano, enquanto os preços dos fatores de produção considerados foram os de mercado, válidos para dezembro de 2004, e o horizonte temporal desta análise foi de 8 anos.

Tabela 5. Indicadores de viabilidade financeira do cultivo da pupunha para a produção de palmito no Acre. Rio Branco, AC, 2004.

Indicadores financeiros	Unidade	Valor obtido
Valor presente líquido – VPL	R$	(623,31)
Relação benefício-custo – RBC	-	0,91
Remuneração da mão-de-obra familiar – RMOF	R$/diária	13,20

Observa-se que o valor presente líquido (VPL) é negativo, indicando que a atividade gera benefício inferior ao custo de oportunidade do capital investido. A relação benefício-custo (RBC) foi estimada em 0,91, o que significa que para cada R$ 1,00 empregado na atividade retorna R$ 0,91 ao produtor, e a remuneração da mão-de-obra familiar (RMOF) que trabalha na atividade foi calculada em R$ 13,20, inferior ao custo de oportunidade da mão-de-obra que trabalha na região (R$ 15,00).

Esta situação tem contribuído para desestimular os produtores e para um semi-abandono das áreas de cultivo.

7. Conclusão

Diante dos principais entraves e dificuldades apresentadas, algumas estratégias poderão ser implementadas com o objetivo de elevar a eficiência dessa cadeia produtiva, tornando-a mais competitiva, tais como: elaborar um estudo de mercado para o palmito de pupunha, capacitar produtores rurais, desenvolver pesquisas voltadas para o melhoramento genético e manejo da cultura e revitalizar a industrialização do palmito de pupunha no Estado.

8. Referências

ACRE. Secretaria de Estado de Produção. **Plano estadual da pupunha**. Rio Branco, Ac, 2000. 14 p.

BONACCINI, L. A. **Produza palmito**: a cultura da pupunha. Cuiabá: SEBRAE, 1997. 100 p. (Coleção Agroindústria, 12).

HOFFMANN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E. M.; THAME, A. C.; ENGLER, J. J. C. **Administração da empresa agrícola**. 3. ed. São Paulo: Pioneira. 1987. 325 p.

SÁ, C. P. de; BERGO, C. L.; BAYMA, M. M. A. **Aspectos socioeconômicos do cultivo da pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) para produção de palmito no Acre.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2004. 4 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 163).

SANTOS, J. C. dos; SÁ, C. P. de; ARAÚJO, H. J. B. de. Aspectos financeiros e institucionais do manejo florestal de baixo impacto em áreas de reserva legal de pequenas propriedades, na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37., 1999, Foz do Iguaçu. **Anais**... Brasília, DF: Sober, 1999.

CAPÍTULO 9

Estratégias de Manejo do Pastejo para Pastos Consorciados nos Trópicos

Carlos Mauricio Soares de Andrade

1. Introdução

Muitas espécies de leguminosas forrageiras tropicais já foram avaliadas em diversos países de clima tropical, e embora os resultados de pesquisas tenham evidenciado o potencial dessas espécies para fixar nitrogênio (N), transferir parte do N fixado para a gramínea associada e aumentar a produção animal, o uso de pastos consorciados em escala comercial não tem tido o êxito esperado. Maior sucesso na utilização de leguminosas tropicais tem ocorrido na Austrália, Flórida, Havaí e, mais recentemente, na Colômbia, Venezuela e Ásia tropical. No Brasil, um dos maiores centros de diversidade de leguminosas tropicais, não tem ocorrido o sucesso previamente esperado quando as primeiras cultivares comerciais foram liberadas (CARVALHO, 1986; KRETSCHMER; PITMAN, 1995). Estima-se, por exemplo, que apenas 2% das áreas de pastagens dos Cerrados, principal região pecuária do Brasil, envolvam consorciações com leguminosas, principalmente *Calopogonium mucunoides* e *Stylosanthes* spp. (MACEDO, 1995; ZIMMER; EUCLIDES FILHO, 1997).

O Acre é um caso particular de sucesso no uso de pastos consorciados no Brasil (VALENTIM; ANDRADE, 2004). Graças aos trabalhos da Embrapa Acre, iniciados na década de 80, muitos pecuaristas convencionaram adicionar 0,5 kg/ha de sementes da leguminosa *Pueraria phaseoloides* na mistura de sementes utilizada na formação de suas pastagens, de modo que esta leguminosa é encontrada atualmente em cerca de 30% (480 mil hectares) das pastagens cultivadas do Estado (VALENTIM; ANDRADE, 2005b). Mais recentemente, o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Belmonte) também passou a ser utilizado pelos produtores do Acre para a formação de pastos consorciados. As pesquisas com esta leguminosa no Acre iniciaram-se em 1990 e a sua recomendação de uso a partir de 2000. Atualmente, estima-se que o amendoim forrageiro já tenha sido introduzido em aproximadamente 5% da área total (65 mil hectares) de pastagens cultivadas no Acre (VALENTIM; ANDRADE, 2005a).

O manejo do pastejo incorreto é uma das causas mais apontadas para a baixa persistência das leguminosas nos pastos consorciados (SPAIN, 1995; LASCANO, 2000; PEREIRA, 2002). Há mais de 20 anos, Roberts (1982) comentava a respeito da carência de informações publicadas sobre o manejo do pastejo em pastos consorciados e alertava que algumas dessas informações eram errôneas, pois estavam baseadas na suposição de que as práticas de manejo apropriadas para os pastos consorciados com leguminosas de clima temperado (principalmente os trevos) também seriam adequadas para pastagens formadas com leguminosas tropicais como a puerária (hábito de crescimento volúvel[1] e os estilosantes (hábito de crescimento ereto), que apresentam características morfológicas bastante distintas dos trevos (hábito de crescimento prostrado).

Embora a persistência das leguminosas possa ser melhorada via seleção e melhoramento genético, estratégias apropriadas de manejo do pastejo são fundamentais (CURLL, 1989b). Entretanto, o desenvolvimento de estratégias de manejo do pastejo para pastos consorciados não é simples. Mesmo nas regiões de clima temperado, com maior histórico de pesquisas sobre o assunto, ainda existem muitas incertezas sobre as estratégias de manejo para controlar o balanço entre as espécies em pastos consorciados (HODGSON; SILVA, 2000). Alguns fatores que dificultam a definição de estratégias de manejo do pastejo para pastos consorciados são: a) competição entre as espécies; b) diferenças quanto à reação ao pastejo; c) diferenças quanto à preferência dos animais em pastejo; d) diferenças quanto à resposta ao clima, entre outras (SPAIN, 1995; LASCANO, 2000). Nos trópicos, outra dificuldade para defini-las seria a grande diversidade de espécies forrageiras e tipos morfológicos existentes, possibilitando um número muito alto de consorciações binárias. Esses fatores sugerem a necessidade de desenvolvimento de estratégias de manejo do pastejo específicas para cada consórcio (CRUZ; SINOQUET, 1994; THOMAS, 1995; FISHER et al., 1996).

Neste trabalho, são apresentadas e discutidas informações disponíveis na literatura relevantes para o manejo do pastejo em pastos consorciados de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais. Algumas informações sobre leguminosas de clima temperado, especialmente o trevo-branco (*Trifolium repens*), que é a leguminosa forrageira mais estudada mundialmente, serão utilizadas devido às suas semelhanças morfológicas e de resposta ao pastejo com o amendoim forrageiro (FISHER et al., 1996).

2. O Processo de Pastejo e a Persistência das Leguminosas

Um importante pré-requisito na definição de estratégias de manejo do pastejo para pastos consorciados é entender como os animais em pastejo podem influenciar a dinâmica da composição botânica da pastagem. Tem sido mostrado que essa influência é extremamente importante e ocorre por meio da interferência: a) nos processos de persistência e reposição de plantas individuais e b) na capacidade de determinadas plantas interferir na disponibilidade de

[1]Plantas com hábito de crescimento volúvel também são chamadas de trepadeiras.

fatores de crescimento para suas vizinhas (HUMPHREYS, 1991). Por exemplo, o pastejo de partes da planta pode eliminar um processo chave da persistência (órgãos reprodutivos de leguminosas anuais, por exemplo), acentuar estresses bióticos e ambientais (reduzir o vigor ou tolerância) e atuar como um agente secundário modificando a agressividade da planta em relação aos competidores (SHEATH; HODGSON, 1989). Mais especificamente, o pastejo pode afetar a persistência das leguminosas por meio da desfolha, do pisoteio, da deposição de fezes e urina e da dispersão de sementes (CURLL; JONES, 1989). A desfolha é certamente o processo mais importante.

A manutenção do vigor e da competitividade de uma planta depende da retenção de quantidade suficiente de tecidos fotossintéticos e pontos de crescimento de modo a permitir a imediata produção de folhas e caules após o pastejo (SHEATH; HODGSON, 1989). Existe um limite além do qual a desfolha torna-se excessiva e afeta a sobrevivência da leguminosa. Este limite depende da seletividade, freqüência e severidade da desfolha, e também do estágio de desenvolvimento da planta.

Há diferenças entre e dentro de espécies de leguminosas quanto à resistência à desfolha, de acordo com seu hábito de crescimento, adaptabilidade e mecanismo de sobrevivência (vegetativo ou por sementes). Os pontos de crescimento e reprodução de leguminosas estoloníferas podem escapar à desfolha, enquanto aquelas com hábito de crescimento ereto ou volúvel são vulneráveis à destruição, a menos que sejam capazes de modificar o seu hábito de crescimento (CURLL; JONES, 1989). Entretanto, sabe-se que a adaptação morfológica das plantas à desfolha tem limites, mesmo no caso de espécies como o trevo-branco (SHEATH; HODGSON, 1989). Vários estudos citados por estes autores mostram que cultivares de trevo-branco com folhas grandes reduzem o comprimento dos pecíolos e entrenós de modo a reter maior capacidade fotossintética sob pastejo intensivo. Entretanto, a persistência e produtividade a longo prazo, sob pastejo contínuo intensivo, são claramente superiores com cultivares prostradas, de folhas pequenas. Outro exemplo de modificação do hábito de crescimento das plantas é o que ocorre com o diferimento do pastejo, que favorece a elevação dos meristemas apicais e reduz a densidade de gemas basais, aumentando a vulnerabilidade posterior das plantas à desfolha em comparação com o pastejo regular, que favorece o desenvolvimento de ramificações mais próximas ao nível do solo (HUMPHREYS, 1991).

O pisoteio pode afetar a planta diretamente, causando danos físicos aos tecidos basais (HUMPHREYS, 1991), ou indiretamente, por meio da compactação do solo, reduzindo a umidade e as taxas de infiltração de água e o desenvolvimento das raízes (CURLL; JONES, 1989). Geralmente, as leguminosas são mais susceptíveis aos danos por pisoteio do que as gramíneas, especialmente aquelas com hábito de crescimento ereto. A vulnerabilidade das plântulas à destruição pelo pisoteio é também importante para as espécies cuja persistência depende da ressemeadura natural. Já as leguminosas estoloníferas, como o trevo-branco e o amendoim forrageiro, podem manter suas populações de plantas sob pisoteio por meio de sua habilidade de estabelecer novas plantas a partir de cada nó e de aumentar a densidade destes nós (por unidade de

comprimento do estolão) com o aumento da intensidade de pastejo (CURLL; JONES, 1989).

Dependendo da estrutura do pasto, as leguminosas podem se beneficiar do amortecimento do impacto dos cascos dos animais proporcionado pela gramínea acompanhante (CURLL; JONES, 1989). Entretanto, no caso dos pastos consorciados com gramíneas cespitosas, em que os animais tendem a caminhar entre as touceiras da gramínea, e, portanto, sobre as leguminosas (FISHER, 1989), a proteção ocorre apenas na área próxima à base das touceiras.

As excreções podem influenciar a porcentagem de leguminosas no pasto, alterando as concentrações de nutrientes no solo, causando queima nas plantas, dispersando as sementes das leguminosas nas fezes e modificando os padrões de pastejo (CURLL; JONES, 1989). Em pastagens de clima temperado, a redução na porcentagem de leguminosa no pasto causada pela deposição de fezes e urina deve-se mais ao crescimento da gramínea, em resposta ao aumento da disponibilidade de N no solo, do que à redução do crescimento da leguminosa (LAIDLAW; TEUBER, 2001).

Os animais em pastejo afetam diretamente o aumento das reservas de sementes no solo de diferentes maneiras, seja consumindo flores ou sementes em distintas fases de desenvolvimento (HUMPHREYS, 1991), auxiliando na dispersão das sementes via transporte nos cascos, pele ou lã, ou excretando as sementes com as fezes. Para muitas leguminosas forrageiras, a última via é a mais importante (CURLL; JONES, 1989). Os efeitos indiretos dependem da maneira com que a desfolha: a) modifica a densidade de inflorescências; b) altera o suprimento de assimilados para as inflorescências; c) retarda o desenvolvimento, alterando com isso as condições ambientais que ocorrem durante a formação das sementes; e d) modifica as relações competitivas das espécies constituintes do pasto (HUMPHREYS, 1991). A quantidade total de sementes produzidas e o grau de seletividade dos animais pelas inflorescências são, portanto, fatores importantes para a persistência de muitas leguminosas tropicais (KRETSCHMER, 1988), principalmente nos casos em que a ressemeadura natural é importante e se a quantidade de sementes consumidas e digeridas reduzir significativamente a reserva no solo. Vários estudos citados por Humphreys (1991) mostraram que o aumento da taxa de lotação diminui a reserva de sementes no solo para espécies de leguminosas forrageiras como siratro e *Lotononis bainesii*. Entretanto, a dispersão das sementes defecadas pode ser importante para a colonização de áreas não semeadas anteriormente e para a recolonização de locais em que a leguminosa foi perdida temporariamente (CURLL; JONES, 1989).

3. A Seletividade Animal e o Manejo do Pastejo

Animais em pastejo são sempre seletivos, isto é, eles escolhem ativamente as espécies forrageiras, plantas individuais e partes das plantas disponíveis na pastagem. Portanto, a seletividade expressa o grau com que os animais colhem plantas ou partes destas em diferente proporção da forragem disponível na pastagem. Resulta da combinação de dois fatores diferentes, palatabilidade e

preferência, os quais geralmente são confundidos. A palatabilidade se refere aos atributos das plantas que alteram sua aceitabilidade pelos animais em pastejo, ao passo que a preferência está relacionada às reações dos animais que determinam a aceitação ou não de determinadas plantas ou de suas partes (HEADY; CHILD, 1994; VALLENTINE, 2001).

A palatabilidade das plantas pode ser influenciada por fatores de ordem física (morfológica), ambiental e química. Alguns fatores físicos que geralmente reduzem a palatabilidade são: alto teor de matéria seca, baixa relação folha/talo, abundância de inflorescências, tecidos velhos, folhas duras, baixa acessibilidade, presença de espinhos, entre outros. Os fatores ambientais podem ser: clima desfavorável ao crescimento, presença de poeira ou de fezes sobre as plantas, danos causados por insetos, plantas dessecadas por herbicidas, etc. Os fatores químicos que reduzem a palatabilidade são muito importantes, com destaque para o alto conteúdo de fibra, lignina e sílica, o baixo conteúdo de proteína bruta, de açúcares, de conteúdo celular, de magnésio e de fósforo, a baixa digestibilidade e a presença de compostos secundários (fatores antiqualitativos), tais como fenóis, taninos, monoterpenos e alcalóides (VALLENTINE, 2001).

A seleção da dieta não afeta apenas o estado nutricional dos animais, mas também as relações competitivas da comunidade de plantas. Diferenças entre espécies quanto à palatabilidade, bem como diferenças sazonais dentro de espécies, oferecem oportunidade para controle da porcentagem de leguminosas em pastos consorciados (CURLL; JONES, 1989; VALLENTINE, 2001).

Muitas leguminosas tropicais são pouco consumidas pelo gado durante a fase vegetativa (estação chuvosa), porém sua aceitação e consumo pelos animais aumentam consideravelmente a partir da época do florescimento, geralmente nos meses de maio e junho no Hemisfério Sul. Exemplos de leguminosas que apresentam esta característica são o calopogônio, a puerária, alguns estilosantes e o siratro (WHITEMAN, 1980; SEIFFERT, 1982; BARCELLOS et al., 2001). Na Colômbia, em pastos consorciados de capim-andropógon (*Andropogon gayanus*) e puerária, manejados sob lotação contínua, a porcentagem de leguminosa no pasto variou de 55% a 75%. Entretanto, seu consumo oscilou de 10%, em meados da estação chuvosa, a 90%, em meados da estação seca (BÖHNERT et al., 1985, citados por HUMPHREYS, 1991).

Outras leguminosas, tais como *D. ovalifolium*, *Calopogonium caeruleum* e *Zornia brasiliensis*, possuem baixa palatabilidade e são pouco consumidas pelos bovinos durante todo o ano, fato que pode levá-las à completa dominância, dependendo do manejo do pastejo (THOMAS et al., 1985; CURLL; JONES, 1989; LASCANO, 2000). Após três anos sob pastejo (lotação contínua), o consórcio de capim-andropógon e *Z. brasiliensis* apresentou quase 100% de leguminosa, independentemente da taxa de lotação, devido à relutância dos novilhos em consumirem a leguminosa, mesmo durante a estação seca (THOMAS et al., 1985). De acordo com os autores, os acessos de *Z. brasiliensis* possuem odor forte, possivelmente devido à presença de alcalóides.

Também existem leguminosas que são selecionadas preferencialmente pelos animais em pastejo, como é o caso, por exemplo, da leguminosa anual *Aeschynomene americana*, cuja proporção na dieta de bovinos foi maior do

que a existente em pasto consorciado com a gramínea *Hemarthria altissima* (MOORE et al., 1985). A *Aeschynomene americana* talvez seja a mais palatável das leguminosas tropicais, sendo selecionada por bovinos em todos os estágios de crescimento (COOK et al., 2005). Essa característica também tem sido constatada nos ecótipos nativos do Acre, que em pastagens em degradação devido à síndrome da morte do capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) chegam a constituir boa proporção da composição botânica.

A experiência prévia dos animais tem papel importante na preferência por determinadas espécies de plantas, pois eles geralmente relutam em aceitar forrageiras desconhecidas e procuram pelas espécies preferidas quando são transferidos para um novo ambiente (VALLENTINE, 2001). O amendoim forrageiro tem sido muito bem aceito pelo gado que já tem experiência prévia com a leguminosa (CARULLA et al., 1991, citados por LASCANO, 2000). Quando consorciada com quatro espécies de *Brachiaria*, os bovinos selecionaram esta leguminosa na mesma proporção da forragem em oferta ao longo do ano (LASCANO; THOMAS, 1988). Os autores atribuíram a alta seleção do amendoim forrageiro à sua boa palatabilidade, ao tipo de estrutura do pasto, que limita a habilidade dos bovinos de selecionar contra a leguminosa, e à proporção relativamente elevada da leguminosa nos pastos. Em estudo recente, o índice de seleção do amendoim forrageiro foi maior no final da estação seca, quando o teor de proteína bruta da gramínea (*B. humidicola*) foi particularmente baixo, provavelmente devido a um efeito compensatório (HESS et al., 2002). Por outro lado, os índices de seleção da leguminosa foram baixos no meio da estação chuvosa, quando a gramínea apresentava maior teor protéico, especialmente nos pastos com alta porcentagem de leguminosa, possivelmente devido a razões de palatabilidade, mas também para evitar o excesso metabólico de proteína[2]. Os autores concluíram que os novilhos selecionaram preferencialmente o amendoim forrageiro apenas quando a dieta foi muito baixa em proteína bruta e digestibilidade.

A alta palatabilidade é um critério usado nos programas de melhoramento de plantas forrageiras. Porém, é uma característica compatível apenas com plantas de hábito prostrado, que são tolerantes ao pastejo (HUMPHREYS, 1980, 1994). Este autor sugeriu que a baixa palatabilidade da leguminosa durante a estação de crescimento poderia ser aproveitada como uma oportunidade para aumentar a produção de forragem e a fixação de N pela leguminosa. Se isto fosse combinado com alta aceitabilidade da leguminosa durante a estação seca, quando a gramínea apresenta maior redução qualitativa, haveria benefício para a produção animal e o aumento do suprimento de N ao solo poderia promover um satisfatório balanço gramínea/leguminosa (HUMPHREYS, 1991).

4. Resposta das Leguminosas à Intensidade de Pastejo

A sensibilidade da maioria das leguminosas tropicais ao aumento na intensidade de pastejo tem contribuído para formar um consenso entre

[2]O excesso de proteína na dieta do ruminante é prejudicial, tanto do ponto de vista econômico quanto do nutricional, já que o animal gasta energia para converter amônia em uréia, que é o produto a ser eliminado do organismo (YOUNG, 2006).

pesquisadores de que pastos consorciados são para uso extensivo e que sob regime de cargas mais altas as leguminosas tenderão a desaparecer. Porém, tem se observado que o efeito do aumento da intensidade de pastejo sobre a persistência das leguminosas é variável e depende dos mecanismos de persistência da planta e do grau de seletividade exercido pelo animal (PEREIRA, 2001). Para as leguminosas com palatabilidade média a alta, os estudos mostram que o aumento da taxa de lotação resulta em aumento na freqüência e severidade da desfolha de plantas individuais (CURLL; JONES, 1989). Por exemplo, Curll e Wilkins (1982) mostraram que dobrando a taxa de lotação em um pasto de azevém e trevo-branco houve aumento de 80% na freqüência de desfolha de plantas de trevo. Portanto, leguminosas que não possuem mecanismos eficientes de escape (baixa palatabilidade) ou de tolerância (pontos de crescimento protegidos) ao pastejo geralmente têm a sua persistência ameaçada com o aumento da taxa de lotação ou da pressão de pastejo.

De modo geral, as leguminosas trepadeiras (*Centrosema pubescens*, soja perene, siratro e puerária) e eretas (*Stylosanthes guianensis*) não são resistentes ao pastejo pesado e raramente persistem sob taxas de lotação acima de 2,5 animais/ha (HUMPHREYS, 1980). Já as leguminosas com hábito de crescimento prostrado (*Stylosanthes humilis*, *Desmodium heterophyllum* e *A. pintoi*, por exemplo), que podem ser sombreadas por gramíneas de porte alto, beneficiam-se de elevadas pressões de pastejo permitindo maior penetração de luz no dossel, comportamento similar ao dos trevos nos pastos de clima temperado (WHITEMAN, 1980; CURLL; JONES, 1989; FISHER; CRUZ, 1995). Isso foi demonstrado em estudo recente realizado no Acre (ANDRADE et al., 2005), no qual se avaliou a resposta à intensidade de pastejo de dois acessos de amendoim forrageiro consorciados com os capins marandu e massai (*Panicum maximum* x *P. infestum*, cv. Massai) (Fig. 1). Nos dois consórcios, o amendoim forrageiro foi favorecido pelo uso de menores ofertas de forragem (maiores intensidades de pastejo). As leguminosas que combinam mecanismos de escape e de tolerância ao pastejo, como o *Desmodium ovalifolium*, são especialmente beneficiadas por maiores intensidades de pastejo (LASCANO, 2000).

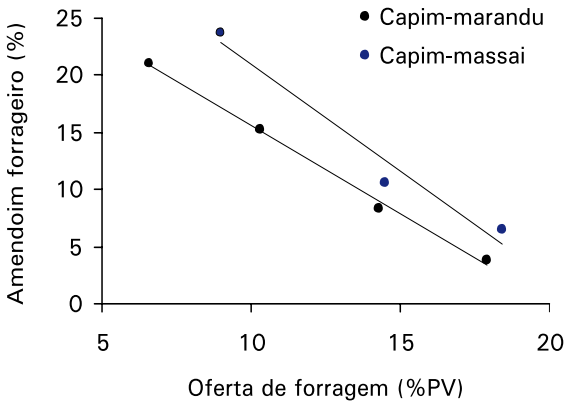


Fig. 1. Efeito da oferta de forragem na porcentagem de amendoim forrageiro em pastos consorciados com os capins marandu e massai, em Rio Branco, AC.

Fonte: Andrade et al., 2005.

As diferentes reações à intensidade de pastejo por leguminosas com hábito de crescimento e palatabilidade contrastantes foram bem demonstradas em estudo realizado na Bahia (PEREIRA et al., 1992), em que os consórcios *B. humidicola–P. phaseoloides* (trepadeira e de palatabilidade média) e *B. humidicola–D. ovalifolium* cv. Itabela (prostrada e de baixa palatabilidade) foram submetidos a diferentes taxas de lotação (2, 3 e 4 novilhos/ha). Houve aumento gradativo da porcentagem do desmódio com o aumento da taxa de lotação e do tempo de pastejo, porém, o inverso ocorreu com a puerária.

5. Resposta das Leguminosas ao Método de Pastejo

A resposta de leguminosas forrageiras à intensidade de pastejo é mais bem documentada do que sua resposta aos métodos de pastejo. Além disso, muitos estudos comparando métodos de pastejo mostram resultados contraditórios. O que se apresentará a seguir são as informações para as quais parece existir maior consenso.

De modo geral, as leguminosas eretas de clima temperado, como a alfafa (*Medicago sativa*), necessitam de lotação rotacionada para assegurar a sua persistência (CURLL, 1989a). A leguminosa tropical leucena (*Leucaena leucocephala*), plantada em faixas, também deve ser manejada sob lotação rotacionada (JONES, 1989; SEIFFERT, 1995). Já as leguminosas prostradas de clima temperado, como os trevos, podem ser manejadas sob lotação contínua (CURLL, 1989a). No caso do trevo-branco, tem havido alguma controvérsia sobre o melhor método de pastejo. Após revisarem a literatura sobre o uso desta leguminosa, Frame e Newbould (1986) sugeriram utilizar a lotação rotacionada. Entretanto, Sheath e Hay (1989) afirmaram que não existia nenhuma evidência na Nova Zelândia de que esta leguminosa deveria ser manejada sob lotação rotacionada para assegurar sua persistência, e que a plasticidade morfológica dos genótipos de trevo-branco sugeria o uso da lotação contínua. De fato, o uso de lotação rotacionada com longo período de descanso pode resultar no sombreamento do trevo-branco pela gramínea, diminuindo sua capacidade competitiva (HARRIS, 1990, citado por HOVELAND, 1999).

Para as espécies prostradas de clima tropical, como o amendoim forrageiro, existem poucas indicações sobre sua resposta aos métodos de pastejo. Entretanto, cultivares de *A. pintoi* consorciadas com espécies de *Brachiaria*, *Cynodon* e *Paspalum* têm sido mantidas com sucesso sob lotação contínua (SANTANA et al., 1998), alternada (LASCANO, 1995) ou rotacionada (GROF, 1985; HERNANDEZ et al., 1995; GONZÁLEZ et al., 1996; IBRAHIM; MANNETJE, 1998; BARCELLOS et al., 1999).

Os estudos com leguminosas de hábito de crescimento volúvel sugerem que estas são favorecidas pelo manejo sob lotação contínua, devido à redução da competição das gramíneas pela maior freqüência de desfolha (ROBERTS, 1982; LASCANO, 2000). Spain et al. (1985) citam experimentos realizados na Colômbia em que o manejo sob lotação contínua levou à dominância da puerária quando consorciada com o capim-andropógon, porém, o mesmo não ocorreu quando a gramínea foi a *B. decumbens*, com o pasto mantendo-se

estável e produtivo durante 6 anos sob pastejo. No Acre, tem sido observada a redução da porcentagem de puerária no pasto em fazendas que implementaram a lotação rotacionada em pastagens que antes eram manejadas sob lotação contínua (VALENTIM; CARNEIRO, 1999).

As leguminosas de baixa palatabilidade tendem a dominar o pasto quando manejadas sob lotação contínua. Isso foi mostrado por Santana et al. (1993), que estudaram a consorciação da *B. humidicola* com o *D. ovalifolium* cv. Itabela, sob diferentes métodos de pastejo e taxas de lotação, na Bahia. A lotação contínua favoreceu a leguminosa, particularmente nas maiores taxas de lotação. Neste estudo, o método de pastejo teve maior efeito sobre a porcentagem de leguminosa no pasto do que a taxa de lotação. Nestes casos em que há diferenças acentuadas de palatabilidade entre as espécies, tem sido sugerido o uso da lotação rotacionada de modo a favorecer a persistência da espécie mais palatável, seja gramínea ou leguminosa (LASCANO, 2000).

Na região dos Cerrados, a persistência de uma mistura de espécies do gênero *Stylosanthes* foi prejudicada pelo uso de lotação rotacionada com longo período de descanso (42 dias), quando consorciada com o capim-andropógon (LEITE et al., 1992). Nesse estudo, melhores resultados ocorreram com a lotação contínua ou alternada e lotação rotacionada com apenas 21 dias de descanso. Entretanto, nenhum dos métodos de pastejo possibilitou a manutenção da mistura de leguminosas no consórcio, que foi reduzida progressivamente ao longo do período experimental (4 anos), principalmente por causa da pequena reposição de plantas. No Equador, períodos de descanso superiores a 28 dias também prejudicaram a persistência de leguminosas com hábito de crescimento volúvel (mistura de soja perene e centrosema), consorciadas com o *P. maximum* cv. Colonião (SANTILLAN, 1983).

6. Estratégias de Manejo do Pastejo Recomendadas

A manutenção da integridade dos processos reprodutivos é vital para a persistência de populações de leguminosas anuais. Pastos mantidos com maior estabilidade quanto à altura ou à massa de forragem, como ocorre sob lotação contínua, apresentam maior regeneração das populações destas leguminosas. Fraca regeneração pode ser esperada sob lotação rotacionada, quando se utiliza pressão de pastejo elevada durante a fase de ressemeadura. A germinação em pastos mantidos altos também é insatisfatória, não apenas devido à competição, mas porque as plântulas tornam-se estioladas e mais vulneráveis ao pastejo (SHEATH; HODGSON, 1989). No caso da leguminosa anual *Aeschynomene americana* cv. Glenn, a regeneração não tem sido problema, especialmente quando não há limitação nutricional. O estabelecimento de suas plântulas é favorecido pelo uso de alta pressão de pastejo para controlar o crescimento das gramíneas antes das primeiras chuvas de verão e quando se utiliza pressão de pastejo moderada durante o período de reprodução (GRAMSHAW et al., 1989).

Uma das leguminosas tropicais mais estudadas, principalmente por pesquisadores australianos, é o *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro. A

persistência a longo prazo do siratro em pastagens tropicais e subtropicais depende da reposição de plantas. Esta, por sua vez, depende da manutenção de adequada reserva de sementes no solo e isto pode ser favorecido por diferimentos estratégicos do pasto. O manejo exige que se evite o superpastejo durante o primeiro ano, para permitir o acúmulo da reserva de sementes no solo, e que se reduza a pressão de pastejo nos pastos "enfraquecidos", ou que se permita um período de descanso no final do verão e do outono, quando a taxa de crescimento do siratro é mais alta e as sementes estão sendo produzidas (EVANS, 1982; CURLL; JONES, 1989).

No caso de pastos consorciados com a *Pueraria phaseoloides*, Skerman (1977) recomendou o uso de pastejo leve durante todo o ano para assegurar sua manutenção na pastagem. Se a puerária começasse a dominar o pasto, então a pressão de pastejo deveria ser aumentada. Já a recomendação de Seiffert (1982) foi de que os pastos consorciados com a puerária não deveriam ser rebaixados para menos de 25 cm de altura. A experiência com a puerária no Acre indica que sua persistência é favorecida pelo uso de lotação contínua com carga animal variando de leve a moderada. Sob lotação rotacionada com carga animal média a alta, sua proporção na composição botânica do pasto é reduzida para níveis normalmente inferiores a 5%. Também tem sido observado que a puerária é pouco compatível com a grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis*).

Jones et al. (2000) comentaram sobre a possibilidade de um manejo flexível para melhorar a composição botânica de pastos consorciados com a leguminosa *Chamaecrista rotundifolia* cv. Wynn. Quando consorciada com gramíneas agressivas, o manejo recomendado envolve o uso de pressão de pastejo relativamente alta durante a estação de crescimento, para diminuir a dominância da gramínea, reduzindo a pressão de pastejo no outono, período em que ocorre o pico de produção de sementes pela leguminosa e, também, em que esta é mais selecionada. Já com gramíneas menos agressivas, o manejo para evitar a dominância da leguminosa seria usar baixa pressão de pastejo durante o início do verão, quando os animais selecionam as gramíneas preferencialmente, e aumentá-la substancialmente no outono, quando a leguminosa é mais palatável, particularmente se as gramíneas já tiverem produzido suas sementes e a leguminosa ainda estiver florescendo e sementando.

Pastos consorciados com leguminosas que são agressivas e pouco palatáveis, como o *D. ovalifolium*, necessitam de alguma forma de lotação rotacionada, ou diferimento durante a estação chuvosa, juntamente com ajustes na taxa de lotação, para favorecer a recuperação da gramínea na mistura. Isto foi demonstrado em um pasto consorciado de *B. ruziziensis* e *C. mucunoides*, sob lotação contínua, que estava dominado (70%) pelo calopogônio. Foi possível reverter a situação para um melhor balanço da mistura (75% de gramínea e 25% de leguminosa) por meio do descanso de 4 meses na estação chuvosa, reduzindo posteriormente a taxa de lotação de 2,5 para 1,5 animal/ha (LASCANO, 2000).

O Estilosantes Campo Grande, cultivar composta pelas espécies *Stylosanthes capitata* e *S. macrocephala*, é uma leguminosa lançada pela Embrapa Gado de Corte em 2000 e que vem tendo excelente adoção nos últimos anos, especialmente na região dos Cerrados. Na fase de formação do

pasto consorciado, o manejo do pastejo deve ser direcionado para evitar o crescimento acentuado da gramínea e que esta abafe a leguminosa. Recomenda-se que o pastejo seja iniciado 30 a 40 dias após a introdução da leguminosa na recuperação de pastagens e 40 a 50 dias após a semeadura no plantio de pastagens novas. Em pastagens já estabelecidas, no período de outubro a dezembro, quando houver a emergência e o estabelecimento de novas plantas, recomenda-se o uso de maiores taxas de lotação, de forma a deixar espaço para as novas plantas da leguminosa, já que a principal forma de mantê-las no estande é via ressemeadura natural, pois as plantas do Estilosantes Campo Grande são anuais ou bianuais. Entretanto, no final do período de chuvas e durante o outono, o pastejo deverá ser mais leve, de modo a favorecer a produção de sementes e deixar uma maior oferta de forragem para o período seco (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2000).

Para o consórcio com o amendoim forrageiro, estudo desenvolvido recentemente no Acre permitiu recomendar alvos de manejo do pastejo (alturas pré e pós-pastejo) para pastos consorciados com os capins massai e marandu, sob lotação rotacionada (Tabela 1). Nesse estudo, ficou demonstrado que em ambos os consórcios a leguminosa é favorecida pelo uso de menores ofertas de forragem (maior intensidade de pastejo), devendo-se manter a condição do pasto dentro dos alvos de manejo estabelecidos (Fig. 2 e 3) de modo a evitar o sombreamento excessivo da leguminosa pelas gramíneas.

Tabela 1. Alvos de manejo do pastejo recomendados para pastos consorciados com o amendoim forrageiro, sob lotação rotacionada, no Acre.

Época do ano	Altura do pasto (cm)			
	Capim-massai x amendoim forrageiro		Capim-marandu x amendoim forrageiro	
	Pré-pastejo	Pós-pastejo	Pré-pastejo	Pós-pastejo
Chuva (out.–maio)	65 – 70	35 – 40	45 – 50	25 – 30
Seca (jun.–set.)	50 – 55	30 – 35	30 – 35	20 – 25

Fonte: Andrade, 2004.

Alguns autores têm feito recomendações de manejo do pastejo que não são específicas para uma espécie, mas que poderiam servir para um determinado grupo de espécies. Por exemplo, Whiteman (1980) sugeriu que, em ambientes com aproximadamente 1.250 mm de precipitação anual, as taxas de lotação não deveriam exceder a 1,7 UA/ha para que não ocorresse rápida diminuição da porcentagem de leguminosas no pasto. Para leguminosas trepadeiras, tais como *Desmodium intortum*, *D. uncinatum*, soja perene, siratro, centrosema, e tipos eretos como *S. guianensis* e *S. hamata*, que em sua totalidade se desenvolvem melhor sob baixas pressões de pastejo, Roberts (1982) considerou que a regra mais prática para manter o número necessário de folhas e pontos de crescimento, de modo a garantir boa produção e persistência destas leguminosas, seria a altura do pasto. Esta poderia variar um pouco de acordo com as espécies, mas, para uma mistura típica de *S. guianensis*, *C. pubescens* e *P. maximum*, deveria ser conservada uma altura de, aproximadamente, 30 a 60 cm durante o período de crescimento. Esta seria suficientemente baixa para manter a gramínea crescendo ativamente, mas alta o suficiente também para evitar o desfolhamento completo da leguminosa. O autor ainda comentou que,

acima desta altura, o gado teria dificuldades para consumir eficientemente a forragem; entretanto poderia ser necessário ultrapassá-la, no fim do período de crescimento, garantindo uma disponibilidade suficiente de forragem para manter o gado em boas condições durante a estação seca.

a b

Fotos: Carlos Mauricio S. de Andrade

Fig. 2. Condição do pasto consorciado de capim-massai e amendoim forrageiro equivalente aos alvos de manejo propostos para o período chuvoso: a) condição pré-pastejo (65 cm) e b) condição pós-pastejo (38 cm).

Fonte: Andrade, 2004.

a b

Fotos: Carlos Mauricio S. de Andrade

Fig. 3. Condição do pasto consorciado de capim-marandu e amendoim forrageiro equivalente aos alvos de manejo propostos para o período chuvoso: a) condição pré-pastejo (48 cm) e b) condição pós-pastejo (29 cm).

Fonte: Andrade, 2004.

7. Conclusões

Considerando a quantidade de cultivares de leguminosas forrageiras lançadas no Brasil e em várias partes do mundo, impressiona o pequeno número de estratégias de manejo do pastejo recomendadas para o uso de pastos consorciados. Isso significa que estas tecnologias estão sendo desenvolvidas e recomendadas ainda incompletas, sem as informações necessárias para a sua correta utilização. Além disso, muitas estratégias recomendadas são complexas e difíceis de serem implementadas nas fazendas, exigindo que os sistemas de produção se adaptem para manter a leguminosa no pasto. Obviamente, os pecuaristas não costumam adotar tecnologias com estas características. Atualmente, a pesquisa precisa oferecer soluções tecnológicas simples e eficientes aos produtores. As novas cultivares de leguminosas forrageiras, além de produtivas, persistentes e de bom valor nutritivo, precisam ser fáceis de estabelecer e devem apresentar plasticidade suficiente para suportar as variações de manejo que ocorrem normalmente nas fazendas. Não interessa se isto terá que ser atingido via melhoramento genético convencional ou por meio da transgenia, o importante é que a pesquisa precisa disponibilizar cultivares de leguminosas forrageiras que sejam adaptadas aos sistemas de produção e não o contrário. Atualmente, a única leguminosa forrageira tropical disponível com estas características parece ser o amendoim forrageiro.

8. Referências

ANDRADE, C. M. S. **Estratégias de manejo do pastejo para pastos consorciados na Amazônia Ocidental**. 2004. 170 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; VALENTIM, J. F. et al. Response of *Arachis pintoi* to grazing intensity when associated with different grasses. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 20., 2005, Dublin. **Offered papers**... Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 347.

BARCELLOS, A. O.; ANDRADE, R. P.; KARIA, C. T. et al. Potencial e uso de leguminosas forrageiras dos gêneros *Stylosanthes*, *Arachis* e *Leucaena*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 365-425.

BARCELLOS, A. O.; PIZARRO, E. A.; COSTA, N. L. Agronomic evaluation of novel germoplasm under grazing: *Arachis pintoi* BRA-031143 and *Paspalum atratum* BRA-009610. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg. **Proceedings**... Saskatoon: CFC/CSA/CSAS, 1999. 1 CD-ROM.

BOIN, C. Produção animal em pastos adubados. In: MATTOS, H. B. et al. (Ed.). **Calagem e Adubação de Pastagens**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 383-420.

CARVALHO, M. M. Fixação biológica como fonte de nitrogênio para pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 125-144.

COOK, B. G.; PENGELLY, B. C.; BROWN, S. D.; DONNELLY, J. L.; EAGLES, D. A.; FRANCO, M. A.; HANSON, J.; MULLEN, B. F.; PARTRIDGE, I. J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. **Tropical forages**: an interactive selection tool. Brisbane, Austrália: CSIRO/DPI&F(Qld)/CIAT/ILRI, 2005. 1 CD-ROM.

CRUZ, P. A.; SINOQUET, H. Competition for light and nitrogen during a regrowth cycle in a tropical forage mixture. **Field Crops Research**, v. 36, p. 21-30, 1994.

CURLL, M. L. Discussion. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989a. p. 357.

CURLL, M. L. General discussion of plant-animal interface. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.) **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989b. p. 395.

CURLL, M. L.; JONES, R. M. The plant-animal interface and legume persistence: an Australian perspective. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 339-357.

CURLL, M. L.; WILKINS, R. J. Frequency and severity of defoliation of grass and clover plants grazed by sheep at different stocking rates. **Grass and Forage Science**, v. 38, p. 159-167, 1982.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Estilosantes Campo Grande**: estabelecimento, manejo e produção animal. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 8 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 61).

EVANS, T. R. Interpretação dos resultados da pesquisa australiana sobre manejo de pastagens tropicais. In: SÁNCHEZ, P. A.; TERGAS, L. E.; SERRÃO, E. A. S. (Ed.). **Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos**. Brasília, DF: Editerra: CIAT: EMBRAPA, 1982. p. 297-313.

FISHER, M. J. Discussion. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 308.

FISHER, M. J.; CRUZ., P. Algunos aspectos de la ecofisiología de *Arachis pintoi*. In: KERRIDGE, P. C. (Ed.). **Biología y agronomia de especies forrajeras de *Arachis***. Cali: CIAT, 1995. p. 56-75.

FISHER, M. J.; RAO, I. M.; THOMAS, R. J. et al. Grasslands in the well-watered tropical lowlands. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 393-425.

FRAME, J.; NEWBOULD, P. Agronomy of white clover. **Advances in Agronomy**, v. 40, p. 1-88, 1986.

GONZÁLEZ, M. S.; VAN HEURCK, L. M.; ROMERO, F. et al. Producción de leche en pasturas de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) solo y asociado con *Arachis pintoi* o *Desmodium ovalifolium*. **Pasturas Tropicales**, v.18, n. 1, p. 2-12, 1996.

GRAMSHAW, D.; READ, J. W.; COLLINS, W. J. et al. Sown pastures and legume persistence: an Australian overview. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 1-21.

GROF, B. Forage attributes of the perennial groundnut *Arachis pintoi* in a tropical savanna environment in Colombia. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., 1985, Kyoto. **Proceedings**... Nishi-Nasuno: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 168-170.

HEADY, H. F.; CHILD, R. D. **Rangeland ecology and management**. Boulder: Westview Press, 1994. 519 p.

HERNANDEZ, M.; ARGEL, P. J.; IBRAHIM, M. A. et al. Pasture production, diet selection and liveweight gains of cattle grazing *Brachiaria brizantha* with or without *Arachis pintoi* at two stocking rates in the Atlantic Zone of Costa Rica. **Tropical Grasslands,** v. 29, p. 134-141, 1995.

HESS, H. D.; KREUZER, M.; NÖSBERGER, J. et al. Effect of sward attributes on legume selection by oesophageal-fistulated and non-fistulated steers grazing a tropical grass-legume pasture. **Tropical Grasslands**, v. 36, p. 227-238, 2002.

HODGSON, J.; SILVA, S. C. Sustainability of grazing systems: goals, concepts and methods. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. et al. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 1-13.

HOVELAND, C. S. Problems in establishment and maitenance of mixed swards. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg. **Proceedings**... Winnipeg: CFC/CSA/CSAS, 1999. p. 411-416.

HUMPHREYS, L. R. Deficiencies of adaptation of pasture legumes. **Tropical Grasslands**, v. 14, n. 3, p. 153-158, 1980.

HUMPHREYS, L. R. **Tropical pasture utilization**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206 p.

HUMPHREYS, L. R. **Tropical forages:** their role in sustainable agriculture. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1994. 414 p.

IBRAHIM, M. A.; MANNETJE, L.'t. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures in the humid tropics of Costa Rica. 1. Dry matter yield, nitrogen yield and botanical composition. **Tropical Grasslands**, v. 32, n. 2, p. 96-104, 1998.

JONES, R. M. Discussion. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 357.

JONES, R. M.; McDONALD, C. K.; CLEMENTS, R. J. Sown pastures in subcoastal south-eastern Queensland: pasture composition, legume persistence and cattle liveweight gain over 10 years. **Tropical Grasslands**, v. 34, p. 21-37, 2000.

KRETSCHMER, A. E. Jr. Consideraciones sobre factores que afectan la persistencia de leguminosas forrajeras tropicales. **Pasturas Tropicales**, v. 10, n. 1, p. 28-33, 1988.

KRETSCHMER, A. E. Jr.; PITMAN, W. D. Tropical and subtropical forages. In: BARNES, R. F.; MILLER, D. A.; NELSON, C. J. (Ed.). **Forages:** an introduction to grassland agriculture. Ames: Iowa State University Press, 5 ed., v. 1, 1995. p. 283-304.

LAIDLAW, A. S.; TEUBER, N. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings**... São Paulo: SBZ, 2001. 1 CD-ROM

LASCANO, C. E. Valor nutritivo y producción animal de *Arachis* forrajero. In: KERRIDGE, P. C. (Ed.). **Biología y agronomia de especies forrajeras de *Arachis***. Cali: CIAT, 1995. p. 117-130.

LASCANO, C. E. Selective grazing on grass-legume mixtures in tropical pastures. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. et al. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 249-263.

LASCANO, C. E.; THOMAS, D. Forage quality and animal selection of *Arachis pintoi* in association with tropical grasses in the eastern plains of Colombia. **Grass and Forage Science**, v. 43, p. 433-439, 1988.

LEITE, G. G.; SPAIN, J. M.; VILELA, L. et al. Efeito de sistemas de pastejo sobre a produtividade de pastagens consorciadas nos cerrados do Brasil. In: REUNIÓN SABANAS, 1., 1992, Brasília. **Anais**... Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC: Cali: CIAT, 1992. p. 539-545.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 1995, Brasília, DF. **Anais**... Brasília, DF: SBZ, 1995. p. 28-62.

MOORE, J. E.; SOLLENBERGER, L. E.; MORANTES, G. A. et al. Canopy structure of *Aeschynomene americana-Hemarthria altissima* pastures and ingestive behaviour of cattle. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 15., 1985, Kyoto. **Proceedings**... Nagoya: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 1126-1128.

PEREIRA, J. M. Produção e persistência de leguminosas em pastagens tropicais. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 2., 2001, Lavras. **Anais**... Lavras: UFLA, 2001. p. 147-188.

PEREIRA, J. M. Leguminosas forrageiras em sistemas de produção de ruminantes: onde estamos? para onde vamos? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGENS, 1., 2002, Viçosa. **Anais**... Viçosa: DZO/UFV, 2002. p. 109-147.

PEREIRA, J. M.; NASCIMENTO Jr., D.; SANTANA, J. R. Disponibilidade e composição botânica da forragem disponível em pastagens de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt, em monocultivo ou consorciado com leguminosas, submetidas a diferentes taxas de lotação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 1, p. 90-103, 1992.

ROBERTS, C. R. Algumas causas comuns dos fracassos das pastagens tropicais de leguminosas e gramíneas em fazendas comerciais e as possíveis soluções. In: SÁNCHEZ, P. A.; TERGAS, L. E.; SERRÃO, E. A. S. (Ed.). **Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos**. Brasília, DF: Editerra: CIAT: EMBRAPA, 1982. p. 433-452

SANTANA, J. R.; PEREIRA, J. M.; MORENO, M. A. et al. Persistência e qualidade protéica da consorciação *Brachiaria humidicola-Desmodium ovalifolium* cv. Itabela sob diferentes sistemas e intensidades de pastejo. **Pasturas Tropicales**, v. 15, n. 2, p. 2-8, 1993.

SANTANA, J. R.; PEREIRA, J. M.; RESENDE, C. P. Avaliação da consorciação de *Brachiaria dictyoneura* Stapf com *Arachis pintoi* Krapov & Gregory sob pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais**... Botucatu: SBZ, 1998. 1 CD-ROM.

SANTILLAN, R. A. **Response of a tropical legume-grass association to systems of grazing management and levels of phosphorus fertilization**. 1983. 170 f. Dissertation. University of Florida, Gainesville, Florida.

SEIFFERT, N. F. **Leguminosas para pastagens no Brasil central**. Brasília, DF: EMBRAPA-DID, 1982. 131 p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 7).

SEIFFERT, N. F. Manejo de leguminosas forrageiras arbustivas de clima tropical. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Plantas forrageiras de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 245-274.

SHEATH, G. W.; HAY, R. J. M. Overview of legume persistence in New Zealand. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 23-35.

SHEATH, G. W.; HODGSON, J. Plant-animal factors influencing legume persistence. In: MARTEN, G. C.; MATCHES, A. G.; BARNES, R. F. et al. (Ed.). **Persistence of forage legumes**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1989. p. 361-372.

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes**. Roma: FAO, 1977. 609 p.

SPAIN, J.; PEREIRA, J. M.; GUALDRON, R. A flexible grazing management system proposed for the advanced evaluation of associations of tropical grasses and legumes. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 15., 1985, Kyoto. **Proceedings**... Nagoya: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 1153-1155.

SPAIN, J. M. O uso de leguminosas herbáceas nas pastagens tropicais. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Plantas forrageiras de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 275-299.

THOMAS, R. J. Roles of legumes in providing N for sustainable tropical pasture systems. **Plant and Soil**, v. 174, n. 1-2, p. 103-118, 1995.

THOMAS, D.; ANDRADE, R. P.; GROF, B. Problems experienced with forage legumes in a tropical savanna environment in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 15., 1985, Kyoto. **Proceedings**... Nagoya: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 144-146.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Forage peanut (*Arachis pintoi*): a high yielding and high quality tropical legume for sustainable cattle production systems in the Western Brazilian Amazon. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 20., 2005, Dublin. **Offered papers**... Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005a. p. 329.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Perspectives of grass-legume pastures for sustainable animal production in the tropics. In: REUNIÃO ANNUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2004, Campo Grande. **Anais**... Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. p. 142-154.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*): successful adoption in sustainable cattle production systems in the Western Brazilian Amazon. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 20., 2005, Dublin. **Offered papers**... Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005b. p. 328.

VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. **Redução dos impactos ambientais da pecuária de corte no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 1999. 2 p. (Embrapa Acre. Impactos).

VALLENTINE, J. F. **Grazing management**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2001.

WHITEMAN, P. C. **Tropical pasture science**. New York: Oxford University Press, 1980. 392 p.

YOUNG, A. **Excess dietary protein in dairy rations can impair reproduction**. Disponível em: <http://extension.usu.edu/dairy/files/uploads/htms/protrepr. htm>. Acesso em: 14 out. 2006.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais**... Viçosa: DZO/UFV, 1997. p. 349-379.

CAPÍTULO 10

Cruzamentos na Pecuária Acreana

Francisco Aloísio Cavalcante

1. Introdução

A pecuária bovina de corte no Brasil é uma atividade de grande importância no agronegócio brasileiro. A cadeia produtiva de carne bovina movimenta por ano aproximadamente 16 bilhões de dólares, envolvendo em torno de 7 milhões de pessoas.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2005 o rebanho brasileiro alcançou 207,15 milhões de cabeças de bovino, representando o segundo maior rebanho do mundo, perdendo apenas para o indiano, que soma 317 milhões de cabeças, mas sem aptidão comercial.

O Brasil, cujo rebanho bovino representa aproximadamente 12% da população mundial, é o maior exportador de carne, com um total de 7,5 milhões de toneladas/ano (27% da produção mundial) superando a Austrália.

A abertura dos mercados, a globalização, o limite de expansão de novas fronteiras e a competitividade com os produtos agrícolas contribuem para que os sistemas de produção se estruturem a fim de obter produtos (carne e leite) com qualidade e competitividade para os mercados consumidores. É importante ressaltar que o consumidor atual exige produtos de qualidade, produzidos de forma sustentável sem gerar danos ao meio ambiente.

Segundo Pineda (2000), apesar das dificuldades conjunturais para expansão da pecuária de corte, dois fatores contribuem para que o País tenha competitividade: o baixo custo de produção e o domínio tecnológico da atividade.

Para uma melhor compreensão, o cruzamento tanto na pecuária de corte como na de leite será comentado de forma simples.

2. Pecuária de Corte

Uma das alternativas para aumentar a produtividade na pecuária de corte é a utilização do cruzamento industrial. Neste processo, animais de raças diferentes são acasalados com o propósito de se obter progênies produtivas e adaptadas às condições climáticas. Este sistema de acasalamento tem como

objetivo a utilização da heterose ou vigor híbrido e a complementaridade das raças.

Neste capítulo serão definidos e exemplificados, dentro do possível, alguns pontos relacionados a cruzamento industrial.

O vigor híbrido ou heterose representa a superioridade média de um animal cruzado em relação à média dos desempenhos dos pais independente da causa. Os efeitos da heterose são mais evidentes nas características que recebem grande influência do meio ambiente, como fertilidade e sobrevivência.

Outros autores referem-se à heterose como o aumento do vigor da progênie em relação ao dos pais, quando indivíduos não aparentados são acasalados (BOWMAN, 1959; SHERIDAM, 1981).

2.1. Tipos de Cruzamentos

2.1.1. Terminal

2.1.1.1. Terminal com duas raças

É definido como o acasalamento envolvendo somente duas raças. O vigor híbrido será maior quanto maior for a distância evolutiva entre as raças utilizadas. Por isso, a heterose é maximizada em cruzamentos taurus x indicus, pois todos os produtos (F_1), tanto machos quanto fêmeas, são destinados ao abate.

Na Fig. 1 há o exemplo de cruzamento terminal com duas raças envolvendo matrizes nelores e touros europeus.

A complementaridade entre raças é outro fenômeno associado aos cruzamentos que pode ser facilmente utilizada dentro do sistema de produção.

O fenômeno está expresso pela composição gênica do indivíduo, resultante do cruzamento. Nestes indivíduos se encontram genes de alto valor de produção associados a genes que conferem adaptação às condições adversas de clima e qualidade de pastagens encontradas na Região Norte do Brasil.

Exemplificando: animais F_1 (Fig. 1e) são oriundos de nelores (Fig. 1a), nos quais em sua composição genética encontram-se genes responsáveis pela adaptabilidade às condições adversas de pastagens e parasitos, além da boa habilidade materna da matriz nelore; enquanto animais das raças Red Angus (Fig. 1b), Hereford (Fig. 1c) e Aberdeen Angus (Fig. 1d) são constituídos de genes que proporcionam boa capacidade leiteira (para bovinos de corte), maior ganho de peso e uma carne de melhor qualidade.

2.1.1.1.1. Obtenção de F_1 no Estado do Acre

Vários sistemas de produção trabalham ou já trabalharam na obtenção de F_1 oriundos de diversos grupos genéticos Red Angus (Fig. 1b), Aberdeen Angus (Fig. 1d), Limousin (Fig. 3h) e Simental (Fig. 3k), respectivamente, acasalados sempre com matrizes, fenotipicamente da raça Nelore.

Cavalcante et al. (1992) analisaram no Estado do Acre, no período de 2000 a 2002, animais F_1 oriundos da raça Valdostana (Fig. 3l) pelo processo da inseminação em cem matrizes nelores. A raça Valdostana, pertencente ao

grupo das continentais, apresenta boa habilidade materna, excelente facilidade de parto, diferenciando-se das outras de seu grupo por ser de menor porte e apresentar alto rendimento de carcaça (EMBRAPA GADO DE CORTE, 1999).

Na avaliação feita, os animais F_1 machos e fêmeas oriundos da raça Valdostana nasceram com 33,72 ± 0,86 e 33,82 kg ± 0,94, respectivamente, ou seja, menos de 1,84 kg em relação aos animais machos e fêmeas oriundos da raça Nelore. Já na apartação o quadro se inverteu: machos e fêmeas oriundos da raça Valdostana pesaram 217,50 ± 4,24 e 211,18 ± 4,33 kg, respectivamente, representando um ganho de 2,57 kg em relação à raça Nelore.

Todas as crias, machos e fêmeas, nelore ou valdostana, ganharam em média 0,90 kg/dia ± 0,90 kg do nascimento até a desmama. Verificou-se também que as vacas paridas com melhor condição corporal produziram crias mais pesadas na parição e na apartação (CAVALCANTE et al., 1992).

Portanto, para obtenção destes F_1 (Fig. 1e) é importante utilizar raças européias (Fig. 1b, 1c, 1d e Fig. 3l) de boa habilidade materna e com boa produção de leite. Estes animais, machos e fêmeas, podem ser terminados e encaminhados para o abate, caso o sistema de produção não tenha estrutura para fazer o cruzamento industrial, acasalando fêmeas F_1 com uma terceira raça.

(a) Vaca Nelore

X

(b) Raça Red Angus

(c) Raça Hereford

(d) Raça Aberdeen Angus

(e) Produtos F_1 oriundos do cruzamento de animais da raça Red Angus (b), Hereford (c), Aberdeen Angus (d), com vaca Nelore (a)

Fotos: Francisco Aloísio Cavalcante

Fig. 1. Cruzamento terminal com duas raças envolvendo matrizes nelores e touros europeus.

Neste tipo de cruzamento, estas progênies se destacam mais na terminação, pois animais oriundos da espécie *Bos taurus taurus*, além de ganharem mais peso nessa fase são abatidos com menor idade do que os da espécie *Bos taurus indicus*.

2.1.1.2. Terminal com três raças

O cruzamento terminal com três raças é utilizado quando o sistema de produção tem pasto suficiente para acomodar os animais oriundos dos acasalamentos das fêmeas F_1 (Fig. 1e), os reprodutores de raças que geram produtos maiores e de maior peso no abate. A razão para isso é que fêmeas F_1 (Fig. 1e) são utilizadas na produção de animais F_2. Como exemplo desta produção de F_2, tem-se a progênie oriunda de F_1 (Red x Nelore) com o Senepol (Fig. 2).

Foto: Francisco Aloísio Cavalcante

Fig. 2. F_2 (Senepol x 1/2 Red x Nelore).

Além das raças que compõem os F_1 (Fig. 1e), são utilizadas nos cruzamentos destas fêmeas raças de maior porte, que apresentam boa estrutura óssea e produzem carcaça maior, como: Bonsmara (Fig. 3a), Blond (Fig. 3f), Senepol (Fig. 3b), Chianina (Fig. 3g), Marchigiana (Fig. 3i), Simental (Fig. 3k), Limousin (Fig. 3h), Guzerá (Fig. 3c) e a raça Valdostana (Fig. 3l) do grupo das continentais, mas de menor porte (Fig. 3). Nos produtos deste cruzamento, as carcaças oriundas dos animais F_1 (Fig. 1e e Fig. 3l) apresentam boa qualidade e são maiores, características impostas pelo cruzamento com as raças de maior porte.

2.1.2. Rotacional ou Alternado

Neste tipo de cruzamento, acasalam-se duas ou mais raças de forma alternada. Inicialmente, acasalam-se machos europeus com fêmeas zebuínas, obtendo-se a produção de animais mestiços (F_1). Nos cruzamentos posteriores, os machos (F_1, F_2, F_3 e F_4) são abatidos, mas as fêmeas F_1 são acasaladas com reprodutores zebuínos. Cada fêmea, gerada dos acasalamentos subseqüentes (F_2, F_3 e F_4), é acasalada alternadamente com reprodutores zebus e europeus.

Raça Sintética Bonsmara (a)

Raça Sintética Senepol (b)

Raça Guzerá (c)

X X

Fêmeas F_1 (Red x Nelore) (d)

Fêmeas F_1 (Red x Nelore) (e)

Raça Blond d'Aquitaine (f)

Raça Chianina (g)

Raça Limousin (h)

Raça Marchigiana (i)

Raça Piemontesa (j)

Raça Simental (k)

Raça Valdostana (l)

Fotos: Francisco Aloísio Cavalcante

Fig. 3. Exemplo de cruzamento terminal com três raças envolvendo matrizes F_1 (Fig. 1e), touros europeus e zebus (Fig. 3c).

Estes animais são aproximadamente 30% inferiores aos animais oriundos dos cruzamentos simples entre as linhas iniciais do sistema rotacional, pois há um decréscimo da heterozigose decrescer nos indivíduos F_2 em relação aos F_1 (GIANNONI, M. A; GIANNONI, M. L., 1989).

Exemplificando o cruzamento rotacional com duas raças:

R= Red Angus; Z = Zebu

Macho R x Fêmea Z = Macho F_1 e Fêmea F_1

Fêmea F_1 x Macho Z = Macho F_2 e Fêmea F_2

Fêmea F_2 x Macho R = Macho F_3 e Fêmea F_3

Fêmea F_3 x Macho Z = Macho F_4 e Fêmea F_4

Fêmea F_4 x Macho R.

Nos cruzamentos seguintes alternam-se os reprodutores.

3. Vantagens e Desvantagens do Cruzamento Industrial

3.1. Vantagens

Em relação às vantagens destacam-se quatro aspectos genéticos: complementaridade, heterose, relacionamento das raças e flexibilidade.

A complementaridade é a soma de atributos favoráveis para produção nas raças parentais a fim de obter uma progênie superior. Em geral, as raças utilizadas nos cruzamentos apresentam características que se complementam aumentando a eficiência do sistema de produção. Devem-se observar o aproveitamento, a resistência e rusticidade de vacas da raça Zebu, conjuntamente com o ganho de peso, precocidade sexual e o acabamento de carcaças das raças européias.

A heterose é definida como a superioridade média dos produtos de cruzamento em relação à media dos pais para uma determinada característica. Para esta situação ocorrer é importante que a distância da evolução entre as raças seja grande, ou seja, o tempo em que elas se distanciaram tanto na seleção natural, quanto na seleção induzida pelo homem.

Os efeitos da heterose são mais expressivos para as características que apresentam baixa herdabilidade, como as relacionadas ao aspecto reprodutivo.

No processo de cruzamento, é importante que as raças utilizadas tenham uma distância genética longa no seu processo evolutivo. Esta condição se apresenta nos animais das espécies *Bos taurus* e *Bos indicus* que são cerca de 250 mil a 1 milhão de anos geneticamente distantes no seu processo evolutivo. Devido a este fato, quando estas duas espécies são cruzadas, a heterose se manifesta com alto vigor.

A flexibilidade é uma das grandes vantagens no cruzamento industrial, pois permite que o produtor acompanhe as mudanças que estão ocorrendo na pecuária nacional. Assim, se o mercado exigir carcaças acima de 270 kg (18

arrobas), o produtor poderá utilizar cruzamentos que envolvam raças européias de grande porte.

3.2. Desvantagens

No processo de cruzamento industrial não existe uma situação de cruzamento ideal que atenda a todas as demandas do mercado. Além disso, não há raça ideal para atender aos objetivos e exigências de todos os sistemas de produção.

A escolha equivocada de um reprodutor pode levar o resultado do cruzamento industrial ao insucesso.

É necessário qualificar mão-de-obra dos sistemas de produção, alimentar melhor os produtos do cruzamento industrial e controlar de forma mais eficaz a sanidade.

É importante lembrar que para direcionar estes cruzamentos, em um sistema de produção de gado de corte usando-se várias raças, observar as exigências do mercado em relação à qualidade da carne, como por exemplo se deve ter com boa cobertura de gordura ou não.

O mais importante é que o material (sêmen ou reprodutores) utilizado para este fim apresente uma composição de genes direcionada para o objetivo que o produtor pretende.

Vale ressaltar que apesar do cruzamento ser uma forma rápida e econômica de produzir carne bovina, os ganhos observados são temporários, não eliminando a necessidade de seleção como método de melhoramento.

4. Pecuária de Leite

A população bovina mundial é estimada em 1,5 bilhão de cabeças. Cerca de 40% localizam-se nas regiões temperadas e 60% nas tropicais e subtropicais. Esta vantagem numérica dos países tropicais e subtropicais é anulada quando a comparação é feita em termos de produção e produtividade. Os países de clima temperado produzem, aproximadamente, dez vezes mais leite e quatro vezes mais carne do que os de clima tropical.

O rebanho brasileiro de aptidão leiteira é composto de 34,3 milhões de cabeças, deste total 15,6 milhões produzem em torno de 25 milhões de litros de leite.

A produção de leite no Brasil, no ano de 2006, foi estimada em torno de 27 bilhões de litros pela Fod and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), colocando o Brasil em 7º lugar na produção mundial, sendo 80% oriunda de matrizes girolandas, das quais cerca de 560 mil são registradas, segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Girolando.

Uma alternativa para tentar diminuir esta diferença e incrementar a produção de leite é utilizar cruzamentos para produção de mestiços, além de investir em pastagens, nutrição, reprodução, sanidade e conforto térmico para os animais (BRUNO; MÔNACO, 2003).

No Brasil, além destas alternativas, têm sido utilizados genes de raças especializadas para produção de leite mantendo-se as características de adaptabilidade e rusticidade dos zebus.

Os animais oriundos da primeira geração são denominados de meios-sangues, pois em sua composição há 50% de sangue europeu e 50% de sangue zebu ou nativo.

Em relação à pecuária leiteira do estado, a utilização de cruzamento *Bos taurus taurus* (Holandesa, Schwys, Jersey) e *Bos taurus indicus* (Gir Leiteiro) é uma boa opção para melhorar os índices produtivos e reprodutivos, pois estes cruzamentos formam animais "girolando".

A obtenção de animais girolandos (Holandês + Gir Leiteiro) adaptados às condições do estado pode ser feita pela inseminação artificial de matrizes da região (Fig. 4g) com sêmen de touros das raças Holandesa (Fig. 4c), Pardo-Suíça (Fig. 4e), Jersey (Fig. 4f), Gir Leiteiro (Fig. 4a), Guernsey (Fig. 4d) ou reprodutores Girolandos (Fig. 5c). Animais obtidos nestes cruzamentos apresentam heterose máxima, além dos benefícios advindos da complementaridade entre as raças envolvidas, como rusticidade e produtividade.

É importante ressaltar que melhorias devem também ocorrer no rebanho nos aspectos de manejo, nutrição e sanidade, pois animais mais produtivos são exigentes nestes aspectos.

As raças Gir Leiteiro (Fig. 4a), Guzerá Leiteiro (Fig. 4b), Holandesa (Fig. 4c), Guernsey (Fig. 4d), Pardo-Suíça (Fig. 4e) e Jersey (Fig. 4f) podem ser utilizadas como doadoras de sêmen para matrizes-base do estado (Fig. 4g). De acordo com os objetivos do criador, diferentes graus de sangue podem ser obtidos como: ½ sangue (Fig. 5a), ¾ de sangue (Fig. 5b) e animais girolandos (Fig. 5c)

Conforme aumenta a participação de raças européias na formação de animais cruzados, torna-se necessário promover melhorias no manejo nutricional e sanitário do rebanho.

Com base no desempenho de vários "graus de sangue", muitos experimentos evidenciam que as frações ½ e ¾ são as mais adequadas para produção de leite nos trópicos. Níveis maiores que ¾ não devem ser mantidos em clima quente, devido ao elevado custo de manutenção destes animais que, de forma geral, são altamente exigentes em manejo, nutrição e sanidade.

4.1. Tipos de Cruzamentos

4.1.1. Absorvente ou Contínuo

Este processo consiste no acasalamento sucessivo por várias gerações e envolve um macho de uma raça pura com fêmeas de outra raça ou seus descendentes, obtendo-se o ½ sangue e ¾ de sangue, sucessivamente até a 5ª geração, chegando-se ao 31/32 de sangue, que por convenção é denominado "puro por cruza".

Neste tipo de cruzamento, os animais até a 2ª geração, os ¾ de sangue, são ideais para o Estado do Acre e nunca os "puros por cruza", ou PO (puro de origem), que para desenvolver seu potencial produtivo necessitam de melhores condições ambientais, manejo nutricional, reprodutivo e sanitário.

Foto: Francisco A. Cavalcante

Raça Gir Leiteiro (a)

Foto: Francisco A. Cavalcante

Raça Guzerá Leiteiro Mocho (b)

Foto: Francisco A. Cavalcante

Raça Holandesa (c)

Foto: Francisco A. Cavalcante

Raça Guernsey (d)

Foto: Arquivo ABC Pardo Suíço

Pardo-Suíça (e)

Foto: Francisco A. Cavalcante

Jersey (f)

Foto: Francisco A. Cavalcante

Foto: Francisco A. Cavalcante

Vacas mestiças utilizadas nos sistemas de produção do Estado do Acre (g)

Fig. 4. Raças utilizadas para obtenção de diferentes graus de sangue de animais cruzados.

F_1 ½ sangue (a)

F_1 ½ sangue e ¾ de sangue (b)

Girolando oriundo de cruzamentos (c)

Fotos: Francisco Aloísio Cavalcante

Fig. 5. Diferentes graus de sangue utilizados nos sistemas de produção do Estado do Acre.

4.1.2. Alternado

É o tipo de cruzamento direcionado na alternância da raça do reprodutor. Este, em vez de ser da mesma raça em cada geração, como no cruzamento absorvente, passa a ser de uma das raças cruzadas na formação de cada geração.

Exemplos:

Touro A x vaca B
1ª geração mestiça ½ sangue AB

Touro B x vaca ½ sangue AB
2ª geração mestiça ¾ de sangue B

Touro A x vaca ¾ de sangue B
3ª geração mestiça 5/8 de sangue A (3/8 de B).

Neste cruzamento ocorre uma tentativa de eqüidade entre os genes do touro A e B para não haver predominância de nenhum dos dois.

É uma modalidade que se aplica somente até a 3ª geração, sendo muito utilizada na obtenção de animais da raça Girolando. Quando se chega a este grau sangüíneo, pára-se o processo e entra-se na reprodução dos mestiços entre si.

4.1.3. Mestiçagem

Inicialmente este processo empírico foi muito praticado na colonização do Brasil, pois muitos colonizadores trouxeram rebanhos bovinos oriundos da Europa para alimentar os escravos com carne e leite. Estes exemplares, selecionados pela própria natureza, adaptaram-se às condições tropicais e, à proporção que o tempo ia passando, machos de várias raças trazidos de Portugal foram acasalados com as matrizes restantes do rebanho inicial.

Com este processo se praticava uma verdadeira “mestiçagem”, mas de forma desordenada, na qual animais pouco produtivos eram gerados. Desta

mestiçagem desorientada, vários exemplares de animais adaptados surgiram na colonização do Brasil.

A mestiçagem, propriamente dita, é definida como um processo de acasalamento entre animais mestiços, em que o produto é denominado bimestiço. Com a mestiçagem pode-se formar uma nova raça. Apesar de polêmica, esta opção genética é uma das mais acessíveis para o produtor.

Verifica-se uma alta eficiência de animais mestiços nos trópicos tem-se verificado, mas a aplicação dos cruzamentos em rebanhos leiteiros encontra barreiras estruturais e econômicas para a adoção por produtores. No Brasil, segundo a Embrapa, apenas 40% das propriedades leiteiras de pequeno porte utilizam touros mestiços em seus programas de acasalamentos.

O uso de bimestiços em acasalamentos é questionado por alguns pesquisadores que argumentam com base na lei de segregação genética dos bimestiços. Atualmente este questionamento é rebatido, pois a segregação genética dos bimestiços aplica-se a caracteres influenciados por poucos pares de genes que dizem respeito às características morfológicas (pelagem, tipo, etc.). Esta segregação não atinge os caracteres econômicos, como aptidão leiteira, ganho de peso e rusticidade, que são influenciados por muitos pares de genes de efeitos individuais pequenos.

Alguns autores relatam que a queda na produção leiteira, devido à segregação genética, é em torno de 4%, podendo ser compensada quando os touros mestiços são corretamente escolhidos para os acasalamentos. No Brasil, há programas implantados de avaliação genética para animais bimestiços e a Embrapa, em parceria com universidades e institutos de pesquisa, é pioneira nestes trabalhos para formar o “mestiço leiteiro brasileiro”.

5. A Raça Girolando

Para que o girolando seja registrado na sua formação, duas raças puras, a Holandesa e a Gir Leiteiro, são trabalhadas utilizando-se dois tipos de estratégias de cruzamentos:

Estratégia 1 - utiliza-se no primeiro cruzamento reprodutor holandês puro (Fig. 6a) com vacas gir puras (Fig. 6b). No segundo cruzamento, reprodutor gir puro (Fig. 6c) com fêmeas (1/2 Hol.-Gir) oriundas do primeiro cruzamento (Fig. 6d). No terceiro, utilizam-se fêmeas (1/4 Hol. + 3/4 Gir) (Fig. 6f) geradas do segundo cruzamento com reprodutores holandeses PO e, no último cruzamento, acasalam-se entre si os animais (5/8 Hol. + 3/8 Gir) resultantes do terceiro cruzamento, formando assim o bimestiço ou girolando (Fig. 5c e Fig. 7).

É importante ressaltar que o Estado do Acre está situado em uma região tropical do planeta. Portanto, o processo de acasalamento que utiliza animais puros deve ser executado por meio de inseminação artificial, evitando-se a utilização direta do reprodutor PO holandês.

Touro holandês PO (a)

X

Vacas gir PO (b)

Fotos: Francisco Aloísio Cavalcante

Primeiro cruzamento: touro holandês
com fêmea gir leiteira PO

Reprodutor gir leiteiro PO (c)

X

Matriz F_1 (1/2 Hol. + 1/2 Gir) (d)

Fotos: Francisco Aloísio Cavalcante

Segundo cruzamento: touro gir leiteiro PO
com fêmeas F_1 (1/2 Hol. + 1/2 Gir)

Touro holandês PO (e)

X

Matriz (1/4 Hol. + 3/4 Gir) (f)

Terceiro cruzamento: touro holandês PO
com fêmeas F_2 (1/4 Hol. + 3/4 Gir)

Reprodutor (5/8 Hol. + 3/8 Gir) (g)

X

Matriz (5/8 Hol. + 3/8 Gir) (h)

Quarto cruzamento: touro (5/8 Hol. + 3/8 Gir) com
fêmeas F_2 (5/8 Hol. + 3/8 Gir)

Fig. 6. Esquema de formação da raça Girolando.

Concluindo a primeira estratégia, para formação da raça Girolando, aplica-se no quarto cruzamento o acasalamento entre os animais 5/8 Hol. + 3/8 Gir (Fig. 6g e 6h), gerando-se o animal bimestiço (Fig. 7).

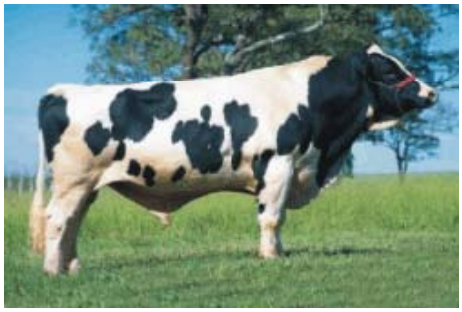


Fig. 7. Reprodutor bimestiço.

O resultado final deste cruzamento é a obtenção de animais constituídos de 0,375 de sangue gir e 0,625 de sangue holandês. Estes animais se adaptam muito bem ao clima tropical, devido aos genes associados à rusticidade e resistência a ecto e endoparasitos, além de apresentarem boa produtividade resultante da ação de genes de raça européia.

Estratégia 2 - no primeiro cruzamento, utiliza-se reprodutor gir leiteiro puro (Fig. 4a) com vacas holandesas puras (Fig. 4c). No segundo, acasala-se o reprodutor holandês puro (Fig. 4c) com fêmeas (1/2 Hol.-Gir) (Fig. 6d). No terceiro, fêmeas (1/4 Gir +3/4 Hol.) com reprodutores (5/8 Hol. + 3/8 Gir) e no quarto cruzamento, acasalam-se entre si os animais (5/8 Hol. + 3/8 Gir) para formação do bimestiço ou girolando (Fig. 5c e Fig. 7).

Estes animais são denominados de girolandos ou bimestiços e são constituídos de 0,375 de sangue gir + 0,625 de sangue holandês. Animais que se adaptam muito bem ao clima tropical são constituídos de gens de rusticidade e resistência a ecto e endoparasitos do zebu e de genes com características de produção e precocidade do europeu.

Os bimestiços, oriundos das duas estratégias de cruzamento na formação do girolando, apresentam bons desempenhos produtivos e reprodutivos em clima tropical.

Para produzir o girolando na Região Norte, a melhor estratégia a ser utilizada é a primeira, por dois motivos:

1) A facilidade de aplicar a inseminação artificial, utilizando-se sêmen de reprodutores holandeses em matrizes das raças Gir Leiteiro, pois na Região Norte não é viável economicamente a criação de europeus de grau de sangue puro. Este problema é contornado pelo uso da inseminação artificial nos rebanhos.

2) Para iniciar a formação de bimestiços, serão necessários rebanhos de matrizes da raça Gir Leiteiro, sendo viável a criação de matrizes zebuínas dessa raça na Região Norte, pois estes animais se adaptam bem às condições do clima tropical.

6. Considerações Finais

Apesar da grande extensão territorial do Brasil com pastagens em abundância, favorecendo o desenvolvimento do sistema de produção de leite a custos mais acessíveis, o segmento leiteiro não tem se destacado no contexto mundial. Para o País se firmar neste segmento é importante que políticas públicas sejam implantadas e que o produtor de leite tenha comprometimento com seu sistema de produção para produzir leite com qualidade.

É importante ressaltar que o produtor brasileiro deve confiar nas tecnologias existentes no País e tentar aplicá-las em seus sistemas de produção. Muitos produtores se espelham em sistemas de produção de outros países mais desenvolvidos, compostos por muitas tecnologias complicadas que não devem ser aplicadas em sistemas de produção simples existentes no Brasil.

7. Referências

ANUALPEC. São Paulo, 2003.

BOWMAN, J. C. Selection for heterosis. **Animal Breeding Abstracts**, Farnham Royal, v.27, n.3, p.261-273, 1959.

BRUNO, E. J. M.; MÔNACO, G. M. Uso estratégico de concentrados para vacas leiteiras. **ANUALPEC**, São Paulo, p. 87-91, 2003.

CAVALCANTE, F. A.; MARTINS FILHO, R; LOBO, R. N. B; CAVALI, J; GOMES, S. E. E; AZEVEDO de. E. M. Avaliação preliminar do desenvolvimento ponderal de bovinos f1(valdostana x nelore) e nelore do wnascimento ao desmame, no estado do acre. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., 1992, Lavras. **Anais.** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. 1 CD-ROM.

Gado de Corte Informa. v. 12, n. 1, abr., p. 1-16 , 1999.

GIANNONI, M. A.; GIANNONI, M. L. **Genética e melhoramento de rebanhos nos trópicos**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 463 p.

PINEDA, N. R. Influencia do zebu na produção de carne no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 3., 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EPMVZ, 2000. p. 130-149.

SHEDRIDAN, A. K. Crossbreeding and heterosis. **Animal Breeding Abstracts,** Farnham Royal, v. 49, n. 3, p. 131-194, 1981.

Parte 3

Genética, Biotecnologia e Biologia Molecular

CAPÍTULO 11

Melhoramento Genético Animal

José Marques Carneiro Júnior

1. Introdução

O desempenho individual dos animais é resultado da ação conjunta do ambiente e da genética. Níveis elevados de produtividade e retorno econômico são alcançados pelo melhoramento concomitante das condições ambientais e da composição genética dos animais.

Vários fatores têm contribuído para uma crescente demanda, no mercado nacional, por animais de genética superior. Dentre eles destacam-se: a instalação e o desenvolvimento de vários programas de melhoramento genético; a divulgação e adequação de metodologias empregadas na avaliação genética; e, principalmente, o reconhecimento econômico de que animais geneticamente superiores são cada vez mais disputados e vendidos no mercado, além de contribuírem para melhoria dos índices zootécnicos das propriedades.

Apesar do crescente avanço no melhoramento animal, observa-se, muitas vezes, que o termo "melhoramento genético" é equivocadamente utilizado. Com o aumento da demanda por genética de qualidade é natural que surjam especulações sobre o assunto, mas o fato é que os criadores deveriam estar mais atentos ao adquirir animais para reprodução. Em muitos locais de comercialização, como leilões, por exemplo, os animais são apresentados como resultado de melhoramento genético, quando, na maioria das vezes são excessivamente tratados e de mérito genético desconhecido.

O problema fundamental é que apenas parte das diferenças observadas no desempenho dos animais é passível de ser transferida de uma geração a outra. Assim, o grande desafio do melhoramento genético animal consiste na escolha dos melhores indivíduos para serem utilizados no processo reprodutivo, bem como no descarte de animais de menor potencial genético. Este processo é conhecido como seleção e na prática tem sido realizado de forma subjetiva, carecendo de uma abordagem metodológica mais científica.

Aparentemente fácil de ser entendida, a seleção apresenta-se como uma árdua tarefa para melhoristas e produtores. Diversas são as fontes capazes de produzir variação no desempenho dos animais. Fatores como ano e época de nascimento, sexo do animal, idade da mãe ao parto, nutrição, manejo sanitário, grupo de manejo, entre outros, influenciam diretamente a expressão das características, causando variação de origem ambiental que não apresenta

interesse em termos de seleção, uma vez que as mesmas não são transmitidas para os descendentes. Enfim, o sucesso do melhoramento está estreitamente relacionado com a capacidade de distinção entre as variações de origem ambiental e as de origem genética.

Dentro do contexto de um mercado competitivo e globalizado, é necessário que os produtores se conscientizem de que ainda há muito que fazer no sentido de melhoramento ambiental, recuperação de pastagens, práticas básicas de manejo, controle zootécnico e financeiro de suas propriedades, o que permitirá e/ou facilitará a criação de programas de melhoramento genético. Paralelo a tudo isto, o melhoramento genético animal está diretamente relacionado com o aumento da produtividade e do retorno econômico da propriedade.

2. Breve Histórico

O melhoramento genético animal traduz o esforço de vários pesquisadores, ao longo dos anos, em distintas áreas da ciência. Os avanços conquistados na área de estatística, genética e informática permitiram alcançar o atual nível de conhecimento obtido na teoria do melhoramento genético animal.

Segundo Bergman (1998), pode-se dizer que o melhoramento animal surgiu, como ciência, a partir das descobertas das leis de herança pelo austríaco Gregor Mendel (1822–1884), cujos trabalhos apesar de relacionar matemática à biologia careciam de uma abordagem mais metodológica. Kal Pearson (1857–1936) aplicou seus conhecimentos matemáticos aos resultados evolucionários de Darwin (1809–1882).

A junção da estatística com a herança genética foi iniciada pelo francês Galton (1822–1911), considerado fundador da escola de biometria aplicada. Importantes avanços também são atribuídos a Ronald Fisher e Sewall Wright, responsáveis pela moderna genética de populações. À medida que surgiram os experimentos de seleção e cruzamentos, a aplicação científica da genética ao melhoramento animal foi intensificada, principalmente a partir dos trabalhos de Jay Lush (1896–1982), Charles Henderson (1911–1989) e Roberteson (1920–1989).

Dentre os melhoristas, Henderson é considerado um dos mais influentes dos últimos 30 anos, seus trabalhos foram voltados para o desenvolvimento do método BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) e dos modelos lineares mistos, que constituem a essência de todas as avaliações genéticas realizadas até hoje no mundo.

3. Fundamentos do Melhoramento Genético Animal

3.1. Características Quantitativas vs Qualitativas

As características de importância econômica no melhoramento genético animal são governadas por um grande número de genes, cada um apresentando pequeno efeito, por isso denominam-se poligênicas, quantitativas ou métricas.

Algumas características como cor da pelagem, presença ou não de chifres, entre outras, são governadas por poucos pares de genes, sendo denominadas monogênicas ou qualitativas.

As características quantitativas apresentam maior interesse econômico, porém, são mais difíceis de serem selecionadas devido à grande influência ambiental em sua expressão gênica. Nestas características, não existe uma delimitação bem definida das classes formadas como nas qualitativas, por exemplo, presença ou ausência de chifres, pelagem vermelha ou branca, etc. Inúmeras classes são formadas a partir da expressão de vários genes, cada um com pequeno efeito sobre o resultado métrico da característica. Desta forma, ganho de peso, fertilidade, produção de leite e medidas corporais, entre outras características, apresentam inúmeras classes formadas a partir das diferenças genéticas entre os indivíduos.

Como estas características são grandemente influenciadas pelo ambiente, é natural que a variação observada, em parte, deva-se às variações ambientais do meio onde o animal foi criado. Assim, animais de exposição ou preparados para tal finalidade tendem a apresentar diferenças fenotípicas que não são necessariamente refletidas na mesma magnitude em seus potenciais genéticos.

Na prática, o fenótipo é obtido a partir da mensuração ou visualização direta no indivíduo, por exemplo: peso, produção de leite, circunferência escrotal, etc. A distribuição de freqüências para as características quantitativas aproxima-se razoavelmente da curva normal. Conseqüentemente é possível usar as propriedades da distribuição normal e aplicar técnicas estatísticas apropriadas. Segundo Falconer (1987), as propriedades de uma população que estão associadas com as características quantitativas são as médias, variâncias e covariâncias.

A primeira divisão do valor fenotípico é em componentes atribuídos à influência do genótipo e do ambiente. O genótipo é o conjunto de genes possuído pelo indivíduo, e o ambiente são todos os fatores não genéticos que influenciam o valor fenotípico. Desta forma, o genótipo e o ambiente são por definição os únicos determinantes do valor fenotípico. Pode-se considerar que o genótipo confere certo valor ao fenótipo e o ambiente causa um desvio deste, em uma determinada direção.

O modelo genético básico para uma característica quantitativa pode ser descrito pela equação:

$$P = \mu + G + E$$

Em que:

P = valor fenotípico ou desempenho de um animal para a característica

μ = média da população ou média dos valores fenotípicos para a característica, considerando todos os animais da população

G = valor genotípico do animal para a característica

E = influência do ambiente, ou desvios de ambiente.

3.2. As Fontes de Variação e a Herdabilidade

Como visto anteriormente parte do fenótipo deve-se à variação genética existente entre os indivíduos e parte às variações ambientais. É de interesse ter acesso à parcela do fenótipo cuja variação seja de origem genética. Neste contexto, a estatística aparece como uma ferramenta imprescindível para estimar quanto da variação fenotípica é devido a diferenças genéticas e quanto é de origem ambiental.

O progresso genético de uma população está diretamente relacionado com a capacidade de se predizer a variação genética a partir da variação fenotípica. É importante ressaltar que só é possível ter progresso genético se existir variabilidade genética. Quando esta é pequena ou menor do que a variabilidade ambiental, o processo seletivo torna-se mais problemático. Nesta situação, nem sempre os melhores fenótipos representam necessariamente os melhores genótipos.

Os componentes nos quais a variância fenotípica é parcelada são relativos aos valores associados ao genótipo e ao ambiente.

Considerando o seguinte modelo:

$$P = \mu + G + E \qquad \text{e} \qquad G = A + D + I$$

Em que:

P = valor fenotípico
μ = média fenotípica da população
G = valor genotípico
E = desvios de ambiente
A = valor genético ou mérito genético aditivo
D = desvio de dominância
I = desvio de interação.

A variância fenotípica pode ser decomposta em:

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 \qquad \text{e} \qquad \sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$$

Em que:

σ_P^2 = variância dos valores fenotípicos
σ_G^2 = variância dos valores genotípicos
σ_A^2 = variância dos valores genéticos aditivos
σ_D^2 = variância atribuída à dominância
σ_I^2 = variância atribuída à epistasia
σ_E^2 = variância dos desvios de ambiente.

Na prática, na maioria das vezes, a variância atribuída aos efeitos de dominância e aos efeitos de epistasia é desconsiderada, devido às limitações das metodologias atualmente utilizadas para isolá-los. A variância dos valores genéticos aditivos é o componente de maior interesse para o melhoramento animal, uma vez que é o principal determinante das propriedades genéticas de uma população. Assim, é interessante saber quanto da variação fenotípica é devido à variação genética. Esta proporção na teoria do melhoramento animal é designada por herdabilidade, sendo associada à porção da variação total que é efetivamente transmitida de uma geração para outra.

A herdabilidade de uma característica quantitativa expressa a proporção da variação total que é devida ao efeito médio dos genes. Dessa forma, mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genético dos indivíduos. A herdabilidade no sentido restrito pode ser definida como a razão entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_P^2}$$

Em que:

h^2 = herdabilidade no sentido restrito

σ_a^2 = variância dos valores genéticos aditivos

σ_P^2 = variância fenotípica.

A herdabilidade no sentido amplo é obtida quando no numerador são incluídas as variâncias relacionadas aos efeitos aditivos, de dominância e de epistasia:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2}{\sigma_P^2}$$

Em que:

h^2 = herdabilidade no sentido amplo

σ_a^2 = variância dos valores genéticos aditivos

σ_D^2 = variância devido ao efeito de dominância

σ_I^2 = variância devido ao efeito de epistasia

σ_P^2 = variância fenotípica.

4. Ferramentas do Melhoramento Animal

As principais características de importância econômica são governadas por um grande número de genes, os quais apresentam expressão fenotípica grandemente influenciada pelo meio ambiente.

Dentro deste contexto, o desafio básico do melhoramento animal consiste na escolha dos indivíduos portadores do maior número de genes favoráveis para a característica de interesse. Este processo pode ser realizado por meio da seleção e do acasalamento dos animais geneticamente superiores. Estes dois fatores constituem as duas principais ferramentas do melhoramento genético animal.

Assim, a magnitude do progresso genético está diretamente relacionada com o êxito desta escolha e será mais eficiente quanto maior for o número de descendentes deixados pelos indivíduos selecionados. Espera-se com isto que a produção destes descendentes seja em média superior à geração antecedente.

Sabidamente as modificações estabelecidas pelo processo seletivo, nas freqüências alélicas, são estáveis. Desta forma, os ganhos obtidos, por meio da seleção, são permanentes e cumulativos, o que a torna o método mais importante de melhoramento dos animais domésticos.

Como o processo seletivo não cria material genético novo, sua eficiência, que pode ser medida pelo ganho genético, é diretamente relacionada com a existência de uma suficiente variabilidade genética, da intensidade de seleção praticada e do intervalo de geração.

4.1. Ganho Genético

O ganho genético representa superioridade genética dos descendentes em relação à média da geração dos pais e depende basicamente da acurácia de predição, intensidade de seleção, variabilidade genética e intervalo de gerações. Esses fatores formam a equação chave para predizer o ganho genético:

$$\Delta G_{ano} = \frac{\text{Acurácia x Intensidade x Variabilidade}}{\text{Intervalo de gerações}}$$

ou, simbolicamente:

$$\Delta G_{ano} = \frac{(r_{A\hat{A}})(i)(\sigma_A)}{t}$$

Em que:

ΔG_{ano} = ganho genético por ano
$r_{A\hat{A}}$ = acurácia da seleção
i = intensidade de seleção
σ_A = desvio-padrão genético aditivo
t = intervalo de gerações.

A equação chave mostra que a taxa de ganho genético é diretamente proporcional à acurácia de seleção, à intensidade de seleção e à variação genética existente; e é inversamente proporcional ao intervalo de gerações, isto é, o tempo médio em anos entre o nascimento de um animal e de seus filhos.

O progresso genético será maior quanto maior for a intensidade de seleção, a variabilidade genética e a acurácia da predição e menor quanto maior for o intervalo de gerações. Contudo, este processo não é tão simples quanto parece, pois existem relações funcionais conflitantes entre estes fatores que devem ser consideradas. Qualquer alteração provocada em um dos componentes da equação pode causar mudanças indesejadas nos demais fatores.

Por exemplo, a diminuição do intervalo de gerações pode ocasionar decréscimo da acurácia de predição, devido ao pequeno conjunto de informações que estaria disponível para avaliação genética. O aumento excessivo da intensidade de seleção pode reduzir a variabilidade genética, com conseqüentes prejuízos para o progresso genético. Portanto, o objetivo é encontrar o equilíbrio entre os fatores da equação, visando maximizar o ganho genético, respeitando as relações funcionais existentes entre os fatores.

4.1.1. Variabilidade Genética

Para que a seleção genética possa ocorrer é imprescindível que haja variabilidade genética. Se toda variação fenotípica observada fosse de origem ambiental o processo seletivo seria inócuo e o progresso genético nulo, independentemente da intensidade de seleção praticada.

Uma vez que a expressão fenotípica dos genes pode ser modificada pelos fatores ambientais existentes, muitas vezes, a superioridade observada de um animal pode estar relacionada às condições favoráveis que recebeu durante sua vida. Devido a isto, em muitas situações, a variabilidade fenotípica observada não é uma boa indicadora da variabilidade genética existente. Por isto, o desempenho individual nem sempre apresenta-se como um critério de seleção adequado quando utilizado isoladamente.

A variação genética é um fator relacionado ao ganho genético que o criador não pode facilmente alterar, sendo essencialmente constante para uma característica em uma determinada população. Embora a variabilidade genética seja uma propriedade populacional, algumas características, como as associadas à fertilidade, apresentam baixa variabilidade genética; enquanto outras ligadas à carcaça apresentam alta variabilidade.

À medida que se aplica um processo de seleção eficaz, por muitas gerações, espera-se uma redução na variabilidade genética com conseqüente aumento da consangüinidade. Certo nível de consangüinidade é aceitável dentro de um rebanho. Entretanto, se o processo de seleção é conduzido por muitas gerações, tendo-se como base o mesmo critério, pode ocorrer a fixação ou perda de genes favoráveis à produção. Nestes casos é indicado introduzir novo material genético para manutenção da variabilidade genética e fonte de genes de interesse econômico.

4.1.2. Intensidade de Seleção

A intensidade de seleção está diretamente relacionada com a proporção de indivíduos que serão utilizados para a reprodução, podendo ser obtida pela seguinte fórmula:

$$i = \frac{\Delta s}{\sigma_p} \qquad \text{e} \qquad \Delta s = \overline{X}_S - \overline{X}_P$$

Em que:

i = intensidade de seleção
Δs = diferencial de seleção
σ_p = desvio-padrão fenotípico da característica em estudo
$\overline{X}_S$ = média dos indivíduos selecionados
$\overline{X}_P$ = média da população.

Assim, quanto menor o número de indivíduos selecionados maior será a média e conseqüentemente maior será o diferencial e a intensidade de seleção praticada.

Espera-se que o progresso genético seja maior quanto maior a utilização de animais de reconhecida superioridade genética. Contudo, um programa de seleção contempla simultaneamente várias características. Assim, atenção deve ser dada para que não seja aplicada uma intensidade de seleção excessiva a uma determinada característica em detrimento de outra. Dificilmente um único indivíduo possui todas as propriedades genéticas desejáveis, sendo recomendado um número suficiente de animais para a reprodução, de forma a garantir o maior ganho genético e variabilidade genética possíveis para várias características simultaneamente.

A intensidade de seleção possível de ser aplicada em vacas em um rebanho é mínima quando comparada à que pode ser aplicada aos touros, mesmo quando o desempenho reprodutivo das vacas é considerado bom. Como resultado, a maioria do progresso genético em um rebanho provém do sêmen de touros altamente selecionados disponíveis. Este quadro tem apresentado mudanças devido às novas técnicas em biotecnologia que visam aumentar a taxa reprodutiva de fêmeas, como a transferência e produção in vitro de embriões. A utilização destas técnicas permite maiores intensidades de seleção sobre as fêmeas e com isto a obtenção de maior progresso genético.

4.1.3. Acurácia da Seleção

A acurácia de predição do valor genético pode ser definida como uma medida da confiabilidade da avaliação, que é dada pela correlação entre o valor genético aditivo verdadeiro e o predito. Quanto mais acurado for o valor genético predito maior a probabilidade de que os animais selecionados para genitores sejam realmente os indivíduos geneticamente superiores.

Como a acurácia representa o grau de confiança associado ao valor da DEP (Diferença Esperada na Progênie), indica a possibilidade de mudança desse valor à medida que novas informações de produção dos indivíduos forem sendo agregadas ao conjunto de dados avaliado. Touros velhos com número elevado de progênies, igualmente distribuídas nos rebanhos, tendem a apresentar alta acurácia em detrimento a touros jovens com reduzido número de filhos.

É importante ressaltar que a acurácia não deve ser utilizada como único critério de seleção e sim como indicadora da intensidade de utilização de determinado reprodutor. Por exemplo, touros jovens, com DEP elevada, mesmo que apresentem baixa acurácia, devem ser indicados para reprodução. Entretanto, após o processo seletivo, o produtor deverá utilizar mais intensamente na reprodução os indivíduos com maiores acurácias.

A acurácia de seleção depende da herdabilidade da característica, da qualidade dos dados coletados e da metodologia estatística empregada para a predição dos valores genéticos. Para cada DEP obtida, um valor de acurácia está relacionado e geralmente contido no intervalo de zero a um. Quanto mais próximo de um, maior a acurácia da avaliação.

Em bovinos de corte a fórmula mais empregada para cálculo da acurácia é a recomendada pelo Beef Improvement Federation (BIF) dos Estados Unidos, definida como:

$$Acurácia = 1 - \sqrt{\frac{PEV}{\sigma_a^2}}$$

Em que:

PEV = variância do erro de predição, obtido durante o processo de avaliação genética

σ_a^2 = variância genética aditiva da característica avaliada.

Para a seleção massal, em que o animal é selecionado com base no seu dado individual de produção, ou para características que apresentam alta herdabilidade a acurácia é obtida pela raiz quadrada da herdabilidade.

Características com alta herdabilidade tendem a apresentar maior acurácia da predição, pois o valor fenotípico, neste caso, já é um bom indicador do valor genético. A qualidade dos dados também é de grande importância para a acurácia da predição, pois o ponto central de toda avaliação genética, independente da metodologia estatística utilizada, reside na qualidade dos dados coletados. Bergman (1994) cita a expressão “lixo que entra lixo que sai”, referindo-se ao poder e perigo inerentes ao processamento informatizado de dados. Segundo Josahkian (1998), o erro repetitivo, a falta de controle no rigor das informações e o erro intencional tornam absolutamente impossível a obtenção de valores genéticos de forma acurada.

Por último, mas não menos importante, a utilização de metodologias estatísticas adequadas é fundamental para uma boa predição dos valores genéticos dos indivíduos. Atualmente a metodologia de modelos mistos tem

sido amplamente utilizada e divulgada no meio científico. Esta metodologia consiste na predição dos valores genéticos, a partir dos valores fenotípicos, ponderando-se todas as informações disponíveis do animal, tais como: ano de nascimento, manejo, rebanho, fazenda, parentesco, além do valor fenotípico do próprio indivíduo.

4.1.4. Intervalo de Gerações

O intervalo de gerações pode ser definido como a idade média dos pais quando a prole nasce ou como o intervalo de tempo entre os estádios correspondentes do ciclo de vida em gerações sucessivas. A resposta à seleção pode ser acelerada diminuindo-se o intervalo de gerações. Entretanto, ao diminuí-lo pode ocorrer uma redução na intensidade de seleção praticada. Existe, portanto, um paradoxo entre intervalo de geração e intensidade de seleção, sendo necessário encontrar o melhor equilíbrio entre eles.

4.2. Importância da Utilização do Parentesco entre Indivíduos

O parentesco entre dois indivíduos pressupõe a existência de pelo menos um ascendente em comum. Com isto, espera-se que indivíduos aparentados apresentem uma determinada proporção de genes idênticos pelo fato de serem provenientes de um mesmo ascendente. Quanto maior o grau de parentesco entre dois animais maior será a quantidade de genes em comum e, conseqüentemente, maior será a semelhança de desempenho entre ambos.

A aplicação prática deste fato consiste na possibilidade de estimar o valor genético de um indivíduo por meio do valor genético de seus parentes. Em muitos casos alguns indivíduos não possuem informações sobre seu desempenho ou elas não existem em quantidade suficiente. Outra situação bastante comum diz respeito à necessidade de conhecimento do valor genético para uma característica que não se expressa em um dos sexos, como, por exemplo, a produção de leite. Neste caso, o valor genético do indivíduo é obtido por meio das informações fornecidas pelos seus parentes do sexo oposto.

4.3. Avaliações Genéticas e Diferença Esperada na Progênie

O principal objetivo do melhoramento animal consiste na identificação dos indivíduos geneticamente superiores. Para que isto ocorra é necessário conhecer o valor genético dos animais em competição. Mas, como ter acesso a este valor genético? Como visto anteriormente, parte da variação fenotípica é representada pela variação de origem genética. É esta parcela propriamente dita a alavanca propulsora do melhoramento animal e obtê-la com acurácia é o desafio do melhoramento.

A identificação do valor genético dos animais permite ao criador modificar geneticamente seu rebanho de acordo com os seus interesses e as tendências mercadológicas. Teoricamente, pode-se propor a condução de um experimento no qual os animais de interesse competem em igualdade de condições.

Entretanto, os dados do melhoramento animal, na maioria das vezes, não são obtidos a partir de experimentos previamente delineados. A tarefa do melhorista consiste em obter o maior volume possível de informações para que a partir do emprego de metodologias estatísticas adequadas possa remover os efeitos das diferentes fontes de variação não genética, tais como, sexo, rebanho, ano, estação, entre outros.

Com o avanço computacional alcançado nas últimas décadas, foi possível implementar métodos estatísticos poderosos, tais como o REML (Restricted Maximum Likelihood, traduzido como Máxima Verossimilhança Restrita), para a estimação dos componentes de variância, e a metodologia BLUP (Best Linear Unbiased Prediction, traduzido como Melhor Predição Linear não Viesada), para predição dos valores genéticos. Primeiro obtêm-se os componentes de variância a partir da metodologia REML e depois os valores genéticos pela metodologia BLUP. Por meio da utilização de tais métodos é possível obter os valores genéticos, ajustando-se os dados concomitantemente para os efeitos ambientais e número desigual de informações nas subclasses.

A aplicação do método BLUP implica em altos custos computacionais devido à necessidade da inversão de uma matriz de ordem igual ao número de animais pelo número de características. Henderson (1963; 1973) propôs um conjunto de equações denominado equações de modelos mistos, as quais mantêm todas as propriedades desejáveis do BLUP. O processo de obtenção do BLUP utilizando estas equações foi denominado de metodologia de modelos mistos. O cálculo da DEP (Diferença Esperada na Progênie) é obtido pela divisão do valor genético por dois, pois o genitor ou genitora transmite apenas metade do seu material genético para a geração seguinte.

O conceito de DEP envolve uma diferença que está relacionada às médias dos indivíduos em comparação, devendo ser utilizada para comparar indivíduos pertencentes à mesma avaliação genética, pois receberam as mesmas ponderações processadas pela metodologia. Na maioria das avaliações utiliza-se como base genética o mérito genético médio da raça a que pertencem os animais avaliados ou o valor zero.

Suponha que um touro A apresente DEP para peso à desmama de +10 e que um touro B apresente DEP de -3. Neste caso, se os dois touros fossem aleatoriamente acasalados com um grupo de fêmeas e produzissem um grande número de descendentes, a progênie do touro A apresentaria em média 13 kg a mais do que a média da progênie do touro B. Isto não quer dizer que o touro A sempre produzirá bezerros 13 kg mais pesados do que o touro B, pois a DEP não representa um valor exato, mas sim, uma média obtida a partir de uma distribuição normal.

A obtenção de conjuntos de dados de qualidade, as avaliações genéticas e o retorno ao produtor das informações na forma de DEPs e acasalamento dirigidos geralmente são realizados por meio de programas de melhoramento genético. Um bom programa de melhoramento animal congrega em si um conjunto de ações que tem por objetivo atender os anseios do produtor em relação à genética de seus animais, competitividade e retorno econômico.

5. Considerações Finais

Nos últimos anos, o melhoramento genético animal tem sido amplamente divulgado por instituições de pesquisa, ensino e associações de criadores.

A ampla variabilidade genética existente permite selecionar indivíduos de elevado padrão genético e adaptabilidade. O principal problema é que a avaliação de animais considerando apenas os aspectos visuais e de conformação é insuficiente para identificar genótipos superiores com as características desejadas de produção ou reprodução. Assim, para que haja progresso genético é imprescindível realizar avaliações genéticas por meio de metodologias estatísticas adequadas. Adicionalmente, além de auxiliar a seleção, a DEP pode trazer retornos econômicos imediatos ao produtor como o aumento no preço da venda dos animais.

6. Referências

BERGMANN, J. A. Avaliação genética: conceitos básicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS RAÇAS ZEBUÍNAS, 1., 1994, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Associação Brasileira de Criadores de Zebuínos, 1994. p. 34-41.

BERGMANN, J. Dos números ao conhecimento e à aplicação passando pela estatística. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2., 1998, Uberaba. **[Anais...]** Viçosa: UFV; SBMA, 1998. 465 p.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. p. 279.

HENDERSON, C. R. Selection index and expected genetc advance. In: HANSON, W. D.; ROBINSON, H. F. **Statistical genetics and plant breeding a symposium.** Washington: NAL, 1963. p. 141-163.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetics trends. In: SYMPOSIUM ANIMAL BREEDING GENETIC, 1972, Champaing. **Proceedings**... Champain, ASAS: ADSA. p. 10-41. 1973.

JOSAHKIAN, L. A. Qualidade dos dados coletados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2., 1998, Uberaba. **[Anais...]** Viçosa: UFV; SBMA, 1998. p. 253-256.

CAPÍTULO 12

Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais: Importância e Complexidade

Giselle Mariano Lessa de Assis

1. Introdução

A pecuária bovina brasileira apresentou forte expansão nos últimos 15 anos, sendo as Regiões Centro-Oeste e Norte as principais responsáveis por este crescimento (Fig. 1). De 1990 a 2004, a Região Centro-Oeste aumentou seu efetivo bovino de 46 para 71 milhões e a Região Norte de 13 para 40 milhões de cabeças. Verifica-se que houve um crescimento no efetivo de bovinos de 8,7%, 11,4%, 54,9% e 198,8%, nas Regiões Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Norte, respectivamente, e uma queda de 0,9% no Nordeste, no período observado de 14 anos (CENSO, 2006).

Esse crescimento do rebanho bovino, totalizando mais de 204 milhões de cabeças em 2004, também refletiu no aumento da área de pastagens cultivadas, que, em 1995, era de 100 milhões de hectares (INSTITUTO, 2006) e, em 2003, foi estimada em 135 milhões de hectares por Dias-Filho e Andrade (2005). A área ocupada por pastagens no Brasil é ainda maior ao se considerar as pastagens nativas, que em 1996 ocupavam aproximadamente 80 milhões de hectares. Esses valores são bastante expressivos quando comparados com a área ocupada pelo plantio de cereais, leguminosas e oleaginosas, calculada em 47 milhões de hectares em 2006 (CENSO, 2006).

A expansão da pecuária de corte coloca o Brasil numa posição de destaque no mercado mundial, sendo o maior exportador de carne bovina desde 2004 e também de sementes forrageiras tropicais (VALLE et al., 2000). No entanto, essa expansão também interfere em importantes questões sociais e ambientais, como o desmatamento de novas áreas, inclusive de florestas na Região Amazônica (RIBEIRO et al., 2005). A conversão indiscriminada de florestas em pastagens, além de causar perda da biodiversidade, está associada ao uso descontrolado do fogo, que prejudica a saúde da população de forma imediata e causa danos ao meio ambiente.

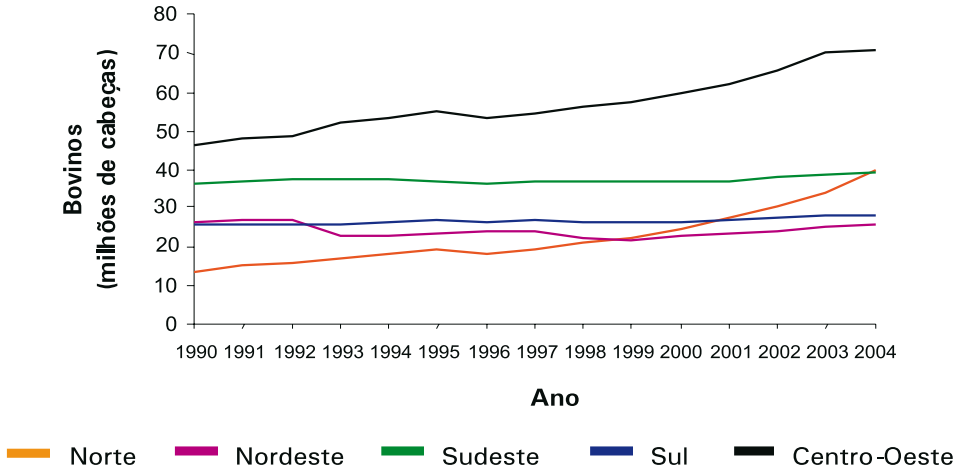


Fig. 1. Efetivo de bovinos no Brasil, por região, no período de 1990 a 2004.

Fonte: Adaptada de Censo, 2006.

Apesar do grande avanço observado, os índices zootécnicos da pecuária de corte e leite ainda são insatisfatórios. A lotação média das pastagens brasileiras está em torno de 0,85 cabeça por hectare, menos da metade das lotações médias obtidas em países como França, Nova Zelândia, Irlanda, Inglaterra e Itália (SILVIA; SBRISSIA, 2000). Esse dado confirma a baixa produtividade dos sistemas extensivos. Por outro lado, percebe-se que a pecuária possui enorme potencial de crescimento e desenvolvimento e, para que isto se concretize, faz-se necessário intensificar os sistemas de produção com tecnologias existentes, porém ainda não adotadas pelos produtores, além de gerar novas tecnologias.

A recuperação de pastagens com gramíneas e leguminosas forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas de cada região é uma alternativa viável, que pode levar ao aumento da produtividade sem que ocorra o desmatamento de novas áreas. Para que os produtores possam diversificar as pastagens, utilizando forrageiras adaptadas às suas condições, torna-se necessário desenvolver novas cultivares de gramíneas e leguminosas com elevado potencial produtivo e nutritivo, por meio do melhoramento genético.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo abordar aspectos relacionados à importância de se investir em programas de melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil, assim como apresentar a complexidade inerente ao lançamento de novas cultivares.

2. Vulnerabilidade Genética das Pastagens Brasileiras

Santos Filho (1998) apresentou um quadro com a composição das pastagens cultivadas, mostrando que 80% da área dessas pastagens eram

ocupadas, na década de 90, por gramíneas do gênero *Brachiaria*, sendo a *B. brizantha* cv. Marandu a forrageira predominante. Apesar das vantagens apresentadas por essa cultivar, como a resistência à cigarrinha-das-pastagens (*Deois flavopicta*), o bom valor forrageiro e a alta produção de massa verde, sabe-se que existe alta vulnerabilidade genética nesse sistema. As extensas áreas ocupadas por essa cultivar estão sujeitas a um colapso, desencadeado por fatores bióticos ou abióticos para os quais a ela não foi selecionada inicialmente. A alta vulnerabilidade genética existe, uma vez que a *B. brizantha* cv. Marandu é uma planta apomítica e, portanto, seus descendentes são geneticamente idênticos à planta-mãe, ou seja, clones. A apomixia, ou agamospermia, é caracterizada pelo desenvolvimento do embrião a partir de uma célula não fertilizada, em que a formação do embrião ocorre sem a fusão dos gametas masculino e feminino. Não somente a *B. brizantha*, mas também a *B. decumbens* cv. Basilisk e a *B. humidicola* comercial são plantas apomíticas. Ressalta-se, assim, que as forrageiras utilizadas na exploração da pecuária brasileira estão fundamentadas sobre uma base genética estreita.

Alguns casos de vulnerabilidade ambiental vêm sendo relatados (ANDRADE; VALENTIM, 2006), como a chamada "síndrome da morte do capim-marandu", resultando na degradação de milhares de hectares de pastagens nos Estados do Acre, Mato Grosso, Pará, Tocantins, Rondônia e Amazonas; e o ataque de cigarrinhas do gênero *Mahanarva*, observado em Rondônia, norte do Mato Grosso, Pará e Tocantins.

Ao escolher a forrageira, o produtor deve se preocupar em utilizar uma cultivar que se adapte não somente ao tipo de solo de determinada área de sua propriedade e ao clima local, mas também ao seu sistema de produção. Deve também, dentro de uma mesma propriedade, utilizar cultivares e espécies diferentes, visando diminuir a vulnerabilidade do sistema. Porém, no momento da escolha da planta forrageira, o produtor tem se deparado com a falta de boas opções no mercado, fato que o leva a não diversificar as suas áreas de pastagens.

3. Recuperação de Pastagens Degradadas

As pastagens brasileiras, que são a base da alimentação do maior rebanho comercial de bovinos do mundo, apresentam, em sua maioria, algum grau de degradação, o que contribui efetivamente para os baixos índices zootécnicos da pecuária. Entre as diversas causas da degradação, que incluem plantio e manejo incorretos, queima freqüente e incompatibilidade de espécies consorciadas, o uso de forrageiras não adaptadas é um fator de crucial importância, que contribui para o insucesso da atividade em diversas propriedades.

A recuperação de pastagens degradadas, visando à imediata reincorporação dessas áreas ao sistema produtivo, assume papel cada vez mais relevante, não somente pela crescente demanda de proteína de origem animal, mas também com a finalidade de evitar a abertura de novas áreas de floresta para implantação de projetos agropecuários (DUTRA et al., 2000).

Uma das opções existentes para recuperação de pastagens degradadas é a introdução de leguminosas, que apresenta os seguintes benefícios: incorporação do nitrogênio atmosférico ao sistema; elevação do teor de matéria orgânica do solo; aumento do teor de proteína do volumoso oferecido aos animais; diversificação do ecossistema; maior cobertura do solo, protegendo-o contra erosão e lixiviação de nutrientes; e aumento da produção de forragem, particularmente no período seco do ano (VALENTIM, 2005).

A adoção de leguminosas em consórcio de pastagens tem sido muito limitada no País. Segundo Barcellos et al. (2000), a pequena oferta de cultivares, os insucessos ocorridos no passado e a falta de persistência constituem forte entrave à adoção pelos produtores. No entanto, experiências de sucesso vêm sendo relatadas no Estado do Acre, onde cerca de 320 mil hectares de pastagens eram consorciadas com *Pueraria phaseoloides* em 2000 (VALENTIM; CARNEIRO, 2000) e, atualmente, cerca de 80 mil hectares de *Arachis pintoi* cv. Belmonte estão plantados em estandes puros ou em pastagens consorciadas (VALENTIM, 2005), em áreas de pequenos e grandes produtores.

O número reduzido de cultivares forrageiras disponíveis no mercado contribui para o aumento da degradação das pastagens brasileiras. É evidente, portanto, a necessidade de se desenvolver, por meio do melhoramento genético, leguminosas e gramíneas bem adaptadas tanto aos diferentes sistemas consorciados de pastagens quanto às distintas condições edafoclimáticas existentes.

4. Complexidade do Melhoramento de Forrageiras

As espécies forrageiras mais utilizadas nas pastagens brasileiras estão distribuídas, principalmente, em duas famílias, Gramineae e Leguminosae. Cerca de 75% das espécies forrageiras, de forma global, pertencem à família Gramineae (PEREIRA et al., 2001).

Plantas forrageiras compreendem espécies distintas, que podem ser alógamas, autógamas, apomíticas ou de propagação vegetativa; que apresentam diferentes níveis de ploidia; e que são melhoradas para atingir objetivos específicos, conforme o sistema de interesse. Assim, as cultivares forrageiras podem ser desenvolvidas para serem utilizadas: em pastos consorciados ou solteiros; visando ao pastejo, fenação ou silagem; em sistemas irrigados ou não; na integração lavoura–pecuária; em cultivos anuais ou perenes; para alimentação de gado de corte ou leite, de eqüinos, caprinos ou ovinos; em sistemas intensivos ou extensivos, entre outros. Portanto, são inúmeras as estratégias e métodos utilizados para se obter forrageiras que reflitam em maior eficiência na produção animal.

Essa grande diversidade de espécies exige a formação de equipes especializadas. Cada espécie possui suas particularidades, as quais devem ser conhecidas profundamente pela equipe de melhoramento. Porém, observa-se atualmente no Brasil que o número de pesquisadores envolvidos no melhoramento de forrageiras está muito aquém da real necessidade, o que leva à existência de

poucos programas de melhoramento, os quais se encontram, na sua maioria, em estágios iniciais de desenvolvimento.

As principais espécies pertencentes a programas de melhoramento no Brasil são apresentadas na Tabela 1. A maioria dos programas de melhoramento são coordenados por centros de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), embora existam diversas outras instituições de pesquisa e universidades que também estão envolvidas no processo de obtenção de novas cultivares.

Diferentemente de outras culturas, o melhoramento genético de plantas forrageiras não visa somente à obtenção de cultivares mais produtivas e de maior qualidade, mas, fundamentalmente, cultivares que sejam capazes de promover maior produtividade e desempenho animal, levando à maior produção de carne, leite, couro, lã, etc. (Fig. 2). Esse fato faz com que o melhorista procure desenvolver cultivares que, além de possuírem alta produtividade, alta qualidade nutricional e resistência a pragas e doenças, tenham também melhor distribuição da produção durante o ano, boa palatabilidade, alta persistência quando pastejadas e pisoteadas, entre outras características. Estas, em conjunto, devem ser suficientes para se obter alto desempenho animal o qual não depende somente dos fatores relacionados à forrageira, mas também do próprio potencial do animal (Fig. 2).

Tabela 1. Principais espécies forrageiras e instituições responsáveis pelos programas de melhoramento genético no Brasil.

Espécie/Gênero	Família	Instituição de pesquisa
Brachiaria brizantha	Gramineae	Embrapa Gado de Corte
Brachiaria humidicola	Gramineae	Embrapa Gado de Corte
Brachiaria ruziziensis	Gramineae	Embrapa Gado de Leite
Panicum maximum	Gramineae	Embrapa Gado de Corte
Pennisetum purpureum	Gramineae	Embrapa Gado de Leite
Paspalum	Gramineae	Embrapa Pecuária Sudeste
Andropogon gayanus	Gramineae	Embrapa Pecuária Sudeste
Arachis	Leguminosae	Embrapa Acre
Stylosanthes	Leguminosae	Embrapa Gado de Corte/ Embrapa Cerrados
Cajanus cajan	Leguminosae	Embrapa Pecuária Sudeste
Medicago sativa	Leguminosae	Embrapa Gado de Leite
Leucaena	Leguminosae	Embrapa Cerrados
Cratylia	Leguminosae	Embrapa Gado de Leite

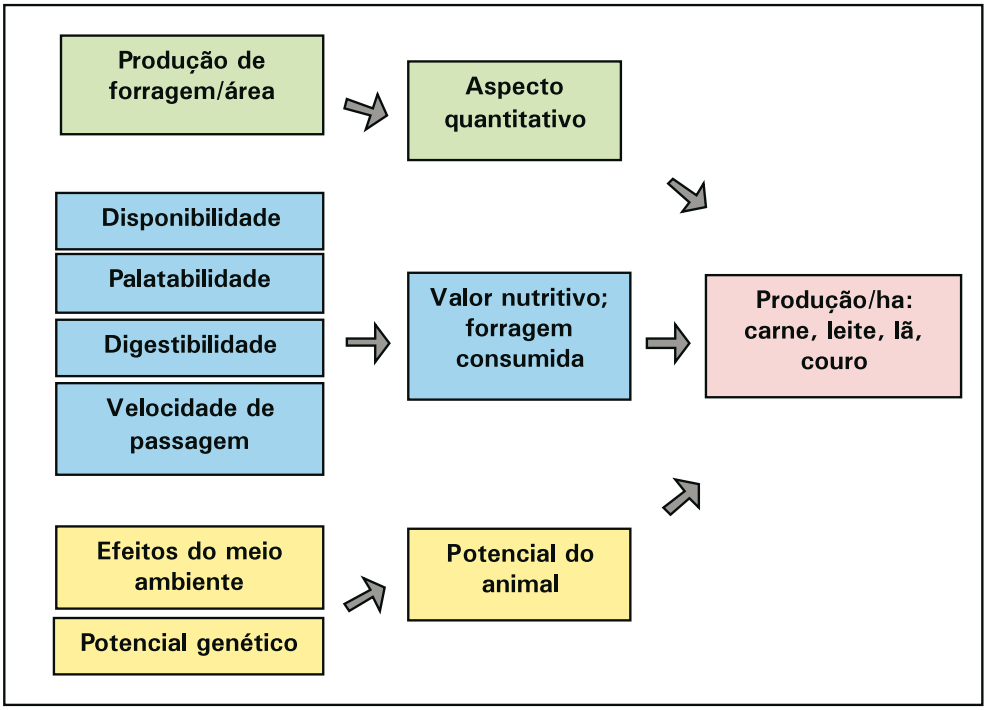


Fig. 2. Fatores que influenciam a produção animal por hectare em pastagem.

Fonte: Adaptada de Mott, 1973.

A seleção de genótipos com características desejáveis tem sido realizada em três fases distintas (PEREIRA et al., 2001). Na primeira, um elevado número de genótipos é avaliado em relação a caracteres agronômicos e nutricionais, em um ou vários locais, por 2 ou 3 anos. Na segunda, avalia-se o efeito do animal sobre o pasto, ou seja, características relacionadas à rebrota, persistência e produtividade, por 2 anos. Na terceira fase, com número bastante reduzido de genótipos, avalia-se o efeito da forrageira sobre o animal, medindo-se características de desempenho e produtividade, como ganho de peso e produção de leite por animal e por hectare, durante 2 ou 3 anos. Desta forma, a obtenção de novas cultivares forrageiras pode variar de 6 a 11 anos.

Os genótipos que irão ingressar na Fase 1 podem ser: a) acessos que ocorrem espontaneamente na natureza e que foram coletados; b) genótipos provenientes de métodos de melhoramento; ou ainda, c) híbridos intra ou interespecíficos. A obtenção desses genótipos e o uso de métodos de melhoramento adequados às diferentes espécies dependem de uma série de estudos prévios que compõem as atividades de pré-melhoramento, indispensáveis para obter sucesso nesses programas. Essas atividades incluem estudos sobre cruzabilidade, modo de reprodução, biologia floral, citogenética, caracterização morfológica e molecular, entre outros.

Durante as fases de avaliação dos genótipos, é também necessário realizar atividades de apoio que compreendem estudos sobre adubação, tecnologia de

sementes, desenvolvimento de protocolos para resistência a pragas e doenças, microbiologia, etc.

Todas as atividades relacionadas à obtenção de cultivares superiores citadas acima se encontram de forma esquematizada na Fig. 3.

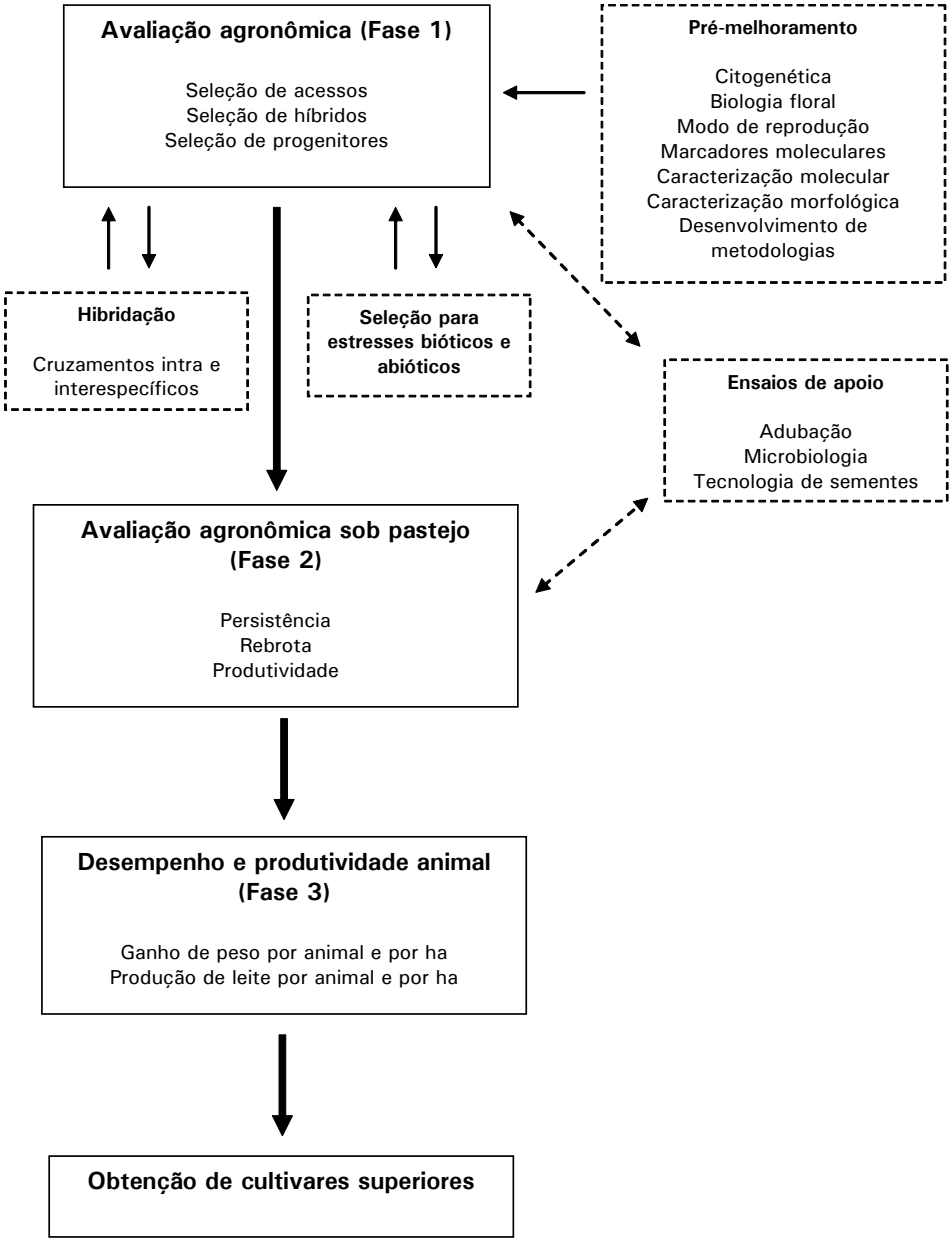


Fig. 3. Fases e atividades complementares relacionadas à obtenção de cultivares de plantas forrageiras.

Fonte: Adaptada de Pereira et al., 2001.

5. Análises Estatísticas no Melhoramento de Forrageiras

O melhoramento genético de plantas ou animais está intrinsecamente relacionado ao uso de métodos estatísticos associados a modelos genéticos específicos.

A estimação de parâmetros genéticos, como variância genética aditiva, herdabilidade, repetibilidade e correlação genética entre caracteres, é indispensável na condução de programas de melhoramento. No entanto, essas informações ainda são inexistentes ou escassas para forrageiras tropicais.

Recentemente, espécies perenes vêm sendo avaliadas por meio de modelos mistos, em que, primeiramente, as variâncias de interesse são estimadas pelo Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e, posteriormente, obtém-se o melhor preditor linear não-viesado empírico (EBLUP) dos valores genéticos aditivos e genotípicos dos candidatos à seleção. Essa metodologia, conhecida como REML/EBLUP, apresenta uma série de vantagens na avaliação de plantas perenes, condição da maioria das forrageiras de interesse: a) os componentes de variância estimados são sempre positivos; b) os genótipos são inseridos no modelo como efeitos aleatórios, sendo possível ordená-los e selecioná-los com base no EBLUP de seus valores genéticos ou genotípicos; c) a metodologia pode ser empregada quando se trabalha com experimentos balanceados ou desbalanceados; d) é apropriada para analisar dados provenientes de medidas repetidas na mesma unidade experimental ao longo do tempo; e) permite a comparação e a seleção da estrutura de covariância mais adequada para determinado conjunto de dados; f) permite a avaliação concomitante de mais de uma característica de interesse, por meio de modelos multicaracterísticos; g) considera a informação de parentesco, quando disponível, aumentando a acurácia das estimativas (HENDERSON, 1973).

Em forrageiras tropicais são escassos os trabalhos que utilizaram tal metodologia (RESENDE et al.; RESENDE et al.; ASSIS et al.; 2002, 2004, 2005), porém a tendência é que haja maior disseminação e uso de modelos mistos por meio do REML/EBLUP nos próximos anos. Conforme Resende (2000), as técnicas de estimação baseadas no método de quadrados mínimos não são as mais recomendadas para aplicação no melhoramento de plantas perenes.

Técnicas de análise multivariada (CRUZ; REGAZZI; KHATTREE; NAIK; 1997, 2000) vêm sendo empregadas rotineiramente no melhoramento de plantas, contribuindo de forma significativa nos estudos de divergência genética, no estabelecimento de grupos e na discriminação de genótipos, principalmente quando há elevado número de acessos, em fases iniciais de avaliação.

A análise de dados moleculares, por meio da estatística genômica (LIU, 1998), também é de crucial importância nos programas de melhoramento. Análises de divergência genética pelo uso de marcadores moleculares já vêm sendo utilizadas em forrageiras. Porém, análises mais sofisticadas, que visam ao mapeamento de locos de características quantitativas ou de genes candidatos, ainda são escassas no melhoramento de forrageiras tropicais. Exemplos desta aplicação são apresentados por Rosero et al. (2006) e Salcedo et al. (2006) para espécies de *Brachiaria*.

6. Avanços e Impactos do Melhoramento de Forrageiras

Apesar de se tratar de atividade recente, é possível detectar avanços e impactos advindos do melhoramento de forrageiras no Brasil.

O acesso a coleções de germoplasma ou mesmo a coleções-núcleo é essencial para se iniciar programas de melhoramento genético. O Brasil possui coleção de germoplasma do gênero *Brachiaria*, com cerca de 450 acessos de 13 espécies distintas (VALLE et al., 2000), disponíveis para uso em programas de melhoramento. A maioria desses acessos foram coletados na década de 80 pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) e enviados para a Embrapa Gado de Corte, durante as décadas de 80 e 90.

Duas cultivares de *B. brizantha* foram lançadas no Brasil pela Embrapa Gado de Corte: *B. brizantha* cv. Marandu e *B. brizantha* cv. Xaraés, as quais foram avaliadas e derivadas do germoplasma disponível. A cultivar Marandu foi introduzida no Brasil em 1967 e lançada em 1984, enquanto a cultivar Xaraés foi avaliada a partir do germoplasma enviado durante as décadas de 80 e 90 e liberada em 2003. Programas de hibridação interespecífica vêm sendo conduzidos, com a obtenção de híbridos entre *B. brizantha* e *B. ruziziensis* e *B. decumbens* e *B. ruziziensis*, que, em breve, estarão disponíveis no mercado.

Encontra-se também na Embrapa Gado de Corte, a coleção de germoplasma de *Panicum maximum*, com 426 acessos apomíticos e alguns genótipos sexuais (JANK et al., 1989). A avaliação e seleção dessa coleção geraram o lançamento de duas cultivares de *P. maximum*, denominadas Tanzânia e Mombaça, e de um híbrido natural de *P. maximum* x *P. infestum*, denominado cv. Massai (JANK et al., 2005).

Outras importantes coleções de germoplasma forrageiro existentes no Brasil são as de *Pennisetum purpureum*, na Embrapa Gado de Leite, Universidade Federal de Pelotas, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina e Instituto Pernambucano de Agropecuária (PEREIRA et al., 2001); *Paspalum*, na Embrapa Pecuária Sudeste; *Arachis*, na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e Embrapa Acre; e de *Stylosanthes*, na Embrapa Cerrados (BARCELLOS et al., 2000) e Embrapa Gado de Corte (FERNANDES et al., 2004).

A utilização da *B. decumbens* cv. Basilisk, da *B. brizantha* cv. Marandu, assim como de cultivares de *P. maximum*, revolucionou a pecuária de corte nacional. Até a década de 70, as pastagens brasileiras eram formadas por capim-gordura (*Melinis minutiflora*), capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) e capim-colonião (*P. maximum*), a maioria com baixo potencial forrageiro. A introdução e lançamento das novas cultivares, principalmente as adaptadas a solos ácidos e de baixa fertilidade, impulsionaram a atividade pecuária no Brasil, o qual atingiu a condição de maior exportador e de segundo maior produtor de carne bovina do mundo.

O Brasil possui uma forte e dinâmica indústria de sementes forrageiras tropicais, cujo mercado movimenta anualmente cerca de 250 milhões de dólares, quantia equivalente ao do mercado de milho híbrido (ANDRADE, 2001). Além disso, o País ocupa a posição de maior exportador de sementes forrageiras para o mundo tropical (VALLE et al., 2000).

7. Conclusão

O lançamento de novas cultivares de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais é uma necessidade do ponto de vista ambiental, social e econômico. O mercado de forrageiras deve oferecer ao produtor cultivares de excelência, altamente produtivas, resistentes a pragas e doenças específicas e que possibilitem alto desempenho animal. Porém, o desenvolvimento de cultivares forrageiras é um processo relativamente lento, complexo e de custo elevado, o qual exige planejamento, equipes multidisciplinares especializadas e recursos financeiros.

O desenvolvimento de novas cultivares forrageiras possibilitará a diversificação das pastagens, em que o produtor poderá optar por diferentes forrageiras a serem utilizadas dentro de uma mesma propriedade; a diminuição da vulnerabilidade genética, pela diversificação das pastagens, reduzindo o risco de ocorrência de pragas e doenças; o aumento da produtividade de carne e leite, pelo uso de forrageiras superiores adaptadas e pelo manejo adequado das pastagens e dos animais. No entanto, o desenvolvimento da pecuária de leite e corte no Brasil não depende de um único fator. O lançamento de novas cultivares no mercado não elevará os índices zootécnicos nem a rentabilidade dessas atividades, caso seja uma ação isolada no sistema. Produtores e técnicos devem estar cientes da complexidade de tais atividades e buscar as soluções tecnológicas apropriadas para cada situação.

8. Referências

ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F. Soluções tecnológicas para a síndrome da morte do capim-marandu. In: BARBOSA, R. A. (Ed.). **Morte de pastos de braquiárias**, Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 175-198.

ANDRADE, R. P. Pasture seed production technology in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001, p. 129-132.

ASSIS, G. M. L.; RUGGIERI, A. C.; MERCADANTE, M. E. Z. Seleção de cultivares de alfafa em região tropical utilizando modelo linear misto. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 19., 2005, Tampico. **Anais...** Tampico: ALPA, 2005. 1 CD-ROM.

BARCELLOS, A. O.; ANDRADE, R. P.; KARIA, C.T.; VILELA, L. Potencial e uso de leguminosas forrageiras dos gêneros *Stylosanthes, Arachis* e *Leucaena*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p. 297-357.

Censo Agropecuário, 1996. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390 p.

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. Pastagens no ecossistema do trópico úmido. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 2., 2005, Goiânia. **Anais**... Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. p. 95-104.

DUTRA, S.; MASCARENHAS, R. E. B.; TEIXEIRA, L. B. Controle de plantas invasoras em pastagens cultivadas. In: COSTA, N. A.; MOURA CARVALHO, L. O. D; TEIXEIRA, L. B.; SIMÃO NETO, M. (Ed.). **Pastagens Cultivadas na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, p. 72-98.

FERNANDES, C. D.; CHAKRABORTY, S.; GROF, B.; PURCINO, H. M. A.; NASCIMENTO, M. S. B.; CHARCHAR, M. J. D'Á.; VERZIGNASSI, J. R.; MARCELINO SOBRINHO, J. Regional evaluation of *Stylosanthes* germplasm in Brazil. In: CHAKRABORTY, S. (Org.). **High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2004, v. B , p. 127-134.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. In: ANIMAL BREEDING GENETIC SYMPOSIUM IN HONOR OF DR. J.L. LUSH, 1973, Champaign. **Proceedings**... Champaign: ASAS/ADSA, 1973, p. 10-28.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2006. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda> Acesso em: 30 mar. 2006.

JANK, L.; VALLE, C. B. do; RESENDE, R. M. S. Novas alternativas forrageiras para pastagens tropicais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 7.; CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 10.; REUNIÃO NACIONAL DE ENSINO DE ZOOTECNIA, 11.; FÓRUM DE ENTIDADES DE ZOOTECNIA, 28.; FÓRUM DE COORDENADORES DE CURSOS DE ZOOTECNIA DAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS, 1., 2005, Campo Grande. **Produção animal e responsabilidade.** Campo Grande: Associação Brasileira de Zootecnia, 2005. 1 CD-ROM. Zootec 2005.

JANK, L.; SAVIDAN, Y. H.; COSTA, J. C. G.; VALLE, C. B. Pasture diversification through selection of new Panicum maximum cultivars in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989, Nice. **Proceedings...** Nice: Association Française pour la Production Fourragere, 1989. p. 275-276.

KHATTREE, R.; NAIK, D. N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS® software**. Cary: SAS Institute, 2000. 558 p.

LIU, B. H. **Statiscal genomics: linkage, mapping and QTL analysis**. CRC Press LLC, USA, 1998. 611 p.

MOTT, G. O. Evaluating forage production. In: HEATH, M. E.; METCALFE, D. S.; BARNES, R. F. (Ed.). **Forages**. 3. ed. Ames, The Iowa University Press, 1973. p. 126-135.

PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B. V.; FERREIRA, R. P.; MILES, J. W. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGRES, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento – plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 449-601.

RESENDE, M. D. V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 47).

RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; BONATO, A. L. V. JANK, L.; CALIXTO, S.; CARVALHO, J. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos de cruzamentos interespecíficos em *Brachiaria*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. 1 CD-ROM.

RESENDE, R. M. S.; JANK, L.; VALLE, C. B.; BONATO, A. L. V. Biometrical analysis and selection of tetraploid progenies of *Panicum maximum* using mixed model methods. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 335-341, 2004.

RIBEIRO, C. F. A.; ALMEIDA, O. T.; RIBEIRO, S. C. A.; TONELLO, K. C.; LIMA, K. A. O. Expansão da pecuária de bovinos e desafios de sustentabilidade da atividade na Amazônia Legal. In: WORKSHOP BRASIL–JAPÃO EM ENERGIA, MEIO-AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 3., 2005, Campinas, **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.cori.rei.unicamp.br/BrasilJapao3/progjb3.php>. Acesso em: 15 maio 2006.

ROSERO, C.; GALLEGO, G.; VARGAS, J.; QUINTERO, C.; DUQUE, M. C.; BUITRAGO, M. E.; WENZL, P.; RAO, I. M.; MILES, J. W.; TOHME, J. Mapping of QTLs associated with aluminum resistence in *Brachiaria* species. In: LASCANO, C. E. (Ed.). **Tropical Grasses and Legumes**: optimizing genetic diversity for multipurpose use (Project IP5), Annual Report 2005, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali: CIAT, 2006. p. 88-90.

SALCEDO, A. F.; RECIO, M. E.; CHAVEZ, A. L.; TOHME, J.; RAO, I. M.; ISHITANI, M. Isolation and characterization of candidate genes for Al tolerance in *Brachiaria*. In: LASCANO, C. E. (Ed.). **Tropical Grasses and Legumes**: optimizing genetic diversity for multipurpose use (Project IP5), Annual Report 2005, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali: CIAT, 2006, p. 91-93.

SANTOS FILHO, L. F. Producción de semillas: el punto de vista del sector privado brasileño. In: MILES, J, W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). ***Brachiaria***: biología, agronomía y mejoramiento. Cali: CIAT; Campo Grande, Brasil: Embrapa Gado de Corte, 1998, p. 156-162.

SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F. A planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p. 3-20.

VALENTIM, J. F. Amendoim forrageiro: leguminosa para diversificação das pastagens no Brasil. In: EVANGELISTA, A. R.; AMARAL, P. N. C. do; PADOVANI, R. F.; TAVARES, V. B.; SALVADOR, F. M.; PERÓN, A. J. (Ed.). **Forragicultura e pastagens**: temas em evidência. Lavras: UFLA, 2005, p. 293-349.

VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p. 359-390.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p. 65-108.

CAPÍTULO 13

Uso e Aplicações Biotecnológicas do Cultivo in Vitro de Células, Tecidos e Órgãos de Plantas

Jonny Everson Scherwinski-Pereira
Frederico Henrique da Silva Costa
Rodrigo Silva Guedes

1. Biotecnologia: Conceitos, Marcos Históricos e Aplicações

O termo biotecnologia foi inicialmente utilizado pelo húngaro Karl Ereky em 1919 para se referir a "todas as linhas de trabalho, cujos produtos eram produzidos a partir de matéria bruta com o auxílio de organismos vivos". No entanto, atualmente existem dois modos de se definir biotecnologia: um mais amplo e outro mais restrito. Num sentido mais amplo, biotecnologia se refere a qualquer técnica que utilize organismos vivos (ou parte deles) para produzir ou modificar produtos, melhorar plantas e animais geneticamente ou desenvolver microrganismos para usos específicos. Neste sentido, sua utilização vem desde os primórdios da humanidade, a partir do momento em que o homem começou a domesticar animais e plantas e usá-los para diversos fins.

De maneira mais restrita, o termo biotecnologia pode ser conceituado como um conjunto de técnicas advindas da bioquímica e biologia molecular que podem trazer benefícios aos seres humanos. Assim, foi a partir da década de 70 que ocorreram os grandes avanços na área de biologia molecular, com a manipulação e transferência de informação genética entre seres vivos de espécies diferentes por meio de vias não sexuais, o que culminou no desenvolvimento de organismos geneticamente modificados (OGMs) (PEREIRA et al., 2004).

Há milhares de anos tem sido evidenciado o uso de processos biotecnológicos para a produção de bens e serviços. Isso é mais evidente na produção de alimentos, como vinho, cerveja e pão, por meio de fermentações microbianas. Nos últimos tempos, diversos acontecimentos marcaram a biotecnologia, alguns dos quais são resumidamente apresentados na Tabela 1. Além desses, outros eventos ajudaram a consolidar a biotecnologia moderna. Atualmente, o ritmo de desenvolvimento da área é crescente, mantendo,

inclusive, uma acentuada interação com diversos outros setores da ciência e tecnologia tais como: biologia molecular, fisiologia, microbiologia e engenharia química e ambiental.

Tabela 1. Eventos que marcaram a história da biotecnologia.

Área	Responsável	Ano	Aplicação
Biologia celular	Robert Hooke	1665	Observação microscópica da estrutura da cortiça, evidenciando que tecidos são constituídos por células
Biologia celular	Anton van Leeuwenhoek	1676–1783	Observação e descrição de seres microscópicos unicelulares, como protozoários e bactérias, incluindo espermatozóides
Genética	Gregor Mendel	1865	Formula e apresenta em dois encontros da Sociedade de História Natural de Brno as leis da hereditariedade, hoje chamadas Leis de Mendel
Microbiologia	Louis Pasteur	1864	Cria o processo que leva o seu nome, conhecido atualmente como pasteurização, usado para destruir microrganismos patogênicos em produtos comestíveis
Microbiologia	Robert Koch	1882	Anuncia a descoberta da bactéria responsável pela tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*) e sua responsabilização etiológica
Microbiologia	Ronald Ross	1896	Descoberta do protozoário *Plasmodium*, causador da malária em humanos
Genética	Thomas Hunt Morgan	1907	Demonstração do papel dos cromossomos na hereditariedade; formulação da teoria da mutação e das bases hereditárias
Microbiologia	Carlos Chagas	1909	Identificação do agente causal da doença de Chagas, o protozoário *Trypanosoma cruzi*
Genética	Hermann Muller	1926	Descoberta de que os raios X poderiam induzir mutações
Genética	Thomas Hunt Morgan	1910	Demonstração de que os genes estão localizados nos cromossomos
Microbiologia	Alexander Fleming	1928	Descoberta da penicilina
Genética	James Watson e Francis Crick	1953	Preposição do modelo que explicava a estrutura da molécula de DNA
Genética	Matthew Meselson e Frank Stahl	1957	Demonstração do mecanismo de replicação do DNA
Genética	Har Khorana, Robert Holley e Marshall Nirenberg	1967	Decifram o mecanismo que permite ao DNA ser traduzido em proteínas
Genética	Paul Berg	1972	Emprego das enzimas de restrição e ligase para produção de uma molécula de DNA híbrido. Realização dos primeiros experimentos sobre clonagem de DNA

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Genética	Stanley Cohen e Herbert Boyer	1973	Primeira experiência de engenharia genética aplicada a um microrganismo, a bactéria *Escherichia coli*, que foi considerada o primeiro organismo geneticamente modificado (OGM)
Genética	Herbert Boyer e Robson Swanson	1976	Fundação da Genentech em San Francisco, que marca a inauguração da indústria de biotecnologia
Engenharia genética	Herbert Boyer e Robson Swanson	1978	A bactéria *E. coli* é usada para produzir insulina na forma humana pelos cientistas da empresa Genentech
Engenharia genética	Pesquisadores belgas	1983	Surge a primeira planta transgênica: uma variedade de tabaco com gene de resistência ao antibiótico canamicina
Genética e biologia molecular	Consórcio internacional	1990	Início do Projeto Genoma Humano, com o objetivo de mapear o genoma humano e identificar todos os nucleotídeos que o compõem
Genética e biologia molecular	Pesquisadores escoceses	1997	Clonagem da ovelha Dolly
Genética e biologia molecular	Consórcio internacional	2003	Anúncio da conclusão do Projeto Genoma Humano (PGH): mapeamento do genoma humano e identificação de todos os nucleotídeo que o compõem

2. Aplicações da Biotecnologia

2.1. Cultura de Células, Tecidos e Órgãos de Plantas

Entre as diversas aplicações da biotecnologia moderna, uma das mais promissoras é a cultura de células, tecidos e órgãos de plantas. Um dos primeiros fundamentos do cultivo in vitro de plantas foi a formulação da teoria da totipotencialidade por Matthias Schleiden & Theodor Schwann, em 1838, na qual a célula é autônoma e capaz de originar um organismo completo, desde que determinadas condições físicas e nutricionais sejam providas à célula vegetal em cultivo. Em 1902, estudos realizados por Haberlandt chamaram a atenção, pois relatavam os primeiros trabalhos de cultivo de tecidos somáticos de plantas (KERBAUY, 1997). Mas a teoria da totipotência só começou a se confirmar a partir da multiplicação de trabalhos na área, entre os quais se destacaram o do cultivo in vitro de embriões imaturos de crucíferas por Hanning (1904), o cultivo de embriões de híbridos interespecíficos de orquídeas por Knudson (1922) e a recuperação de embriões a partir de híbridos incompatíveis de *Linum* por Laibach (1925).

A descoberta e utilização de fitormônios, especialmente auxinas e citocininas, tiveram importância fundamental para o avanço das técnicas de cultura de tecidos de plantas, visto que essas substâncias possuem grande influência no padrão de desenvolvimento vegetal (KOGH et al., 1934; MILLER et al., 1955 citados por SÁ et al., 2000). Desde então, inúmeras aplicações da cultura de tecidos de plantas têm sido verificadas em diversas áreas da agricultura, como: melhoramento genético de plantas, recuperação de genótipos livres de vírus e outros agentes patogênicos, micropropagação comercial de plantas, transformação genética, cultivo de suspensões celulares, biossíntese de metabólitos secundários em biorreatores, conservação e intercâmbio de germoplasma, obtenção de plantas haplóides por meio da cultura de anteras, obtenção de variantes somaclonais, microenxertia e cultura de protoplastos.

2.2. Cultura de Células, Tecidos e Órgãos de Plantas: Vantagens e Limitações

Várias têm sido as vantagens associadas à utilização de técnicas de cultura de células, tecidos e órgãos de plantas (Tabela 2).

Tabela 2. Vantagens e limitações da técnica de cultura de células, tecidos e órgãos de plantas.

Vantagens	Limitações
É realizada em qualquer época do ano	Necessidade de estrutura física adequada e mão-de-obra qualificada
Necessita de pequeno espaço físico e pouca quantidade de material vegetal inicial	Risco de implantar clones em extensas áreas de cultivo
Propicia elevadas taxas de multiplicação a partir de um único propágulo (explante)	Custo relativamente elevado para a implantação laboratorial
É aplicável a um grande número de espécies, principalmente àquelas que não produzem sementes ou possuem limitações para sua germinação, bem como às plantas que produzem baixa quantidade de propágulos por métodos convencionais	Equipamentos, reagentes, solventes e vidrarias específicas
Permite a produção de mudas com elevado padrão genético e fitossanitário (genótipos elites)	Produção de compostos tóxicos in vitro
Possibilita ao pesquisador explorar melhor a variabilidade genética das espécies	Dificuldade de trabalhar com espécies lenhosas
Permite a produção de plantas mais uniformes em curto período de tempo	Perdas na aclimatização de plantas
Controla efetivamente agentes patogênicos	Risco de variação somaclonal
Facilita o manuseio e transporte de material propagativo, tanto para áreas de cultivo quanto entre instituições de pesquisa e ensino (intercâmbio de germoplasma)	

2.3. Micropropagação

A propagação in vitro de plantas, também conhecida como micropropagação, tem sido indiscutivelmente a técnica mais utilizada e de maior aplicabilidade entre todas as demais. O uso da micropropagação em escala comercial teve início na Europa, ainda na década de 60, especialmente com espécies ornamentais (LAMEIRA et al., 2000).

Atualmente, a micropopagação tem sido aplicada em diversos países e em inúmeras espécies de plantas, com êxito não apenas em espécies frutíferas (bananeira, abacaxizeiro, macieira) e ornamentais (orquídea, crisântemo, helicônia), mas também em florestais (eucalipto, pinus), medicinais (ipeca, espinheira-santa) e olerícolas (batata, cenoura, morango). Atualmente, são produzidas em torno de 180 a 200 milhões de plantas/ano via cultura de células e tecidos (ANDRADE et al., 2000; LAMEIRA et al., 2000). Esta expansão foi atribuída em grande parte a conhecimentos adicionais, adquiridos na área de patologia, que demonstraram a eficiência na obtenção de plantas livres de agentes patogênicos, particularmente viroses (ASSIS et al., 2000). Na Fig. 1 podem-se observar as etapas básicas da micropropagação vegetal.

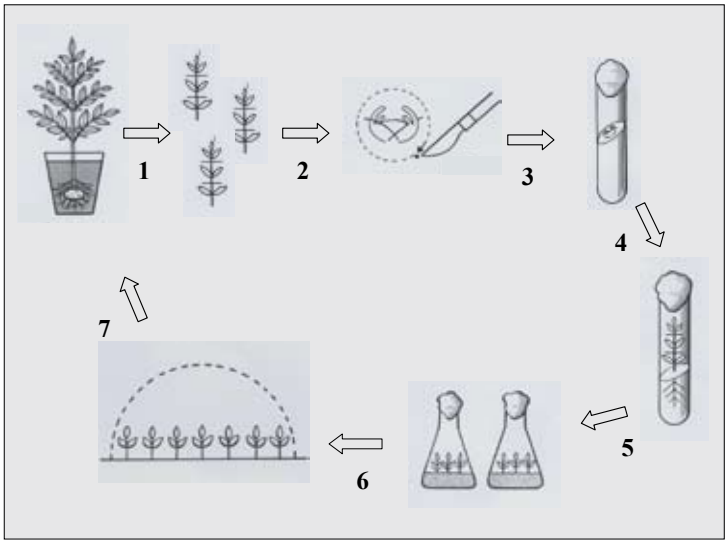


Fig. 1. Etapas da micropropagação: 1) obtenção do material vegetal em campo e desinfestação superficial; 2) isolamento de explantes com porção meristemática; 3) explante em meio de cultura; 4) explante desenvolvido; 5) multiplicação e enraizamento; 6) aclimatização; 7) transferência para telado/campo ou retorno para o início do processo in vitro.

Fonte: Adaptada de Pereira; Ledo, 2002.

2.4. Embriogênese Somática

Embriogênese somática, adventícia ou assexual são termos usualmente empregados ao processo pelo qual células haplóides ou somáticas desenvolvem-

se por meio de diferentes estádios embriogênicos, dando origem a uma planta, sem que para isso ocorra a fusão de gametas (WILLIAMS; MAHESWARAM, 1986). Foi originalmente desenvolvida para satisfazer dois objetivos: micropropagação massal e desenvolvimento de ferramenta celular para a melhoria genética, como por exemplo, a transformação genética e a fusão de protoplastos. Esta técnica consiste no uso de reguladores de crescimento (auxinas) para induzir a desdiferenciação de tecidos e a formação de tecidos e/ou células embriogênicas que, ao final, servirão para o desenvolvimento de plantas inteiras (STROSSE et al., 2003).

Uma particularidade dos embriões somáticos é a presença de um sistema vascular fechado, sem conexão com os tecidos do explante inicial, característica esta que aliada à sua bipolaridade (estrutura constituída de ápice caulinar e radicular) os diferem dos propágulos obtidos por meio da micropropagação e da organogênese (GUERRA et al., 1998).

Devido ao seu considerável potencial de multiplicação, a embriogênese somática constitui uma importante ferramenta para a propagação clonal em larga escala de plantas elites (ETIENNE-BARRY et al., 1999). Porém, apesar do alto potencial de regeneração, esta técnica pode, em determinados casos, não ser indicada para a produção massal de algumas espécies de plantas, como a bananeira, pela possibilidade de incremento no nível de variação somaclonal, quando comparada a outras técnicas clássicas de propagação, como a cultura de ápices caulinares. No entanto, nesta cultura, a embriogênese somática pode justificar-se para trabalhos que envolvam transformação genética e fusão de protoplastos (STROSSE et al., 2003).

Atualmente, a embriogênese somática já foi relatada para mais de 300 espécies e para as mais diferentes finalidades, incluindo desde a produção massal de plantas até a produção de plantas transgênicas e sementes sintéticas.

2.5. Limpeza Clonal

A utilização de técnicas de cultura de tecidos para obter plantas livres de patógenos é bastante difundida nos dias atuais. Maior atenção tem sido dada ao cultivo de meristemas e ápices meristemáticos visando à produção de plantas livres de vírus, devido à diversidade de espécies infestadas, como o mamoeiro, batata, morangueiro, mandioca e bananeira.

Esta técnica refere-se à cultura propriamente dita do meristema ou do ápice meristemático (meristema recoberto por primórdios foliares), geralmente com dimensões não superiores a 1,0 mm. Embora a regra geral seja que a utilização de explantes menores aumente a chance de sucesso na obtenção de plantas livres de patógenos, quanto menor o tamanho do propágulo a ser cultivado, mais difícil será sua sobrevivência e desenvolvimento in vitro.

O uso de explantes meristemáticos para a produção de plantas livres de vírus se deve ao fato de ser o meristema o explante mais indicado na multiplicação clonal in vitro, permitindo inclusive a obtenção de clones sadios a partir de plantas infectadas. Acredita-se que a maior atividade de síntese

protéica no tecido meristemático e a incipiente ligação vascular do meristema com o restante dos tecidos da planta desfavoreçam a multiplicação do patógeno e proporcionem uma menor distribuição das partículas patogênicas (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1990).

Além de permitir a produção ou a recuperação de plantas livres de patógenos, outra vantagem da limpeza clonal é a manutenção da identidade genética da planta regenerada, já que esse tecido é de origem somática. Some-se a isso o fato de ser o ápice uma estrutura organizada, que pode se desenvolver diretamente em parte aérea, em meio de cultura adequado, sem passar pela fase de calo (crescimento desordenado de células), o que poderia ocasionar alterações genéticas no material (PEREIRA; MELO, 2006).

Inúmeras espécies, entre as quais amendoim, morangueiro, batata e bananeira, já obtiveram êxito na eliminação de vírus (GAMA, 1988; MORRIS et al., 1997; COLLIN; EDWARDS, 1998; HELLIOT et al., 2001). No que se refere à eliminação de fungos, também foram alcançados resultados positivos com cravo e gladíolo infectados por *Fusarium roseum* e *F. oxysporum*, respectivamente (PIERIK, 1990). Albuquerque et al. (2000), avaliando a viabilidade do uso da técnica de ápices caulinares in vitro para a limpeza clonal de plantas de abacaxizeiro infectadas por *Fusarium subglutinans*, verificaram que ápices caulinares de aproximadamente 1,0 mm apresentaram 100% das plantas regeneradas livres de patógenos (fusariose). Já Helliot et al. (2001) observaram que a taxa de eliminação de vírus em genótipos de bananeira infectados é altamente dependente do tipo de vírus (CMV, BBTV e BSV).

2.6. Microenxertia

A microenxertia foi utilizada como técnica de micropropagação e eliminação de viroses, inicialmente por Murashige et al. (1972), e aperfeiçoada por Navarro et al. (1975), tornando-se eficiente na obtenção de plantas de citros livres de vírus. Também tem sido aplicada em macieira, damasqueiro, videira, pereira e marmeleiro, trazendo inúmeras vantagens, como a obtenção de plantas livres de patógenos sistêmicos, detecção precoce de incompatibilidade entre espécies, estudo das relações entre porta-enxertos e copas e estudo de combinações específicas entre genótipos adaptados a condições edáficas para incrementar a produtividade da planta.

A microenxertia consiste em enxertar um meristema ou ápice caulinar com um a dois primórdios foliares, oriundo de uma planta matriz, sobre um porta-enxerto multiplicado in vitro (geralmente obtido por meio de germinação de sementes in vitro) (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1998). No Centro de Citricultura Sylvio Moreira do Instituto Agronômico de Campinas (CCSM-IAC), a microenxertia de ápices caulinares tem sido efetiva na eliminação do vírus-da-tristeza (*Citrus Tristeza Virus*, CTV) e dos viróides da exocorte (*Citrus exocortis viroid*, CEVd) e cachexia/xiloporose. No entanto, para alguns vírus como aqueles do complexo da sorose, somente a microenxertia pode não ser

100% eficiente, sendo necessário associá-la com a termoterapia para maior segurança nos trabalhos de limpeza clonal (CARVALHO et al., 2002).

Para a propagação clonal de árvores adultas de *Eucalyptus*, a microenxertia apresenta-se como uma estratégia com alto potencial de aplicação no rejuvenescimento de clones, conforme sugerido por outros trabalhos com espécies frutíferas e florestais.

2.7. Conservação in Vitro e Intercâmbio de Germoplasma

Em razão da intensa atividade extrativista de espécies nativas e endêmicas, assim como pela expansão desordenada de novas áreas de cultivo, é importante que medidas de conservação de germoplasma sejam empregadas, principalmente para as espécies ameaçadas de extinção. Nesse sentido, considera-se o uso de técnicas de conservação in vitro como método promissor à conservação de recursos genéticos vegetais, sendo uma opção atrativa tanto do ponto de vista econômico, quanto prático. Segundo Withers (1980), citado por Sá et al. (2000), as técnicas de culturas de tecidos de plantas podem contribuir em todas as etapas do processo de conservação de germoplasma, incluindo coleta, indexação para doenças, quarentena, multiplicação, caracterização, avaliação, armazenamento e distribuição.

De modo geral, a conservação in vitro fundamenta-se na manutenção de coleções em laboratório. Para tanto, realizam-se alterações no ambiente de cultivo, como redução da temperatura, adição de retardantes osmóticos e hormonais ao meio de cultura, redução das concentrações salinas e dos componentes orgânicos do meio de cultivo, submersão das culturas em óleo mineral ou armazenamento de propágulos, isoladamente ou em associação, a ultrabaixas temperaturas (-196°C), denominado criopreservação (GEORGE, 1993). O objetivo principal é desacelerar ou suprimir o crescimento de células, tecidos e órgãos, aumentando ao máximo o intervalo entre os subcultivos, fato que conseqüentemente reduziria a mão-de-obra e o espaço necessários para a sua conservação. Dentre as vantagens da conservação in vitro, citam-se: a manutenção de um grande número de acessos num pequeno espaço físico e livre dos riscos ambientais existentes no campo, acesso imediato a todo o germoplasma da coleção (GEORGE, 1993), além da facilidade de intercâmbio internacional de germoplasma entre instituições de pesquisa.

De acordo com Engelmann (2004), a utilização das técnicas de cultura in vitro é de grande interesse para a conservação de germoplasma de espécies com sementes recalcitrantes, espécies que apresentem baixa viabilidade de sementes ou baixa produção e aquelas que se propagam vegetativamente, ou ainda genótipos elites e material geneticamente modificado.

Contudo, o sucesso do uso desta técnica depende das características fisiológicas da espécie a ser conservada. Entre os tecidos e órgãos empregados, os meristemas são os mais indicados, devido à menor probabilidade de ocorrência de alterações genéticas, por serem livres de patógenos e, na maioria das vezes, os melhores explantes para a micropropagação.

Diversas são as culturas em que a conservação in vitro tem sido empregada com sucesso: mandioca, bananeira, abacaxizeiro, batata, cafeeiro, orquídeas, espécies florestais, kiwi, macieira, pereira, ameixeira, cerejeira, videira, morangueiro, maracujazeiro, beterraba, batata-doce, forrageiras e cana-de-açúcar.

No Brasil, germoplasma de várias espécies de plantas tem sido conservado in vitro ou criopreservado, como na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em Brasília. Outras instituições de destaque na conservação in vitro de germoplasma são o Cirad em Montpellier, na França, e o Inibap em Leuven, Bélgica (VIEIRA, 2000).

Particularmente para a cultura da mandioca, a conservação in vitro constitui uma das formas mais efetivas e econômicas de preservação do germoplasma. Atualmente, grande número de acessos de mandioca são mantidos in vitro no Laboratório de Biotecnologia Vegetal da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (FUKUDA et al., 2005), como também têm sido conservados genótipos de abacaxizeiro visando à proteção do patrimônio genético da espécie, assim como para utilização em futuros cruzamentos e formação de novos híbridos (SOUZA et al., 2006).

Apesar das potencialidades acima mencionadas, existe o risco de instabilidade genética das culturas submetidas às técnicas de conservação in vitro. Além disso, os sistemas in vitro não eliminam por completo a necessidade de se manter recursos genéticos in situ, pois são métodos que se completam e ambos podem constituir bancos ativos de germoplasma. No entanto, dependendo da espécie e do objetivo, pode tornar-se dispendioso manter coleções in situ, principalmente pelas intempéries e necessidade de grandes áreas e práticas de manejo (VIEIRA, 2000).

Em relação ao intercâmbio de germoplasma por meio de cultura in vitro, tem-se notado consideráveis vantagens práticas por proporcionar menor volume e peso dos materiais destinados ao transporte, assim como também pela facilidade de maior controle das culturas com relação às doenças. Rotineiramente o intercâmbio de germoplasma in vitro é aplicado para bananeira, batata e mandioca que em geral são transportadas como brotos em meio de cultivo ou como minitubérculos no caso de culturas como batata e inhame (NG, 1994). Outras ferramentas biotecnológicas, como a tecnologia de sementes sintéticas, foram utilizadas como alternativa de distribuição de germoplasma de bananeira (RAO et al., 1993) por meio do encapsulamento de microbrotos, assim como para inhame e batata (HASAN; TAKAGI, 1995) utilizando o encapsulamento de segmentos nodais.

2.8. Cultura de Embriões Zigóticos

Desde os estudos de Hanning (1904) acerca da fisiologia e do desenvolvimento de embriões, a técnica de cultivo destes tem se expandido e contribuído para programas de melhoramento genético, por meio da recuperação de híbridos de interesse oriundos de cruzamentos incompatíveis, bem como para a superação de dormência de sementes em algumas espécies (FERREIRA et al., 1998).

As principais aplicações do cultivo de embriões zigóticos in vitro estão na coleta, intercâmbio e conservação de germoplasma e na propagação de híbridos raros, que não germinam por meio de processos naturais. Além disso, o cultivo de embriões zigóticos pode ser coadjuvante no processo de introdução de genes exógenos no genoma de um organismo (HU; FERREIRA, 1998; SILVA, 2002), como também para viabilizar a produção racional de mudas, uniformizando e reduzindo o período de germinação de sementes (SILVA, 2002). Além do mais, pode oferecer um sistema controlado para estudar os problemas nutricionais, fisiológicos e bioquímicos nos diferentes estágios de desenvolvimento do embrião (RAGHAVAN, 2003).

Em citros, a ocorrência de poliembrionia entre as espécies resulta, normalmente, em elevada taxa de aborto do embrião zigótico, devido à competição exercida sobre ele pelos embriões nucelares, geralmente mais vigorosos (PASQUAL et al., 2003). Assim, a cultura de embriões é de grande importância no melhoramento genético de citros, pois possibilita o resgate de embriões híbridos imaturos, oriundos de cruzamentos interespecíficos e intergenéricos (HU; FERREIRA, 1998).

A técnica de cultura de embriões tem sido empregada também em *Cocos nucifera* L. (SILVA, 2002), *Coffea* sp. (ANDRADE et al., 2001; RIBEIRO et al., 2003), *Euterpe oleracea* L. (LEDO et al., 2001), *Aniba rosaeodora* Ducke (HANDA et al., 2005), *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc. (MELO et al., 2001), *Astrocaryum ulei* (PEREIRA et al., 2006), entre outras.

2.9. Produção de Sementes Sintéticas ou Artificiais

A aplicação da tecnologia de sementes sintéticas ou artificiais tem sido crescente nos últimos dez anos, principalmente com o propósito de conservar germoplasma vegetal in vitro, como também para facilitar o intercâmbio de germoplasma entre instituições de pesquisa e para a produção massal de plantas. Seu emprego é destinado àquelas espécies que apresentam barreiras ao armazenamento por longos períodos ou que possuem alguma limitação durante o processo de propagação in vitro.

Sementes sintéticas são estruturas artificiais criadas com o objetivo de torná-las semelhantes à semente verdadeira ou botânica, obtidas pelo encapsulamento de micropropágulos (embriões somáticos, brotos, agregados celulares ou algum outro tecido que seja capaz de se converter em plantas normais), sob condições in vitro ou ex vitro, conservando o potencial de desenvolvimento, mesmo depois de um período de armazenamento.

Inicialmente, o uso de sementes sintéticas se limitava ao encapsulamento de embriões somáticos. Atualmente, esta tecnologia tem sido aplicada para uma grande diversidade de explantes como, por exemplo, brotos axilares e apicais, agregados celulares, segmentos internodais, protocormos e embriões zigóticos (PICCIONI; STANDARDI, 1995; PICCIONI, 1997; CAPUANO et al., 1998; STANDARDI; PICCIONI, 1998; PATEL et al., 2000; SANDOVAL; GUERRA, 2002; RECH FILHO, 2004).

Na Fig. 2 podem ser observadas as diferentes aplicações de cultura de células, tecidos e órgãos de plantas realizadas no Laboratório de Morfogênese e Biologia Molecular da Embrapa Acre.

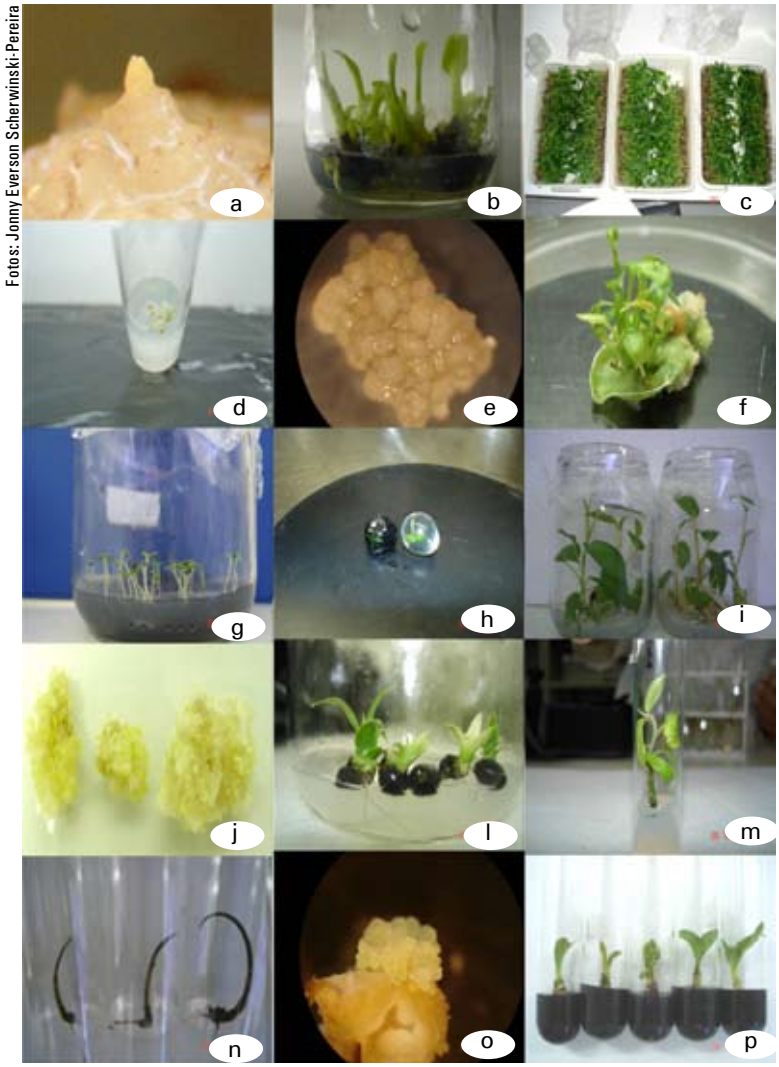


Fig. 2. Aplicações da cultura de células, tecidos e órgãos de plantas resultantes da pesquisa na Embrapa Acre: a) meristema apical (≤ 0,5 mm) de bananeira utilizado na recuperação de plantas viróticas; b) brotações de bananeira sob multiplicação in vitro; c) mudas de bananeira produzidas por micropropagação; d) sementes de camapu em meio de cultura para germinação; e) massivos celulares embriogênicos induzidos em camapu; f) organogênese direta de explantes foliares de camapu na presença de citocininas; g) sementes de pimenta longa germinadas in vitro; h) sementes sintéticas de pimenta longa em matriz de encapsulamento com e sem a presença de carvão ativado; i) micropropagação da pimenta longa; j) calos friáveis de pimenta longa produzidos a partir de internódios; l) sementes sintéticas de abacaxizeiro em processo de germinação e desenvolvimento; m) microestaca de sacaca sob multiplicação in vitro; n) germinação de embriões zigóticos de açaizeiro in vitro; o) embriogênese somática em açaizeiro a partir de embriões zigóticos imaturos; p) microestacas de teca estabelecidas in vitro.

2.10. Cultivo de Células em Suspensão

O cultivo de células em suspensão consiste em obtê-las e proliferá-las em meio nutritivo líquido, sob condições de agitação, aeração e temperatura controlada, sendo essencial que as células suspensas se dividam e se multipliquem ativamente (CID, 1998). Contudo, salienta-se que de acordo com a composição do meio de cultivo, o padrão de diferenciação (lignificação e/ou alongamento), divisão e senescência celular podem ser afetados.

A vantagem desta técnica deve-se a sua elevada taxa de multiplicação celular, sendo desta forma eficiente para a rápida multiplicação, e ao fato de ter aplicações diretas em estudos de bioquímica, genética, citologia, fisiologia vegetal e fitopatologia. Este tipo de cultivo também é empregado na produção de metabólitos secundários ou material clonal em escala comercial pela utilização de biorreatores (PEREIRA; MELO, 2006).

Porém, dois aspectos devem ser considerados no cultivo de células em suspensão: a formação de agregados celulares e a existência de mosaicismo ou mixoploidia, isto é, a coexistência de diferentes populações celulares com bases genéticas distintas. Atualmente, vários são os estudos com células vegetais cultivadas em reatores biológicos visando à produção de metabólitos secundários.

2.11. Cultura de Ovários

Esta técnica fornece um controlado sistema para estudos acerca dos aspectos nutricionais e fisiológicos do desenvolvimento de frutos, bem como para a formação de sementes e para uso como propagação de plantas, indução de haplóides partenogênicos, recuperação de híbridos interespecíficos e intergenéricos (HARA et al., 1989; CASTILLO; CISTUÉ, 1993; ROH et al., 1996; BROWN et al., 1997).

2.12. Cultura de Protoplastos

Definem-se protoplastos como células vegetais que por meio de procedimentos mecânicos ou enzimáticos tiveram sua parede celular removida. Assim, células vegetais sob essa condição podem ser manipuladas, conservando ainda as suas potencialidades. A priori, protoplastos podem ser isolados de qualquer tecido vegetal, mas geralmente preferem-se tecidos como o do mesófilo foliar ou de calos friáveis. É uma técnica aplicável em diversas áreas da pesquisa vegetal, mas é principalmente no melhoramento genético de plantas que se vislumbram as maiores potencialidades de uso. Assim, pode ser empregada para obter plantas transgênicas, híbridos somáticos e mutantes ou variantes somaclonais, além de possibilitar estudos da expressão gênica e sua regulação (MANTELL et al., 1994; CARNEIRO et al., 1998; SÁ et al., 2000).

A partir da década de 80 a hibridação somática pela fusão de protoplastos também passou a ser utilizada em programas de melhoramento de citros, superando as barreiras genéticas impostas à hibridação sexual e possibilitando obter alotetraplóides que combinam o genoma nuclear de ambos os parentais (GROSSER; GMITTER JUNIOR, 1990).

Atualmente, a cultura de protoplastos vem sendo empregada em estudos básicos na área de fisiologia vegetal, biologia molecular e celular e pesquisas aplicadas em biotecnologia.

2.13. Obtenção de Mutantes in Vitro

Mutações são definidas como mudanças herdáveis que representam as bases genéticas das variações, podendo servir, portanto, como matéria-prima aos processos de melhoramento genético e evolutivo (RAMALHO et al., 2000). Como a ocorrência de mutações espontâneas é muito baixa, requer a utilização de métodos mais eficientes, como o emprego de agentes mutagênicos físicos ou químicos.

Técnicas que induzem à mutação associadas às de seleção in vitro têm sido recomendadas, por facilitar não apenas a indução de variabilidade genética, mas também por permitir a seleção e a propagação de mutantes promissores (MARK et al., 1996). Estas técnicas foram empregadas com sucesso em bananeira para redução do porte e tolerância à salinidade ou em outras espécies para a obtenção de tolerância a metais pesados, herbicidas e a certas doenças (TULMANN NETO et al., 1990; KIDO, 2003).

2.14. Produção de Plantas Transgênicas

A cultura de tecidos é fundamental em estudos que visam obter plantas geneticamente modificadas. Sua utilização é requerida em praticamente todo o processo, incluindo desde a transformação propriamente dita (biobalística, *Agrobacterium tumefasciens*, etc.) até a regeneração e multiplicação das plantas transformadas (SÁ et al., 2000). Contudo, cabe salientar que o sucesso do uso da cultura de tecidos na obtenção de plantas transgênicas está condicionado à otimização de protocolos para cada espécie utilizada.

2.15. Algumas Culturas nas quais a Técnica de Cultivo in Vitro é Empregada

A produção de mudas por clonagem in vitro é, atualmente, de grande importância por ofertar ao mercado produtos diferenciados, certificados, de alta qualidade genética e fitossanitária e que promovam ganhos de diferentes formas, como produtividade, lucratividade, facilidade de transporte e redução no uso de agroquímicos. Portanto, nos últimos anos, as tecnologias de produção de mudas têm evoluído sobremaneira em virtude das exigências fitossanitárias e padrões comerciais cada vez mais rigorosos e exigentes.

Assim como descrito anteriormente, muitas são as culturas favorecidas por esta ferramenta biotecnológica e várias são as empresas que utilizam esta técnica no Brasil para produzir em escala mudas de alta qualidade genética e fitossanitária.

a) Bananeira

A utilização das técnicas de cultura de tecidos, mais especificamente a micropropagação de ápices caulinares, já é realidade em vários países como Israel, França, Costa Rica, Cuba, Austrália e Taiwan (SOUZA, 1994). Os relatos das primeiras aplicações da micropropagação na multiplicação de espécies do gênero *Musa* datam da década de 60, intensificando-se desde então os trabalhos de pesquisas visando ao uso de técnicas mais simples e produtivas para o cultivo da bananeira.

A produção de mudas em laboratório consiste no cultivo in vitro de ápices caulinares obtidos de plantas matrizes elites, com o objetivo de estimular a proliferação de brotações laterais, utilizando-se para isso métodos físicos (incisões) e químicos (adição de reguladores de crescimento vegetal no meio de cultura) (DOMINGUES, 1992). Outros métodos menos usuais, como o cultivo de ápices florais, também podem ser empregados para a produção de multibrotações in vitro.

Atualmente, com a expansão de doenças, especialmente a sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis*), principal praga da bananicultura mundial, a busca por genótipos selecionados e resistentes tem se intensificado. Neste contexto, a micropropagação representa a principal forma de validar as novas variedades produzidas por programas de melhoramento genético da bananeira, pois possibilita aos produtores o imediato acesso às novas variedades lançadas (ROCHA, 2005).

Uma série de trabalhos foi e tem sido desenvolvida com o objetivo de estabelecer e otimizar protocolos de micropropagação para genótipos de bananeira. Porém, apesar dos esforços, para cada genótipo existe um comportamento diferenciado, o que implica em modificações ou adaptações dos protocolos.

Contudo, apesar de ser uma técnica rotineira e fundamental no cenário da bananicultura, ainda existem limitações à expansão do uso de mudas micropropagadas de genótipos elites de bananeira por pequenos produtores, devido aos elevados custos de produção. Entretanto, esforços têm sido feitos visando superar estas limitações, como o uso de luz natural (solar) durante as diferentes etapas da micropropagação (ROCHA, 2005).

Na Fig. 3 podem ser observadas a comercialização e distribuição de mudas de bananeira entre os anos de 1999 a 2003. Verifica-se a preferência por variedades resistentes à sigatoka-negra, que foram enviadas para vários estados do País, em maior quantidade para a Região Norte, onde se constatou o primeiro relato da praga.

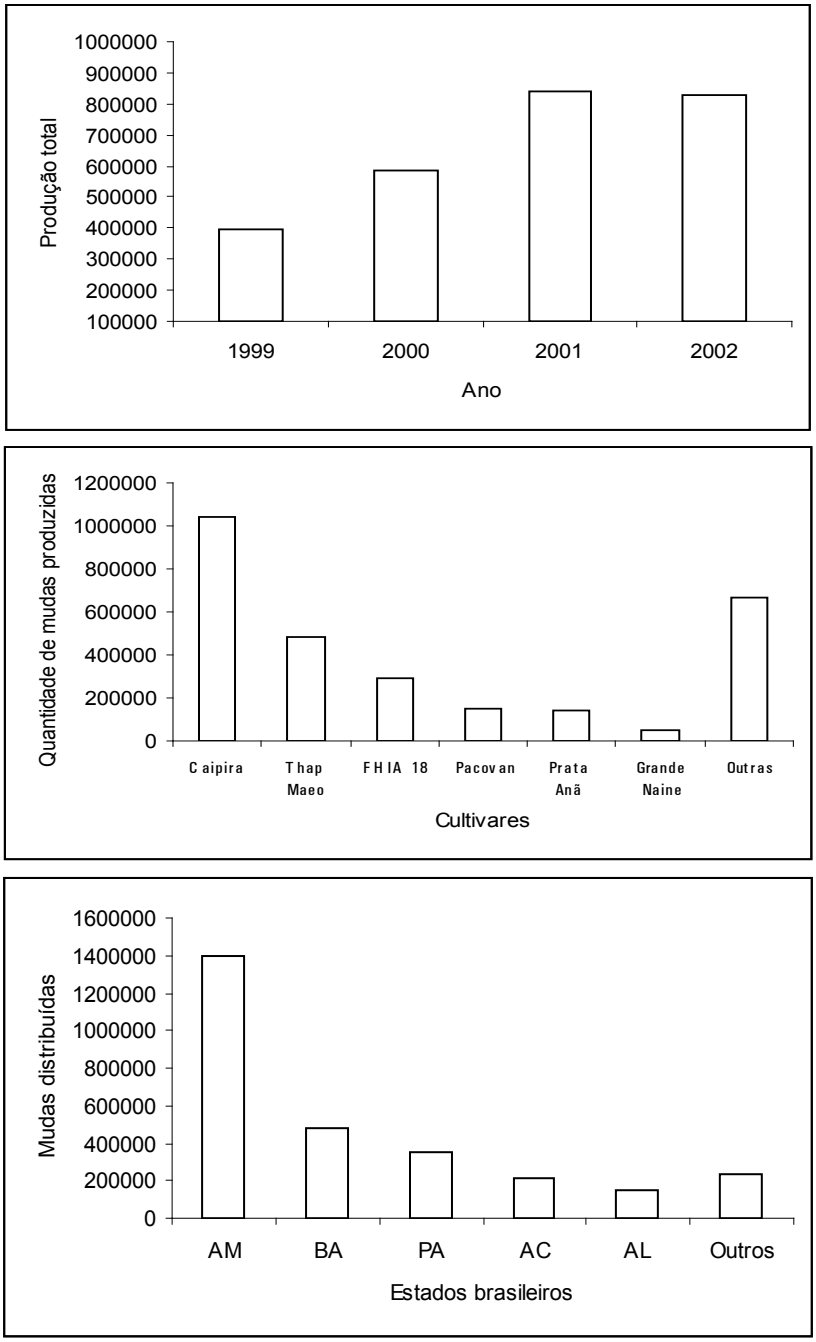


Fig. 3. Evolução da produção (1999 a 2002), quantidade de mudas produzidas por cultivar (1999 a maio de 2003) e número de mudas distribuídas de bananeira para diferentes estados da Federação (1999 a maio de 2003) pela Biofábrica da Campo Biotecnologia, Cruz das Almas, BA, 2003.

Fonte: Adaptada de Silva et al., 2003.

b) Abacaxizeiro

Em virtude dos métodos tradicionais de propagação do abacaxizeiro ocasionarem a disseminação de patógenos, como a fusariose (*Fusarium moniliforme* Shilld. var. Subglutinans Wr. e Reinking), principal doença fúngica que pode provocar perdas de 80% da produção, a cultura de tecidos representa uma alternativa viável na propagação de genótipos livres da doença (VESCO et al., 2000). Além de reduzir os custos com a mão-de-obra, o cultivo in vitro de gemas axilares e/ou meristemas melhora sensivelmente o problema de baixo rendimento de mudas observado na propagação convencional. Dessa forma, a cultura de tecidos pode ser utilizada não apenas para a produção em escala de mudas, mas também para multiplicação rápida de genótipos selecionados em programas de melhoramento, especialmente híbridos resistentes à fusariose, disponibilizando maior quantidade de mudas em pouco tempo (PASQUAL et al., 1998). Para tanto, utilizam-se como explantes gemas da base das folhas ou meristemas apicais, procedentes de plantas matrizes selecionadas.

Muitos autores têm reportado casos de sucesso do uso da micropropagação em abacaxizeiro. De acordo com Almeida et al. (2002), é possível produzir 1.250.000 plantas de abacaxi em 8 meses, partindo-se de 30 explantes.

No entanto, embora a cultura de gemas axilares seja a mais empregada, outras técnicas também podem ser utilizadas, como a proposta por Kiss et al. (1995) a qual se baseia no estiolamento in vitro de brotos desfolhados e incubados na ausência de luz. A grande vantagem da utilização deste método é o maior alongamento entre os internódios, proporcionando aumento no número de gemas obtidas por explante (PRAXEDES et al., 2001).

Entre as principais vantagens do emprego de técnicas de cultura de tecidos em abacaxizeiro encontram-se a obtenção de plantas de alto vigor e uniformidade, ausência de pragas e doenças, mudas enraizadas e prontas para serem cultivadas no campo e disponibilidade de material durante todo o ano. Apesar das diversas vantagens, a principal limitação para o uso de mudas micropropagadas em lavouras comerciais é o elevado custo da muda produzida, bem superior ao da convencional. Tal fato se agrava ainda mais porque são empregadas elevadas densidades de plantas por hectare (em torno de 40 mil plantas). Assim, pesquisas têm sido feitas com o intuito de reduzir os custos de produção, entre elas, a utilização de fontes alternativas de luz e o emprego de biorreatores (SILVA, 2006), além do uso de substituintes do agente solidificante ágar do meio de cultura (PEREIRA et al., 2004).

Além disso, a técnica de micropropagação é particularmente importante quando o objetivo refere-se à introdução da cultura em novas regiões de plantio, onde ainda não existem problemas fitossanitários; introdução/substituição de novas cultivares, quando não se dispõe de mudas convencionais dessas cultivares para iniciar grandes plantios; multiplicação rápida de genótipos selecionados pelos programas de melhoramento genético, antes do lançamento de novas cultivares; produção de material básico para atender a programas de

produção de mudas certificadas; e intercâmbio de germoplasma para evitar a introdução de pragas e doenças exógenas.

c) Batata

Dentre as técnicas de cultura de tecidos, a micropropagação vem sendo amplamente utilizada para produzir genótipos elites de batata (*Solanum tuberosum* L.), proporcionando benefícios diretos e indiretos aos produtores, pelo conseqüente aumento nos níveis de produtividade da cultura (ASSIS, 1999). Pereira e Fortes (2003), estudando o efeito do cultivo in vitro de batata em meio de consistência líquida, verificaram ser promissor o uso da metodologia para a micropropagação desta espécie, devido ao incremento nas taxas de multiplicação nestas condições.

Atualmente, as empresas de micropropagação comercial têm sido as grandes responsáveis pela disponibilidade aos produtores de mudas de batata de elevado padrão genético e fitossanitário, utilizando a cultura de meristemas, micropropagação e aclimatização em estufas. Além disso, todos os genótipos introduzidos in vitro são submetidos ao processo de indexação oficial de viroses, feito por amostragens de todos os lotes produzidos.

d) Cana-de-açúcar

A propagação in vitro é bastante vantajosa para a cana-de-açúcar, considerando que um dos maiores problemas enfrentados em programas de melhoramento genético convencional nessa cultura é a dificuldade de multiplicar o material selecionado com rapidez. Normalmente, antes do uso da micropropagação, além do excessivo tempo de seleção de genótipos em campo, eram requeridos mais alguns anos para se estabelecer novas cultivares em plantios comerciais (DONATO et al., 2005). Assim como citado para as outras culturas, podem-se alcançar altas taxas de multiplicação de cana-de-açúcar por esse método, com inúmeras vantagens em relação à multiplicação em campo, como a produção de grande quantidade de mudas de qualidade superior, em tempo e espaço físico reduzidos (MALHOTRA, 1995).

e) Palmeiras

O interesse pelo uso das técnicas de cultura de tecidos em palmeiras visando à produção massal de clones elites teve início na década de 60, pois muitas palmeiras, de modo geral, apresentavam limitações à aplicação de técnicas de multiplicação vegetativa. Acrescenta-se a isso o fato dos métodos tradicionais de melhoramento genético de palmáceas serem demorados e complexos, assim como também o longo ciclo de vida, hábito de crescimento das plantas e ausência quase que completa de métodos eficientes de propagação vegetativa. Contudo, foi na década de 80 que os estudos acerca de técnicas de micropropagação e morfogênese se intensificaram, principalmente em espécies como *Phoenix dactylifera* (tamareira), *Elaeis guineensis* (dendezeiro), *Cocos nucifera* L. (coqueiro), *Euterpe edulis* Mart. (juçara) e palmeiras ornamentais. Assim, torna-se evidente a importância dos sistemas de culturas in vitro para aumentar a rapidez dos programas de melhoramentos de palmeiras e introduzir novos híbridos ou variedades comercialmente.

No Brasil, embora haja relatos de resultados promissores com o emprego da técnica de cultura de tecidos em algumas palmáceas, poucas são as conclusões consistentes sobre os protocolos a serem usados para a produção massal de genótipos elites comercialmente. Apesar de países como a França já terem utilizado esta técnica para a cultura do dendezeiro há pelo menos duas décadas (RIVAL et al., 1998), com a produção de milhares de plantas (DURAND-GASSELIN et al., 1990), praticamente não existem estudos mais consistentes no Brasil. Na Embrapa Acre, pesquisas a respeito do desenvolvimento de tecnologia para a micropropagação de espécies de palmeiras como o dendezeiro, pupunheira e açaizeiro têm revelado resultados promissores acerca do emprego desta tecnologia para a multiplicação clonal dessas espécies, muito embora os processos ocorram de modo lento e ainda não estejam totalmente otimizados (LEDO et al., 2002; PEREIRA et al., 2004; 2005, 2006a, b).

f) Plantas Ornamentais

O cultivo de plantas ornamentais é uma atividade competitiva, altamente rentável e que exige a utilização de tecnologias e conhecimento técnico (BALDONEDO, 2005). Estima-se que mais de 500 milhões de plantas são propagadas anualmente, na sua maioria ornamentais, utilizando-se a aplicação de técnicas de cultura de tecidos (DEBERGH, 1994). Acrescenta-se ainda que as espécies ornamentais são por excelência o grupo de plantas em que a micropropagação teve maior aplicação, com essa técnica repercutindo diretamente na cadeia produtiva. O incentivo para esse crescimento fundamenta-se no alto valor agregado ao produto final (CAPELLADES-QUERALT et al., 1993).

De acordo com Tombolato e Costa (1998), o emprego da micropropagação em plantas ornamentais apresenta grandes vantagens, principalmente para espécies de difícil propagação por meio de métodos convencionais. Atualmente, o cultivo in vitro tem sido amplamente utilizado na multiplicação de orquídeas, antúrios, violeta-africana, bromélias e samambaias e, em menor escala, para propagação de alstroeméria, amarílis, begônias, ciclame, copo-de-leite, gloxínia e espatifilo. Além disso, a clonagem in vitro de matrizes selecionadas de híbridos ornamentais tem permitido a compatibilização de demandas específicas dos mercados interno e externo (KERBAUY, 1997).

g) Espécies Florestais

O emprego da micropropagação em espécies florestais vem sendo estudado há várias décadas e tem como objetivo básico estabelecer uma metodologia de multiplicação clonal de indivíduos superiores. Entretanto, de modo geral as espécies florestais apresentam problemas para o estabelecimento e cultivo in vitro, principalmente por serem rotineiramente infectadas por microorganismos endógenos, dificultando o controle e desinfestação dos explantes (BONGA, 1982; ANDRADE et al., 2000). Uma outra limitação ao cultivo de espécies florestais in vitro é a ocorrência de compostos fenólicos, que podem modificar a composição do meio de cultivo e a absorção de metabólitos (THOMAS; RAVINDRA, 1997).

No entanto, atualmente a micropropagação de algumas espécies, como o eucalipto, tem sido bastante utilizada, especialmente para o rejuvenescimento

de clones, com o objetivo de formar e manter microjardins clonais que constituem a base para a produção de mudas pelo método da microestaquia (XAVIER; COMÉRIO, 1996). Segundo Mullins et al. (1997), os procedimentos convencionais de micropropagação em eucalipto ocorrem pela ativação de gemas axilares sob cultivo em meios de cultura. Porém, a propagação in vitro por organogênese de explantes foliares também possui a capacidade de regenerar grande número de plantas, com a vantagem de que pode ser automatizada.

Referências

ALBUQUERQUE, C. C. A.; CAMARA, T. R.; MENEZES, M. WILLADINO, L.; MEUNIER, I.; ULISSES, C. Cultivo *in vitro* de ápices caulinares de abacaxizeiro para limpeza clonal em relação à fusariose. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 363-366, 2000.

ALMEIDA, W. A. B. de; MATOS, A. P. de; SOUZA, A. da S. Effects of benzylaminopurine (BAP) on *in vitro* proliferation of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.). **Acta Horticulturae**, n. 425, p. 245-242, 1997.

ALMEIDA, W. A. B. de; SANTANA, G. S.; RODRIGUEZ, A. P. M.; COSTA, M. A. P. de C. Optimization of a protocol for the micropropagation of pineapple. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 296-300, 2002.

ANDRADE, L. M. da C. O.; PASQUAL, M.; MACIEL, A. L. de R.; PEREIRA, A. R.; CAVALCANTE-ALVES, J. M. Cultura *in vitro* de embriões de *Coffea arabica*: influência de ANA e BAP. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1063-1070, 2001.

ANDRADE, M. W. de; LUZ, J. M. Q.; LACERDA, A. S.; MELO, P. R. A. de. Micropropagação de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 174-180, 2000.

ASSIS, M. Novas tecnologias na propagação de batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 30-33, 1999.

ASSIS, M. de; PAIVA, M.; ARMANI, O. C. Micropropagação de plantas: histórico de uma empresa comercial. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 204, p. 124-126, 2000.

BALDONEDO, A. N. Potencial das flores brasileiras e oportunidades para os produtores. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 227, p. 3, 2005.

BONGA, J. M. Tissue culture techniques. In: BONGA, J. M.; DURZAN, D. J. **Tissue culture in forestry**. The Hague: Nijhoff, p. 4-35. 1982.

BROWN, J.; BROWN, A. P.; DAVIS, J. B.; ERICKSON, D. Intergeneric hybridization between *Synapsis alba* and *Brassica napus*. **Euphytica**, v. 93, p. 163-168, 1997.

CASTILLO, A. M.; CISTUÉ, L. Production of gynogenic haploids of *Hordeum vulgare* L. **Plant Cell Reports**, v. 12, p. 139-143, 1993.

CAPELLADES-QUERALT, M.; BERUTO, A. M.; VANDERSCHAEGHE, A.; DEBERGH, P. C. Ornamentals. In: DEBERGH, P. C.; ZIMMERMAN, R. H. (Ed.). **Micropropagation, technology and application**. London: Kluwer Academic, 1993. p. 215-229.

CAPUANO, G.; PICCIONI, E.; STANDARDI, A. Effect of different treatments on the conversion of M26 apple rootstock synthetic seeds obtained from encapsulated apical and axillary micropropagated buds. **Journal Horticultural Science Biotechinoly,** v. 73, p. 299-305, 1998.

CARNEIRO, V. T. de C.; CONROI, T.; BARROS, L. M. G.; MATSUMOTO, K. Protoplastos: culturas e aplicações. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CNPH, 1998. v. 2. 864 p.

CARVALHO, S. A.; SANTOS, F. A.; MACHADO, M. A. Eliminação de vírus do complexo sorose dos citros por microenxertia associada a termoterapia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 306-308, 2002.

CID, L. P. B. Suspensão celular. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. **Técnicas e aplicações de cultura de tecidos de plantas**. Brasília, DF: ABCTP: EMBRAPA- CNPH, 1998. p. 331-353.

COLLIN, H. A.; EDWARDS, S. **Plant Cell Culture**. New York: Springer-Verlag, 1998. 158 p.

DEBERGH, P. *In vitro* culture of ornamentals. In: VASIL, I. K.; THORPE, T. A. (Ed). **Plant Cell and Tissue Culture**. Dordrecht: Kluwer Academic Plublishers, 1994. p. 561-573.

DOMINGUES, E. D. **Cultura de tecidos visando o melhoramento genético de bananeira (*Musa* ssp) através da indução de mutações**. 1992. 119 f. Tese (Doutorado em Melhoramento Genético), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DONATO, V. M. T. S.; ANDRADE, A. G. de; TAKAKI, G. M. de C.; MARIANO, R. de L. R.; MACIEL, G. A. Plantas de cana-de-açúcar cultivadas *in vitro* com antibióticos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 134-141, 2005.

DURAND-GASSELIN, T.; LE GUEN, V.; KONAN, K.; DUVAL, Y. Plantation en Côte-d'Ivoire de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.), obtenus para culture in vitro. Premiers résultats. **Oléagineux**, v. 45, n. 1, 1-9, 1990.

ENGELMANN, F. Plant cryopreservation: progress and prospects. **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 40, p. 427-433, 2004.

ETIENNE-BARRY, D.; BERTRAND, B.; VASQUEZ, N.; ETIENNE, H. Direct sowing of *Coffea arabica* somatic embryos mass-produced in a bioreactor and regeneration of plants. **Plant Cell Reports**, v. 19, p. 111-117, 1999.

FERREIRA, J. M. S.; LIMA, M. F.; SANTANA, D. L. Q.; MOURA, J. I. L.; SOUZA, L. A. Melhoramento genético do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S. F.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa- SPI; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998. p. 189-254.

FUKUDA, W. M. G.; COSTA, I. R. S.; SILVA, S. de O. **Manejo e conservação de recursos genéticos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na** Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2005. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular técnica, 94). 2005. 4 p.

GAMA, M. I. C. S. Produção de plantas de batata-doce livres de vírus por termoterapia e cultura de meristemas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 13, p. 283-286, 1988.

GEORGE, E. F. **Plant propagation by tissue culture**. 2. ed. Exegetic: Edington, 1993, 547 p.

GROSSER, J. W.; GMITTER JUNIOR, F. G. Somatic hybridization of Citrus with wild relatives for germplasm enhancement and cultivar development. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 2, p. 147-151, 1990.

GUERRA, M. P.; TORRES, A. C.; TEIXEIRA, J. B. Embriogênese somática e sementes sintéticas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas.** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: Embrapa-CNPH, 1998. v. 2, p. 533-568.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A.; CALDAS, L. S. (Ed.) **Técnicas e aplicações de cultura de tecidos de plantas.** Brasília, DF: ABCTP: EMBRAPA-CNPH, 1990. p. 99-169.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas.** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: Embrapa -CNPH, 1998. v. 1, p. 183-260.

HANDA, L.; SAMPAIO, P. de T. B.; QUISEN, R. C. Cultura *in vitro* de embriões e de gemas de mudas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). **Acta Amazônica**, v. 35, n. 1, p. 29-33, 2005.

HARA, T.; SUGIURA, K.; FUKUI, H.; SONODA, Y. Utilization of ovary culture in nutritional study of fruit development of tomato plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, p. 453-459, 1989.

HU, C. Y.; FERREIRA, A. G. Cultura de embriões. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPH, 1998. v. 1, p. 371-393.

HUSSAIN, A.; JAISWAL, U.; JAISWAL, V. S. Synthetic seed: prospects and limitations. **Current Science**, v. 12, p. 1438-1443, 2000.

HASAN, S. M. Z.; TAKAGI, H. Alginate-coated nodal segments of yam (*Dioscoria* pp.) for germplasm exchange and distribution. IPGRI/FAO. **Plant Genetic Resources Newsletters,** v. 103, p. 32-35, 1995.

HELLIOT, B.; PANIS, B.; LOCICERO, A.; REYNIERS, K.; MUYLLEL, H.; VANDEWALLEL, M.; MICHELL, C.; SWENNENS, R.; LEPOIVREL, P. Development of *in vitro* techniques for elimination of virus diseases from *Musa*. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 560, p. 535-538, 2001.

KERBAUY, G. B. Clonagem de plantas *in vitro*. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 30-33, 1997.

KIDO, L. M. H. **Irradiação de gemas axilares, suspensão celular e protoplastos de bananeira cv. Maçã (*Musa* spp.), visando a seleção de mutantes resistentes à salinidade**. 2003. 136 f. Tese. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KISS, E.; KISS, J.; GYULA, I.; HESZKY, L. E. A novel method for rapid micropropagation of pineapple. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 127-129, 1995.

LAMEIRA, O. A.; LEMOS, O. F.; MENEZES, I. C. de; PINTO, J. E. B. P. **Cultura de tecidos (manual)**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 41 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 66).

LEDO, A. da S.; LAMEIRA, O. A.; BENBADIS, A. K.; MENEZES, I. de C.; LEDO, C. A. da S.; OLIVEIRA, M. S. P. de Cultura *in vitro* de embriões zigóticos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, 2002.

LEDO, A. da S.; LAMEIRA, O. A.; BENBADIS, A. K.; MENEZES, I. de C.; OLIVEIRA, M. S. P.; MEDEIROS FILHO, S. Somatic embryogenesis from zygotic embryos of *Euterpe oleracea* Mart. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, 2001.

MALHOTRA, S. D. Biotechnology and sugarcane. **International Sugar Journal**, v. 97, p. 160-163, 1995.

MANTELL, S. H.; MATTHEWS, J. A.; MCKEE, R. A. **Princípios de biotecnologia em plantas:** uma introdução à engenharia genética em plantas. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1994. 344 p.

MARK, C.; HO, Y. W.; TON, Y. P.; IBRAHIM, R. Novaria – um nuevo mutante de banana inducido por radiación gama. **Infomusa**, v. 5, n. 1, p. 35-37, 1996.

MELO, B. de; PINTO, J. E. B. P.; LUZ, J. M. Q.; PEIXOTO, J. R.; JULIATTI, F. C. Diferentes antioxidantes no controle da oxidação, germinação e desenvolvimento das plântulas na cultura *in vitro* de embriões da guarirobeira [*Syagrus oleracea* (MART.) BECC.]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1301-1306, 2001.

MORRIS, J. B.; DUNN, S.; PINNOW, D. L.; HOPKING, M. S.; PITTMAN, R. N. Meristem culture for virus elimination and peanut interspecific hybrid preservation. **Crop Science**, v. 37, p. 591-594, 1997.

MULLINS, K. V. et al. Regeneration and transformation of *Eucalyptus camaldulensis*. **Plant Cell Reports**, v. 16, n. 11, p. 787-791, 1997.

MURASHIGE, T.; BITTERS, W. P.; RANGAN, T. S.; NAUER, E. M.; ROISTACHER, C. N.; HOLLIDAY, P. B. A technique of shoot apex grafting and its utilization towards recovering virus-free Citrus clones. **HortScience**, Alexandria, v. 7, p. 118-119, 1972.

NAVARRO, L.; ROISTACHER, C. N.; MURASHIGE, T. Improvement of shoot tip grafting in vitro for viru-free citrus. **American Society of Horticultural Science**, v. 100, n. 5, p. 471-479, 1975.

NG, S. Y. C. Production and distribution of virus-free yam (*Dioscorea rotundata* Poir.). **Acta Horticulturae,** v. 380, p. 324-328, 1994.

PASQUAL, M.; ALVES, G. P.; DUTRA, L. F.; CHAGAS, E. A.; RIBEIRO, L. de O. Desenvolvimento *in vitro* de embriões imaturos oriundos de tangerineira 'Poncã' x laranjeira `Pêra` em diferentes fotoperíodos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 3, p. 535-540, 2003.

PASQUAL, M.; MOREIRA, M. A.; SOBRINHO, A. dos A. Biotecnologia aplicada à produção de mudas de abacaxi. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 195, p. 20-23, 1998.

PATEL, A. V.; PUSCH, I.; MIX-WAGNER, G.; VORLOP, K. D. A novel encapsulation technique for the production of artificial seeds. **Plant Cell Reports**. v. 19, p. 868-874, 2000.

PEREIRA, C. D.; MELO, B. **Cultura de Tecidos Vegetais**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/cult _ tecidos.htm>. Acesso em: 15 maio 2006.

PEREIRA, J. E. S.; BIANCHI, V. J.; MARCHIORO, V. S.; BINSFELD, P. C. Biodiversidade e transgênicos. In: BINSFELD, P. C. (Org.). **Biossegurança em biotecnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p. 229-252.

PEREIRA, J. E. S.; COSTA, F. H. S.; ALVES, B. Jr.; GUEDES, R. da S. Respostas morfogenéticas *in vitro* de inflorescências imaturas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) influenciadas por fatores do meio de cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS, BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Biodiesel**: evolução tecnológica e qualidade: anais. Lavras: UFLA, 2006a. v. 1. p. 1-5, 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. E. S.; COSTA, F. H. S.; MACIEL, S. A. Indução da embriogênese somática em genótipos de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) a partir de explantes foliares. In: : CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS, BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Biodiesel:** evolução tecnológica e qualidade: anais. Lavras: UFLA, 2006a. v. 1. p. 1-5, 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. de L. Protocolo para produção de material propagativo de batata em meio líquido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1035-1043, 2003.

PEREIRA, J. E. S.; LEDO, A. S. **Biotecnologia**: cultura de tecidos vegetais no Acre. 2002. 1 folder.

PEREIRA, J. E. S.; MACIEL, T.; PEREIRA, M. A. A. Respostas *in vitro* de brotações de pupunheira em diferentes concentrações de BAP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Tecnologia competitividade sustentabilidade**: anais. Florianópolis: SBF, 2004. 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. E. S.; MACIEL, T.; OLIVEIRA, R. Embriogênese somática em pupunheira: alternativa para a multiplicação vegetativa de materiais selecionados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 2005, Gramado. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa Trigo: SBMP, 2005. 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. E. S; MACIEL, T. M. S.; COSTA, F. H. da S.; PEREIRA, M. A. A. Germinação *in vitro* de embriões zigóticos de murmuru (*Astrocaryum ulei*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 251-256, 2006.

PEREIRA, M. A. A.; PEREIRA, J. E. S.; COSTA, F. H. S.; MACIEL, T. M. da S. Influência do ágar e amido de mandioca como solidificantes do meio no estabelecimento *in vitro* de abacaxizeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. **Anais**.... Florianópolis: SBF, 2004. 1 CD-ROM.

PICCIONI, E. Plantlets from encapsulated micropropagated buds of M.26 apple rootstock. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 47, p. 225-260, 1997.

PICCIONI, E.; STANDARDI, A. Encapsulation of micropropagated buds of six wood species. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 42, p. 221-226, 1995.

PIERIK, R. L. M. Produccion de plantas libres de enfermedades. In: PIERIK, R. L. M. (Ed.) **Cultivo *in vitro* de las plantas superiores.** Madrid: Ediciones Mundi-Pronsa, 1990. p. 169-180.

PRAXEDES, S. C.; SILVA JUNIOR, A. F. da; FIGUEIREDO, F. L. B.; FIGUEIREDO, M. de L.; CÂMARA, F. A. A.; OLIVEIRA, O. F. de. Estiolamento *in vitro* do abacaxizeiro pérola em presença de ANA e AIA [Pérola pineapple etiolation in presence of ANA and AIA]. **Caatinga**, Mossoró, v. 14, n. 1/2, p. 13-15, 2001.

RAO, P. S.; GANAPATHI, T. R.; SUPRASANNA, P.; BAPAT, V. A. Encapsulated shoot tips of banana: a new propagation and delivery systems. **InfoMusa**, v. 2, p. 4-5, 1993.

RAGHAVAN, V. One hundred years of zygotic embryo culture investigations. **In Vitro Cellular Development Biology**, v. 39, p. 437-442, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.

RECH FILHO, A. **Biorreatores de imersão temporária e unidades encapsuláveis como ferramentas na consolidação de protocolos de micropropagação de bromélias.** 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RIBEIRO, L. de S.; PASQUAL, M.; MACIEL, A. L. de R.; CHAGAS, E. A.; DUTRA, L. F. Desenvolvimento *in vitro* de embriões zigóticos de *Coffea arabica*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1479-1483, 2003. Edição Especial.

RIVAL, A.; BERTRAND, L.; BEULÉ, T.; COMBES, C.; TROUSLOT, P.; LASHERMES, P. Suitability of RAPD analysis for the detection of somaclonal variants in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Plant Breeding**, v. 117, 73-76, 1998.

ROCHA, H. S. **Luz e sacarose na micropropagação da bananeira "Prata Anã": alterações morfoanatômicas**. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROH, M. S.; GRIESBACH, R. J.; LAWSON, R. H.; GROSS, K. C. Production and identification of interspecific hybrids of *Lilium longiflorum* and *L. elegans*. **Acta Horticulturae**, n. 414, p. 93-97, 1996.

SÁ, M. E. L. de; CANÇADO, G. M. de A.; SOUZA, C. M. de. Cultivo de plantas *in vitro* e suas aplicações. In: Biotecnologia. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 204, p. 116-123, 2000.

SANDOVAL, E. Y.; GUERRA, M. P. Encapsulamento de microbrotos de bananeira cv. Grand Naine. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém, PA. **Os novos desafios da fruticultura brasileira**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 1 CD-ROM.

SILVA, A. B. **Biorreator e luz natural na micropropagação do abacaxizeiro.** 2006. 132 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, S. de O.; GASPAROTTO, L.; MATOS, A. P. de; CORDEIRO, Z. J. M.; FERREIRA, C. F.; RAMOS, M. M.; JESUS, O. N. de. **Programa de melhoramento de bananeira no Brasil - resultados recentes.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 1 CD-ROM. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 123).

SILVA, V. dos S. **Regeneração *in vitro* de embriões de *Cocos nucifera* L.** 2002. 78 f. Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUZA, F. V. D.; CABRAL, J. R. S.; REINHARDT, D. H.; SOARES, T. L.; CARDOSO, J. L.; BENJAMIN, D. A. Slow-Growth Conditions for the In Vitro Conservation of Pineapple Germplasm. **Acta Horticulturae**, v. 702, 2006.

SOUZA, F. V. D. **Multiplicação *in vitro* da bananeira triplóide (AAA) 'Caipira' e instabilidade mitótica das plantas produzidas**. 1994. 73 f. Dissertação, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

STANDARDI, A.; PICCIONI, E. Recent perspectives on synthetic seed technology using nonembryogenic in vitro-derived explants. **Internacional Journal of Plant Science**, v. 159, n. 6, p. 968-978, 1998.

STROSSE H.; DOMERGUE, R.; PANIS, B.; ESCALANT, J. V.; CÔTE, F. Banana and plantain embryogenic cell suspensions. VÉZINA, A.; PICQ, C. (Ed.). **Banana and plantain embryogenic cell suspensions.** Montpellier, França: Inibap, 2003. 31 p. il. (Inibap. Technical Guidelines, 8).

TOMBOLATO, A. F. C.; COSTA, A. M. M. **Micropropagação de plantas ornamentais**. Campinas: IAC, 1998. 72 p. (IAC, Boletim Técnico, 174).

THOMAS, P., RAVINDRA, M. B. Shoot tip culture in mango: influence of medium, genotype, explant factors, season and decontamination treatments on phenolic exudation, explant survival and axemic culture establishment. **Journal of Horticulture Science,** Bangalore, v. 72, n. 5, p. 713-722, 1997.

TULMANN-NETO, A.; MENDES, B. M. J.; ANDO, A. Indução e uso de mutação "in vitro". In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. **Técnicas e aplicações de cultura de tecidos de plantas**. Brasília, DF: ABCTP: EMBRAPA-CNPH, 1990. p. 341-378.

VESCO, L. L. D.; PESCADOR, R.; BELO, A.; FEUSER, S.; OLIVEIRA, E. N. de; BRANCHER, A.; ZAFFARI, G. R. NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Qualidade genotípica de mudas e performance a campo de plantas micropropagadas de abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 80-85, 2000.

VIEIRA, M. L. C. Conservação de germoplasma *in vitro*. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, ano 3, n. 14, p. 18-20, 2000.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 20, n. 1, p. 9-16, 1996.

WILLIAMS, E. S.; MAHESWARAN, B. Somatic embryogenesis: factors influencing coordinated behavior of cells as an embryogenic group. **Annals of Botany**, v. 57, p. 443-462, 1986.

CAPÍTULO 14

Micropropagação de Bananeira Visando à Produção Massal de Mudas de Elevado Padrão Genético e Fitossanitário

Jonny Everson Scherwinski-Pereira
Frederico Henrique da Silva Costa
Janiffe Peres de Oliveira

1. Introdução

O cultivo da bananeira é uma importante atividade econômica e social no mundo, sendo uma das culturas de maior produção entre as fruteiras tropicais e uma fonte contínua de alimento e renda aos produtores. No Brasil, seu cultivo estende-se da região Norte ao Sul do País (SILVA et al., 2003; DONATO et al., 2006).

De modo semelhante a muitas espécies cultivadas, a bananeira é afetada por diversos problemas fitossanitários, sendo um dos mais graves a sigatoka-negra, causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, (SILVA et al., 2003). Nas regiões de ocorrência, essa doença tem reduzido significativamente a produção das cultivares Prata, Prata-Anã, Nanicão e Grande Naine, atualmente as mais difundidas e plantadas. Como conseqüência, programas de melhoramento genético têm sido intensificados, a exemplo do existente no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, CNPMF/ Embrapa, localizado em Cruz das Almas, BA, cujos objetivos são obter e introduzir genótipos de bananeira mais produtivos, com frutos de boa qualidade e resistentes às principais pragas da cultura.

Contudo, a maioria das cultivares de bananeira utilizada comercialmente é triplóide e, em menor proporção tetraplóide, caracterizada por ser parcial ou totalmente estéril (CROUCH et al., 1998). Por esse motivo, a forma de propagação é assexuada, utilizando-se tradicionalmente as brotações laterais (perfilhos) desenvolvidas no rizoma da planta-mãe. Todavia, a utilização de mudas provenientes da propagação convencional constitui um dos aspectos que limitam a expansão desta cultura, especialmente pela disseminação de pragas às novas áreas de cultivo (ROES et al., 2005), dificultando o desenvolvimento e posterior produção das plantas. Além disso, a obtenção de mudas a partir

da separação dos brotos existentes na planta-mãe possibilita baixo número de plantas, com taxa de multiplicação entre 3 e 10 perfilhos por matriz/ciclo (VUYLSTEKE; DE LANGHE, 1985; SOUZA et al., 1997), dependendo da cultivar e das condições de manejo da cultura.

Estas limitações conduziram ao desenvolvimento de técnicas mais eficientes de mutiplicação como a micropropagação de ápices caulinares e meristemas que, atualmente, constitui-se no principal método de produção de mudas certificadas, validação e distribuição de novos genótipos lançados pelos programas de melhoramento genético. Isso porque o uso da técnica de propagação in vitro permite a produção massal de propágulos com elevado padrão genético e fitossanitário, em espaço físico e tempo reduzido, de forma contínua, além de facilitar o transporte das mudas a longas distâncias e os tratos culturais no campo.

Diante disso e devido à pouca disponibilidade de literatura atualizada sobre a micropropagação de bananeiras, este capítulo objetiva abordar aspectos e procedimentos básicos aplicados à produção de material propagativo com elevado padrão genético e sanitário.

2. Micropropagação de Bananeira

As primeiras aplicações da micropropagação em espécies do gênero *Musa* datam da década de 1960. Por conseguinte, desde 1985 mudas de bananeira têm sido produzidas e comercializadas utilizando esta tecnologia, constituindo nos dias de hoje o principal método de obtenção de propágulos com alta pureza genética e fitossanitária, com aplicação comercial em vários países (GÜBBÜK; PEKMEZCI, 2004; ROCHA, 2005).

No Brasil, o uso deste tipo de material propagativo para implantação de novas áreas de cultivo tem apresentado crescimento significativo nos últimos 10 anos, principalmente por produtores mais tecnificados. Tal fato deve-se principalmente ao aumento da ocorrência de pragas importantes na cultura da bananeira e pela possibilidade de disseminação destas por métodos convencionais de propagação. Aliadas a estes aspectos, têm-se as exigências de órgãos de fiscalização quanto ao sistema de produção de mudas certificadas (lei de sementes e mudas).

Em geral, a propagação in vitro ou micropropagação de bananeiras consiste basicamente em isolar, estabelecer e multiplicar ápices caulinares[1], oriundos de brotações laterais de plantas matrizes vigorosas e produtivas, sob condições de total assepsia, em meio de cultura artificial e sob condições controladas de luminosidade e temperatura. Para isso, o processo é constituído essencialmente por cinco fases distintas, porém dependentes: a) seleção de plantas matrizes e coleta de material vegetal; b) estabelecimento in vitro de culturas assépticas; c) multiplicação/proliferação de brotos; d) alongamento/enraizamento; e) aclimatização (Fig. 1).

O princípio de regenerar novas plantas a partir de um único propágulo se baseia na ativação do crescimento das gemas axilares presentes na inserção

[1]Em bananeira, ápice caulinar refere-se a meristema envolto por alguns primórdios foliares e contendo pequeno segmento de rizoma.

das folhas na base do rizoma, a partir de um balanço hormonal (citocinina/ auxina) equilibrado e previamente definido para cada cultivar, uma vez que cada cultivar difere geneticamente entre si e pode apresentar resultados diferenciados, mesmo sob a mesma condição de cultivo.

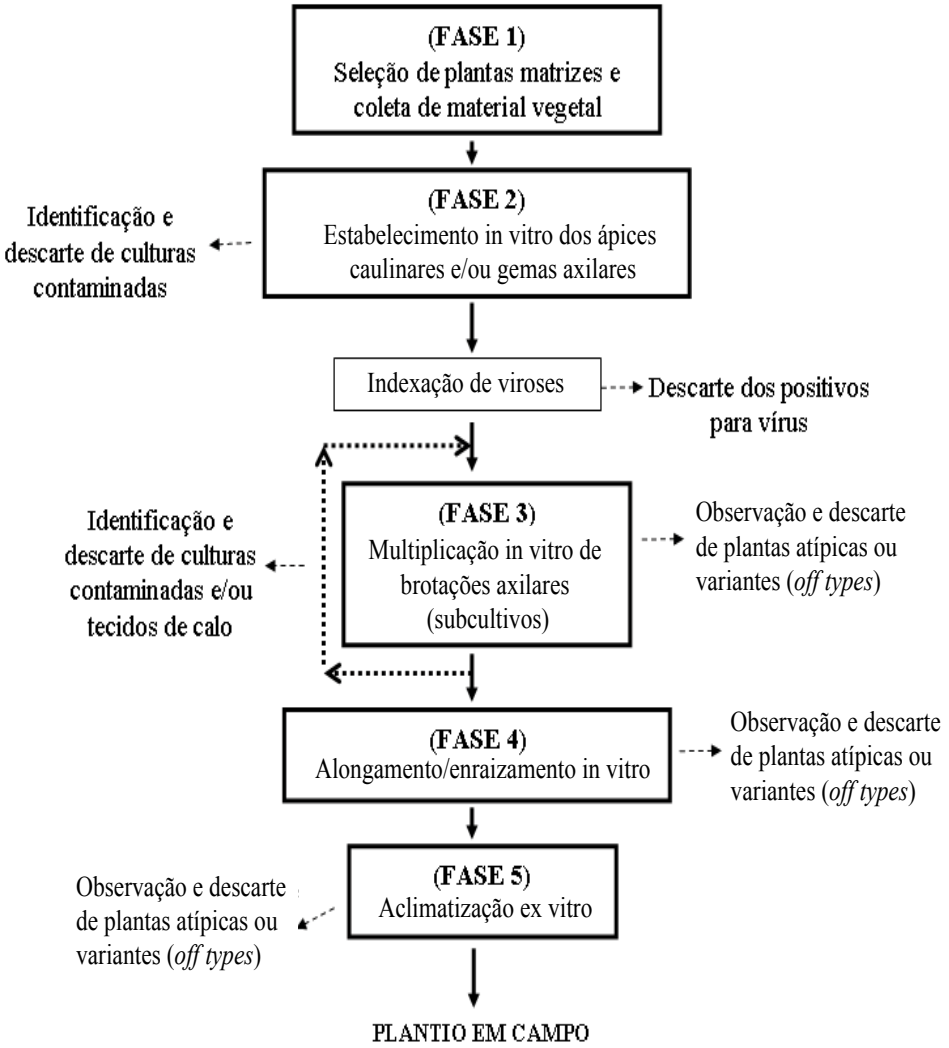


Fig. 1. Diagrama esquemático do processo de micropropagação para produção massal de mudas de bananeiras de qualidade genética e sanitária.

O êxito no processo de micropropagação depende basicamente de alguns fatores, dentre os quais podem ser citados: a condição genética e sanitária do material vegetal fonte de explantes (matrizes), a constituição dos meios de cultura e as condições do ambiente de cultivo in vitro e ex vitro (Fig. 2).

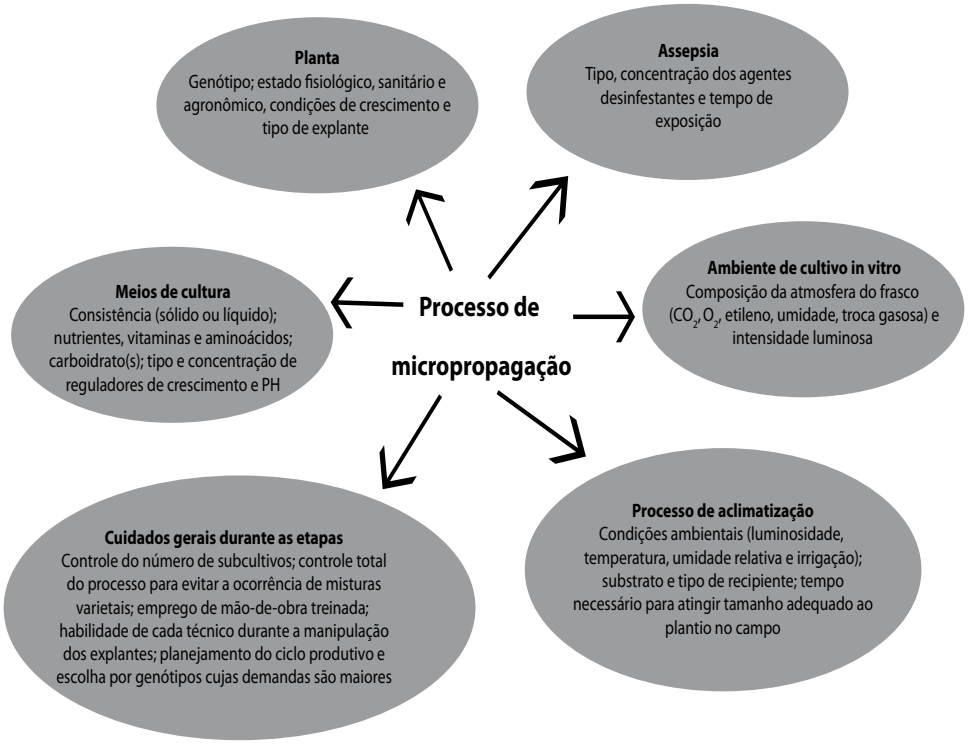


Fig. 2. Fatores envolvidos no controle da morfogênese in vitro no processo de micropropagação.

2.1. Seleção de Plantas Matrizes e Coleta de Material Vegetal

2.1.1. Seleção de Plantas Matrizes

Constitui-se na primeira e uma das mais importantes etapas da produção massal de mudas micropropagadas, uma vez que esta tecnologia preserva as características das plantas matrizes. Além da escolha correta do genótipo a ser multiplicado, é nessa etapa que se deve considerar o fato das plantas matrizes estarem expostas a condições ambientais naturais e, portanto, sujeitas aos mais diversos tipos de estresse, bióticos e/ou abióticos. Assim, preferencialmente o matrizeiro deve apresentar plantas em excelente estado fisiológico, nutricional e sanitário.

Uma planta sob estresse pode apresentar quantidades elevadas de inibidores de crescimento, como o ácido abscísico (ABA), influenciando sobremaneira as etapas posteriores de multiplicação in vitro. Por isso, o material que servirá como fonte de explantes é geralmente mantido bem nutrido em bancos ativos de germoplasma (BAG), no caso de centros de pesquisa (Fig. 3a e Fig. 3b), jardins clonais ou até mesmo em estufas (biofábricas, por exemplo) (Fig. 3c e Fig. 3d).

Fotos: a, b (autores); c, d (Empresa de Biotecnologia Vegetal)

Fig. 3. Banco ativo de germoplasma (BAG) (a, b) e estufa (c, d) com plantas matrizes de bananeira.

2.1.2. Coleta de Material Vegetal/Mudas para Obtenção dos Explantes

Entende-se por explante qualquer fragmento de tecido ou órgão oriundo de partes vegetativas ou reprodutivas de uma planta (chamada matriz), o qual é utilizado como material vegetal para iniciar o cultivo in vitro.

A princípio, qualquer tipo de explante pode ser empregado para iniciar a propagação in vitro de determinada espécie. Porém, na prática utilizam-se explantes contendo maior proporção de tecido meristemático, o que ocorre principalmente em tecidos e plantas mais novas. Assim, o estabelecimento in vitro destes explantes possibilitará a formação de uma planta completa, requerendo para isso apenas alongamento e diferenciação radicular (JUNGHANS; SANTOS-SEREJO, 2006).

Várias fontes de explantes têm sido empregadas para a micropropagação de bananeira, tais como: ápices caulinares obtidos de brotações laterais (axilares) da planta matriz adulta (mudas tipo chifre, chifrinho, etc.), gemas laterais e ápices florais oriundos do "coração" da bananeira (inflorescência masculina) retirado do cacho (Fig. 4). No entanto, os primeiros tipos são os

mais utilizados e sua coleta deve ser realizada de preferência no mesmo dia do estabelecimento in vitro para evitar a excessiva exposição aos fatores do ambiente, como contaminação e desidratação (SOUZA et al., 1997). Nesta fase, deve-se considerar também a estação do ano, a qual pode interferir não apenas nas taxas de contaminação do material, mas também nos níveis hormonais e concentração de polifenóis das plantas. Para isso, um correto estudo sobre a época do ano mais favorável pode possibilitar o planejamento da coleta do material em campo, facilitando sobremaneira a organização das etapas do cultivo e da mão-de-obra no laboratório.

Fotos: Jonny Everson Scherwinski-Pereira

Fig. 4. Matriz de bananeira evidenciando as brotações laterais (mudas) em diferentes estágios de desenvolvimento (a); inflorescência masculina (coração) da bananeira aderida ao cacho (b) (seta); aspectos de mudas retiradas do campo e reduzidas, podendo ser utilizadas como fontes iniciais de explantes para a micropropagação (c, d) (seta).

2.2. Estabelecimento in Vitro: Assepsia do Material Vegetal, Extração dos Ápices Caulinares e Transferência para Meio de Cultura

Diversas metodologias de desinfestação têm sido empregadas visando obter material vegetal descontaminado in vitro para servir como fonte inicial de explantes sem, todavia, prejudicar o posterior desenvolvimento in vitro ou mesmo conduzir o explante à morte. Para isso, várias substâncias com ação germicida são utilizadas, variando quanto à concentração e tempo de exposição do material vegetal, destacando-se o álcool comercial (92,8°GL), hipoclorito de sódio (NaOCl) (água sanitária comercial) ou de cálcio (P.A. ou utilizado para limpeza de piscinas). Normalmente, gotas de algum espalhante adesivo (detergente neutro ou Tween-20) são adicionadas ao hipoclorito para quebrar a tensão superficial da solução e facilitar o contato desta com o explante. Por fim, visando retirar o excesso de produto, são feitas geralmente de três a cinco lavagens dos explantes em água destilada e autoclavada. Em casos extremos como, por exemplo, material vegetal que apresente grande quantidade de terra aderida e raízes, podem-se retirar as raízes com auxílio de facas e realizar uma pré-limpeza com lavagem em água corrente e detergente comercial.

Vale ressaltar que para cada condição (época de coleta, estado sanitário das plantas matrizes, tamanho dos explantes, etc.) adaptações no processo de desinfestação podem ser necessárias, seja pela exclusão ou inclusão de alguma(s) outra(s) substância(s) ou adequações quanto à sua concentração e tempo de exposição (imersão). Nesse sentido, o protocolo descrito a seguir tem sido utilizado comercialmente com sucesso.

Em escala comercial, a assepsia do material vegetal de bananeira tem início a partir de uma limpeza mecânica das mudas (escalpelamento), removendo-se parte do rizoma e das bainhas foliares (pseudocaule), ainda em ambiente externo. Para isso, devem-se realizar cortes longitudinais e transversais até que se obtenham explantes com dimensões de aproximadamente 10 cm^3. Estes são então lavados com detergente e enxaguados em água, sendo submetidos a uma primeira desinfestação em hipoclorito de sódio 2,5% (v/v) (água sanitária comercial) durante 30 minutos e reduzidos novamente até dimensões aproximadas de 5 cm^3. Posteriormente, ainda em ambiente externo, uma segunda desinfestação é realizada utilizando-se hipoclorito de cálcio 10% (p/v) ou hipoclorito de sódio 1,25%, durante 20 minutos. Em seguida, os explantes são novamente reduzidos até 2,5 cm^3, quando então são levados para câmara de fluxo laminar e desinfestados com hipoclorito de cálcio 5% (p/v) ou hipoclorito de sódio 1,25% (v/v), durante 15 minutos (Fig. 5a e Fig. 5b), e lavados por três vezes em água destilada e autoclavada. Uma vez desinfestados, os explantes são dispostos individualmente sobre papel de filtro (em placas de Petri) ou sob placas de alumínio (estéreis) e com auxílio de pinças e bisturis (Fig. 5c e Fig. 5d) sofrem nova redução (1 cm^3), resultando em um ápice caulinar constituído de alguns primórdios foliares envolvendo o meristema e um pequeno segmento de rizoma (Fig. 5e). Os ápices caulinares

extraídos são transferidos preferencialmente para tubos de ensaio contendo meio de cultura semi-sólido (previamente preparado e autoclavado) (Fig. 5e) e fechados com tampas de polietileno, selados com filme de PVC e mantidos em sala de crescimento.

Caso se observe acentuado escurecimento (oxidação) causado pela liberação e acúmulo de fenóis, os explantes devem permanecer no escuro durante as duas primeiras semanas ou ser submetidos a um subcultivo para novo meio de cultura. Esta transferência inicial para meio de cultivo, visando à obtenção de culturas assépticas, é conhecida como estabelecimento in vitro ou subcultivo zero.

Fotos: a, b, c (autores); d (Hermínio Souza Rocha); e (Empresa de Biotecnologia Vegetal)

Fig. 5. Última etapa da desinfestação do material vegetal de bananeira e obtenção de ápices caulinares em câmara de fluxo laminar: (a, b) desinfestação dos explantes (segmentos de pseudocaule e rizoma); (c, d) explantes sendo reduzidos (retirada das bainhas foliares e parte do rizoma); (e) ápice caulinar estabelecido em meio MS contendo carvão ativado.

2.3. Indexação de Vírus

Geralmente, durante o estabelecimento e multiplicação de bananeira in vitro, a presença de microrganismos nos explantes pode ser detectada facilmente pelo crescimento destes em meio de cultura, fato normalmente conhecido na cultura de tecidos de plantas como contaminação. No entanto, embora a técnica permita garantir a sanidade do material quanto a fungos e bactérias, isso não acontece com os vírus, uma vez que estes organismos só se expressam no interior de células do hospedeiro sob determinadas condições

climáticas. Assim, plantas positivas para um determinado vírus podem ser assintomáticas em um época específica do ano.

Assim como para as outras culturas, doenças causadas por vírus em bananeira podem ser transmitidas por insetos vetores e através da propagação assexuada, ameaçando a produção em áreas endêmicas e também naquelas livres de vírus, mas que recebem novas mudas (SHARMA et al., 2000; FIGUEIREDO et al., 2007). No Brasil, apenas o *Banana streak virus* (BSV) e o *Cucumber mosaic virus* (CMV) foram identificados em bananeiras até o presente momento (MEISSNER FILHO et al., 2000), os quais podem ser verificados em infecções mistas ou simples, dificultando a detecção visual dos sintomas (FIGUEIREDO et al., 2007).

No caso do BSV, existe uma faixa restrita de espécies hospedeiras e as plantas infectadas podem apresentar sintomas de estrias foliares, lesões foliares cloróticas, mosaico, má formação dos frutos e diminuição no tamanho do cacho. Já o CMV possui distribuição cosmopolita, com diferentes graus de virulência, podendo as plantas de bananeiras enfermas apresentarem necrose vascular, espessamento intermitente da nervura, separação da bainha foliar externa do pseudocaule, clorose, mosaico, nanismo, má formação dos frutos e, às vezes, morte do vegetal (FIGUEIREDO et al., 2007).

Em razão destes problemas, o comércio de plantas de bananeira micropropagadas tem se estabelecido visando à limpeza clonal das cultivares de maior interesse econômico (SILVA NETO, 2003). Entretanto, para comercializar este tipo de muda é necessário que os laboratórios realizem o processo de indexação de vírus, que consiste na realização de testes sorológicos, biológicos ou moleculares com o objetivo de certificar o material vegetal em uso quanto à infecção por vírus.

Em bananeira, esta indexação tem sido imprescindível, sendo feita em todos os ápices caulinares estabelecidos in vitro, em laboratório de indexação credenciado pelo Ministério da Agricultura. A indexação quando realizada durante etapas tardias do cultivo, como na fase de multiplicação ou mesmo de aclimatização, por amostragem dos lotes produzidos, apresenta risco em potencial. Isso significa que se os explantes forem positivos para o vírus, todo o material deve ser eliminado, por não se saber a origem dos explantes dos quais surgiram aquelas novas plantas.

De modo geral, a detecção de vírus em bananeiras vem sendo realizada por meio da sintomatologia (inspeção visual), indexação biológica (uso de plantas indicadoras), por meio de testes sorológicos (DAS-ELISA – Double Antibody Sandwich-Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) e moleculares (PCR – Polymerase Chain Reaction) ou ainda por microscopia eletrônica de transmissão, para observação das partículas virais em extratos. Destes, o mais utilizado em escala comercial em bananeira é o DAS-ELISA, para testes de indexação do vírus CMV. Entretanto, de acordo com Lockhart e Olszewski (1993) e Figueiredo et al. (2007), determinadas estirpes do CMV não são detectadas por testes sorológicos. Ademais, o alto grau de heterogeneidade genômica e sorológica apresentado pelo BSV impõe uma séria restrição quanto ao uso de

técnicas sorológicas e moleculares para a sua detecção em germoplasma de *Musa*.

Nesse sentido, Figueiredo et al. (2007) desenvolveram um protocolo de PCR *multiplex* para detectar simultaneamente o BSV e CMV em bananeiras micropropagadas e cultivadas no Brasil. Para isso, os autores utilizaram as cultivares Pacovan (AAB) e Prata Graúda (AAAB), e como controle positivo a 'Prata Anã' (AAB). Com a metodologia empregada foi possível diagnosticar a presença de ambos os vírus, de modo que em todas as amostras de 'Pacovan' (AAB) e do controle positivo houve infecção mista do BSV com o CMV.

Assim, as biofábricas que utilizarem a tecnologia in vitro para produzir e comercializar mudas de bananeira devem possuir registro em órgão de fiscalização agropecuária para um acompanhamento sistemático da produção e o controle oficial (indexação) para o vírus. Como exemplos, citam-se a Multiplanta – Tecnologia Vegetal (EMPRESA DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL, 2007) e o Instituto Biofábrica de Cacau em Ilhéus – BA, os quais realizam a indexação das mudas de bananeira no Centro de Indexação de Vírus de Minas Gerais[2], situado no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, MG.

2.4. Multiplicação/Proliferação de Brotos

Nesta fase, o objetivo principal é obter o máximo de novas brotações de bananeiras a partir dos explantes estabelecidos inicialmente. Portanto, decorrido o período de estabelecimento in vitro (30 a 45 dias), os ápices caulinares, que não possuem contaminação visível e cujo resultado do teste para vírus tenha sido negativo, são utilizados para a indução de novas brotações axilares. Para isso, primeiramente realiza-se uma limpeza das partes oxidadas e, posteriormente, um seccionamento transversal da parte superior, para eliminar o excesso de tecido foliar, seguido de um corte longitudinal dos ápices, com o objetivo de quebrar a dominância da gema apical e forçar o desenvolvimento de novas brotações laterais. As partes resultantes são então transferidas para novo meio de cultura, suplementado com regulador de crescimento, geralmente citocininas, e mantidas em sala de crescimento até se desenvolverem (Fig. 6a), fato que acontece normalmente em quatro semanas.

Após algumas semanas, os explantes desenvolvidos (Fig. 6b e Fig.6c) são submetidos a uma limpeza dos tecidos oxidados e cortes da parte aérea, sendo transferidos para novo meio de cultura até a emissão de novas brotações. Subseqüentemente, as múltiplas brotações axilares formadas sofrem novamente a retirada do excesso de tecidos oxidados, corte da parte aérea, individualização e subdivisão longitudinal dos brotos maiores e transferência para novo meio, até que os mesmos procedimentos sejam novamente demandados (Fig. 7).

Essas sucessivas transferências, conhecidas como subcultivos ou repicagens, são espassadas entre si, em média de quatro a cinco semanas, e devem ser realizadas até no máximo seis vezes para evitar o aparecimento de variantes somaclonais. Os subcultivos são também necessários devido ao

[2]Credenciado pelo Registro Nacional de Sementes e Mudas (Renasem), com inscrição e credenciamento de número 01311/2006.

esgotamento dos constituintes do meio de cultura (carboidrato, sais minerais e vitaminas), além do acúmulo de compostos como o etileno e alguns polifenóis que podem ser deletérios à cultura.

Fotos: a (Empresa de Biotecnologia Vegetal); b (Hermínio S. Rocha); c (Jonny E. Scherwinski-Pereira)

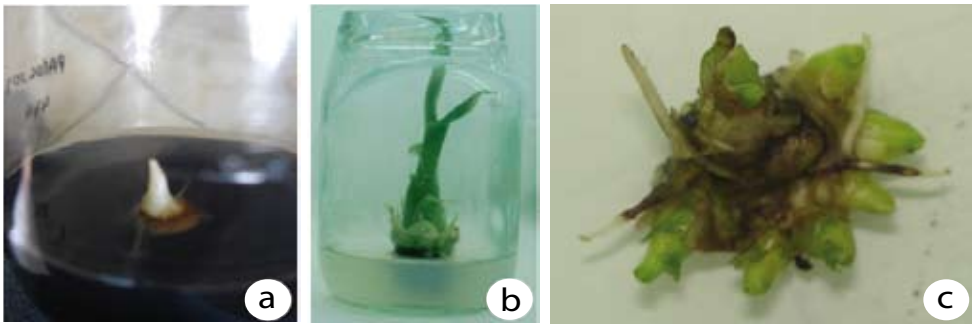


Fig. 6. Aspecto geral de ápice caulinar estabelecido in vitro (a), após 30 a 40 dias de desenvolvimento (b) e após corte longitudinal (ver detalhes das multibrotações formadas) (c).

Fotos: Empresa de Biotecnologia Vegetal

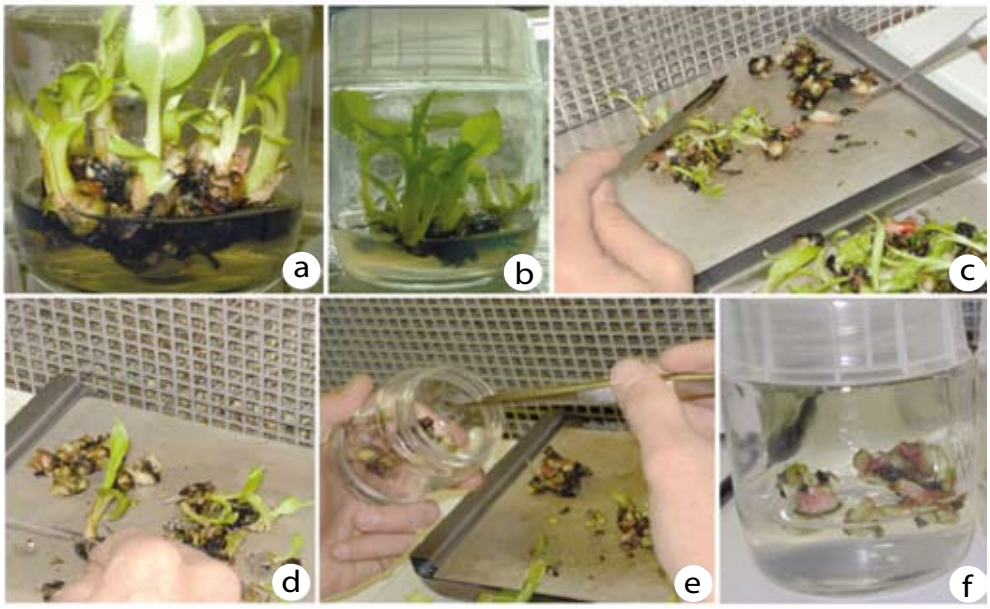


Fig. 7. Aspecto geral da fase de multiplicação (repicagens): (a, b) explantes em multiplicação; (c, d) limpeza dos tecidos oxidados, corte da parte aérea, incisões e subdivisão dos explantes; (e, f) transferência dos explantes para restabelecer novos ciclos de multiplicação.

De modo geral, a indução de brotações ocorre após a primeira repicagem. No entanto, efetivamente, as maiores taxas de multiplicação são observadas entre o terceiro e o sexto subcultivo obtendo-se, normalmente, uma multiplicação em crescimento por progressão geométrica, de modo que a partir de um único ápice caulinar estabelecido in vitro é possível obter centenas de novas brotações, ao final de alguns meses, o que dependerá do protocolo,

habilidade dos operadores e do genótipo empregado. Em contraste, na fase de estabelecimento e subcultivo 1, verifica-se baixa ou nula indução de brotações, o que pode estar relacionado à adaptação do explante às condições de cultivo ou ainda aos maiores índices iniciais de oxidação do material estabelecido in vitro.

Um fator imprescindível nessa fase diz respeito à habilidade de cada técnico para extrair as bainhas foliares dos explantes e expor as gemas laterais (axilares), bem como realizar as incisões. Associada a estes procedimentos está a suplementação exógena do meio de cultura com citocininas, geralmente o N^6-benzilaminopurina (BAP). O BAP é um regulador de crescimento do grupo das citocininas que promove a indução de múltiplas brotações pela quebra da dominância da gema apical. Atualmente é a citocinina mais utilizada para a multiplicação da bananeira in vitro, porém a concentração "ideal" é genótipo-dependente, sendo as maiores taxas de multiplicação obtidas com concentrações entre 2,5 e 5 mg · L^{-1}. Todavia, outras citocininas têm sido empregadas com certo êxito para micropropagar diversos genótipos de *Musa* spp., incluindo o isopenteniladenina (2ip), zeatina (ZN), cinetina (KIN) e mais recentemente o tidiazuron (TDZ), este último em concentrações bem inferiores àquelas do BAP (ARINAITWE et al., 2000; GÜBBÜK; PEKMEZCI, 2004; OLIVEIRA et al., 2006).

Vários têm sido os trabalhos reportados na literatura (HIRIMBUREGAMA; GAMAGE, 1997; OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2001), demonstrando que diferenças entre genótipos em relação à capacidade proliferativa (taxa de multiplicação) podem ocorrer até mesmo entre clones (OLIVEIRA et al., 2006). Da mesma forma, estudo conduzido por Debiasi et al. (2002), com o objetivo de correlacionar diferentes graus de dominância apical in vivo com a capacidade proliferativa in vitro da bananeira, nas cultivares Nanicão (AAA) e Grande Naine (AAA), evidenciou uma influência significativa deste fator com o comportamento in vitro dos explantes. De acordo com estes autores, a utilização de mudas oriundas de plantas matrizes com baixo grau de dominância apical in vivo proporcionou a maior taxa média proliferativa (7,51) para a cv. Grande Naine, enquanto aquelas provenientes de bananeira com grau médio de dominância apical in vivo resultaram na maior taxa média proliferativa (10,96) para a cv. Nanicão.

2.5. Alongamento/Enraizamento dos Brotos

Esta fase é importante, pois de modo semelhante ao que se verifica em condições de campo as raízes podem estimular o crescimento das culturas in vitro e ex vitro (processo de aclimatização). Dessa forma, a obtenção de um sistema radicular bem formado e funcional irá promover a sobrevivência e o crescimento ex vitro das plantas. Entretanto, na literatura, encontram-se ainda muitas discordâncias sobre a existência ou não de conexão vascular entre as raízes formadas in vitro e a parte aérea (funcionalidade das raízes) (APTER et al., 1993a, b; DÍAZ-PEREZ et al., 1995; ROMANO; MARTINS-LOUÇÃO, 2003). Apesar do pouco entendimento no que diz respeito à qualidade das raízes

oriundas do cultivo in vitro, elas farão a fixação das plantas no substrato e serão responsáveis pela nutrição inicial das plantas sob condições ex vitro, até que novas raízes mais funcionais sejam formadas posteriormente.

Durante a fase de multiplicação, o uso freqüente de citocininas no meio de cultura, com o objetivo de incrementar as taxas de multiplicação, resulta muitas vezes em brotações de tamanho reduzido, com poucas raízes ou mesmo desprovidas dessas, devido ao efeito cumulativo do regulador de crescimento – habituação. Como conseqüência, uma fase intermediária de alongamento e/ou enraizamento é necessária e tem sido amplamente reportada na literatura. Neste caso, o meio geralmente é de consistência semi-sólida, podendo ser suplementado com auxinas exógenas como ácido naftalenoacético (ANA) e ácido indolbutírico (AIB) (MOLLA et al., 2004), embora pouco recomendados em razão de poderem causar variação somaclonal do material. Adicionalmente, outras substâncias que favoreçam a formação de raízes como o carvão ativado (GÜBBUK; PEKMEZCI, 2004; COSTA et al., 2006) e sulfato de adenina (MIYATA et al., 2006) podem ser utilizadas para o enraizamento/alongamento in vitro de bananeiras. Outros fatores como a redução das concentrações de sais do meio, o genótipo e a concentração de sacarose também devem ser considerados para melhorar o enraizamento.

Tem sido relatada a importância da adição de sacarose no meio de cultura, principalmente visando ao acúmulo de reservas nas plantas para suportar as condições de estresse na fase de aclimatização. Isso porque, quando transplantadas para condições de casa de vegetação ou viveiro, as plantas possuem apenas água e sais minerais para sustentarem seu crescimento imediato, necessitando assim de reservas, como o amido, na emissão de novas folhas e raízes (ARAGON et al., 2006), especialmente nas primeiras semanas após o transplantio para o substrato. Contudo, deve-se considerar que diferentes genótipos, sob várias condições de cultivo, poderão desenvolver-se de maneira distinta.

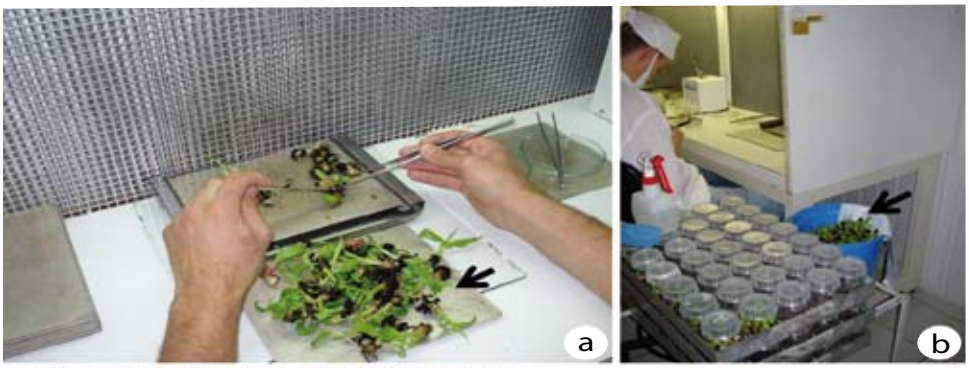
Nesse contexto, Costa et al. (2008), avaliando como a permanência de brotações de bananeira em meio de enraizamento influencia o crescimento in vitro e ex vitro das plantas, observaram que a fase de indução de raízes in vitro ocorreu até os 14 dias e, após esse período, houve apenas o crescimento em tamanho das raízes. Além disso, foi constatado que a sobrevivência das plantas em casa de vegetação atingiu 100% após 21 dias de enraizamento, havendo perdas apenas para as cultivares Preciosa (AAAB) aos 7 dias (20%) e Japira (AAAB) aos 7 (13%) e 14 dias (7%) de cultivo em meio de enraizamento, possivelmente por causa do reduzido desenvolvimento da parte aérea (muitas vezes apresentando apenas uma folha expandida) e rizoma pouco definido com fraca iniciação de primórdios radiculares, sugerindo baixa quantidade de reservas.

Dessa forma, pode-se afirmar que a fase de enraizamento in vitro em bananeira é necessária, principalmente se as brotações oriundas da etapa de multiplicação tiverem tamanho reduzido. Entretanto, pode-se otimizar o tempo de enraizamento in vitro sem, contudo, causar perdas significativas de plantas.

Como conseqüência, há a possibilidade de reduzir os gastos com energia e mão-de-obra, pois as culturas permaneceriam em laboratório por menor período de tempo.

Quanto ao uso de carvão ativado, estudos têm mostrado efeitos positivos desta substância sobre o enraizamento e vigor de brotações de bananeira (GÜBBÜK; PEKMEZCI, 2004; COSTA et al., 2006). No caso do enraizamento, esse efeito é atribuído ao fato de que o carvão simula a condição de escuro na qual as raízes normalmente se desenvolvem melhor, além de possuir efeito diluidor, retendo parte dos elementos que compõem o meio e adsorvendo compostos fenólicos inibidores do enraizamento.

Em contraste à realização de uma fase de enraizamento in vitro, existe a possibilidade ainda de que brotações bem desenvolvidas, já diferenciadas em plantas, possam ser diretamente removidas dos frascos durante os subcultivos, separadas das demais e submetidas à aclimatização. Tal fato vem sendo realizado comercialmente com sucesso e tem a vantagem de eliminar a fase de alongamento/enraizamento (Fig. 8). Fato semelhante é reportado por Oliveira e Silva (1997) com as cultivares Nanicão (AAA) e Grande Naine (AAA), em que o aumento para 45 dias no sexto subcultivo possibilitou a retirada direta de cerca de 35% do material para a casa de vegetação, sem passar pela fase de enraizamento. Ainda segundo esses autores, plantas que in vitro possuíam parte aérea alongada e rizoma definido tiveram 98% de pegamento na aclimatização, mesmo desprovidas de raízes, o que sugere a possibilidade de se induzir o enraizamento de bananeiras micropropagadas em substrato, desde que observadas as condições e os cuidados na aclimatização.



Fotos: Empresa de Biotecnologia Vegetal

Fig. 8. Plantas sendo retiradas diretamente da fase de multiplicação para aclimatização: a) separação das plantas maiores das demais brotações; b) plantas sendo colocadas em recipientes (seta) para posterior aclimatização.

Em relação à funcionalidade das raízes in vitro, observações anatômicas conduzidas por Costa (2007) mostraram existir conexão vascular em plantas de bananeira cultivadas em meio contendo ANA (1 mg · L^{-1}), sendo esta conexão mais acentuada em plantas aclimatizadas. Este resultado está de acordo com outros trabalhos citados na literatura, para os quais nenhuma limitação

do sistema radicular formado em meio de cultura foi verificada em relação à sobrevivência e performance ex vitro das mudas obtidas. De fato, se as raízes presentes nas plantas de bananeira micropropagadas não tivessem função alguma, haveria certamente elevadas perdas durante a fase de aclimatização.

2.6. Meio de Cultura e Condições de Cultivo

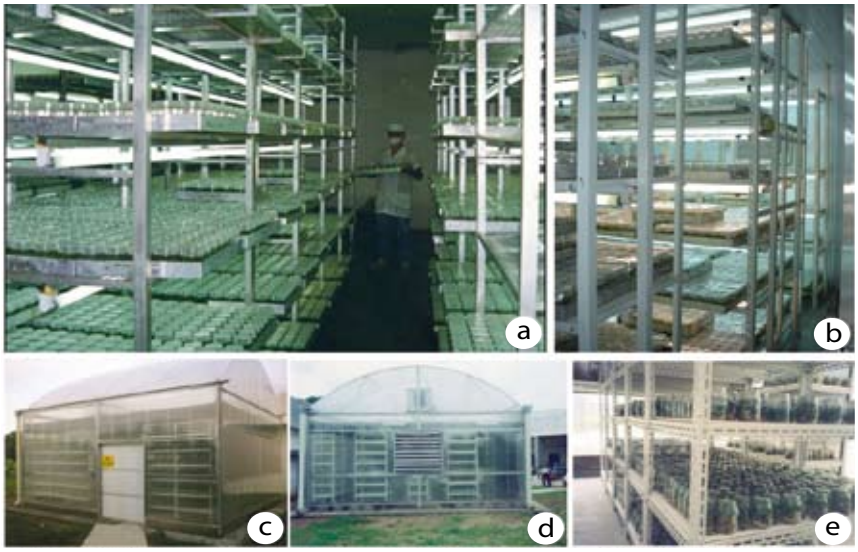
A escolha de um meio de cultura apropriado para cada espécie vegetal a ser micropropagada e sua adequação às diferentes fases de cultivo é condição básica para o desenvolvimento de protocolos bem sucedidos. Em geral, o meio de cultura é constituído basicamente por substâncias essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos explantes, a saber: água, macro e micronutrientes, aminoácidos, vitaminas, carboidrato(s), reguladores de crescimento[3], agentes geleficantes (ágar ou Phytagel), entre outras. Contudo, para uma melhor resposta morfogênica dos explantes (ápices caulinares, meristemas, brotações, etc.), o mais adequado é desenvolver um meio de cultura baseado nas exigências de cada espécie ou cultivar, tomando por base análises nutricionais do genótipo em questão.

Para a bananeira, vários são os meios de cultura, suas concentrações e as variações de seus componentes (SOUZA; GONÇALVES, 1996). Porém, o meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) é o mais utilizado, independente da fase de cultivo in vitro. Em geral, o que se observa freqüentemente é a adequação a cada fase do cultivo in vitro (estabelecimento, multiplicação ou enraizamento) da concentração de sais (principalmente macronutrientes), sacarose e utilização ou não de reguladores de crescimento (citocininas e/ou auxinas). No caso dos reguladores de crescimento, estes podem estar associados, variando na relação citocinina:auxina, dependendo da resposta morfogenética demandada. Quanto à consistência, a maioria dos protocolos tem utilizado meios semi-sólidos, sendo o uso de meio líquido condicionado à utilização de agitadores ou biorreatores. O pH do meio é normalmente ajustado para 5,8 $\pm$ 0,1, antes da adição do agente geleificante, sendo a autoclavagem realizada por 15-20 minutos a 121°C e 1,3 atm de pressão.

Quanto às condições de cultivo ou incubação, o padrão adotado tem sido o de salas de crescimento climatizadas, dotadas de iluminação artificial (fornecida por lâmpadas fluorescentes tubulares), com fotoperíodo de 16 horas e temperatura média de 25°C$\pm$2°C (Fig. 9a e Fig. 9b). Entretanto, podem ocorrer modificações no ambiente de cultivo, principalmente na fase de estabelecimento, na qual comumente se mantém os ápices caulinares no escuro por alguns dias, visando sobretudo reduzir os níveis de oxidação. Adicionalmente, alguns

[3]São análogos sintéticos dos hormônios vegetais. Têm a mesma função dos hormônios, porém são sintetizados em laboratório e não pela planta, além de ser requeridos em maiores quantidades para obter resposta semelhante (Termignoni, 2005). São exemplos, o N^6-benzilaminopurina (BAP) e Tidiazuron (TDZ) (grupo das citocininas); ácido indolbutírico (AIB) e ácido naftalenoacético (ANA) (grupo das auxinas).

trabalhos têm reportado à utilização da luz solar em salas de crescimento (Fig. 9c–e), seja na fase de multiplicação (KODYM; ZAPATA-ARIAS, 1999, 2001; SENDIN, 2001) ou enraizamento in vitro (ROCHA, 2005; COSTA, 2007), além do cultivo fotoautotrófico (NGUYEN; KOZAI, 2001).



Fotos: a, b (Empresa de Biotecnologia Vegetal); c, d, e (Hermínio Souza Rocha)

Fig. 9. Vista geral da sala de crescimento utilizada para a micropropagação de bananeiras: (a, b) sala de crescimento de luz artificial – Empresa de Biotecnologia Vegetal; (c, d, e) sala de crescimento de luz solar/natural – Companhia de Promoção Agrícola, biofábrica localizada junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, BA.

2.7. Contaminantes e Oxidação Fenólica in Vitro: Ocorrência e Estratégias de Controle

2.7.1. Contaminação

É principalmente na fase de estabelecimento que se devem detectar e descartar as culturas contaminadas. Todavia, dependendo do tipo de contaminante (exógenos ou endógenos) este procedimento também pode ser necessário em fases posteriores como a multiplicação decorrente de erros de manipulação. As contaminações por bactérias têm sido mais drásticas que por fungos por causar perdas danosas, como tempo e recursos financeiros ou genéticos pela eliminação de frascos contaminados e o risco de disseminação durante os subcultivos subseqüentes, inviabilizando assim o processo de micropropação. Nesse contexto, o uso de agentes geleificantes de boa qualidade como o Phytagel pode promover a rápida identificação e eliminação do material contaminado e com isso evitar a sua disseminação (OLIVEIRA; SILVA, 1997; PEREIRA et al., 2003).

De modo geral, as taxas e o tipo de contaminação na fase de estabelecimento são bastante variáveis e estão sob a influência de diversos fatores, tais como, a época de coleta dos explantes no campo, o estado sanitário das plantas matrizes, a correta execução do processo de assepsia e os agentes desinfestantes utilizados. No entanto, diversos trabalhos científicos têm reportado taxas de contaminação entre 0% e 60% durante a fase de estabelecimento, as quais tendem a se reduzir durante as fases subseqüentes. Geralmente, a predominância tem sido de bactérias que podem ser de diferentes espécies (OLIVEIRA et al., 2006).

Para a micropropagação de bananeiras, a ocorrência de contaminações tem sido considerada um problema em potencial, principalmente as bacterianas. Isso porque embora sejam feitas desinfestações superficiais antes do estabelecimento in vitro, bactérias podem ser observadas de 7 a 15 dias após as manipulações, havendo até mesmo relatos de morte dos explantes (HABIBA et al., 2002; PEREIRA et al., 2003).

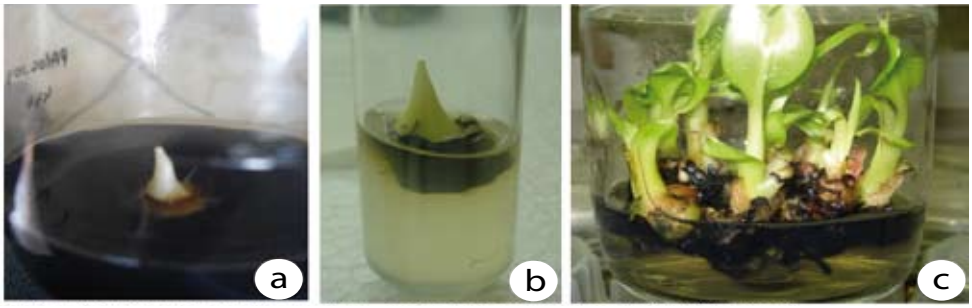
Avaliando protocolos de desinfestação em diferentes cultivares de bananeira, Nietsche et al. (2006) verificaram ao final da fase de estabelecimento, um total de 37,5% dos tubos contaminados para as cultivares avaliadas. As maiores porcentagens de contaminação ocorreram na 'Prata Anã' e 'SH3640', com 62,5% e 57,1%, respectivamente por bactérias do tipo Gram negativa, enquanto para a 'FHIA-18' grande parte das bactérias detectadas foi do tipo Gram positiva. De acordo com os autores, as bactérias Gram positivas são do tipo não-fitopatogênicas freqüentemente encontradas no sistema digestivo do próprio manipulador. Quanto aos protocolos utilizados, o tratamento dos explantes com solução de fungicida (Carbendazin 3,3%), álcool 92,8º GL e hipoclorito de sódio (2%) foi o mais eficaz para a desinfestação de todas as cultivares.

2.7.2. Oxidação por Compostos Fenólicos

Embora o processo de micropropagação seja bem estabelecido e proporcione êxito para a maioria dos genótipos comerciais de bananeira, ainda há fatores que limitam em parte esta técnica para alguns deles, sobretudo nas fases iniciais do cultivo in vitro. O principal deles é a ocorrência excessiva de oxidação por compostos fenólicos nas partes excisadas dos explantes, a qual interfere no desenvolvimento inicial destes, na taxa de multiplicação e, em casos extremos, pode levá-los à morte.

Tal oxidação é caracterizada pelo escurecimento dos tecidos excisados e do meio de cultivo (Fig. 10), ambos resultantes da liberação, acúmulo de polifenóis e produtos da oxidação, precursores da síntese de lignina, como melanina e suberina (ANDRADE et al., 2000; VAN WINKLE et al., 2003) e que obstruem o tecido oxidado. Além disso, a oxidação dos compostos fenólicos por polifenases pode produzir substâncias tóxicas que normalmente inibem o crescimento dos explantes (SATO et al., 2001). Sua ocorrência e intensidade estão associadas principalmente ao genótipo, especialmente constituídos por genomas 'B' (*Musa balbisiana*) (HIRIMBUREGAMA; GAMAGE, 1997), bem como às condições de cultivo (constituição do meio de cultura, presença de

luz na fase de estabelecimento, etc.). Em geral, os níveis mais acentuados de oxidação ocorrem na fase de estabelecimento, nos primeiros subcultivos e durante os dias iniciais de cada subcultivo, de modo que quanto maior a proporção de rizoma nos explantes mais acentuado pode ser o escurecimento causado por fenóis.



Fotos: a, c (Empresa de Biotecnologia Vegetal); b (autores)

Fig. 10. Aspecto geral dos ápices caulinares estabelecidos e culturas em fase de multiplicação, evidenciando a oxidação por fenóis: a) ápice caulinar em meio contendo carvão ativado; b) ápice caulinar em meio desprovido de carvão ativado; c) material em multiplicação.

Nesse sentido, estudo realizado por Hirimburegama e Gamage (1997), visando avaliar diferentes constituições genômicas sobre os níveis de oxidação fenólica in vitro de ápices caulinares de bananeira, reporta que embora todas as cultivares tenham apresentado escurecimento dos tecidos excisados, grandes variações foram observadas quanto à sua intensidade. De acordo com os autores, as cultivares contendo o genoma 'B' mostraram maior oxidação, superior a 75% da superfície dos explantes do grupo genômico BB e entre 50% e 65% para o grupo ABB, a qual ocorreu 2 dias após o estabelecimento in vitro e necessitou de limpeza dos tecidos escurecidos e rápida transferência dos explantes para novo meio. Por outro lado, genótipos apresentando pouco ou nenhum genoma 'B' (AAB, AAA, AAAA) tiveram menor índice de oxidação, inferior a 25% (AAA e AAAA) e entre 25% e 50% (AAB), a qual foi superada após duas limpezas sucessivas. Os autores observaram também que a ocorrência de elevada oxidação afetou diretamente o início das brotações axilares e também a taxa de multiplicação durante os subcultivos.

Algumas estratégias podem ser utilizadas com o propósito de reduzir os níveis de oxidação, entre elas: a suplementação do meio com substâncias antioxidantes (carvão ativado – Fig. 10, ácido ascórbico, entre outras), ou o pré-tratamento dos explantes com alguns destes antioxidantes antes do estabelecimento in vitro, manutenção das culturas no escuro por alguns dias após o estabelecimento dos ápices caulinares, transferências periódicas dos explantes para meio de cultura novo e/ou limpeza das partes (tecidos) fenolizadas (Fig. 11). Todavia, a adição ao meio de substâncias antioxidantes nem sempre tem mostrado melhor resultado (CAMOLESI et al., 2007). Para estes autores, o pré-tratamento dos ápices caulinares da cultivar de bananeira Maçã (AAB) em

solução de 0,25 g · L^{-1} de ácido cítrico e 0,75 g · L^{-1} de citrato de potássio por 90 minutos teve efeito antioxidante em pré-tratamento, ao passo que a adição dos antioxidantes ao meio de cultivo aumentou a oxidação e diminuiu o número de brotos emitidos nos primeiros subcultivos.

Fotos: Empresa de Biotecnologia Vegetal

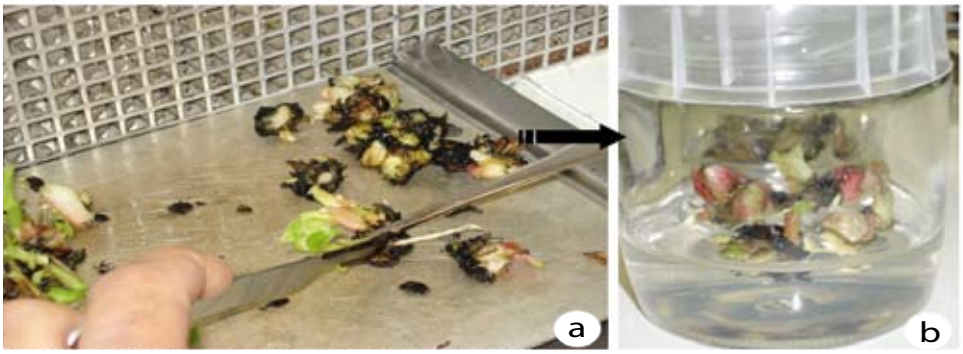


Fig. 11. Limpeza dos tecidos oxidados durante o processo de repicagem: a) retirada de partes oxidadas; b) restabelecimento dos explantes em novo meio.

2.8. Aclimatização

O sucesso final da micropropagação nas diversas espécies vegetais depende não apenas da correta condução das fases in vitro, mas sobretudo da capacidade das plantas produzidas em superar, sem grandes estresses, a sua transferência para condições in vivo (PEREIRA; FORTES, 2000; HAZARIKA, 2006). Isso porque o ambiente in vitro, no qual os explantes são cultivados, tem como principais características os baixos níveis de radiação, presença de carboidrato e nutrientes prontamente assimiláveis, condições assépticas e atmosfera no interior dos recipientes com alta umidade relativa e pouca ou nenhuma troca gasosa (ZACCHANI et al., 1997). Como conseqüência deste microambiente in vitro, as plantas desenvolvem características estruturais e fisiológicas pouco aptas às condições ex vitro (YOKOTA et al., 2007), a saber: baixa regulação da perda de água, ocasionada principalmente por pouca funcionalidade dos estômatos e camada de cera epicuticular pouco espessa e irregularmente distribuída (LAMHAMEDI et al., 2003), reduzido desenvolvimento e organização do mesófilo foliar, fraca conexão entre as raízes e a parte aérea (ROSS-KARSTEN et al., 1998; POSPÍSILOVÁ et al., 1999), entre outras.

Dessa forma, uma fase de aclimatização[4] (adaptação artificial) é geralmente requerida e considerada imprescindível com o objetivo de se evitar

[4]Alguns pesquisadores apresentam conceitos distintos com relação aos termos aclimatação e aclimatização. Segundo Preece e Sutter (1991), o termo aclimatação refere-se ao processo pelo qual as plantas ou outros organismos vivos ajustam-se ou acostumam-se a uma nova condição de clima ou situação, como resultado de um processo natural. Por outro lado, para George (1993) aclimatação é um processo regulado pela natureza, enquanto aclimatização é aquele controlado pelo homem. Portanto, para fins de micropropagação será adotado o termo aclimatização, como sendo o processo pelo qual as plantas cultivadas in vitro são adaptadas ao novo ambiente ex vitro (estufa, telado, etc.) de modo artificial, ou seja, com a interferência humana.

morte de plantas e favorecer o melhor desempenho das mudas ex vitro. É durante este período de adaptação que as modificações formadas em cultivo in vitro são corrigidas (MARIN, 2003), de modo que a planta passa do metabolismo heterotrófico para o autotrófico (ROCHA, 2005). Isto é possível porque o novo ambiente ex vitro possibilita a formação de folhas mais adaptadas e eficientes nos processos concernentes ao desenvolvimento vegetal (SANDOVAL et al., 1994), além de promover um sistema radicular mais funcional e eficiente e formação de uma densa camada de cera epicuticular. Para isso, as plantas devem ser submetidas às novas condições ambientais (estufa, casa de vegetação ou telado) de forma gradual e cercadas de cuidados, mantendo-se alta umidade e baixa luminosidade nos dias iniciais após o transplantio (Fig. 12), pois estes fatores irão favorecer o metabolismo autotrófico nas plantas produzidas. Portanto, caso não sejam tomados os devidos cuidados durante esta etapa, os resultados serão a baixa sobrevivência e inviabilidade do processo de micropropagação.

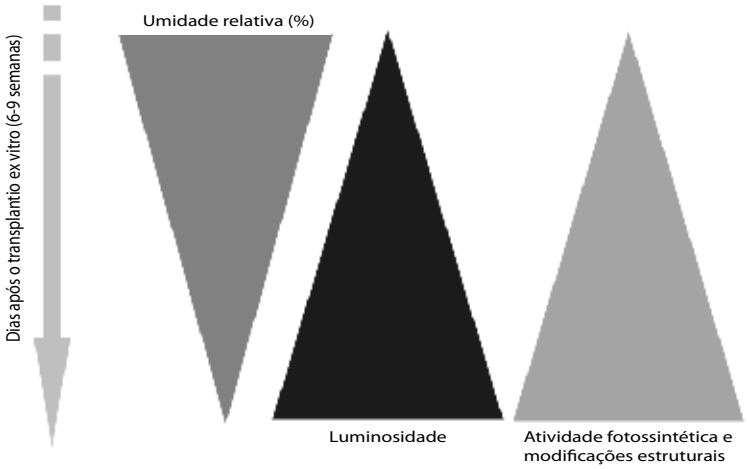


Fig. 12. Esquema geral de algumas condições fundamentais à aclimatização das plantas, evidenciando a redução gradual da umidade e aumento da irradiância em função do tempo de transplantio.

Outro aspecto a ser considerado na fase de aclimatização refere-se ao padrão de crescimento das plantas. Isso porque ao sofrer mudança abrupta de ambiente (da condição in vitro para o ex vitro), normalmente as plantas cessam ou reduzem o crescimento até que se adaptem às novas condições, o que pode levar dias ou semanas (PEREIRA; FORTES, 2000). Desse modo, a redução de perdas por morte, associada ao rápido crescimento na aclimatização, pode contribuir significativamente para que mudas micropropagadas sejam disponibilizadas aos interessados de forma mais rápida e barata. Para tanto, otimizações nas condições ambientais in vitro e ex vitro, cuidados no momento do transplantio, o correto manejo das irrigações e a escolha adequada de substratos e recipientes são fundamentais (SCHMITZ et al., 2002). No caso

dos substratos, suas propriedades físicas, químicas e biológicas podem facilitar ou limitar a sobrevivência, formação de novas raízes e crescimento das plantas. Com relação à escolha dos materiais que irão compor a mistura do substrato deve-se observar também o custo e sua disponibilidade.

Em bananeira, o processo de aclimatização consiste basicamente na remoção das plantas dos frascos de cultivo, lavagem das raízes em água corrente para remover o resíduo de meio de cultivo aderido, individualização das plantas, poda das raízes, transplantio para recipientes (tubetes ou bandejas coletivas) contendo substrato adequado e transferência para casa de vegetação ou telado (Fig. 13 e 14). Em alguns casos, pode ser feita uma pré-aclimatização antes do transplantio, pela abertura dos frascos ainda na sala de crescimento por algumas horas ou mesmo dias. Outra alternativa que vem sendo reportada diz respeito à utilização da luz solar ou natural na fase de alongamento/enraizamento in vitro, a qual tem proporcionado bons resultados na adaptação das plantas ainda in vitro (*in vitro hardening*) (ROCHA, 2005; COSTA, 2007).

Fotos: Empresa de Biotecnologia Vegetal

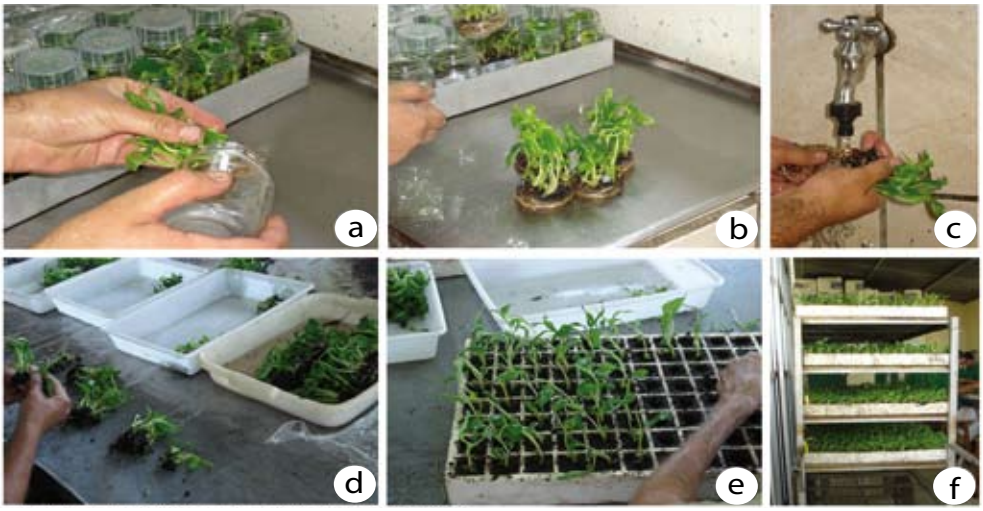


Fig. 13. Procedimentos gerais realizados antes da transferência das plantas para a casa de vegetação, estufas ou telados: (a, b) abertura dos frascos e retirada das plantas; (c) lavagem das raízes; (d) individualização; (e, f) transplantio para bandejas de isopor (128 células) contendo substrato.

Quanto aos tipos de mudas de bananeira micropropagadas, existem comercialmente diversas variações de acordo com o padrão de desenvolvimento das plantas na aclimatização (Fig. 15) (EMPRESA DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL, 2007), a saber:

a) Em bandeja de polietileno preto com 24 mudas, com altura da parte aérea de 20 a 30 cm e um torrão de 6 cm^3, prontas para o plantio direto a campo.

b) Em bandeja de isopor com 128 mudas, com 10 a 15 cm de altura, as quais necessitam ser transplantadas para um recipiente maior por um período de 30-40 dias antes do plantio a campo.

c) Mudas com raiz nua, pré-aclimatizadas, possuindo entre 5 e 10 cm de altura, as quais necessitam que a aclimatização seja finalizada antes do plantio no campo. São facilmente transportadas e especialmente indicadas para transporte a longas distâncias, desde que o veículo utilizado seja rápido e eficiente.

Fotos: Empresa de Biotecnologia Vegetal

Fig. 14. Aspecto geral das estufas de aclimatização e equipamentos usados: (a) carrinho utilizado na transferência das plantas para as estufas e (b, c, d) detalhes das estufas e das plantas.

Além desses tipos, a muda aclimatizada em tubetes (115 e 180 cm^3 de capacidade) é bastante utilizada, tendo como vantagens a formação de um sistema radicular sem enovelamento das raízes e crescimento mais acelerado após o plantio em campo (Fig. 15).

O transporte das mudas é feito pelo produtor ou providenciado pela empresa produtora, independente da quantidade, por sedex, transportadora ou via aérea (EMPRESA DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL, 2007). Nesse contexto, Silva et al. (2003) reportam que o transporte a longas distâncias de mudas do tipo raiz nua, acondicionadas em caixas de isopor, pode resultar em grandes perdas de material caso os meios de transporte sejam inadequados e acarretem a demora na entrega. Para contornar essa limitação, existe o sistema de acondicionamento denominado "rocambole", que consiste em acondicionar aproximadamente 100 mudas em tecido poroso, enroladas na forma de um rocambole e dispostas lado a lado, de forma que, após fechado, o pacote mantém as mudas em posição vertical (Fig. 16).

3. Características Anatômicas das Plantas Micropropagadas

Até o presente momento, poucos são os trabalhos científicos publicados sobre a anatomia foliar de bananeiras micropropagadas (SANDOVAL et al., 1994; ROCHA 2005; COSTA, 2007). Em geral, as folhas de bananeira in vitro,

em casa de vegetação e a campo, apresentam estruturas básicas semelhantes, diferindo apenas quantitativamente e em relação ao grau de diferenciação dos tecidos (Tabela 1). Tais diferenças indicam a plasticidade fenotípica da espécie às condições as quais as plantas estão submetidas.

Fotos: a, b, c (Empresa de Biotecnologia Vegetal); d (Hermínio Souza Rocha)

Fig. 15. Tipos de mudas de bananeira micropropagadas: a) aclimatizadas em bandejas de isopor (128 células); b) mudas com raiz nua; c) mudas em bandejas de polietileno (24 células); d) mudas aclimatizadas em tubetes.

Fotos: Hermínio Souza Rocha

Fig. 16. Sistema de acondicionamento de mudas micropropagadas de bananeira utilizado pela Companhia de Promoção Agrícola, localizada junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, BA.

Tabela 1. Principais características da anatomia foliar de plantas de bananeira (*Musa* cv. Grande Naine, AAA) em diferentes ambientes de cultivo.

Características	In vitro[1]	Aclimatização[2]	Campo[3]
Cutícula	Extremamente fina	Fina nas primeiras folhas formadas e espessa com cada nova folha	Camada espessa
Cera epicuticular	Extrusões espalhadas de pequenas partículas sobre a face abaxial da epiderme	Extensas extrusões, mais evidentes e densas na face abaxial da epiderme e menos densas na face adaxial. Espessamento mais evidente com a formação de novas folhas	Excessivas extrusões, bastante densas, algumas vezes cobrindo os estômatos (face abaxial) e com uma espessa camada na face adaxial
Epidermes	Células relativamente grandes, sinuosas e algumas vezes irregulares em tamanho; parede externa fina	Lisa, parede externa espessa	Fina, parede externa muita espessa, células relativamente pequenas
Estômatos	Presentes em ambas as faces da epiderme, porém mais abundantes na face abaxial (espécie anfi-hipoestomática), com quatro células subsidiárias (estômato tetracítico)		
	Arranjo irregular, não totalmente funcional	Arranjo mais regular em fileiras	Número de células subsidiárias algumas vezes irregular; estritamente arranjadas em fileiras
	Muitos com os ostíolos parcialmente ou completamente fechados (indicando reduzida ou ausente funcionalidade)	Não reportado	Não reportado
	Tamanho médio de 38 μm em comprimento (diâmetro equatorial) e 15 μm em largura (diâmetro polar)	Não reportado	Em média, diâmetro equatorial de 27 μm e diâmetro polar de 17 μm
Cavidade subestomática	Não desenvolvida	Desenvolvimento gradual	Bem desenvolvida, alcançando através das hipodermes
Hipodermes	Células grandes, paredes finas, uma contínua camada lisa	No início da aclimatização uma camada, muito depois duas, relativamente lisas, células grandes na face adaxial da epiderme	Duas ou mais camadas de células, especialmente sobre os feixes vasculares
Mesofilo	Não diferenciado	Em início de diferenciação	Bem diferenciado
Parênquima paliçádico	Uma camada, células isodiamétricas, próximas ao parênquima esponjoso	Formação de duas camadas com tempo de aclimatização, células alongadas, ainda em contato com o parênquima esponjoso	Três a quatro camadas de células, sendo as primeiras camadas de células alongadas, separadas do parênquima esponjoso

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Parênquima esponjoso	Até duas camadas irregulares	Duas camadas, mais tarde três, dispostas irregularmente	Várias camadas de células cobrindo as paredes dos alvéolos, separadas do parênquima paliçádico
Alvéolos (cavidade)	Nenhum, apenas pequenos espaços intercelulares	Pequenos no início da aclimatização, principalmente próximo à nervura, e então grandes	Grandes, bem definidos, separando o parênquima esponjoso do paliçádico
Feixes vasculares	Bastante rudimentares, com apenas uns poucos elementos de floema e de xilema, indicando reduzida necessidade para transporte sob condições in vitro	Gradualmente mais desenvolvidos com a aclimatização; presença de mais elementos de floema e de xilema	Bem desenvolvidos
Esclerênquima	Nenhum ou com fibras muito ocasionais associadas aos feixes, principalmente presentes em folhas maiores e bem formadas	Número de fibras gradualmente incrementadas associadas com feixes vasculares, e presentes também na região da nervura	Fios grandes de fibras compactas, especialmente sobre a parte superior dos feixes; ou não associadas com os feixes
Espessura média	200 – 250 μm (folhas grandes)	250 – 30 μm	400 – 500 μm

[1]Plantas enraizadas em meio de cultivo MS geleificado, desprovido de reguladores de crescimento, e mantidas a 16 horas de intensidade luminosa de 80 mmol $\cdot$ $m^{-2} \cdot s^{-1}$, 27 $\pm$ 2°C.

[2]Plantas aclimatizadas em ambiente com sombreamento de 15%, temperatura diurna de 32°C a 35°C e noturna de 22°C a 25°C, e 80% de umidade relativa média (variações foram observadas com cada nova folha formada durante esta fase).

[3]Plantas a campo.

Fonte: Adaptada de Sandoval et al., 1994.

Experimento realizado pelos autores durante o processo de adaptação das plantas micropropagadas às condições ex vitro demonstrou que as maiores alterações na anatomia foliar ocorrem apenas em folhas oriundas de primórdios diferenciados ex vitro. Além disso, foi observado que a passagem das plantas para uma condição de maior radiação, após duas ou três semanas de aclimatização, é essencial para melhorar a adaptação ex vitro das plantas de bananeira.

Em outro estudo, foi avaliada a contribuição dos estômatos e da cera epicuticular no controle da perda de água em bananeiras micropropagadas. Os resultados mostraram que folhas oriundas do final do enraizamento in vitro sob metabolismo heterotrófico apresentaram excessiva transpiração, fato atribuído à elevada densidade estomática associada à reduzida capacidade dos estômatos em restringir a perda de água e ausência de cera epicuticular. Por outro lado, a fase de aclimatização ex vitro foi primordial para a melhoria da funcionalidade dos estômatos e formação de uma camada de cera mais densa e melhor distribuída.

Apesar dos poucos estudos, a realização de pesquisas acerca das modificações que ocorrem nas diferentes fases da micropropagação é fundamental para otimizar os protocolos e as condições do ambiente in vitro, além de fornecer informações importantes sobre quais cuidados proceder visando reduzir as perdas e melhorar o crescimento das plantas após a sua exposição ao ambiente ex vitro.

4. Desempenho em Campo das Mudas Micropropagadas

Para alguns pesquisadores, as mudas micropropagadas apresentam as seguintes características quando comparadas àquelas propagadas por métodos convencionais: sobrevivem mais no campo e apresentam maior crescimento nos primeiros estádios de desenvolvimento; possuem uniformidade e facilitam os tratos culturais; são mais produtivas, mostram maior precocidade e uniformidade de produção. No entanto, embora existam inúmeros estudos sobre a propagação in vitro da bananeira, poucos são os dados sobre o comportamento das mudas micropropagadas no campo (ÁLVARES; CALDAS, 2002).

Nesse sentido, Álvares e Caldas (2002), trabalhando com as cultivares Nanicão (AAA) e Prata-Anã (AAB), verificaram que mudas micropropagadas (10 a 15 cm) tiveram maior crescimento nos estádios iniciais de desenvolvimento em detrimento das mudas do tipo chifre (50 a 60 cm), o que foi atribuído ao fato das plantas micropropagadas já possuírem um sistema radicular ativo e área foliar fisiologicamente ativa no momento do plantio em campo. Em relação às cultivares, na 'Prata-Anã', as mudas micropropagadas apresentaram resultados significativamente superiores em todas as variáveis estudadas durante o período de desenvolvimento vegetativo, enquanto na cultivar Nanicão esta superioridade foi observada somente até o oitavo mês. Quanto à produção, não houve diferenças significativas na 'Nanicão', ao passo que a 'Prata-Anã' micropropagada foi significativamente superior à convencional.

Além disso, os autores afirmam que caso as mudas convencionais possuam qualidade fisiológica e fitossanitária adequada, é possível que a produtividade destas seja semelhante a das mudas micropropagadas. Caso contrário, as mudas oriundas do cultivo in vitro podem ser mais produtivas.

5. Estabilidade Genética das Mudas Micropropagadas

Apesar da técnica de micropropagação apresentar diversas vantagens para a produção massal de mudas, podem ocorrer variações somaclonais nas plantas produzidas, impedindo o uso desta tecnologia, principalmente se forem verificadas em grau elevado. Portanto, quando se trata de propagação comercial, um dos pré-requisitos mais importantes durante a clonagem in vitro de qualquer espécie vegetal diz respeito à fidelidade/estabilidade genética das plantas produzidas. Entretanto, embora indesejável do ponto de vista comercial, a obtenção de variabilidade genética pode ser importante para o melhoramento de plantas, pois permite que características de interesse sejam incorporadas

em novos genótipos. Além disso, as variações têm papel importante no caso de plantas propagadas vegetativamente que possuem uma estreita base genética.

Em geral, a ocorrência de variações está comumente relacionada a situações de estresse sofridas pelas plantas, seja pelo uso inadequado de tipos e concentrações de reguladores de crescimento, ocorrência de calogênese em alguma fase de cultivo, excessivo número de subcultivos do material sob multiplicação ou devido ao longo período de cultivo em mesmo meio de cultura (GUPTA; VARSHNEY, 1999; SANTOS; RODRIGUES, 2004; MARTIN et al., 2006; VENKATACHALAM et al., 2007).

Em bananeira, o aparecimento de plantas atípicas/variantes tem sido freqüentemente reportado por alguns autores (VENKATACHALAM et al., 2007), o que pode estar associado aos inúmeros protocolos empregados, uso incorreto e/ou falta de domínio da técnica para algumas cultivares regionais. Apesar das discordâncias, é importante destacar que atualmente existem laboratórios (biofábricas), tanto no Brasil quanto em outros países, que utilizam a micropropagação com taxas de variações somaclonais nas mudas inferiores a 2%. Dessa forma, recomenda-se obter mudas de biofábricas idôneas e de conhecido respaldo.

Quando verificadas, as variações têm afetado principalmente a estatura da planta (porte baixo – nanismo – ou excessivamente alto – gigantismo), cor da folha (variegada semelhante a um mosaico virótico), forma (ondulações laterais), cerosidade (ausência) e arquitetura das folhas (roseta), além de influenciar a forma dos cachos (SMITH, 1988; ISRAELI et al., 1991; SANTOS; RODRIGUES, 2004), podendo diferir entre os genótipos. Em relação à taxa de variação somaclonal, existem trabalhos relatando diferenças entre genótipos de bananeira para um mesmo protocolo de cultivo in vitro, de maneira que aqueles com maior nível de ploidia podem apresentar maior instabilidade genética. Assim, num processo de multiplicação in vitro os tetraplóides exigem atenção diferenciada (SOUZA et al., 1997).

No que diz respeito aos fatores apontados como responsáveis pelas variações, estudo conduzido por Rodrigues et al. (1998), no Vale do Ribeira (SP), mostrou que a cultivar Nanicão (AAA) apresentou crescimento da taxa de variação somaclonal com aumento do número de subcultivos in vitro, ocorrendo as primeiras variações a partir do nono subcultivo. Já Santos e Rodrigues (2004), trabalhando com a 'Pacovan' (AAB), verificaram que até o quinto subcultivo nenhuma variante foi observada, enquanto no sexto foram detectadas variantes (4,8%), atingindo o máximo de 5,8% em nove subcultivos.

Nesse sentido, alguns procedimentos estratégicos podem ser adotados visando controlar e reduzir as variações genéticas nas plantas micropropagadas de bananeira, a saber: descarte de tecidos com calos, eliminação de possíveis plantas atípicas (fora do padrão), adequação dos níveis exógenos de citocinina e do tempo de permanência das culturas em mesmo meio de cultivo, etc.

Quanto à forma de detecção, pode-se realizá-la por meio de observações morfológicas visuais das plantas (fenótipo), testes citológicos e moleculares (genótipo) ou a associação de ambos, tanto durante a fase in vitro quanto ex vitro (aclimatização ou campo). No caso do monitoramento ainda nas diferentes

fases de cultivo in vitro, pode-se reduzir a quantidade de plantas anormais em campo a níveis aceitáveis (SOUZA et al., 1997). Isso é importante uma vez que alguns tipos de variações podem se manifestar meses após o plantio ou floração (SANTOS; RODRIGUES, 2004) e, com isso, provocar prejuízos aos produtores.

O monitoramento da estabilidade genética por métodos moleculares tem sido realizado por diferentes técnicas, entre as quais, a caracterização por meio de marcadores RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), microssatélite ou SSR (Simples Sequence Repeats) (VENKATACHALAM et al., 2007), além de isoenzimas (EL-DOUGDOUG et al., 2007). Entretanto, a análise utilizando iniciadores RAPD apresenta como principal limitação a baixa repetibilidade, o que não ocorre com o SSR (JESUS et al., 2006).

6. Progressos na Micropropagação de Bananeira

Em geral, a micropropagação de bananeira é realizada sob condições heterotróficas, nas quais os explantes se desenvolvem em meio contendo sacarose e nutrientes prontamente disponíveis, sob baixas intensidades luminosas, além de uma atmosfera apresentando baixa ou nenhuma troca gasosa, reduzidos níveis de dióxido de carbono (CO_2) e elevada umidade relativa (próxima de 100%).

No entanto, algumas estratégias têm sido pesquisadas e adotadas nos últimos anos com o objetivo de modificar o ambiente de cultivo in vitro e, conseqüentemente, melhorar a qualidade das plantas produzidas e/ou reduzir os custos de produção. Entre as mais importantes, destacam-se a redução, ou mesmo, eliminação da fonte de carbono (sacarose), aumento das trocas gasosas, enriquecimento artificial com CO_2 e aumento da intensidade luminosa (artificialmente ou utilizando a luz solar), empregados em associação ou isoladamente (cultivo fotoautotrófico ou fotomixotrófico) (NAVARRO et al., 1994; KODYM; ZAPATA-ARIAS, 1999; NGUYEN; KOZAI, 2001; SENDIN, 2001; COSTA, 2007).

6.1. Uso da Luz Solar

A substituição das lâmpadas fluorescentes comumente utilizadas nas salas de crescimento pela luz natural, associada ou não à redução nos níveis exógenos de sacarose, é um dos mais importantes avanços e tem mostrado resultados promissores e aplicáveis (KODYM; ZAPATA-ARIAS, 1999, 2001; SENDIN, 2001; ROCHA, 2005; COSTA, 2007). Tal relevância é justificada pelo alto custo da iluminação artificial nas salas de crescimento, o qual pode representar 65% do total de energia elétrica utilizada nos laboratórios de cultura de tecidos de plantas (STANDAERT DE METSENAERE, 1991). Em geral, as principais vantagens advindas do emprego da luz solar incluem a eliminação dos custos com iluminação artificial, uso de instalações mais simplificadas e redução dos estresses no momento do transplantio ex vitro (ERIG; SCHUCH, 2005).

Associado a estas vantagens, tem-se o fato da bananeira ser uma espécie tipicamente tropical, podendo suportar temperaturas mais elevadas e maiores níveis de radiação, o que favoreceria e justificaria o uso da luz solar. Adicionalmente, o cultivo da bananeira sob maior intensidade luminosa ainda na fase in vitro pode promover melhor adaptação das plantas produzidas e, conseqüentemente, reduzir os estresses ocasionados após a exposição às condições ex vitro.

Entretanto, segundo Erig e Schuch (2005) a disponibilidade de luz depende das condições climáticas de cada região e varia com a estação do ano e hora do dia, o que poderia limitar a utilização desta fonte de luz em algumas regiões, como as de clima temperado. Além do mais, o emprego da luz natural em regiões com elevadas temperaturas pode necessitar de refrigeradores, o que vem sendo feito pelo uso de aparelhos de ar-condicionado.

Efeitos benéficos da luz solar durante a micropropagação de bananeira, associados a alterações na composição nutricional e física dos meios de cultura, são reportados para as cultivares Grande Naine (AAA) e Maçã (AAB), com redução de até 90% nos custos de produção das mudas (KODYM; ZAPATA-ARIAS, 1999, 2001; SENDIN, 2001).

De modo semelhante, estudos conduzidos por Rocha (2005) com a cultivar Prata-Anã e por Costa (2007) com a 'Caipira' e 'Pacovan' também reportam resultados promissores da luz natural. Segundo Costa (2007) brotações de bananeira 'Caipira'(AAA) enraizadas in vitro sob luz natural e meio contendo sacarose (15 g · L^{-1}) proporcionaram melhor adaptação das plantas produzidas, além de melhorias nas características anatômicas (espessamento significativo dos parênquimas clorofilianos, paliçádico e esponjoso) e fisiológicas (menor perda de água após a remoção dos frascos de cultivo). Resultados similares foram obtidos em experimentos com a cultivar Pacovan, com exceção da perda de água, que não foi avaliada. Quanto ao comportamento ex vitro das plantas produzidas em ambiente de luz natural, ambas as cultivares (Caipira e Pacovan) tiveram 100% de sobrevivência e satisfatório crescimento ex vitro.

Em conseqüência dos resultados promissores advindos da utilização da luz solar na micropropagação de bananeira, alguns países têm utilizado esta fonte luminosa nas salas de crescimento, destacando-se alguns laboratórios de Cuba e do Brasil.

6.2. Micropropagação Fotoautotrófica

Este sistema de cultivo está relacionado ao fornecimento de condições in vitro mais adequadas ao crescimento e desenvolvimento autotrófico[5] dos explantes. Para atingir esse objetivo, torna-se necessário aumentar a disponibilidade de CO_2 (pelo enriquecimento artificial ou uso de membranas permeáveis nas tampas dos frascos de cultivo), incrementar os níveis de intensidade luminosa (especialmente a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos – DFFFA), reduzir a umidade relativa no interior dos recipientes de cultivo, aumentar as trocas gasosas com o ambiente ex

[5]Um indivíduo autótrofo é aquele capaz de sintetizar as substâncias essenciais por ele requeridas a partir de substâncias inorgânicas obtidas do seu ambiente de cultivo (RAVEN et al., 2001).

vitro, eliminar as substâncias orgânicas (como a sacarose) do meio de cultura, além de utilizar substratos fibrosos ou porosos (vermiculita), ao invés de ágar, para o enraizamento in vitro, entre outros (KOZAI, 1991; NAVARRO et al., 1994; KUBOTA; TADOKORO, 1999; KOZAI; KUBOTA, 2001; NGUYEN; KOZAI, 2001).

Entre as vantagens da micropropagação fotoautotrófica, comparada ao método convencional (heterotrófico), destacam-se: melhoria nas características fisiológicas e estruturais e por conseqüência na qualidade e performance (in vitro e ex vitro) das plantas produzidas; redução dos riscos de contaminação microbiana pela remoção da sacarose do meio; diminuição do estresse após a remoção das plantas dos frascos de cultivo e aclimatização; eliminação dos custos com iluminação e com reparos e manutenção, no caso de se usar luz solar ou natural; e redução das perdas de material por contaminação (NGUYEN; KOZAI, 2001; ZOBAYED et al., 2001; AFEEN et al., 2002).

Apesar das vantagens, observam-se, relativamente, poucos trabalhos enfocando o sistema fotoautotrófico no cultivo in vitro de bananeiras (NAVARRO et al., 1994; NGUYEN et al., 1999; NGUYEN; KOZAI, 2001) ou algumas condições que permitam reduzir a dependência heterotrófica dos explantes cultivados in vitro (ROCHA, 2005; COSTA, 2007). Nesse sentido, Navarro et al. (1994) demonstraram que condições como o incremento na intensidade luminosa e na ventilação dos recipientes de cultivo facilitaram o transplantio ex vitro, ao passo que o aumento na concentração de CO_2 in vitro e intensidade luminosa possibilitou significativamente maior matéria seca e área foliar. Em contraste, não foi observada diferença significativa entre o cultivo fotoautotrófico e fotomixotrófico quanto ao ganho de matéria seca ou para a razão matéria seca de brotos e raízes, ao final da fase de enraizamento de bananeira.

Já Nguyen e Kozai (2001) verificaram que brotações de bananeira cultivadas em sistema fotoautotrófico apresentaram maiores taxas de multiplicação, incremento na atividade fotossintética e taxa fotossintética líquida, principalmente quando a concentração de CO_2 (1.340 $\pm$ 100 μmol $\cdot$ mol^{-1}), intensidade luminosa (200 μmol $\cdot$ m^{-2} $\cdot$ s^{-1}) e trocas gasosas (3,9 $\cdot$ h^{-1}) foram aumentadas.

7. Considerações Gerais e Perspectivas Futuras

Hoje, os estudos de micropropagação da bananeira são bem estabelecidos, com resultados práticos comprovados, o que proporcionou um aumento significativo no uso desta tecnologia para a produção comercial de mudas certificadas, tanto por pequenos produtores quanto por aqueles mais tecnificados.

Estima-se que a demanda por mudas ainda deve continuar crescente, especialmente em virtude das mudanças no sistema de produção de material propagativo e adoção de programas de produção integrada de frutas. Nesse

sentido, embora a micropropagação seja considerada um método bem estudado em bananeira, é imprescindível realizar pesquisas que reduzam os custos de produção sem, no entanto, afetar a qualidade genética e fitossanitária das mudas. Isso é importante, uma vez que pode possibilitar uma maior difusão deste tipo de tecnologia por pequenos produtores, que têm na cultura da banana uma fonte de renda e sustento.

Com esse intuito, estudos envolvendo o emprego de sistemas automatizados, como os biorreatores de imersão temporária (BIT), o cultivo fotoautotrófico, além do uso da luz solar, destacam-se como alternativas promissoras à melhoria da qualidade das mudas obtidas, com redução do custo final de produção. Além disso, percebe-se um crescente interesse em pesquisas que visem entender melhor os processos fisiológicos e estruturais decorrentes do cultivo in vitro, o que irá favorecer e otimizar os protocolos.

Outra perspectiva diz respeito à necessidade de adequar protocolos de micropropagação para novos genótipos resistentes a doenças e pragas, os quais têm sido lançados pelos centros de pesquisa e apresentam potencial de adoção, principalmente em regiões que têm sido severamente afetadas pela sigatoka-negra, sigatoka-amarela e mal-do-panamá.

8. Agradecimentos

À Multiplanta Tecnologia Vegetal Ltda., por ter cedido as figuras de sua linha de produção para ilustrar este trabalho, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao grupo de pesquisa, e a Hermínio Souza Rocha pela criteriosa revisão técnica e científica do texto.

9. Referências

AFREEN, F.; ZOBAYED, S. M. A.; KOZAI, T. Photoautotrophic culture of *Coffea arabusta* somatic embryos: photosynthetic ability and growth of different stage embryos. **Annals of Botany**, London, v. 90, p. 11-19, 2002.

ÁLVARES, M. do C.; CALDAS, L. S. Crescimento, produção e variação somaclonal em bananeiras micropropagadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 415-420, mar. 2002.

ANDRADE, M. W.; LUZ, J. M. Q.; LACERDA, A. S. Micropropagação da aroeira (*Myracroduon urundeuva* Fr. All.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 174-180, 2000.

APTER, R. C.; McWILLIAMS, E. L.; DAVIES JUNIOR., F. T. In vitro and ex vitro adventitious root formation in Asian Jasmine *(Trachelospermum asiaticum)* **I.** Comparative morphology. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 118, p. 902-905, 1993a.

APTER, R. C.; DAVIES JUNIOR, F. T.; MCWILLIAMS, E. L. In vitro and ex vitro adventitious root formation in Asian Jasmine *(Trachelospermum asiaticum)* **II.** Physiological comparisons. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 118, p. 906-909, 1993b.

ARAGÓN, C.; ESCALONA, M.; CAPOTE, I.; PINA, D.; CEJAS, I.; RODRÍGUEZ, R.; NOCEDA, C.; SANDOVAL, J.; ROELS, S.; DEBERGH, P.; GONZÁLEZ-OLMEDO, J. L. Metabolic importance of starch in the acclimation of plantain 'CEMSA ¾' (AAB) plants. **Infomusa**, v. 15, n. 1-2, 2006.

ARINAITWE, G.; RUBAIHAYO, P. R.; MAGAMBO, M. J. S. Proliferation rate effects of cytokinins on banana (*Musa* spp.) cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 86, p. 13-21, 2000.

BRIOSO, P. S. T.; CORDEIRO, Z. J. M.; REZENDE, J. A. M.; KITAJIMA, E. W.; PIMENTEL J. P.; FIGUEIREDO, A. R. Infecção mista em bananeiras pelos vírus do mosaico do pepino ("*Cucumber mosaic virus*" – CMV) e da risca da bananeira ("*Banana streak virus*" – BSV) no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 257-259, 2000.

CAMOLESI, M. R.; KAIHARA, E. S.; SACONI, C. G.; FARIA, R. T. de; NEVES, C. S. V. J. Redução da oxidação na propagação *in vitro* da bananeira maçã. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1237-1241, 2007.

COSTA, F. H. da S.; PEREIRA, J. E. S.; PEREIRA, M. A. A.; OLIVEIRA, J. P. de. Efeito da interação entre carvão ativado e N^6-benzilaminopurina na propagação *in vitro* de bananeira, cv. Grande Naine (AAA). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 280-283, ago. 2006.

COSTA, F. H. da S. **Micropropagação da bananeira: características fitotécnicas, fisiológicas e anatômicas**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

COSTA, F. H. da S.; PASQUAL, M.; PEREIRA, J. E. S.; RODRIGUES, F. A.; MIYATA, L. Y. Relação entre o tempo de enraizamento *in vitro* e o crescimento de plantas de bananeira na aclimatização. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 28-35, 2008.

CROUCH, J. H.; VUYLSTEKE, D.; ORTIZ, R. Perspectives on the application of biotechnology to assist the genetic enhancement of plantain and banana (*Musa* spp.). **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 1998.

DEBIASI, C.; ZAFFARI, G. R.; SALERNO, A. R.; GUERRA, M. P. Correlação entre a capacidade proliferativa *in vitro* e a dominância apical *in vivo* da bananeira cvs. Grand Naine e Nanicão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 597-600, 2002.

DÍAZ-PÉREZ, J. C.; SHACKEL, K. A.; SUTTER, E. G. Effects of *in vitro*-formed roots and acclimatization on water status and gas exchange of tissue-cultured apple shoots. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 3, p. 435-440, 1995.

DONATO, S. L. R.; SILVA, S. de O.; FILHO, O. A. L.; LIMA, M. B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J. da S. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa* spp.) em dois ciclos de produção no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 139-144, abr. 2006.

EL-DOUGDOUG, Kh. A.; EL-HARTHI, H. M. S.; KORKAR, H. M.; TAHA, R. M. Detection of somaclonal variations in banana tissue culture using isozyme and DNA fingerprint analysis. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 3, n. 7, p. 622-627, 2007.

EMPRESA DE BIOTECNOLOGIA VEGETAL. Disponível em: <http://www.multiplanta.com.br>. Acesso em: 11 out. 2007.

ERIG, A. C.; SCHUCH, M. W. Micropropagação fotoautotrófica e uso da luz natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 961-965, jul./ago. 2005.

FIGUEIREDO, D.; MEISSNER FILHO, P.; SILVA NETO, S.; BRIOSO, P. Detecção e análise da variabilidade de seqüências do *Banana streak virus* (BSV) em Bananeiras no Brasil. **Summa Phytopathologica***,* Botucatu, v. 32, n. 2, p. 118-123, 2006.

FIGUEIREDO, D. V.; BRIOSO, P. S. T. PCR *multiplex* para a detecção de BSV e CMV em bananeiras micropropagadas. **Summa Phytopathológica***,* Botucatu, v. 33, n. 3, p. 229-232, 2007.

GEORGE, E. F. **Plant propagation by tissue culture:** part 1. the technology. 2. ed. [New York]: Exegetics Ltd. Hardcover, 1993. 786 p.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In.: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CNPH, 1998. v. 1, p. 183-260.

GÜBBÜK, H.; PEKMEZCI, M. In vitro propagation of some new banana types (*Musa* spp.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 28, p. 355-361, 2004.

GUPTA, P. K.; VARSHNEY, R. K. Molecular markers for genetic fidelity during micropropagation and germplasm conservation. **Current Science**, v. 76, p. 1308-1310, 1999.

HABIBA, U.; REZA, S.; SAHA, M. L.; KHAN, M. R.; HADIUZZAMANPLANT, S. Endogenous Bacterial Contamination During *In vitro* Culture of Table Banana : Identification and Prevention. **Plant Tissue Culture**, v. 12, n. 2, p. 117-124, 2002.

HAZARIKA, B. N. Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 108, p. 105-120, 2006.

HIRIMBUREGAMA, K.; GAMAGE, N. Cultivar specificity with respect to *in vitro* micropropagation of *Musa* spp. (banana and plantain). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 72, n. 2, p. 205-211, Mar. 1997.

ISRAELI, Y.; REUVENI, O.; LAHAV, E. Qualitative aspects of somaclonal variants in banana propagated by “in vitro” techniques. **Scientia Horticulturae***,* Amsterdam, v. 48, n. 1-2, p. 71-88, 1991.

JESUS, O. N. de; CÂMARA, T. R.; FERREIRA, C. F.; SILVA, S. de O. e; PESTANA, K. N.; SOARES, T. L. Diferenciação molecular de cultivares elites de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1739-1748, dez. 2006.

JUNGHANS, T. G.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos. Obtenção e manuseio de explantes. In: SOUZA, A. da S.; JUNGHANS, T. G. (Ed.). **Introdução à micropropagação de plantas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 100-114.

KODYM, A.; ZAPATA-ARIAS, F. J. Natural light as an alternative light source for the *in vitro* culture of banana (*Musa acuminata* cv. 'Grande Naine'). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture,** Amsterdam, v. 55, n. 2, p. 141-145, 1999.

KODYM, A.; ZAPATA-ARIAS, F. J. Low-cost alternatives for the micropropagation of banana. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture,** Amsterdam, v. 66, p. 67-71, 2001.

KOZAI, T. Micropropagation under photoautotrophic conditions. In: DEBERGH, P. C.; ZIMMERMAN, R. H. (Ed.). **Micropropagation-technology and aplication**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 447-469.

KOZAI, T.; KUBOTA, C. Developing a photoautotrophic micropropagation system for woody plants. **Journal of Plant Research**, v. 114, p. 525-537, 2001.

KUBOTA, C.; TADOKORO, N. Control of microbial contamination for large-scale photoautotrophic micropropagation. **In vitro Cellular and Developmental Biology – Plant**, New York, v. 35, p. 296-298, 1999.

LAMEIRA, O. A.; GOMES, A. P. R.; LOPES, S. C. **Efeito da sacarose e luminosidade sobre a germinação *in vitro* de embriões de cedro**. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 1-3. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 20).

LAMHANEDI, M.; CHAMBERLAND, H.; TREMBLAY, F. M. Epidermal transpiration, ultrastuctural characteristics and net photosynthesis of white spruce somatic seedlings in response to in vitro acclimatization. **Physiologia Plantarum**, v. 118, p. 554-561, 2003.

LOCKHART, B. E. L.; OLSZEWSKI, N. E. Serological and genomic heterogeneity of *Banana streak badnavirus*: implications for virus detection in *Musa* germplasm. In: International Symposium on Genetic Improvement of Bananas for Resistance to Diseases and Pests, 1993, Montpellier. **Proceedings**. Montpellier: Dirad-Flhor & Inibap, 1993. p. 105-113.

MARIN, J. A. High survival rates during acclimatization of micropropagated fruit tree rootstocks by increasing exposures to low relative humidity. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 616, p. 139-142, 2003.

MARTIN, K. P.; PACHATHUNDIKANDI, S.; ZHANG, C. L.; SLATER, A.; MADASSERY, J. RAPD analysis of a variant of banana (Musa sp.) cv. grande naine and its propagation via shoot tip culture. **In Vitro Cellular and Development Biology - Plant**, v. 42, p. 188-192, 2006.

MEISSNER FILHO, P. E.; BRIOSO, P. S. T. Doenças causadas por vírus. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.). **Banana**: fitossanidade. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. p. 78-81.

MOLLA, M. M. H.; KHANAM, M. D.; KHATUN, M. M.; AL-AMIN, M.; MALEK, M. A. *In vitro* rooting and *ex vitro* plantlet establishment of BARI banana 1 (*Musa* sp.) as influenced by different concentration of IBA (indole 3-butyric acid). **Asian Journal of Plant Sciences**, Bholakpur, v. 3, n. 2, p. 196-199, 2004.

MURASHIGE, T.; SKOOG F. A. Revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagem, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

MIYATA, L. Y.; COSTA, F. H. S.; PASQUAL, M. Otimização do cultivo *in vitro* de bananeira cv. Bucaneiro (AAAA). In: CONGRESSO DOS PÓS-GRADUANDOS DA UFLA, 15., 2006, Lavras. **Anais**... Lavras: UFLA, 2006. 1 CD-ROM.

NAVARRO, C.; TEISSON, C.; CÔTE, F.; GANRY, J. Effects of light intensity and CO_2 concentration on growth of banana plants (*Musa* AAA, cultivar 'Petite Naine') *in vitro* and subsequent growth following acclimatization. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 60, p. 41-54, 1994.

NIETSCHE, S.; MARQUES, S. V.; PEREIRA, M. C. T.; SALLES, B.; XAVIER, A. A.; FRANÇA, A. C.; LIMA, C. de; SILVA, L. S. Estabelecimento *in vitro* de explantes de três cultivares de bananeira. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 989-991, 2006.

NGUYEN, Q. T.; KOZAI, T.; NGUYEN, K. L.; NGUYEN, U. V. Photoautotrophic micropropagation of tropical plants. In: ALTMAN, A.; ZIV, M.; IZHAR, S. (Ed). **Current plant science and biotechnology in agriculture:** plant biotechnology and in vitro biology in the 21st century. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. v. 36. p. 659-662.

NGUYEN, Q. T.; KOZAI, T. Growth of *in vitro* banana (*Musa* spp.) shoots under photomixotrophic and photoautotrophic conditions. **In Vitro Cellular and Development Biology - Plant**, v. 37, n. 6, p. 824-829, 2001.

OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, S. M. L.; GUEDES, R. S.; SCHMITZ, G. C.; ALVES, L. S.; PEREIRA, J. E. S. Isolamento e identificação de bactérias endofíticas contaminantes da cultura da bananeira cultivada *in vitro* e biotestes de sensibilidade das bactérias a antibióticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19., 2006, Cabo Frio. **Anais**... Rio de Janeiro: SBF. v. 1. p. 340.

OLIVEIRA, J. P.; SCHMITZ, G. C.; SOUZA, G.; MACHADO, B. A.; PEREIRA, J. E. S. Multiplicação *in vitro* de cultivares de bananeira resistentes a doenças na Amazônia Ocidental a partir de gemas florais e caulinares. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15.; MOSTRA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO, 5., 2006, Rio Branco, AC. **Anais**... Rio Branco, AC: UFAC, 2006. 1 CD-ROM. p. 1-2.

OLIVEIRA, J. P.; SCHMITZ, G. C.; ALVES, B.; PEREIRA, J. E. S. Efeito do thidiazuron na multiplicação *in vitro* de bananeira, cv. Pacovan Ken. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19., 2006, Cabo Frio. **Anais**... Rio de Janeiro: SBF. v. 1. p. 168.

OLIVEIRA, R. P.; SILVA, S. O. e. Avaliação da micropropagação comercial em bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 415-420, 1997.

OLIVEIRA, R. P. de; SILVEIRA, D. G.; SILVA, S. de O. e; SILVA, K. M. da; VILARINHOS, A. D. Avaliação da micropropagação de genótipos diplóides, triplóides e tetraplóides de bananeira empregando protocolo utilizado em laboratórios comerciais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 269-273, 1999.

OLIVEIRA, R. P. de; SILVEIRA, D. G.; SILVA, S. de O. Concentração de BAP e a eficiência de micropropagação de bananeira tetraplóide (grupo AAAB). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 73-78, jan./mar. 2001.

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. de L. Desfolhamento e baixa temperatura em plantas micropropagadas de macieira como forma de superar a parada de crescimento durante a aclimatização. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 12, n. 2, p.135-145, 2000.

PEREIRA, J. E. S.; MATTOS, M. L. T.; FORTES, G. R. L. Identificação e controle com antibióticos de bactérias endofíticas contaminantes em explantes de batata micropropagados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 827-834, 2003.

POSPÍSILOVÁ, J.; TICHÁ, I.; KADLECEK, P.; HAISEL, D.; PLZÁKOVÁ, S. Acclimatization of micropropagated plants to *ex vitro* conditions. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 42, p. 481-497, 1999.

PREECE, J. E.; SUTTER, E. G. Aclimatization of micropropagated plants to the greenhouse and field. In: DEBERGH, P. C.; ZIMMERMAN, R. H. **Micropropagation**: technology and application. Amsterdan: Kluwer Academic Publishing, Cap. 5, p. 71-93, 1991.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

ROCHA, H. S. **Luz e sacarose na micropropagação da bananeira "Prata Anã": alterações morfoanatômicas**. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RODRIGUES, P. H. V.; TULMANN NETO, A.; CASSIERI NETO, P.; MENDES, B. M. J. Influência do número de subcultivos na ocorrência de variação somaclonal em mudas de bananeira cv. *Nanicão*, no Vale do Ribeira - SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 20, n. 1, p. 74-79, 1998.

ROELS, S.; ESCALONA, M.; CEJAS, I.; NOCEDA, C.; RODRIGUEZ, R.; CANAL, M. J.; SANDOVAL, J.; DEBERGH, P. Optimization of plantain (*Musa* AAB) micropropagation by temporary immersion system. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 82, p. 57-66, 2005.

ROMANO, A.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A. Water loss and morphological modifications in leaves during acclimatization of Cork Oak micropropagated plantlets. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, n. 616, p. 439-442, 2003.

ROSS-KARSTENS, G. S.; EBERT, G.; LUDDERS, P. Influence of *in vitro* growth conditions on stomatal density, index and aperture of grape, coffee and banana plantlets. **Plant Tissue Culture and Biotechnology**, v. 4, p. 21-27, 1998.

SANDOVAL, J. A.; MÜLLER, L. E.; WEBERLING, F. Foliar morphology and anatomy of *Musa* cv. Grande Naine (AAA) plants grown *in vitro* and during hardening as compared to field-grown plants. **Fruits**, v. 49, n. 1, p. 37-46, 1994.

SANTOS, C. C. C. dos; RODRIGUES, P. H. V. variação somaclonal em mudas micropropagadas de bananeira, cultivar *Pacovan*. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 201-205, 2004.

SATO, A. Y.; DIAS, H. C. T.; ANDRADE, L. A.; SOUZA, V. C. de. Micropropagação de *Celtis* sp.: controle da contaminação e oxidação. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 117-123, 2001.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KAMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 937-944, 2002.

SENDIN, A. P. P. M. **Micropropagação de bananeira dos cultivares maçã e Grande Naine visando a produção de mudas de baixo custo**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SHARMAN, M.; THOMAS, J. E.; DIETZGEN R. G. Development of a multiplex immunocapture PCR with colourimetric detection for viruses of banana. **Journal of Virological Methods**, London, v. 89, n. 1, p. 75-88, 2000.

SILVA, S. de O. e; GASPAROTTO, L.; MATOS, A. P. de; CORDEIRO, Z. J. M.; FERREIRA, C. F.; RAMOS, M. M.; JESUS, O. N. de. **Programa de melhoramento de bananeira no Brasil – resultados recentes**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003. 36 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Documentos, 123).

SILVA-NETO, S. P. Micropropagação e controle de viroses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 5,; WORKSHOP DO GENOMA MUSA, 1., 2003, Paracatu. **Anais...** Cruz das Almas: Nova Civilização, 2003. p. 85-93.

SMITH, M. K. A review of factors influencing the genetic stability of micropropagated bananas. **Fruits**, Paris, v. 43, n. 4, p. 219-223, 1988.

SOUZA, G. M.; GONÇALVES, A. N. Otimização de meio de cultura para a bananeira (*Musa cavendishii* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 51-59, 1996.

SOUZA, A. da S.; DANTAS, J. L. L.; SOUZA, F. V. D.; CORDEIRO, Z. J. M.; SILVA NETO, S. P. da. Propagação. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana:** aspectos técnicos, socioeconômico e agroindustriais. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1997. p. 151-195.

STANDAERT DE METSENAERE, R. E. A. Economic considerations. In: DEBERGH, P. C.; ZIMMERMAN, R. H. (Ed.). **Micropropagation**. Dordrecht : Kluwer Academic, 1991. p. 131-140.

TERMIGNONI, R. R. **Cultura de tecidos vegetais**. Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 2005. 182 p.

VAN WINKLE, S.; JOHNSON, S.; PULLMAN, G. S. The impact of gelrite and activated carbon on the elemental composition of plant tissue culture media. **Plant Cell Reports**, New York, v. 21, n. 12, p. 1175-1182, Aug. 2003.

VENKATACHALAM, L.; SREEDHAR, R. V.; BHAGYALAKSHMI, N. Genetic analyses of micropropagated and regenerated plantlets of banana as assessed by RAPD and ISSR markers. **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 43, p. 267-274, 2007.

VUYLSTEKE, D.; DE LANGHE, E. Feasibility of *in vitro* propagation of bananas and plantains. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 62, n. 4, p. 323-328, Oct. 1985.

YOKOTA, S.; KARIM, M. Z.; AZAD, M. A. K.; RAHMAN, M. M.; EIZAWA, J.; SAITO, Y.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; YAHARA, S.; YOSHIZAWA, N. Histological observation of changes in leaf structure during successive micropropagation stages in *Aralia elata* and *Phellodendron amurense*. **Plant Biotech**, v. 24, p. 221-226, 2007.

ZACCHANI, M.; MORINI, S.; VITAGLIANO, C. Effect of photoperiod on some stomatal characteristics of *in vitro* cultured fruit shoots. **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, v. 49, p. 195-200, 1997.

ZOBAYED, S. M. A.; AFREEN, F.; Kozai, T. Physiology of *Eucalyptus* plantlets grown photoautotrophically in a scaled-up vessel. **In vitro Cellular and Developmental Biology – Plant**, New York, v. 37, p. 807-813, 2001.

CAPÍTULO 15

Propagação Clonal in Vitro de Abacaxizeiros: Metodologias e Aplicações para a Obtenção de Mudas em Larga Escala

Frederico Henrique da Silva Costa
Jonny Everson Scherwinski-Pereira

1. Introdução

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merril) é uma frutífera de clima tropical pertencente à família Bromeliaceae de destacada expressão econômica e social em todo o mundo. Seu cultivo é considerado uma atividade absorvedora de mão-de-obra no meio rural e geradora de emprego e renda. O fruto, utilizado tanto para o consumo in natura quanto na industrialização, representa uma fonte das vitaminas A, B e C, de cálcio, fósforo e ferro (SRIPAORAYA et al., 2003). No panorama nacional, o abacaxizeiro é cultivado em praticamente todos os estados brasileiros, sendo Minas Gerais, Pará e Paraíba os maiores produtores, respondendo em conjunto por mais de 50% da produção (ABACAXI, 2007).

Naturalmente, a propagação do abacaxizeiro pode ser realizada por meio de sementes, obtidas do cruzamento de plantas férteis, ou ainda, por meio de brotações (tipo coroa, filhote, filhote-rebentão) formadas a partir do desenvolvimento de gemas axilares pré-existentes na axila da folha de diferentes partes da planta-mãe. Entretanto, as cultivares comerciais normalmente não produzem sementes, e estas quando ocorrem apresentam germinação baixa e irregular (MANICA, 1999) e promovem variabilidade genética do estande estabelecido, o que certamente influencia negativamente nos tratos culturais e produção de frutos. Já o sistema de propagação convencional, a partir de brotações retiradas da planta-mãe, além de não garantir a sanidade ao material multiplicado, causa a disseminação de doenças importantes como a fusariose (*Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas*) e apresenta baixo rendimento de mudas, sendo necessário um tempo relativamente longo para conseguir obtê-las em grande quantidade (cerca de 15 a 20 meses) (MANICA, 1999).

Como conseqüência destes fatos, tem-se observado nos últimos anos o desenvolvimento e adoção de técnicas de propagação mais eficientes, as quais

têm possibilitado produzir mudas de qualidade e em quantidade bem superior ao método convencional (GOTTARDI et al., 2002).

Entre as tecnologias aprimoradas, a técnica de micropropagação ou propagação in vitro é certamente a mais adequada. As principais vantagens desse método, comparado aos meios tradicionais de propagação, são a multiplicação massal de genótipos selecionados de abacaxizeiro com elevada pureza genética e fitossanitária, em períodos de tempo e espaço físico reduzidos, sem interrupção sazonal, além de rápida disponibilização e validação de novos genótipos obtidos por programas de melhoramento genético. Soma-se a isso, a facilidade no transporte das mudas a longas distâncias, além da maior uniformidade nos tratos culturais e na produção (MANICA, 1999; GOTTARDI et al., 2002).

Apesar de suas vantagens e por ser uma tecnologia que exige a utilização de mão-de-obra especializada e uma estrutura laboratorial mais elaborada, seus custos ainda são bem superiores aos métodos de propagação convencionais, principalmente quando se considera a grande quantidade de mudas necessárias para plantio (60 mil ou mais por hectare), resultante das elevadas densidades de plantas por área empregadas para a cultura (FIROOZABADY; GUTTERSON, 2003). Dessa forma, o uso deste tipo de propágulo como fonte direta de mudas para renovação ou formação de novas lavouras ainda é considerado restrito e de baixa expressividade entre os produtores, sendo estas plantas produzidas em laboratório, normalmente usadas como plantas matrizes para a produção de mudas em plantios comerciais. Em decorrência dessas limitações, pesquisas têm sido realizadas com o intuito de reduzir os custos de produção, utilizando-se fontes alternativas de luz como a solar ou natural (SILVA, 2006) e empregando-se biorreatores (ESCALONA et al., 1999; TEIXEIRA, 2006), além de substituintes alternativos como agentes solidificantes do meio de cultura (PASQUAL et al., 1998; SÁ, 2001; TEIXEIRA et al., 2001; COSTA et al., 2007).

O objetivo deste capítulo é abordar aspectos e procedimentos básicos aplicados à obtenção de material propagativo de abacaxizeiro com elevado padrão genético e sanitário. No entanto, não se tentará esgotar o assunto, pois conforme as facilidades disponíveis para se aplicar a técnica, juntamente com a criatividade individual e experiência adquirida, adaptações e/ou inovações podem ser possíveis.

2. Micropropagação de Abacaxizeiro

Os primeiros trabalhos com a micropropagação do abacaxizeiro foram realizados por Aghion e Beauchesne (1960). Desde então, vários estudos e protocolos foram publicados sobre o assunto, o que tem possibilitado a intensificação de uso desta técnica em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil.

De maneira geral, a obtenção massal de mudas de abacaxizeiro por meio da técnica de micropropagação envolve basicamente a produção de múltiplas brotações axilares, originadas de gemas pré-existentes na axila de cada folha, em meio de cultura e sob condições ambientais apropriadas.

Para isso, o processo de micropropagação é constituído basicamente por cinco fases distintas: a) seleção de matrizes; b) coleta de material vegetal e estabelecimento in vitro; c) multiplicação/proliferação de brotações axilares; d) alongamento e enraizamento in vitro; e) aclimatização. Porém, o sucesso para a obtenção de grande quantidade de mudas micropropagadas depende de fatores como a cultivar, a condição genética e sanitária do material vegetal fonte de explantes (matrizes), a constituição dos meios de cultura nas diferentes etapas do cultivo in vitro e as condições do ambiente de cultivo in vitro e ex vitro (aclimatização).

2.1. Seleção das Matrizes

A escolha das plantas matrizes, das quais é obtido o material vegetal fonte de explantes primários, constitui a primeira etapa da micropropagação do abacaxizeiro. É nesta etapa que o genótipo, planta modelo ou planta-mãe que se quer clonar é escolhido. Ainda nesta etapa, os estados fisiológico, nutricional e sanitário das matrizes, bem como as características de produção (precocidade, tamanho, forma, qualidade dos frutos, etc.), devem ser considerados, pois poderão exercer influência negativa nas etapas posteriores da micropropagação, bem como no desempenho das plantas no campo.

O ideal é dispor sempre de matrizes elites selecionadas em bancos ativos de germoplasma (BAG), ou melhor, coleções de trabalho, em que normalmente já se conhecem os dados de produção dos genótipos e/ou cultivares. Plantios comerciais, em que se observam plantas em boas condições sanitárias, também podem servir como fonte de propágulos, muito embora as plantas mantidas neste ambiente estejam expostas a condições ambientais naturais o que pode ocasionar maiores níveis de contaminação no momento do estabelecimento in vitro. Nesse contexto, Teixeira (2006) afirma que no caso do abacaxi a manutenção das matrizes em ambiente protegido é indesejável, uma vez que a melhor fonte de explante são as brotações laterais da planta obtidas em campo.

2.2. Coleta de Material Vegetal, Tipo de Explantes e Estabelecimento in Vitro

2.2.1. Coleta de Material Vegetal e Tipo de Explantes

Em abacaxizeiro, o material vegetal, fonte de explantes, é obtido a partir de brotações (mudas) formadas de gemas pré-existentes na axila das folhas de várias partes das plantas matrizes selecionadas. Tais mudas recebem diferentes denominações dependendo da parte da planta onde ocorrem, podendo ser do tipo: coroa (brotação do ápice do fruto), filhote (brotação do pedúnculo, a haste que sustenta o fruto), filhote-rebentão (brotação da região de inserção do pedúnculo no caule ou talo), rebento-lateral e rebento-enraizado ou rebentão (brotação do caule) (Fig. 1) (MANICA, 1999; REINHARDT et al.,

2000). Entretanto, apesar da diversidade de tipos de mudas, a sua utilização é limitada ao baixo rendimento de propágulos produzidos por planta, dependendo do genótipo e condições de manejo da cultura. Aliado a estes fatores, tem-se o fato da muda do tipo coroa permanecer aderida aos frutos no momento da comercialização, com exceção daqueles destinados à indústria, ao passo que os rebentos apresentam variações no tamanho, o que pode ocasionar florescimento irregular (SRIPAORAYA et al., 2003).

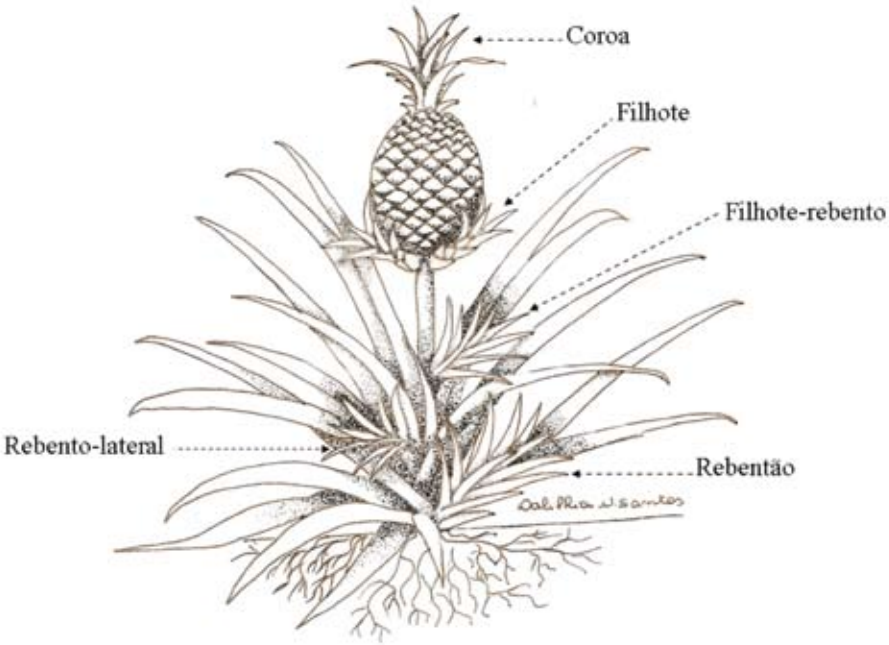


Ilustração: Dalilhia Nazaré dos Santos

Fig. 1. Planta matriz de abacaxizeiro evidenciando os tipos de mudas utilizadas para propagação e micropropagação.

Entre os tipos de mudas existentes, alguns autores têm recomendado as do tipo filhote por possibilitarem maior percentagem de sobrevivência e desenvolvimento in vitro das gemas axilares que as advindas da coroa (DREW, 1980 citado por MANICA, 1999). Nesse mesmo sentido, Damião Filho et al. (1993) afirmam que gemas axilares provenientes de mudas tipo coroa apresentam desenvolvimento mais lento comparado àquelas oriundas de mudas aderidas à planta matriz, o que se deve ao seu tamanho reduzido.

Do mesmo modo, Teixeira et al. (2001) e Teixeira (2006) indicam as mudas tipo filhote e filhote-rebentão como as mais apropriadas para obter explantes, devendo essas apresentarem um comprimento mínimo de 20 cm. Segundo esses autores, em virtude dessas mudas estarem mais distantes do solo, a infestação por contaminantes é menor, o que permite um maior sucesso no estabelecimento in vitro de gemas axilares livre de contaminantes. Nesse sentido, Sá (2001), avaliando gemas axilares provenientes de mudas tipo

rebentão (15 a 20 cm e 50 cm), constatou maior sobrevivência (50%) para as mudas maiores (50 cm), as quais proveram gemas de 3,5 mm.

A coleta do material vegetal deve ser realizada de preferência no mesmo dia do estabelecimento in vitro, para evitar a excessiva exposição aos fatores do ambiente e reduzir a possibilidade de contaminação e desidratação. Todavia, Teixeira et al. (2001) afirmam ser possível utilizar mudas do tipo filhote num prazo máximo de 15 dias, desde que armazenadas em local sombreado com 60% e 80% de umidade relativa e 20°C e 30°C. Nessa fase, deve-se considerar também a estação do ano, a qual pode interferir principalmente nas taxas de contaminação do material. Para isso, um correto estudo sobre a época mais favorável pode possibilitar o planejamento da coleta do material em campo, facilitando sobremaneira a organização das etapas do cultivo e de mão-de-obra em laboratório.

Quanto ao tipo de explante, o estabelecimento do cultivo in vitro de abacaxizeiro é realizado a partir de gemas axilares existentes naturalmente em cada axila foliar e ápices caulinares[1], sendo essas gemas preferíveis pela facilidade de obtenção e por existir em maior quantidade nas mudas. O estabelecimento desses explantes, desde que não apresentem contaminação e o meio de cultura utilizado seja apropriado, resultará diretamente na formação de uma planta completa.

2.2.2. Preparo do Material Vegetal e Extração das Gemas Axilares

As mudas obtidas são levadas para o laboratório e, em ambiente externo da sala de recepção de material vegetal, devem ter todas as folhas externas retiradas no sentido da base para o ápice, de modo a obter somente a haste ou talo caulinar, contendo as gemas e/ou o ápice caulinar (Fig. 2). Em seguida, a haste é submetida a uma lavagem com detergente líquido comercial e água corrente e, com auxílio de pinças e bisturis, as gemas axilares contendo segmentos da haste (2 a 5 mm^3) são excisadas e posteriormente submetidas a um processo de desinfestação em câmara de fluxo laminar (Fig. 2). Nesta etapa, o tempo da exposição das gemas ao fluxo de ar da câmara deve ser o menor possível, uma vez que a desidratação pode prejudicar o desenvolvimento posterior das gemas in vitro.

Caso seja de interesse, pode-se também realizar, sob condições de total assepsia (fluxo laminar), a excisão do ápice caulinar, utlizando-se microscópio estereoscópico. Todavia, este tipo de explante tem sido pouco empregado, pois cada muda possui apenas um ápice, além de seu desenvolvimento ser mais lento em virtude do tamanho inferior e susceptibilidade ao ressecamento e/ou necrose. A justificativa para utilizar este tipo de explante está relacionada à limpeza clonal de plantas infectadas por *Fusarium subglutinans*, conforme reportado por Albuquerque et al. (2000). Segundo estes autores, o cultivo in vitro de ápices caulinares de abacaxizeiro medindo aproximadamente 1,0 mm, em meio contendo ácido giberélico (AG_3), possibilitou 100% das plantas

[1]Meristema envolto por algumas camadas de primórdios foliares.

regeneradas livres de patógenos, o que foi confirmado pelo teste de indexação. Contudo, o tempo de regeneração das plantas, após o estabelecimento in vitro do ápice, foi de aproximadamente 120 dias.

Ressalta-se ainda que podem ocorrer modificações nos procedimentos acima descritos conforme relatado por Teixeira et al. (2001), que realizaram a assepsia (desinfestação) e retirada das gemas em ambiente de fluxo laminar.

2.2.3. Assepsia e Estabelecimento in Vitro (Transferência dos Explantes para meio de Cultura)

Uma vez que o cultivo in vitro é realizado sob condições de total assepsia, todos os explantes devem passar por um processo de desinfestação, antes de serem introduzidos em meio de cultura. Com esse intuito, realiza-se sob condições de câmara de fluxo laminar uma fase de assepsia, que consiste em eliminar os microrganismos (fungos e bactérias) presentes superficialmente nos tecidos do explante. Para isso, os explantes já excisados (gemas axilares contendo pequeno segmento da haste) são submetidos a um processo de desinfestação[2], que consiste da imersão em álcool 70% por alguns segundos, seguido de solução de hipoclorito de sódio a 1,00%-1,25% de cloro ativo, contendo algumas gotas do detergente Tween 20, por 10-15 minutos, e por fim lavagem por três vezes em água destilada e autoclavada em câmara de fluxo laminar (Fig. 2). Teixeira et al. (2001) recomendam que seja evitada água sanitária comercial por conter alto teor de hidróxido de sódio, que tem ação cáustica e pode danificar os tecidos da gema.

Terminada a desinfestação, os explantes são transferidos para tubos de ensaio contendo meio de cultura e, em seguida, mantidos em sala de cultivo até seu crescimento e diferenciação, podendo demorar de quatro a seis semanas (a depender do genótipo, assepsia, tamanho do explante, meio de cultura e condições de cultivo) (Fig. 3). De acordo com Ventura (1994) e Sá (2001), a quebra de dormência das gemas, ou seja, o início do seu desenvolvimento (que se caracteriza pela mudança da cor branca para verde) ocorre entre 10 e 15 dias após o estabelecimento in vitro, enquanto o processo de organogênese acontece geralmente aos 30 dias. Nesse contexto, Teixeira et al. (2001), avaliando oito genótipos de abacaxizeiro, verificaram que a porcentagem de gemas desenvolvidas in vitro variou de 13,3% a 80%, ao passo que Ventura (1994) e Sá (2001) relatam de 36% a 75%.

2.2.4. Indexação de Fungos e Bactérias dos Explantes Estabelecidos in Vitro

A indexação é o processo de detecção de patógenos em plantas ou culturas, visando identificar plantas sadias. Constitui um procedimento importante do processo de micropropagação e deve ser realizado anteriormente à fase de multiplicação, visto que a ocorrência de contaminantes durante os subcultivos pode limitar ou mesmo inviabilizar a produção de mudas.

[2]Este procedimento tem sido utilizado nos trabalhos e pode apresentar variações ou adaptações de acordo com a literatura consultada, seja quanto ao tipo e/ou concentração das substâncias desinfetantes ou tempo de exposição dos explantes a eles.

Fotos: Jonny E. Scherwinski-Pereira

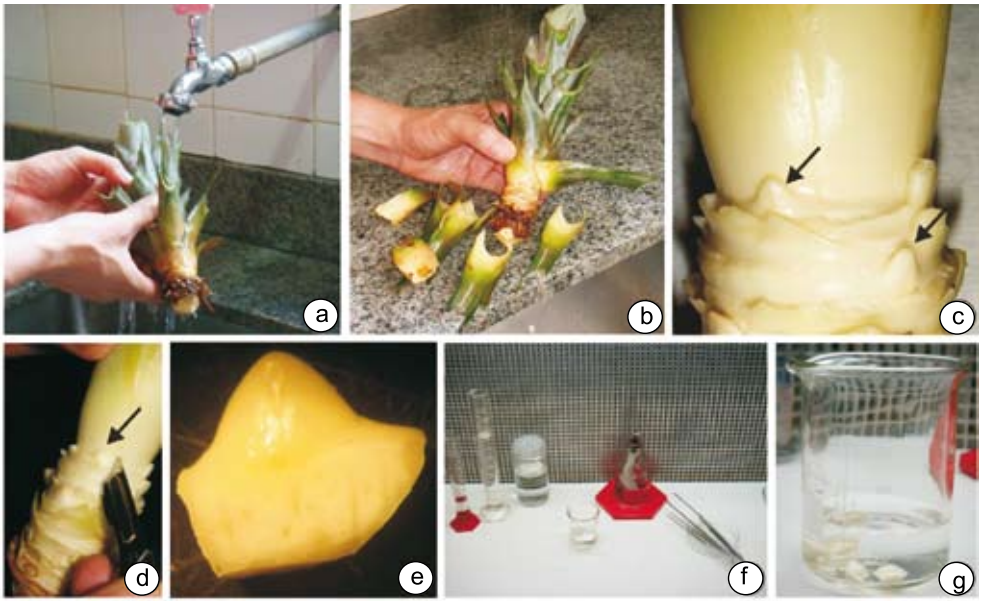


Fig. 2. Aspectos gerais para o estabelecimento in vitro de gemas axilares: a, b) lavagem e desfolha do material vegetal; c) detalhe da haste caulinar desfolhada, evidenciando gemas axilares (setas); d) excisão de gema axilar ex vitro; e) detalhe da gema obtida; f, g) processo de desinfestação em câmara de fluxo laminar, utilizando álcool, hipoclorito de sódio e água estéril.

Fotos: Jonny E. Scherwinski-Pereira

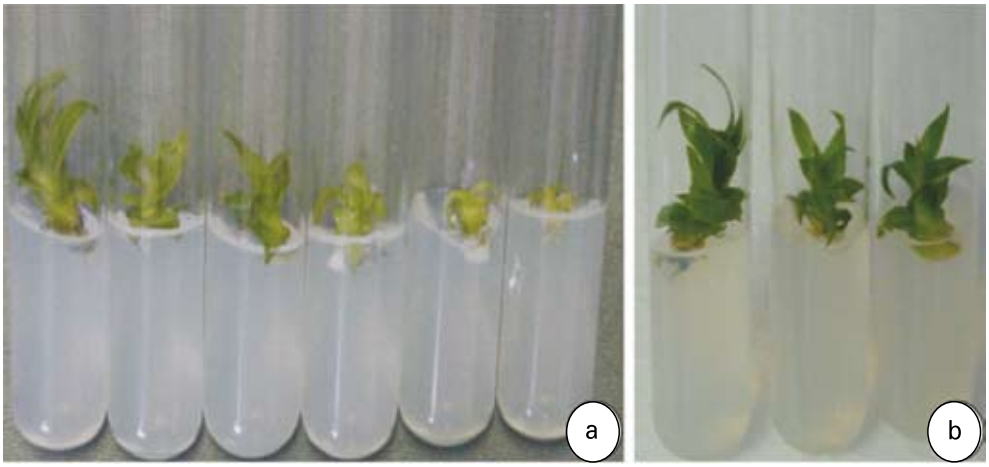


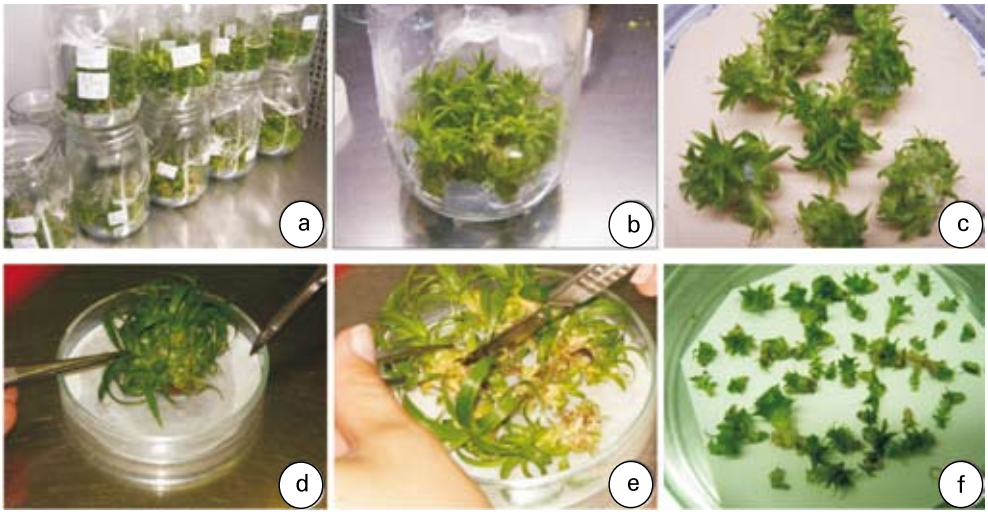
Fig. 3. Brotos em diferentes estádios de desenvolvimento, oriundos do estabelecimento in vitro de gemas axilares de abacaxizeiros: a) início de desenvolvimento, após 4 a 6 semanas do estabelecimento das gemas; b) brotações isoladas em tubos de ensaio, oriundas das etapas tardias do estabelecimento.

Para a micropropagação do abacaxizeiro, a indexação é feita por observação visual, durante e após a fase de estabelecimento in vitro. No último caso, as brotações obtidas são transferidas para meio de consistência líquida em camada fina, verificando-se a partir de então a turbidez do meio, pelo crescimento de bactérias, fungos e leveduras. Já no caso de indexação para vírus, deve-se realizá-la na planta matriz, pois os sintomas são evidentes (TEIXEIRA, 2006).

2.3. Multiplicação/Proliferação de Brotos

Terminado o período de estabelecimento in vitro (quatro a seis semanas), os explantes livres de contaminação e com desenvolvimento satisfatório (Fig. 3b) são submetidos à indução de múltiplas brotações axilares. Para isso, os brotos são subdivididos e, em seguida, transferidos para meio de cultura suplementado com regulador de crescimento, geralmente uma combinação entre citocinina e auxina, e mantidos em sala de crescimento.

Após algumas semanas, os explantes primários e as brotações produzidas (agregados de brotos ou multibrotações) são individualizados (sempre que possível) ou divididos em agregados menores, submetidos a uma poda das folhas e raízes e transferidos para meio de cultura fresco, até que os mesmos procedimentos sejam novamente demandados (Fig. 4). Essas sucessivas transferências dos explantes para meio de mesma constituição são conhecidas como subcultivos, repicagens ou ciclos de multiplicação. Cada subcultivo tem uma duração média de quatro a cinco semanas e deve ser efetuado no máximo cinco vezes, para evitar ou reduzir o aparecimento de plantas atípicas e também a depleção dos constituintes (carboidrato, sais minerais e vitaminas) e do próprio meio de cultura pelos explantes.



Fotos: Jonny E. Scherwinski-Pereira

Fig. 4. Aspectos da fase de repicagem em fluxo laminar: a, b) brotos em meio de multiplicação de consistência semi-sólida; c, d, e, f) manipulação dos brotos (individualização, subdivisão e corte da parte aérea das multibrotações).

Para o sistema de produção de mudas comercial, a fase de multiplicação é uma das mais importantes, na qual se procura obter o máximo de brotações, no menor espaço de tempo sem, no entanto, prejudicar as etapas subseqüentes (alongamento/enraizamento e aclimatização), seja pela presença de plantas atípicas (variantes) ou devido à baixa qualidade e homogeneidade das partes aéreas produzidas (GRATTAPAGLIA; MACHADO, 1998).

Dessa forma, tem-se uma multiplicação em crescimento por progressão geométrica, de modo que a partir de uma única gema axilar estabelecida in vitro é possível obter milhares de novas brotações ao final de alguns meses, o que dependerá do protocolo, habilidade dos manipuladores e genótipo empregados.

Um fator imprescindível na etapa de multiplicação diz respeito à suplementação exógena do meio de cultura com citocininas[3] e auxinas, sendo as mais utilizadas a N^6-benzilaminopurina (BAP) e o ácido naftaleno acético (ANA) respectivamente. Segundo Teixeira et al. (2001) a presença da auxina no meio de multiplicação favorece o enraizamento das brotações na fase seguinte (alongamento e/ou enraizamento), além de permitir a produção de brotos mais alongados. O BAP é uma citocinina que promove a indução de múltiplas brotações pela quebra da dominância apical[4] (TEIXEIRA et al., 2001). Atualmente é a citocinina mais utilizada para a indução in vitro de brotos axilares em genótipos de abacaxizeiro, porém a concentração "ideal" é genótipo-dependente.

Além do BAP, outras citocininas têm sido utilizadas em protocolos de micropropagação de abacaxizeiro, como a cinetina (CIN) (BARBOZA et al., 2004) e zeatina (FITCHET, 1990). Adicionalmente, outras substâncias com efeitos de citocininas são relatadas, entre as quais, o Thidiazuron (TDZ) e o sulfato de adenina (PAIVA et al., 1999), porém seus efeitos ainda são pouco conhecidos e em alguns casos ineficientes quando comparados ao BAP.

Outro fator a ser considerado nesta fase é o estado físico do meio de cultura, pois existem vários trabalhos que reportam o uso de meio líquido, com resultados superiores ao meio geleificado (FIROOZABADY; GUTTERSON, 2003). Porém, no caso de se optar por meios semi-sólidos, o ágar tem sido o agente solidificante mais empregado, embora Costa et al. (2007) relatem o uso de amido de mandioca (60 g L^{-1}) com resultados similares à adição de ágar (5 g · L^{-1}) (12,6 brotações/explante).

Alternativamente ao estabelecimento in vitro de gemas axilares, a multiplicação pode ainda ter como fonte de explantes de plantas mantidas in vitro por vários meses ou mesmo anos. Isso pode acontecer em laboratórios que mantêm acessos ou genótipos sob conservação in vitro. Neste caso, as plantas também têm as raízes e o ápice das folhas cortados (podados). A utilização de plantas mantidas assepticamente em laboratório tem como vantagem possibilitar que todo processo de produção seja programado a intervalos de tempo reduzidos (semanas ou dias). Em contraste, quando se considera o estabelecimento in vitro, o período de produção é maior, além do que problemas relacionados à

[3]As citocininas são uma classe de reguladores de crescimento com capacidade marcante de induzir a divisão celular em tecidos vegetais, sendo por isso importantes para formação de órgãos, principalmente, aéreos.

[4]Dominância exercida pela gema apical de um broto ortotrópico (broto com crescimento vertical) ou galho sobre as gemas laterais, impedindo o desenvolvimento dessas (TEIXEIRA, 2006).

disponibilidade de mudas, aos níveis de contaminação e ao estabelecimento em si podem ocorrer, comprometendo o cronograma de produção (TEIXEIRA, 2006).

2.4. Alongamento/Enraizamento dos Brotos

O uso freqüente de citocininas no meio de cultura durante subcultivos seqüenciais, com o intuito de maximizar as taxas de multiplicação, tem resultado em brotações com reduzido alongamento da parte aérea, de difícil individualização e que apresentam pouca ou nenhuma raiz (provavelmente devido ao efeito cumulativo do regulador de crescimento – habituação). Devido a isso, uma fase de alongamento e/ou concomitantemente de enraizamento é necessária, sobretudo para os brotos menores.

Para tanto, as múltiplas brotações e/ou os agregados de gemas obtidos ao final da fase de multiplicação são individualizados ou subdivididos em agregados menores (*clusters*) e transferidos para meio de alongamento e enraizamento, geralmente suplementado com auxina(s) e desprovido de citocininas. Dessa forma, ao final de 3 a 4 semanas, são obtidas plantas completas, apresentando parte aérea alongada e raízes, as quais são submetidas à fase de aclimatização.

Existe ainda a possibilidade de que brotações bem desenvolvidas possam ser diretamente removidas dos frascos e submetidas ao processo de aclimatização, sem necessitar de uma fase de alongamento/enraizamento in vitro. Possibilidade esta reportada por Ventura et al. (1994), Guerra et al. (1999) e Sá (2001), segundo os quais mesmo as plantas que não formaram raízes in vitro, o fizeram após o transplantio para substrato com 95,5% e 100% de sobrevivência.

2.5. Meio de Cultura e Condições de Cultivo

2.5.1. Meio de Cultura

Em geral, os meios de cultura utilizados para o cultivo in vitro de células, tecidos e órgãos são constituídos por substâncias essenciais ao crescimento e desenvolvimento das culturas, tais como a água, macro e micronutrientes, aminoácidos, vitaminas e carboidrato(s). Além destes, outros compostos podem ser adicionados, como os reguladores de crescimento[5], agentes geleificantes (ágar, Phytagel®, amido de mandioca), compostos orgânicos complexos (água de coco), carvão ativado, caseína hidrolisada, antibióticos e/ou fungicidas.

Uma outra condição imprescindível do meio de cultura refere-se ao pH, o qual deve ser adequado à integridade celular, podendo também influenciar na disponibilidade de nutrientes e reguladores de crescimento e na geleificação/

[5]Reguladores de crescimento são análogos sintéticos dos hormônios vegetais. Têm a mesma função dos hormônios, porém são sintetizados em laboratório e não pela planta, além de ser requeridos em maiores quantidades para obter resposta semelhante (TERMIGNONI, 2005). São exemplos, o N^6-benzilaminopurina (BAP) e Tidiazuron (TDZ) (grupo das citocininas); e ácido indolbutírico (AIB) e ácido naftalenoacético (ANA) (grupo das auxinas).

solidificação do meio (caso o meio seja de consistência semi-sólida ou sólida). Assim, normalmente utiliza-se pH ajustado para 5,8. Em relação à autoclavagem, esta é realizada por 15 a 20 minutos a 121ºC e 1,3 atm de pressão.

A escolha por determinado meio de cultura é função da espécie vegetal a ser micropropagada, tipo de explante e as diferentes fases do processo (estabelecimento, multiplicação, etc.), sendo por esses motivos uma condição básica para o desenvolvimento de protocolos bem sucedidos. Portanto, para uma melhor resposta morfogenética dos explantes (ápices caulinares, meristemas, brotações, etc.), o mais adequado é desenvolver um meio de cultura baseado nas exigências da espécie, ou mesmo cultivar em questão, tomando por base análises nutricionais.

Para o abacaxizeiro, o meio de cultura freqüentemente utilizado em todas as etapas da propagação in vitro é o de Murashige e Skoog (1962), mundialmente conhecido como MS (Tabela 1), acrescido de reguladores de crescimento (TAMAKI et al., 2007). Entretanto, dependendo da fase de cultivo, algumas modificações têm sido feitas, especialmente nas concentrações de macronutrientes, havendo também alguns relatos do uso de outras formulações, como o meio N6 e MT (ALBUQUERQUE et al., 2000; SRIPAORAYA et al., 2003). Quanto ao estado físico do meio de cultura, a maioria dos trabalhos baseia-se no uso de meios de consistência semi-sólida, utilizando o ágar ou Phytagel como agentes geleificantes (MACEDO et al., 2003; PEDROSO et al., 2001). Porém, estudos mais recentes têm relatado o emprego de meio líquido, principalmente em sistema de biorreatores de imersão temporária (ESCALONA et al., 1999; FIROOZABADY; GUTTERSON, 2003; TEIXEIRA et al., 2001; TEIXEIRA, 2006), cuja eficiência tem sido superior comparado ao meio semi-sólido e líquido (estacionário ou em agitadores).

Outra estratégia para a micropropagação de abacaxizeiro é o sistema de cultivo em meio dupla-fase (bifásico), que consiste em acrescentar, ao longo da cultura in vitro, alíquotas de meio líquido sobre o meio semi-sólido contendo os explantes, ao invés de transferir as brotações para meio fresco. Dessa forma, é possível reduzir a constante necessidade por subcultivos, como também diminuir a manipulação (subdivisão e individualização) dos agregados de gemas e multibrotações, o número de frascos envolvidos no processo de multiplicção e o espaço laboratorial. Acrescenta-se ainda que o uso do sistema dupla-fase possibilita o aumento da superfície de área do explante em contato com o meio de cultura e o incremento da difusão, absorção e renovação dos constituintes do meio de cultivo.

Tabela 1. Composição do meio MS.

Componente	Concentração	
	$mg \cdot L^{-1}$	mM
	Macronutrientes	
NH_4NO_3	1.650	20,6
KNO_3	1.900	18,8
$CaCl_2.2H_2O$	440	3,0

Continua...

Tabela 1. Continuação.

$MgSO_4.7H_2O$	370	1,5
KH_2PO_4	170	1,25
Micronutrientes		
$MnSO_4.4H_2O$	22,3	0,100
$ZnSO_4.7H_2O$	8,6	0,030
H_3BO_3	6,2	0,100
KI	0,83	0,005
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0,25	0,001
$CuSO_4.5H_2O$	0,025	0,0001
$CoCl_2.6H_2O$	0,025	0,0001
FeEDTA		
$Na_2EDTA.2H_2O$	37,3	0,10
$FeSO_4.7H_2O$	27,8	0,10
Vitaminas e aminoácidos		
Tiamina – HCl	0,1	0,0003
Piridoxina – HCl	0,5	0,0024
Ácido nicotínico	0,5	0,0040
Glicina	2,0	0,0270
Mio-Inositol	100	0,55
Sacarose	30.000	87,6

Fonte: Adaptada de Murashige; Skoog, 1962.

2.5.1.1. Fase de Estabelecimento

Para esta fase, a maioria dos protocolos tem utilizado meio semi-sólido, geralmente solidificado com ágar e acrescido de combinações entre citocininas e auxinas (SOUZA JUNIOR et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2002; MACEDO et al., 2003; SRIPAORAYA et al., 2003; BARBOZA et al., 2004). Alternativamente, Costa et al. (2007) reportam o estabelecimento in vitro de gemas axilares das cultivares Rio Branco e Quinari, pela substituição parcial ou total do ágar pelo amido de mandioca (fécula). Em adição, há relatos do uso de meio líquido, tanto em frascos[6] quanto em tubos de ensaio, empregando-se neste caso suportes do tipo ponte de papel-filtro (ESCALONA et al., 1999; GUERRA et al., 1999; SÁ, 2001).

A importância da escolha de meio apropriado e do uso de reguladores de crescimento na etapa de estabelecimento in vitro é relatada por Albuquerque et al. (2000), segundo os quais, o percentual de necrose dos ápices caulinares de aproximadamente 1 mm, provenientes de mudas do tipo coroa da cv. Pérola, foi de 0% em meio N6 adicionado de AG_3, ao passo que no meio MS suplementado com BAP 20% dos ápices necrosaram. Também verificaram que na ausência de reguladores de crescimento a freqüência de necrose foi em média 90%,

[6]É importante destacar que o uso de frascos contendo várias gemas axilares em vez de tubos de ensaio (contendo apenas uma gema axilar cada um) pode acarretar maiores perdas, uma vez que na fase de estabelecimento a possibilidade de contaminações é maior.

alcançando a totalidade na maioria deles. Nesse contexto, Grattapaglia e Machado (1998) afirmam ser benéfica a adição de reguladores de crescimento, uma vez que supre as possíveis deficiências dos níveis endógenos de hormônios nos explantes isolados.

Já Firoozabady e Gutterson (2003) utilizaram para o estabelecimento de gemas meristemáticas (1 cm^3), oriundas de mudas tipo coroa da cv. Smooth Cayenne, meio basal constituído pelos sais de MS reduzido a 50%, vitaminas de B5, 30 g · L^{-1} de sacarose e 0,2% Gel-rite, acrescido de BAP (3 mg · L^{-1}). Utilizando este meio, os meristemas apresentavam-se alongados e com as folhas primárias totalmente abertas, após uma semana do estabelecimento.

Tratando-se do estabelecimento de gemas axilares, tem sido indicado o meio MS básico, acrescido de BAP (0,5 a 2,0 mg · L^{-1}) e ANA (0,12 a 2 mg · L^{-1}) (ALMEIDA et al., 1994, 2002; ESCALONA et al., 1999; GUERRA et al., 1999; BARBOZA et al., 2004), CIN (2,0 mg · L^{-1}) (SRIPAORAYA et al., 2003) ou mesmo desprovido de reguladores de crescimento (SOUZA JUNIOR et al., 2001).

2.5.1.2. Fase de Multiplicação

Apesar de vários trabalhos utilizarem meio semi-sólido nesta etapa, estudos mais recentes têm demonstrado ser um sistema pouco eficiente e laborioso para uso em escala comercial em comparação ao emprego de meio líquido, principalmente quando este é associado a biorreatores de imersão temporária (ESCALONA et al., 1999; FIROOZABADY; GUTTERSON, 2003, SILVA et al., 2007). O interesse em se utilizar meio líquido pode ser justificado, entre outros aspectos, pela facilidade de preparação e manipulação do meio, redução dos custos, possibilidade de automação do processo, uso de uma menor quantidade de meio por explante, além de poder aumentar a disponibilidade de nutrientes e proporcionar um maior contato dos explantes com o meio (PEREIRA; FORTES, 2003). Entretanto, caso não se disponha de equipamentos do tipo biorreatores, deve-se ter o cuidado de não utilizar grandes quantidades de meio líquido em sistema estacionário (sem agitação), de modo a evitar que os explantes sejam encobertos e ocasionar a falta de aeração do material em cultivo. Assim, recomenda-se utilizar camadas finas de meio líquido (TEIXEIRA, 2006) ou empregar agitadores orbitais.

Quanto às concentrações de reguladores de crescimento, existe grande amplitude de variação entre os protocolos, com concentrações de BAP e ANA variando entre 0,25 e 3 mg · L^{-1} e 0,12 e 2 mg · L^{-1}, respectivamente. Porém, as maiores taxas de multiplicação são obtidas com 1,5 a 2 mg · L^{-1} de BAP associado a quantidades menores de ANA. Almeida (1994) afirma que concentrações maiores de BAP (4,0 ou 5,0 mg · L^{-1}) são prejudiciais aos explantes, com altas taxas de mortalidade, ao passo que 2,0 mg · L^{-1} promovem a melhor resposta de diferenciação. Nesse mesmo sentido, Medeiros et al. (2001) relatam que o acréscimo de BAP (2 e 4 mg · L^{-1}) e ANA (1 e 2 mg · L^{-1}), no meio de cultura, favorece a multiplicação, entretanto os brotos apresentam um alongamento da parte aérea muito reduzido e são de difícil individualização. Por outro lado, concentrações intermediárias (BAP 0,5 mg · L^{-1} + 0,25 mg · L^{-1} de ANA) ou

mesmo menores (BAP 0,25 mg · L^{-1} + 0,12 mg · L^{-1} de ANA) são as mais indicadas para obter brotos com taxa de crescimento e de multiplicação in vitro equilibradas.

As diferenças nas concentrações exógenas de reguladores de crescimento reportadas na literatura podem ser atribuídas, principalmente, ao genótipo utilizado e a consistência do meio de cultura (sólido ou líquido). Assim, para propósitos de micropropagação devem-se desenvolver protocolos regenerativos específicos para cada cultivar, sempre observando a qualidade dos brotos produzidos.

Além do uso de reguladores de crescimento, outra alternativa que tem mostrado resultados positivos na indução de brotações e aumento nas taxas de multiplicação em abacaxizeiro é a quebra da dominância apical por processos mecânicos (ALMEIDA et al., 2002). De acordo com estes autores, o emprego de meio líquido estacionário suplementado com 1,5 mg · L^{-1} de BAP e o seccionamento longitudinal dos brotos aumentaram o número médio de brotos/explante (2013,5) após cinco subcultivos na cv. Pérola, o que foi atribuído à maior absorção do meio de cultura e ao estímulo à divisão celular, ocasionado pelo corte ao meio dos explantes. Utilizando essa metodologia, os autores concluíram ser possível obter 161.080 plantas após oito meses, partindo apenas de oito mudas tipo filhote, cada uma contendo dez gemas axilares. Por outro lado, usando o método convencional de multiplicação de abacaxizeiro, seriam necessários 7 anos e 6 meses para obter 32.700 mudas de uma planta matriz inicial, insuficiente para estabelecer um hectare desta cultura.

Recentemente, Firoozabady e Gutterson (2003) visando reduzir os custos de micropropagação do abacaxizeiro, tanto em relação à mão-de-obra quanto ao espaço requerido, propuseram que nos estágios anteriores ao processo de multiplicação in vitro, os explantes resultantes do estabelecimento in vitro devem ser seccionados longitudinalmente em várias partes para permitir que os brotos axilares normalmente quiescentes produzam novas brotações, resultando em aumento global da multiplicação.

2.5.1.3. Fase de Alongamento e Enraizamento

Nesta fase, a maioria dos trabalhos tem utilizado a formulação básica do meio MS reduzindo a sua concentração salina (BARBOZA et al., 2004), suplementado ou não com auxinas. No entanto, a eficiência desta etapa tem sido relacionada principalmente à consistência do meio e ao sistema de cultivo utilizado (TEIXEIRA et al., 2001, TEIXEIRA, 2006).

Isso porque de acordo com Teixeira et al. (2001), a transferência dos agregados de gemas, provenientes da multiplicação em meio geleificado, para meio líquido em biorreator de imersão temporária proporciona uma eficiência na produção de mudas ao final do processo de micropropagação da ordem de 3,5 vezes em comparação ao meio geleificado. Assim, utilizando este sistema, o número de mudas regeneradas por agregado variou de 11,1 a 37,4, ao passo que utilizando meio solidificado este número variou de 5,4 a 11,3

entre 9 genótipos estudados. Em estudo mais recente, Teixeira (2006) afirma que devido ao elevado número de frascos requerido para o alongamento e enraizamento (entre 100 e 150 unidades para produzir mil mudas), o emprego do sistema de imersão temporária, utilizando meio MS desprovido de regulador de crescimento e 4% de sacarose, reduz sobremaneira os custos de produção (maiores informações no tópico relacionado ao uso de biorreator).

Quanto ao meio de cultivo, estudo realizado por Tamaki et al. (2007), com diferentes diluições dos macronutrientes do meio MS, sobre o cultivo in vitro de clones da cv. Smooth Cayenne, a partir de nós estiolados, demonstrou que o meio MS/5 (reduzido em 1/5 dos macronutrientes) promove os mesmos efeitos para a parte aérea e sistema radicular, quando comparado aos meios MS completo e MS/2 (reduzido a 50% dos macronutrientes). Ainda de acordo com os autores, os teores de nitrato dos eixos caulinares foram maiores nas plantas cultivadas em MS, decrescendo 50% em MS/2 e a 90% em MS/5, ao passo que nenhuma diferença significativa foi obtida para clorofila a+b e carotenóides. Dessa forma, os autores concluíram ser possível a redução de custos, uma vez que a quantidade de nitrogênio no meio MS original poderia estar além das necessidades nutricionais do clone de *Ananas comosus* analisado, promovendo um acúmulo de nitrato nos tecidos das plantas mantidas nessa condição.

Fotos: a, b (Empresa de Biotecnologia Vegetal); c, d, e (Hermínio Souza Rocha).

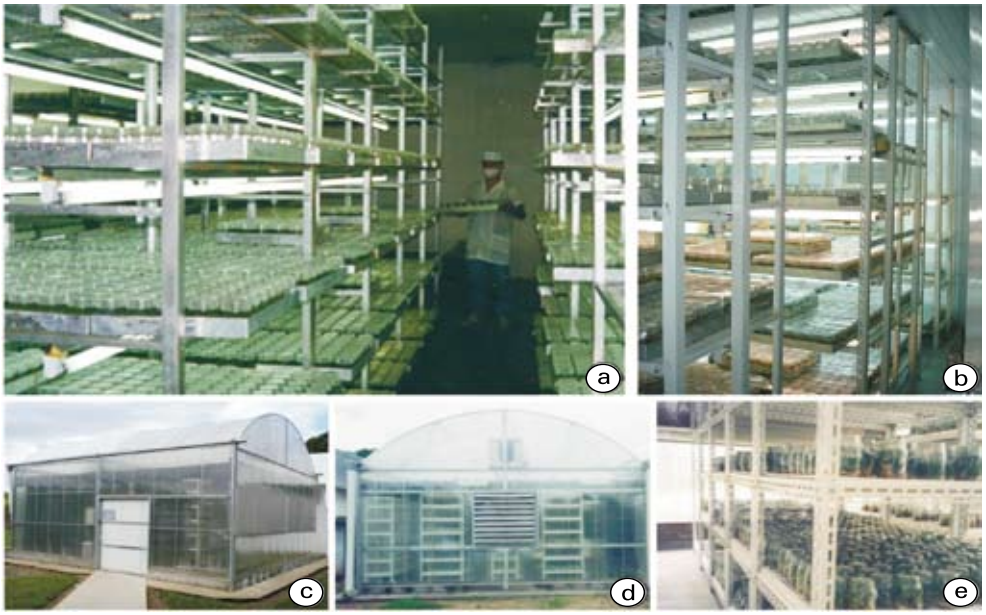


Fig. 5. Vista geral do ambiente de cultivo de abacaxizeiros micropropagados: a, b) sala de crescimento de luz artificial; c, d, e) sala de crescimento de luz solar/natural – Campo – Biotecnologia Vegetal, localizada na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, BA.

2.5.2. Condições de Cultivo ou Incubação

Durante todas as fases do cultivo in vitro, o padrão adotado tem sido o de salas de crescimento climatizadas, as quais possuem, geralmente, iluminação artificial (fornecida por lâmpadas fluorescentes tubulares 20W ou 40W), com fotoperíodo de 16 horas e temperatura média de 25°C ± 2°C. Porém, resultados obtidos por Silva (2006) demonstram ser possível e vantajoso, na fase de enraizamento in vitro, substituir a iluminação artificial pela luz solar nas salas de crescimento (Fig. 5).

Estudo recente reporta diferenças visíveis no padrão de crescimento, estrutura foliar interna e no processo de carboxilação (CAM ou C3) de plantas de abacaxizeiro *Ananas comosus* var. Smooth cayenne, de um mesmo clone, dependendo do regime de temperatura utilizado no cultivo in vitro (constante ou alternado) (NIEVOLA et al., 2005). Segundo estes autores, plantas cultivadas sob 28°C durante o regime de luz e 15°C no período de escuro (termoperíodo alternado) foram mais curtas, tiveram maior peso seco da parte aérea e de raízes superiores e folhas mais espessas. Adicionalmente, estas plantas apresentaram mesofilo com grande número de camadas de células, hipoderme mecânica (evidente apenas neste regime de temperatura), sistema vascular mais notável, grande índice de suculência (relação entre a quantidade de água e clorofila), alta atividade da enzima PEPCase (no período de escuro) e gradual incremento nos níveis de ABA durante o período de luz e maior acúmulo no final do dia. Dessa forma, os autores concluíram que plantas crescendo em regime de temperatura alternada (28°C luz/15°C escuro) mostram características de fotossíntese CAM, enquanto sob temperatura constante (28°C, dia e noite) apresentam características de fotossíntese C3. Todavia, os aspectos regulatórios de fixação de carbono em abacaxizeiro são pouco conhecidos, sendo o trabalho de Nievola et al. (2005) o primeiro relato em plantas in vitro.

2.6. Contaminação in Vitro

Consiste no aparecimento de microrganismos (fungos, bactérias ou leveduras), após o estabelecimento do material vegetal in vitro, seja por causa de um ineficiente processo de assepsia, erros de manipulação ou microrganismos endofíticos. A ocorrência de contaminantes constitui uma das mais importantes causas de perda de material vegetal em trabalhos de cultura de tecidos, especialmente quando os explantes são provenientes de matrizes mantidas no campo. Caso as condições de cultivo (meio de cultura, etc.) favoreçam o crescimento destes microrganismos, estes passam a competir por nutrientes e carboidratos, além de produzir metabólitos tóxicos aos explantes, no caso de bactérias, comprometendo o processo de micropropagação (PEREIRA et al., 2003).

Em cultura in vitro, a contaminação tem sido mais evidente na fase de estabelecimento, embora as taxas e o tipo sejam bastante variáveis em função de diversos fatores, como a época de coleta dos explantes no campo, o estado

sanitário das plantas matrizes, a correta execução do processo de assepsia e manipulação durante as repicagens e os agentes desinfestantes utilizados.

Para a detecção e controle, devem ser realizadas observações visuais durante as diferentes fases do cultivo in vitro, de modo a eliminar e autoclavar as culturas contaminadas. Outro aspecto importante é o uso de agentes geleificantes de boa qualidade como o Phytagel®, pois irá facilitar a detecção do material contaminado e com isso evitar a sua disseminação. No caso de fungos e leveduras, podem-se facilmente identificá-los, pois se desenvolvem bem em meio de cultura, ao contrário das bactérias, especialmente aquelas que permanecem latentes[7] in vitro, as quais podem ser detectadas somente após algum tempo de cultivo e desta forma ser disseminadas durante os subcultivos (PEREIRA et al., 2003). Contudo, no caso da micropropagação de abacaxizeiro, a ocorrência de contaminações não tem sido considerada um problema limitante entre os trabalhos publicados, salvo aqueles que utilizam meios de consistência líquida, especialmente os desenvolvidos em biorreatores.

2.7. Aclimatização

Assim como para as demais espécies micropropagadas, o processo de aclimatização do abacaxizeiro consiste basicamente na retirada das plantas dos frascos de cultivo, lavagem das raízes em água corrente para remoção do resíduo de meio de cultura aderido, poda das raízes (toalete), transplantio para tubetes ou bandejas coletivas contendo substrato e transferência para casa de vegetação ou telado (Fig. 6). Alternativamente, em alguns casos, pode-se realizar uma pré-aclimatização, pela abertura dos frascos ainda na sala de crescimento por algumas horas ou mesmo dias, ou deixando as plantas em recipientes contendo água destilada.

Em casa de vegetação ou telado, as plantas devem ser submetidas de maneira gradual ao aumento da luminosidade e redução da umidade relativa do ar, mantendo-se durante os primeiros dias do transplantio uma alta umidade e sombreamento em torno de 50%, além de uma eficiente irrigação, geralmente por meio de microaspersão. Em adição, pode-se fazer a adubação semanal com macro e micronutrientes conforme reportado por Teixeira et al. (2001).

Quanto ao tamanho adequado para o transplantio ex vitro, Oliveira e Cabral (1998) reportam a altura de 4 cm, recomendando ainda que as raízes mais longas sejam cortadas, de modo a deixar um comprimento máximo de 3 cm, visando sobretudo homogeneizar o sistema radicular, facilitar o transplantio das plantas e estimular o crescimento de novas raízes. Em relação ao tipo de recipiente, a maioria dos trabalhos tem reportado o uso de tubetes e, em menor freqüência, o de bandejas coletivas, sendo o primeiro vantajoso por não causar o enovelamento das raízes. Nesse contexto, Teixeira et al. (2001), avaliando tubetes de diferentes dimensões, observaram que o melhor desenvolvimento das plantas ocorreu quando se utilizaram tubetes de maior volume (300 mL), resultado em discordância ao observado por Souza Junior et al. (2001). No que se refere ao tipo de substrato, grande parte dos trabalhos tem usado a

[7]Bactérias que não apresentam crescimento visível no meio de cultivo e nem sintomas nos tecidos cultivados (PEREIRA et al., 2003).

formulação comercial Plantmax® (SOUZA JUNIOR et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2001), havendo também a utilização de misturas compostas por casca de arroz carbonizada e solo (1:1), acrescidas de 7,5 g do formulado NPK (5-20-10), além da mistura de areia, xaxim e húmus (SOUZA JUNIOR et al., 2001).

Fotos: a, b (Jonny E. Scherwinski-Pereira); c, d, e (Hermínio Souza Rocha)

Fig. 6. Plantas alongadas e enraizadas in vitro em meio líquido (a); lavagem em água de torneira (b); plantas aclimatizadas em tubetes (c, d, e).

Apesar de haver discordâncias para os diferentes protocolos publicados, nenhuma dificuldade tem sido reportada quanto à sobrevivência ex vitro e o desempenho em campo das plantas micropropagadas de abacaxizeiro. O que se tem observado é um crescimento muito lento das mudas nas semanas iniciais do transplantio ex vitro, de maneira que a intensa formação de folhas novas ocorre somente após 120 dias, sendo necessário que as mudas permaneçam menos de 5 a 7 meses em casa de vegetação a fim de atingirem o tamanho mínimo para plantio no campo (TEIXEIRA et al., 2001). Ainda segundo estes autores, as folhas oriundas do cultivo in vitro podem apresentar enrugamento generalizado por algumas semanas, além de um fenótipo atípico do genótipo em questão, com espinhos pouco desenvolvidos e reduzida cerosidade, aspectos não observados nas folhas formadas durante a aclimatização.

Entretanto, dependendo das condições ambientais da região onde o processo de aclimatização for realizado, pode-se ter um crescimento mais rápido das mudas micropropagadas e redução no período necessário para que estas sejam levadas ao campo, acarretando divergências nos trabalhos

relatados. De acordo com Hermínio Souza Rocha (informação verbal)[10], plantas de abacaxizeiro micropropagadas aclimatizadas em tubetes contendo substrato adequado e adubação complementar, no Município de Cruz das Almas (BA), atingem cerca de 20 cm de altura e boa formação de sistema radicular após 45 a 60 dias do transplantio ex vitro. Segundo Almeida et al. (2002), mudas com aproximadamente 15-20 cm de altura e 150 g de peso fresco apresentaram boa adaptação quando transferidas para o campo.

Recentemente, outra alternativa que vem sendo utilizada para reduzir o estresse das plantas após a sua exposição às condições ex vitro e favorecer um melhor restabelecimento é o emprego da luz solar como fonte de iluminação na fase de alongamento/enraizamento in vitro. Tal alternativa foi inicialmente estudada por Silva (2006) e mostrou bons resultados em relação ao cultivo em sala de crescimento sob luz artificial.

3. Anatomia Foliar das Plantas Micropropagadas

Até o presente momento, pouco é reportado na literatura sobre a anatomia foliar de abacaxizeiros em condições de campo e das plantas micropropagadas. No caso das plantas em campo, as estruturas anatômicas descritas são aquelas características das bromeliáceas, tais como: presença de ceras, tricomas, epiderme uniestratificada revestida por cutícula com diâmetro maior perpendicular ao eixo da folha e presença de hipoderme. As folhas são hipoestomáticas, com os estômatos dispostos longitudinalmente em sulcos pequenos e paralelos, e o mesofilo apresenta tecido aqüífero logo abaixo da face adaxial da epiderme, parênquima clorofilado ou não, onde estão os feixes vasculares, cordões de fibras isolados e canais de aeração (PY, 1969; PY et al., 1984 citados por BARBOZA et al., 2006). Em relação às plantas micropropagadas, poucos são os trabalhos publicados (NIEVOLA et al., 2005; BARBOZA et al., 2006; SILVA, 2006).

De maneira geral, folhas de mudas de abacaxizeiro in vitro e em casa de vegetação apresentam estruturas básicas semelhantes, tais como presença de fibras, hipoderme, parênquima aqüífero, parênquima clorofilado e cavidades aeríferas. Porém, variações estruturais como freqüência estomática, espessamento da cutícula e parede da epiderme, formato e sinuosidade das paredes das células do parênquima aqüífero e presença de células papilosas são observadas, o que demonstra plasticidade fenotípica da espécie ao ambiente. Contudo, as principais características anatômicas são listadas na Tabela 2.

Em relação às características relacionadas, Barboza et al. (2006) discutem que a presença da hipoderme e do parênquima aqüífero nas folhas in vitro pode ser correlacionada com o alto índice de sobrevivência ex vitro das plantas micropropagadas, muito embora o crescimento nos primeiros dois meses em aclimatização seja reduzido. Nesse contexto, estes autores enfatizam que a realização de pesquisas sobre as funções fisiológicas da hipoderme e do

parênquima aqüífero, principalmente na fase de transição da planta in vitro para ex vitro, pode contribuir para melhorar o crescimento da muda e reduzir o tempo em casa de vegetação. Além disso, o estudo e entendimento das alterações decorrentes do processo de micropropagação podem ter papel importante no desenvolvimento de novos protocolos ou na otimização dos já existentes.

Tabela 2. Principais características da anatomia foliar de plantas de abacaxizeiro micropropagadas – cultivar Pérola.

Características	**In vitro**[1]	**Aos 6 meses ex vitro**[2]	**Aos 10 meses ex vitro**[3]
Cutícula	Pouco desenvolvida nas faces adaxial e abaxial da epiderme	Epiderme recoberta por cutícula em toda sua extensão, porém com espessamento variável	
Células epidérmicas	Células epidérmicas adaxiais de paredes finas	Superfície adaxial com espessamento da parede entre 8 e 10 μm na região do eixo central, e 10 e 12 μm na região do bordo foliar. Na face abaxial, o espessamento foi menor	
Paredes periclinais das células epidérmicas	Paredes periclinais externas curvas ou convexas nas faces adaxial e abaxial, e células papilosas*	Paredes periclinais externas retas ou quase retas	
Tricomas	Tricomas glandulares multicelulares estão presentes nas faces adaxial e abaxial da epiderme das folhas		
Estômatos	As folhas de abacaxizeiro são hipoestomáticas, independentemente do ambiente de cultivo. Estão distribuídos em faixas paralelas por toda extensão da face abaxial, apresentando câmara subestomática		
Densidade estomática	Em média, 54 estômatos · mm^{-2}, com maior densidade no terço médio das folhas	Em média 62 estômatos · mm^{-2}, com maior densidade no terço médio das folhas	
Hipoderme	Presente em ambas as faces da epiderme, com 42 e 41 μm para o ambiente in vitro e casa de vegetação		
Mesofilo	Mesofilo dorsiventral na região do eixo central da folha e homogêneo na região do bordo foliar		

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Parênquima aqüífero	Constituído por células grandes de formato arredondado, paredes delgadas, planas ou com leves ondulações. Espessura média de 204 μm	Células grandes, com paredes delgadas e planas. Espessura média de 661 μm. Na região do eixo central, presença de três ou quatro estratos de células; da região do eixo central da folha em direção ao bordo foliar, ocorre diminuição do tamanho e número de camadas de células
Parênquima clorofilado	Células arredondadas, observando-se os cloroplastos distribuídos centrifugamente por toda a parede da célula. Espessura média de 195 μm	Homogêneo na região do bordo foliar. Espessura média de 636 μm
Diferenciação do mesofilo	Diferenciação bem marcante entre os parênquimas aqüífero e clorofilado in vitro e em aclimatização, embora o formato das células em paliçada tenha sido observado apenas no parênquima aqüífero de plantas em casa de vegetação	
Parênquima aqüífero e clorofilado, na região do eixo central da folha	Nenhuma diferença entre si, assim como a razão entre tecido aclorofilado (hipoderme + parênquima aqüífero) e parênquima clorofilado. Nesta região da folha, o parênquima aqüífero ocupa, em ambos os ambientes, em torno de 50% do mesofilo	
Feixes vasculares	Tamanho variado com grande quantidade de fibras junto ao floema e xilema, estando em maior intensidade na região do bordo foliar. Os feixes vasculares estão regularmente distribuídos no parênquima clorofiliano na região do eixo central da folha e bordo foliar	
Cerosidade	Não avaliada	
Cavidades aeríferas	Intercaladas aos feixes vasculares	

[1]Plantas alongadas, por dois meses, em meio de cultivo MS geleificado, sem adição de fitorreguladores e mantidas a 16 horas de intensidade luminosa de 30 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 25±2°C.
[2 e 3] Plantas aclimatizadas por 6 e 10 meses, em ambiente com sombreamento de 60%, 27,2°C e 65,5% de umidade relativa média.
Obs.: análise anatômica efetuada na quarta e quinta folha, do ápice para a base, no material in vitro e em aclimatização, respectivamente.
*A baixa irradiância e a alta umidade relativa do ambiente in vitro podem estar relacionadas com a presença de células papilosas.
Fonte: Adaptada de Barboza et al., 2006.

4. Desempenho em Campo das Mudas Micropropagadas

Avaliando 17 acessos de abacaxizeiro micropropagados das cultivares Pérola, Smooth Cayenne, Amarelo e Amarelinho, Vesco et al. (2000) não verificaram diferenças entre os acessos propagados. Quanto à sanidade das mudas, em 680 plantas micropropagadas a taxa de incidência de fusariose foi de 0,7%. De acordo com os autores, além desse valor ser considerado baixo, no caso de plantio com cultivares suscetíveis à fusariose e considerando apenas um ciclo de produção, o sistema proposto permite a multiplicação de mudas tipo filhote sadias, as quais podem ser utilizadas para plantio em novas áreas livres da doença.

Já Teixeira et al. (2001) comparando oito genótipos de abacaxizeiro aos 11 meses após o plantio no campo, todos obtidos por micropropagação, observaram diferenças apenas em relação à altura e vigor das plantas, os quais variaram de acordo com a cultivar. Em contraste, as plantas apresentaram grande uniformidade e níveis insignificantes de variações somaclonais.

5. Estabilidade Genética dos Clones Micropropagados

Em cultura de tecidos vegetais, quando protocolos de micropropagação são utilizados para a multiplicação massal de determinada espécie, é esperado que todas as plantas obtidas possuam genótipo idêntico à planta de origem (planta matriz). Todavia, variações genéticas podem ocorrer durante e/ou após o cultivo in vitro, algumas sendo epigenéticas (reversíveis) outras herdáveis, neste último caso denominadas de variações somaclonais[8] (FEUSER et al., 2003) e, com isso, comprometer a identidade genotípica e fenotípica. Tais variações têm sido associadas a alterações cromossômicas, resultantes da deleção ou duplicação das seqüências de determinados genes (VENTURA et al., 1994), e são indesejáveis do ponto de vista de produção de mudas (VENTURA et al., 1994; KISS et al., 1995).

Para o abacaxizeiro, a variação somaclonal mais freqüentemente observada é a presença de espinhos nas extremidades das folhas de variedades inermes (desprovidas de espinho), muito embora possam ocorrer ainda variações na forma, coloração e arquitetura das folhas, bem como na altura da planta e no fruto (REINHARDT; SOUZA, 2000). A freqüência com que ocorrem não pode ser prevista e depende de vários fatores, tais como a espécie, o tipo de explante e o genótipo do doador, as condições físicas de cultivo, o tipo e concentração de reguladores de crescimento e o tempo entre os subcultivos.

Apesar dos vários trabalhos existentes, o abacaxizeiro é uma planta pouco conhecida geneticamente, principalmente quanto à variação somaclonal, entretanto sua ocorrência não tem sido reportada como um problema. Contudo,

[8]Termo empregado para expressar a variação espontânea de plantas regeneradas de cultura de células ou tecidos in vitro (TEIXEIRA, 2006).

devido à crescente utilização deste tipo de material propagativo tem sido importante avaliar a magnitude da variação somaclonal e seu efeito fenotípico (FEUSER et al., 2003). Além disso, de acordo com Kiss et al.(1995), as bromélias são particularmente propensas a variações genotípicas e fenotípicas em cultivo de tecidos. Assim, com o intuito de verificar e compreender melhor essas variações, técnicas como determinação de padrões isoenzimáticos ou amplificação casualizada de DNA polimórfico (RAPD) (GOTTARDI et al., 2002), ou ainda observações fenotípicas (plantas atípicas ou variantes), durante ou após o cultivo in vitro (VESCO et al., 2000), têm sido empregadas.

Nesse sentido, Vesco et al. (2000) avaliaram 17 acessos de abacaxizeiro pertencentes às cultivares Pérola, Smooth Cayenne, Amarelo e Amarelinho por meio de padrões fenotípico e genotípico. De acordo com os resultados, de 1.408 plantas mantidas in vitro (entre a 11ª e 13ª repicagem), 57 apresentaram alguma variação morfológica (folhas variegadas e vitrificação), porém a maioria era epigenética e somente três plantas tiveram variação somaclonal estável (5,3%). Já a análise isoenzimática detectou quatro plantas com diferenças no padrão varietal (7,02%) entre as 57 plantas. Em relação às diferentes repicagens (subcultivos), foram observadas quatro plantas apresentando variação somaclonal detectada por isoenzimas (4%), sendo uma no 3º e 4º subcultivos e duas na 10ª repicagem, além de uma modificação morfológica, num total de 5% (de 100 plantas). Por outro lado, mudas na fase de aclimatização não apresentaram alterações morfológicas, ao contrário do padrão isoenzimático que detectou duas (0,86%). Por fim, o padrão fenotípico avaliado em campo (características morfoagronômicas) foi normal. Dessa forma, os autores consideraram o protocolo utilizado como adequado para a manutenção da estabilidade genética.

Posteriormente, Gottardi et al. (2002), utilizando marcadores moleculares do tipo RAPD, observaram em algumas amostras plantas com padrões de bandas diferentes para alguns dos "primers" utilizados, as quais foram associadas a uma possível variação somaclonal. De modo semelhante, Feuser et al. (2003) avaliaram a fidelidade genética de abacaxizeiro micropropagado em biorreator de imersão temporária e permanente, por meio de análises isoenzimáticas e marcadores RAPD. De acordo com seus resultados, duas variantes (0,67%) foram identificadas pelas análises isoenzimáticas no sistema estacionário, ao passo que quatro das 600 plantas (0,67%) oriundas do sistema de imersão temporária apresentaram variações. Quanto aos padrões de RAPD, a taxa de variantes somaclonais para o cultivo em imersão temporária variou de 2,3% a 11%, na presença de 0 e 6 μM de PBZ (Paclobutrazol), ambos associados a 2,0 μM de AG_3 (ácido giberélico). Já avaliando os sistemas (estacionário ou imersão temporária), a técnica de RAPD detectou 7,5% e 5,0%, respectivamente, porém sem diferenças significativas. Diante dos resultados, os autores consideraram baixa a taxa de variações.

6. Progressos na Micropropagação de Abacaxizeiro

6.1. Produção de Mudas a partir da Técnica de Estiolamento

Como alternativa aos métodos convencionais utilizados para a produção in vitro de mudas de abacaxizeiro, Kiss et al. (1995) propuseram um novo método de propagação rápida, baseado no alongamento de brotos induzidos in vitro, por meio do estiolamento[9]. O método desenvolvido consiste inicialmente no corte da parte aérea de brotos assépticos (5 a 8 mm acima da base), os quais são cultivados em meio basal de MS acrescido de ANA (10 μM) e mantidos em condições de escuro a 28°C. Em seguida, os brotos estiolados são divididos em segmentos e transferidos para placas de petri, no sentido horizontal, contendo meio de cultura suplementado com reguladores de crescimento e mantidos a 26°C e 16 horas de fotoperíodo. Posteriormente, os brotos desenvolvidos dos segmentos estiolados são enraizados em meio de cultura desprovido de reguladores de crescimento e, ao atingir cerca de 8 a 10 cm de altura, são transferidos para casa de vegetação visando à aclimatização. Utilizando este método com a cv. Smooth Cayenne estes autores afirmam ser possível obter aproximadamente 80 mil plantas no período de um ano, partindo de uma planta primária, com a vantagem de evitar lesões na zona de regeneração, impedir a formação de calo e, conseqüentemente, reduzir a possibilidade de variabilidade fenotípica.

Outra conseqüência do uso da técnica de estiolamento in vitro é o fato de que no escuro os entrenós da haste dos brotos do abacaxizeiro se alongam, separando os nós que, normalmente, em presença de luz, permanecem próximos uns aos outros. Assim, para fins de micropropagação, essa separação facilita o desenvolvimento de gemas axilares e a manipulação de plantas regeneradas (BARBOZA; CALDAS, 2001). Em adição, Maynard e Bassuk (1996), utilizando outra espécie, afirmam que o estiolamento promove o aumento da suculência, decréscimo na barreira mecânica dos tecidos do caule em conseqüência da menor lignificação (o que poderia favorecer o enraizamento in vitro), suberificação e espessura das paredes celulares, além de alterações na sensibilidade dos tecidos à auxina e modificações no conteúdo de compostos fenólicos.

Atualmente, em decorrência dos experimentos de Kiss et al. (1995), diversos estudos são reportados com a técnica de estiolamento em abacaxizeiro (PRAXEDES et al., 2000; BARBOZA; CALDAS, 2001; MOREIRA et al., 2003; TAMAKI et al., 2007), todos visando aprimorá-la a cada genótipo e, em alguns casos, estudar a possibilidade de estiolamento sem suplementação exógena de reguladores de crescimento. Porém, nenhum trabalho sobre os efeitos do estiolamento na estrutura, fisiologia ou desempenho agronômico ex vitro das

[9]Consiste no desenvolvimento de brotos, ramos ou partes desses em ausência de luz, o que causa o crescimento, geralmente pelo alongamento dos internódios, com coloração amarela ou branca devido à ausência de clorofila (HARTMANN; KESTER, 1990).

mudas produzidas foi realizado até o presente momento, nem mesmo este método tem sido empregado em escala comercial.

6.2. Utilização de Biorreatores de Imersão Temporária

Nos últimos anos, várias pesquisas utilizando sistemas de automação como os biorreatores[10] têm sido relatadas para a micropropagação de abacaxizeiro em meio líquido (ESCALONA et al., 1999; 2003; GONZÁLEZ-OLMEDO et al., 2005; TEIXEIRA, 2006; SILVA et al., 2007), com resultados mais promissores para o sistema de imersão temporária (TIB)[11], atualmente considerado o método de maior eficiência. Este sistema, além de possibilitar a automação do processo de cultivo in vitro, pode também reduzir os custos relativos à mão-de-obra e superar alguns problemas comumente encontrados na micropropagação convencional, como distúrbios fisiológicos dos explantes cultivados e hiperidricidade (ESCALONA et al., 2003). Adicionalmente, promove incremento significativo nas taxas de multiplicação e crescimento das culturas (TEIXEIRA, 2006; SILVA et al., 2007).

Os primeiros trabalhos foram desenvolvidos por Escalona et al. (1999), os quais comparando diferentes métodos de cultivo (sólido, líquido e imersão temporária) verificaram que o sistema de imersão temporária, com imersão das plantas por 2 minutos a cada 3 horas, possibilitou a maior taxa de multiplicação, com incremento de 300% e 400% comparado aos sistemas líquido e sólido convencional. Tal eficiência foi atribuída à habilidade deste sistema em promover a aeração e um maior contato dos explantes com o meio. Com este sistema, os autores afirmam ser possível obter aproximadamente 120 brotos de oito coroas em cerca de 10 semanas, de modo que após 8 semanas adicionais são produzidos 6 mil brotos aptos ao enraizamento e aclimatização ex vitro. Além disso, o uso deste sistema reduziu em cerca de 20% os custos de produção por planta de abacaxizeiro em relação ao método convencional. Todavia, os autores utilizaram 200 mL de meio por explante, bem superior às quantidades adotadas nos sistemas convencionais.

De modo semelhante, utilizando um biorreator de imersão temporária[12], desenvolvido pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Cenargen), apenas na fase de alongamento/enraizamento, Teixeira (2006) obteve uma redução de 53% no custo de uma muda produzida numa biofábrica convencional. Entre as principais razões desse decréscimo substancial nos custos está a redução no número de frascos envolvidos no processo de micropropagação, assim como a eliminação da necessidade de manipulação (subdivisão e individualização) dos agregados de gemas e multibrotos resultantes da fase de multiplicação, antes de serem transferidos para a fase de alongamento/enraizamento, como ocorre com o processo convencional, resultando em economia de mão-de-obra,

[10]Equipamentos utilizados para o cultivo de células, tecidos, órgãos (como as gemas axilares) ou embriões vegetais, em meio de cultura líquido, sendo basicamente de dois tipos: sistema de imersão contínua e temporária (ETIENE; BERTHOULY, 2002).

[11]Cultivo in vitro, no qual o meio de cultura líquido entra em contato com o explante de tempos em tempos, por exemplo, cinco minutos a cada duas horas (TEIXEIRA, 2006).

[12]Pedido de patenteamento (PI OOO4185-8).

a qual participa em aproximadamente 60% a 70% do custo final da muda no sistema de micropropagação convencional.

Mais recentemente, Silva et al. (2007) trabalhando com a cultivar Imperial obtiveram resultados significativamente superiores utilizando o sistema de frascos irmãos com imersão temporária a cada 2 e 4 horas. Neste sistema, o cultivo de brotações axilares em frascos de 1 L contendo 300 mL de meio MS acrescido de BAP (1 mg · L^{-1}) e ANA (0,25 mg · L^{-1}) apresentou, após 45 dias, as maiores médias para número de brotos (>1 cm), altura e massa de matéria seca de brotos. Ainda, quando comparado aos sistemas de cultivo in vitro convencionais, os biorreatores possibilitaram taxas de multiplicação 136% até 316% superiores.

As perdas que podem ocorrer pelo emprego desta tecnologia estão relacionadas ao baixo controle ambiental, pois a quase totalidade dos estudos sobre o ecossistema do sistema de micropropagação envolve meios semi-sólidos. Além disso, há necessidade de definir os requerimentos fisiológicos dos explantes e caracterizar ecofisiologicamente o ambiente dos biorreatores, especialmente visando aumentar a qualidade das plantas obtidas (ESCALONA et al., 2003). Deve ser salientado que a adoção de biorreatores requer um investimento inicial alto, o que pode limitar a rápida expansão desse sistema de cultivo, principalmente em biofábricas.

6.3. Uso da Luz Solar

De acordo com Fuentes et al. (2007) é possível melhorar as características fisiológicas das plantas in vitro e o subseqüente desempenho ex vitro das mudas micropropagadas, particularmente as espécies tropicais. Para isso, devem-se manipular alguns fatores abióticos in vitro, como a intensidade e qualidade luminosa, por meio do cultivo das plantas em sala de crescimento com luz solar nos últimos estágios do processo de micropropagação. Outra conseqüência do uso da luz solar ou natural é a redução dos gastos com iluminação artificial e, conseqüentemente, nos custos de produção (KODYM; ZAPATA-ARIAS, 1999). Isso porque os gastos com iluminação nas salas de crescimento, utilizando lâmpadas fluorescentes, correspondem a aproximadamente 65% dos custos em energia elétrica (STANDAERT DE METSENAEAE, 1991). Todavia, a utilização ou não desta fonte de luz dependerá da região, visto que a disponibilidade e homogeneidade de luz varia com as condições climáticas, como estações do ano e hora do dia. Adicionalmente, devem-se considerar a espécie e a fase de cultivo in vitro, o que necessita de estudos mais aprofundados quanto aos seus efeitos sobre a fisiologia e estrutura das plantas obtidas, bem como de sua performance ex vitro.

Em abacaxizeiro, resultados promissores pelo uso desta fonte de luz são reportados por Silva (2006) para a cv. Imperial, principalmente na fase de enraizamento. Entre os efeitos positivos observados por esse autor está a obtenção de plantas maiores e anatomicamente mais adaptadas, com espessamento significativo do parênquima clorofiliano, além de melhor performance agronômica e anatômica das plantas durante a fase de aclimatização.

6.4. Esterilização Química do Meio de Cultivo

Entre as alternativas para reduzir os custos de produção em laboratórios comerciais de plantas ou biofábricas, a substituição do processo de esterilização via autoclavagem por outro método mais barato, sem contudo prejudicar o crescimento in vitro das culturas, tem sido discutida e considerada promissora (TEIXEIRA et al., 2006). Além de encarecer o custo final de produção, a autoclavagem pode influenciar negativamente compostos termolábeis como os antibióticos e giberelinas (CID; ZIMMERMANN, 2006), tiamina, ácido indolacético (AIA) e indolbutírico (AIB), piridoxina, entre outros (TEIXEIRA et al., 2006).

Nesse intuito, uma alternativa que tem sido estudada em abacaxizeiro é a esterilização química. Porém seu uso no cultivo in vitro de plantas ainda é pouco explorado. O método consiste em adicionar ao meio de cultivo baixas concentrações de cloro ativo (p/v) (NaClO), de maneira que os utensílios de vidro, frascos de cultivo, bem como as tampas também sejam submetidos a tratamentos prévios em solução de hipoclorito de sódio. Utilizando esse método, Teixeira et al. (2006) verificaram que brotos de abacaxizeiro da cv. Smooth cayenne cultivados em meio contendo concentração igual ou superior a 0,0003% de cloro ativo, associado a outros procedimentos assépticos, proporcionaram completa esterilização do meio. Adicionalmente, na concentração de 0,0003%, os brotos mais do que dobraram sua biomassa (fresca e seca) e o número de novos brotos. Entretanto, as respostas positivas sobre o cultivo do abacaxizeiro, devido ao uso de cloro ativo, ainda necessitam de elucidação.

7. Considerações Gerais e Perspectivas Futuras

O desenvolvimento de processos e produtos mais produtivos e menos onerosos tem sido a retórica dos trabalhos de propagação clonal de abacaxizeiros in vitro. Neste contexto, têm merecido maior atenção trabalhos que abordam o uso de novas metodologias mais eficientes de produção de mudas, a partir da utilização de meios de consistência líquida e biorreatores, com resultados bastante promissores. No entanto, apesar dos importantes avanços e, de certa forma, do domínio atual das diferentes etapas do processo, é necessário maior aprofundamento em questões fisiológicas básicas da espécie que ainda não estão devidamente respondidas, como por exemplo, o comportamento do aparato fotossintético e desenvolvimento in vitro da espécie. Biorreatores de imersão temporária também devem ser melhor estudados e adaptados à cultura para que a eficiência propagativa torne-se evidente, uma vez que, apesar dos esforços, ainda são poucos os relatos sobre o uso direto de mudas micropropagadas em campos produtivos brasileiros. Outra questão a ser estudada com maior profundidade refere-se ao excessivo tempo necessário ao crescimento das plantas micropropagadas em casa de vegetação/viveiro para o transplantio definitivo em campo.

Apesar das atuais dificuldades e desafios futuros de se trabalhar a propagação clonal in vitro do abacaxizeiro, há um consenso entre os pesquisadores da área de que a cultura de tecidos é a alternativa mais promissora para a multiplicação clonal em larga escala de materiais selecionados e livres de doenças. Isso evidencia que os trabalhos in vitro com a espécie devem ser mais bem estudados, seja para a produção de mudas em larga escala ou para acelerar programas de melhoramento genético desta espécie, especialmente para o Brasil que deseja ser referência mundial na área de fruticultura.

8. Agradecimentos

À Dalilhia Nazaré dos Santos por ter contribuído nas ilustrações deste trabalho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

9. Referências

ABACAXI. **Agrianual 2007**: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, Consultoria e Agroinformativos, 2007. p. 149-158.

AGHION, D.; BEAUCHESNE, G. Utilisation de la technique de culture stérile d'organes pour obtenir dês clones d'ananas. **Fruits**, v. 15, p. 464-466, 1960.

ALBUQUERQUE, C. C.; CAMARA, T. R.; MENEZES, M.; WILLADINO, L.; MEUNIER, I.; ULISSES, C. Cultivo *in vitro* de ápices caulinares de abacaxizeiro para limpeza clonal em relação à fusariose. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 2, p. 363-366, 2000.

ALMEIDA, W. A. B. de. **Efeito da benzilaminopurina nas diferentes fases da propagação *in vitro* do abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merr.)**. 1994. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia, Cruz das Almas, Cruz das Almas.

ALMEIDA, W. A. B. de; SANTANA, G. S.; RODRIGUEZ, A. P. M.; COSTA, M. A. P. de C. Optimization of a protocol for the micropropagation of pineapple. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 296-300, agosto 2002.

BARBOZA, S. B. S. C.; CALDAS, L. S. Estiolamento e regeneração na multiplicação *in vitro* do abacaxizeiro híbrido PE x SC-52. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 417-423, 2001.

BARBOZA, S. B. S. C.; CALDAS, L. S.; SOUZA, L. A. C. Micropropagação do híbrido PExSC-52 e da cultivar Smooth Cayenne de abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 725-733, ago. 2004.

BARBOZA, S. B. S. C.; GRACIANO-RIBEIRO, D.; TEIXEIRA, J. B.; PORTES, T. A.; SOUZA, L. A. C. Anatomia foliar de plantas micropropagadas de abacaxi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 185-194, fev. 2006.

CID, L. P. B.; ZIMMERMANN, M. J. **A contaminação *in vitro* de plantas**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 20 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 122).

COSTA, F. H. da S.; PEREIRA, M. A. A.; OLIVEIRA, J. P. de; PEREIRA, J. E. S. Efeitos de agentes geleificantes alternativos no meio de cultura no cultivo *in vitro* de abacaxizeiro e bananeira. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 41-46, jan./fev., 2007.

CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S. (Org.). **O abacaxizeiro:** cultivo, agroindústria e economia. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 480 p.

DAMIÃO FILHO, C. F.; LAURINDO, V. T.; BIANCO, S. Cultivo *in vitro* de gemas axilares do abacaxizeiro (*Ananás comosus* L. Merril) cv. Smooth Cayenne. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 2, n. 1, p. 49-60, 1993.

ESCALONA, M.; LORENZO, J. C.; GONZÁLEZ, B.; DAQUINTA, M.; GONZÁLEZ, J. L.; DESJARDINS, Y.; BORROTO, C. G. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems. **Plant Cell Reports**, v. 18, p. 743-748, 1999.

ESCALONA, M.; SAMSON, G.; BORROTO, C.; DESJARDINS, Y. Physiology of effects of temporary immersion bioreactors on micropropagated pineapple plantlets. **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 39, p. 651-656, 2003.

ETIENNE, H.; BERTHOULY, M. Temporary immersion systems in plant micropropagation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture,** Dordrecht, v. 69, p. 215-231, 2002.

FEUSER, S.; MELER, K.; DAQUINTA, M.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. Genotypic fidelity of micropropagated pineapple (*Ananas comosus*) plantlets assessed by isozyme and RAPD markers. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 72, p. 221-227, 2003.

FIROOZABADY, E.; GUTTERSON, N. Cost-effective in vitro propagation methods for pineapple. **Plant Cell Reports**, v. 21, p. 844-850, 2003.

FITCHET, M. Clonal propagation of Queen and Smooth Cayenne pineapples. **Acta Horticulturae**, n. 275, p. 261-266, 1990.

FUENTES, G;, TALAVERA, C.; ESPADAS, F.; QUIROZ, A.; AGUILAR, M.; COELLO, J.; SANTAMARÍA, J. M. Manipulation of abiotic *in vitro* factors to improve the physiology and subsequent field performance of micropropagated plantlets. **Acta Horticulturae**, n. 748, p. 77-85, 2007.

GONZÁLEZ-OLMEDO, J. L.; FUNDORA, Z.; MOLINA, L. A.; ABDULNOUR, J.; DESJARDINS, Y.; ESCALONA, M. New contributions to propagation of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) in temporary immersion bioreactors. **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 41, p. 87-90, 2005.

GOTTARDI, M. V. C.; LEMOS, E. G. M.; RUGGIERO, C. Avaliação por RAPD de plantas de abacaxizeiro cultivar Smooth cayenne derivadas do seccionamento do talo e cultura de tecidos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 001-005, 2002.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S., BUSO, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa – SPI: Embrapa – CNPH, 1998. v. 1, p. 183-260.

GUERRA, M. P.; VESCO, L. L. D.; PESCADOR, R.; SCHUELTER, A. R.; NODARI, R. O. Estabelecimento de um protocolo regenerativo para a micropropagação do abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1557-1563, set. 1999.

JUNGHANS, T. G.; SANTOS-SEREJO, J. A. dos. Obtenção e manuseio de explantes. In: SOUZA, A. da S.; JUNGHANS, T. G. (Ed.). **Introdução à micropropagação de plantas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 100-114.

KISS, E.; KISS, J.; GYULAI, G.; HESZKY, L. E. A novel method for rapid micropropagation of pineapple. **HortScience**, Alexandria, v. 30, n. 1, p. 127-129, 1995.

KODYM, A.; ZAPATA-ARIAS, F. J. Natural light as an alternative light source for the *in vitro* culture of banana (*Musa acuminata* cv. 'Grande Naine'). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture,** Amsterdam, v. 55, n. 2, p. 141-145, 1999.

MACÊDO, C. E. C. de; SILVA, M. G. da; NÓBREGA, F. S. da; MARTINS, C. P.; BARROSO, P. A. V.; ALLOUFA, M. A. I. Concentrações de ANA e BAP na micropropagação de abacaxizeiro L. Merrill (*Ananas comosus)* e no cultivo hidropônico das plântulas obtidas *in vitro*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 501-504, 2003.

MANICA, I. **Fruticultura tropical:** 5. Abacaxi. Cinco Continentes, Porto Alegre, 1999.

MAYNARD, B. K.; BASSUK, N. L. Effects of stock plant etiolation, shading, banding, and shoot development on histology and cutting propagation of *Carpinus betulus* L. *fastigiata*. **Journal of the American Society for Horticultural Science,** Alexandria, v. 121, n. 5, p. 853-860, 1996.

MEDEIROS, D. N.; MACÊDO, C. E. C.; ALLOUFA, M. A. I. Efeito do NaCl sobre a multiplicação *in vitro* de abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merril). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 01-05, 2001.

MOREIRA, M. A.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G. de; FRÁGUAS, C. B. Estiolamento na micropropagação do abacaxizeiro cv. Pérola. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1002-1006, 2003.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A. Revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagem, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NIEVOLA, C. C.; KRAUS, J. E.; FRESCHI, L.; SOUZA, B. M.; MERCIER, H. temperature determines the occurrence of cam or c3 photosynthesis in pineapple plantlets grown *in vitro*. **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 41, p. 832-837, 2005.

PAIVA, P. D. de O.; MAYER, M. D. B.; KAWAMURA, M. I.; PASQUAL, M.; PAIVA, R. Efeito de BAP, Thidiazuron e Sulfato de adenina na propagação *in vitro* de abacaxi. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 46, n. 265, p. 231-237, 1999.

PASQUAL, M.; MOREIRA, M. A.; ANJOS SOBRINHO, A. dos. Biotecnologia aplicada à produção de mudas de abacaxi. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 195, p. 20-23, 1998.

PEREIRA, J. E. S.; MATTOS, M. L. T.; FORTES, G. R. de L. Identificação e controle com antibióticos de bactérias endofíticas contaminantes em explantes de batata micropropagados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 7, p. 827-834, 2003.

PEREIRA, J. E. S.; FORTES, G. R. de L. Protocolo para produção de material propagativo de batata em meio líquido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 9, p. 1035-1043, 2003.

REINHARDT, D. H.; SOUZA, A. da S. Manejo e produção de mudas de abacaxi. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 195, p. 13-19, 1998.

REINHARDT, D. H.; SOUZA, A. da S. Manejo e produção de mudas. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. (Ed.). **Abacaxi Produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 77 p. (Frutas do Brasil, 7).

SÁ, M. E. L. de. Propagação *in vitro* de diferentes genótipos de abacaxizeiro por meio de seccionamento de plântulas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 017-020, 2001.

SILVA, A. B. da. **Biorreatores e luz natural na micropropagação do abacaxizeiro**. 2006. 132 f. :il. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, A. B. da; PASQUAL, P.; TEIXEIRA, J. B.; ARAÚJO, A. G. de. Métodos de micropropagação de abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 9, p.1257-1260, set. 2007.

SOUZA JÚNIOR, E. E. de; BARBOZA, S. B. S. C.; SOUZA, L. A. C. Efeitos de substratos e recipientes na aclimatação de plântulas de abacaxizeiro [*Ananas comosus* (L.) Merril] cv. Pérola. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 2, p. 147-151, 2001.

SRIPAORAYA, S.; MARCHANT, R.; POWER, J. B.; DAVEY, M. R. Plant regeneration by somatic embryogenesis and organogenesis in commercial pineapple (*Ananas comosus* L.). **In Vitro Cellular Developmental Biology – Plant**, v. 39, p. 450-454, 2003.

STANDAERT DE METSENAERE, R. E. A. Economic considerations. In: DEBERGH, P. C.; ZIMMERMAN, R. H. (Ed.). **Micropropagation**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 131-140.

TAMAKI, V.; MERCIER, H.; NIEVOLA, C. C. Cultivo *in vitro* de clones de *Ananas comosus* (L.) Merril cultivar 'Smooth Cayenne' em diferentes concentrações de macronutrientes. **Hoehnea**, v. 34, n. 1, p. 69-73, 2007.

TEIXEIRA, J. B.; CRUZ, A. R. R.; FERREIRA, F. R.; CABRAL, J. R. S. **Produção de mudas de abacaxi de alta qualidade através da micropropagação**. Brasília: DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2001. 26 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 70).

TEIXEIRA, J. B. **Produção de mudas clonais em biofábricas e uso de biorreator**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 27 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 180).

TEIXEIRA, S. L.; RIBEIRO, J. M.; TEIXEIRA, M. T. Influence of NaClO on nutrient medium sterilization and on pineapple (*Ananas comosus* cv Smooth cayenne) behavior. **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, v. 86, p. 375-378, 2006.

TERMIGNONI, R. R. **Cultura de tecidos vegetais**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 182 p.

VENTURA, J. A.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M. Propagação por biotecnologia: micropropagação "in vitro" do abacaxizeiro. In: RUGGIERO, C. **Controle integrado da fusariose do abacaxizeiro**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 43-51.

VENTURA, J. A. **Fusariose do abacaxizeiro:** caracterização do patógeno, epidemiologia da doença, resistência e micropropagaçao do hospedeiro *in vitro*. 1994. 111 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VESCO, L. L. D.; PESCADOR, R.; BELO, A.; FEUSER, S.; OLIVEIRA, E. N. de; BRANCHER, A.; ZAFFARI, G. R.; NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Qualidade genotípica de mudas e performance a campo de plantas micropropagadas de abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 80-85, 2000.

CAPÍTULO 16

Biologia Molecular Aplicada à Diagnose de Doenças de Plantas

Rivadalve Coelho Gonçalves

1. Introdução

As doenças das plantas influenciam negativamente e de modo significativo as atividades agropecuárias e florestais em todo o mundo. Muitas epidemias tiveram como conseqüência grandes perdas econômicas, alterações sociais e ambientais. As doenças de origem biótica que incidem antes da colheita causam perda média de 12% na produção agrícola mundial (STRANGE; SCOTT, 2005). Mesmo em países desenvolvidos, a exemplo dos EUA, as doenças de plantas podem causar prejuízos da ordem de 1,5 bilhão de dólares ao ano (CAMPBELL et al., 1992).

Um dos fatos históricos mais relevantes sobre epidemias de doenças de plantas foi a devastação dos plantios de batata (*Solanum tuberosum* L.) por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary entre 1845 e 1850 na Europa, principalmente na Irlanda. Neste país, onde a maioria da população dependia da batata para se alimentar, as perdas na produção provocadas pela doença resultaram na morte de 2 milhões de pessoas e na emigração de 1 milhão de irlandeses para a América do Norte (BERGAMIN FILHO; KIMATI, 1995). A vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* Aims & Phillips-Mora, presente no Estado da Bahia a partir de 1989 (PEREIRA et al., 1989), causou, além do prejuízo econômico, significativa alteração da estrutura social das cidades da região sul daquele estado e resultou em perda de parte da Mata Atlântica remanescente. Na área florestal a doença "chestnut bligth" causada pelo fungo *Cryphonectria parasitica* (Murrill) Barr, em árvores de castanheira americana *(Castanea dentata* [Marshall] Borkhausen), vem desde 1904 reduzindo o número de indivíduos desta espécie em florestas nativas nos Estados Unidos (MERKEL, 1905). No Brasil, o mal-das-folhas-da-seringueira, causado por *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx, foi responsável pelos insucessos nos plantios de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. no Estado do Pará com surtos severos a partir de 1965 (FERREIRA, 1989). Cita-se ainda a podridão-do-coleto de Brachi*aria brizantha* (A. Rich.) Stapf cv. Marandu, uma doença que a partir da metade da década de 90 incide de modo fulminante nos estados do PA, RO, AC, TO e MA. Esta doença, cujo

agente patogênico primário é o cromista *Pythium periilum* (DUARTE et al., 2007), tem inviabilizado o cultivo desta importante forrageira na região.

A partir do início do século 19, diferentes estudos contribuíram para a criação e definição da Fitopatologia como ciência. A Fitopatologia dedica-se ao estudo de etiologia, diagnose, epidemiologia, interações entre plantas e patógenos e ao controle das doenças das plantas. Os estudos etiológicos do Dr. Henrich Anton De Bary, sobre a requeima da batata (DE BARY, 1876), e do Dr. Julius Kühn no final da primeira metade do século 19 constituem em marcos iniciais para a Fitopatologia. Em 1874, os estudos sobre o apodrecimento de árvores causado por fungos realizados pelo cientista Robert Hartig fundamenta a criação da especialidade Patologia Florestal (BOYCE, 1961). Paralelamente, ocorreu o desenvolvimento das especialidades da Fitopatologia como a Virologia, Bacteriologia, Micologia, Nematologia e Epidemiologia, bem como, das ciências Microbiologia, Genética, Biologia Molecular, Bioquímica, Taxonomia, Matemática e Ciências da Computação, todas contribuindo de alguma forma na construção do corpo de conhecimento necessário aos trabalhos desenvolvidos na área e ao melhor entendimento da organização dos sistemas biológicos envolvidos nas doenças das plantas. De todas as especialidades e ciências que se desenvolveram no período, a Biologia Molecular foi a responsável por um passo revolucionário no conhecimento dos sistemas biológicos terrestres. Desde então, a biologia molecular consiste na ciência que produz os conhecimentos sobre as moléculas encontradas em fósseis e nos sistemas vivos. Com a ajuda da ciência da Matemática e da Computação, estas informações moleculares têm sido úteis para explicar os fenômenos biológicos. Adicionalmente, esta ciência tem permitido uma classificação dos seres vivos que representam melhor os agrupamentos naturais entre microrganismos, bem como suas relações com as plantas.

No estudo de grupos naturais de microrganismos, espécie foi inicialmente definida como um conjunto de indivíduos que realizam cruzamentos entre si com gametas férteis contendo a metade do número de cromossomos resultando em prole fértil. A partir do conhecimento dos grupos procariotos, vírus e viróides, esta definição é adaptada de modo que uma espécie passa a ser nestes casos um grupo de microrganismos com alto índice de similaridade genética e/ou fenotípica entre si e suficientemente diferente de outro grupo para as mesmas características.

Deste modo, a classificação de espécies e de grupos subespecíficos com base em dados moleculares constitui atualmente uma ferramenta de grande utilidade para a diagnose de doenças de plantas (LOPES et al., 2003) visando suportar as tomadas de decisões sobre qual é o agente causal e as medidas de manejo mais adequadas para o controle da doença. A diagnose visual realizada por profissional experiente constitui a abordagem mais amplamente utilizada e em maior freqüência para os casos de doenças causadas por fungos, nematóides e até bactérias já conhecidas (VALLE; ZAMBOLIM, 1997; FERREIRA; MILANI, 2002; ALFENAS et al., 2004; KIMATI et al., 2005). No entanto, para outras doenças causadas principalmente por vírus, micoplasmas e bactérias, a abordagem molecular é muitas vezes imprescindível para um diagnóstico correto. Nesses casos, prescindir destas

ferramentas pode implicar no diagnóstico incorreto do agente causal e, conseqüentemente, na aplicação de medidas de controle inadequadas, as quais podem trazer não só prejuízos econômicos, mas também problemas sociais e ecológicos.

2. Biologia Molecular: o Estudo das Moléculas dos Seres Vivos

Na condição mais elementar, a vida existe em uma molécula formada por um arranjo de ligações químicas entre átomos, desde que as moléculas estejam inseridas num sistema energético ativo de um ser que possua um ciclo de vida com nascimento, reprodução e morte, podendo então dizer que há moléculas da vida. Por outro lado, cientistas se dedicam ao estudo de moléculas sinalizadoras e executoras da morte celular, sendo estas também objeto de estudo da biologia molecular (METZSTEIN; HORVITZ, 1999).

Dentre as moléculas da célula estão os ácidos nucléicos (ácido ribonucleico-RNA e ácido desoxirribonucleico-DNA), os quais são moléculas constituídas a partir de quatro bases nitrogenadas ligadas entre si por uma ligação fosfo-diéster e uma ligação ponte de hidrogênio entre as fitas. O DNA possui um carboidrato chamado desoxirribose enquanto que o RNA possui um carboidrato denominado ribose com uma hidroxila no carbono 2. Outra diferença estrutural entre estas duas moléculas é a base nitrogenada chamada uracila, presente no RNA e ausente no DNA, e a base nitrogenada timina presente no DNA e ausente no RNA. As demais, adenina, citosina e guanina, estão presentes tanto no DNA quanto no RNA (DARNELL et al., 1999). A seqüência de DNA de determinados genes e regiões intergênicas tem sido importante característica taxonômica, bem como a seqüência de RNA, uma vez que essas moléculas carregam informações genéticas comuns ao grupo e à espécie que pertencem e transferem esta informação às gerações seguintes com pouca alteração em alguns genes.

Há uma correspondência entre a proteína produzida e o gene que a codifica a partir do princípio de que para cada proteína há um único gene. As proteínas são formadas por seqüências de aminoácidos, possuem funções estruturais dentro e entre células e funções fisiológicas dentro e fora das células. Muitas proteínas são constituintes da membrana plasmática e de tubos interconectores de células, e outras são transportadoras de sinais e resposta ao ataque de pragas, doenças e agentes abióticos. As proteínas são encontradas em todos os seres vivos, exceto nos viróides, na membrana plasmática das células, nos ribossomos, no DNA, no citoplasma e nos capsídeos virais. Outro fato importante envolvendo as proteínas é a emergência de doenças em animais, a exemplo da vaca louca causada por proteínas infecciosas chamadas de “prions” (PRUSINER, 1998).

As proteínas podem ser utilizadas como moléculas informativas para a diagnose de doenças de plantas, a exemplo do perfil de isoenzimas como ferramenta para diferenciação de espécies ou raças de microrganismos (BONDE

et al., 1993). O princípio da técnica de eletroforese de isoenzimas está no fato de que ao revelar o gel submetido ao campo elétrico em condições controladas e visualizar as marcas, as diferentes distâncias de mobilidade de cada isoenzima dos diferentes organismos em estudo representam diferenças genéticas entre eles, portanto, diferenças nas seqüências de DNA correspondentes às mesmas (MURPHY et al., 1990). No entanto, devido às variações nesta característica decorrentes de fatores ambientais, o uso seguro desta técnica deve ser precedido de experiência e conhecimento do sistema com o tempo de utilização. Esta ferramenta ainda hoje é considerada viável em eficiência e custo na diagnose de doenças causadas por nematóides, principalmente quando se complementa esta informação com dados morfológicos e morfométricos.

Outra técnica que faz uso de proteínas para inferências taxonômicas é o perfil de proteínas totais, obtido por eletroforese unidirecional ou bidirecional com pulsos elétricos. Embora seja utilizada na taxonomia e caracterização de populações de microrganismos, esta técnica não tem sido utilizada como ferramenta de diagnose devido à dificuldade de operação, variações decorrentes de fatores ambientais e custo elevado.

Por outro lado, as proteínas carregam informações precisas e estáveis na seqüência de aminoácidos e esta abordagem é utilizada como critério de distinção de vírus. Após o seqüenciamento dos aminoácidos da proteína que se deseja estudar, faz-se a análise de similaridade das seqüências obtidas dos diferentes isolados e por meio de análise de agrupamento obtém-se o nome da espécie dos organismos em teste.

Outra importante abordagem sobre o uso de informações de proteínas é o perfil indireto de enzimas obtido a partir de testes bioquímicos com espécimes de bactérias e leveduras utilizando-se fontes isoladas de carbono e nitrogênio (JONES et al., 1993). Nestes testes realizados em microplacas ou tubos de ensaio, uma única fonte de carbono e/ou nitrogênio é oferecida ao organismo teste para avaliar a produção ou não da enzima relacionada ao substrato. Deste modo, um espécime capaz de utilizar a L-asparagina como única fonte de carbono e nitrogênio certamente produz a enzima asparaginase a qual converte aquele substrato em aspartato. Uma série de substâncias, a exemplo de ácido acético, maltose, sacarose, glicogênio, etc., irá revelar um extenso perfil de enzimas do espécime estudado, fornecendo desta maneira informações com grande importância para a taxonomia.

Os ácidos graxos, que podem ser estudados para fins taxonômicos, são moléculas presentes em células dos seres vivos e possuem função estrutural na membrana plasmática e no envelope viral, além de servir como reserva de energia no citoplasma. Em bactérias, fungos filamentosos e leveduras, o perfil quali-quantitativo de ácidos graxos é importante como característica taxonômica para definir agrupamentos naturais na espécie.

3. Diagnose Molecular Baseada em DNA e RNA

A partir da descoberta da estrutura do DNA por Watson e Crick em 1953, uma verdadeira revolução no avanço do conhecimento científico

sobre a vida na terra tomou curso e, desde então, a humanidade tem se empenhado em conhecer a estrutura física e funcional do genoma de um número cada vez maior de espécies.

Com o conhecimento da estrutura física do genoma de microrganismos, pôde-se elaborar um sistema de classificação mais estável baseado na seqüência de genes marcadores em nível de espécie ou mesmo de táxons subespecíficos (TAYLOR et al., 1999). Esta abordagem apresenta a vantagem de contar com reduzidas taxas de mudanças em relação aos caracteres fenotípicos. Dados fenotípicos são muito sensíveis às alterações ambientais e eram as únicas ferramentas que embasavam a classificação de microrganismos até a consolidação das tecnologias para clonagem e seqüenciamento de genes ou regiões marcadoras dos patógenos alvos. Com o conhecimento da estrutura física do genoma de fitopatógenos é possível também detectá-los em plantas por meio de diversas técnicas a exemplo da reação em cadeia da polimerase (PCR) usando primers específicos que amplificam regiões genômicas marcadoras do grupo de isolados, notadamente patógenos de difícil isolamento e/ou cultivo in vitro como *Xylella fastidiosa,* agente causal da clorose variegada dos citros (POOLER; HARTUNG, 1995).

4. Hibridização Molecular, Marcadores RFLP (Restriction Fragment Lenght Polimorfism) e AFLP (Amplified Fragment Lenght Polimorfism)

A correta identificação de um microrganismo para efeito de diagnose molecular de doença de plantas pode ser realizada por meio de diferentes técnicas baseadas na seqüência do DNA. Uma técnica muito utilizada para a detecção e diagnóstico de fungos, vírus e bactérias é denominada hibridização (por exemplo, o “dot-blot”). Nesta, uma coleção de isolados do fitopatógeno que se deseja detectar deve ser amostrada e seu material genético extraído para estudos de marcas reveladas em géis que possam separar este fitopatógenos de outras espécies. Após ter uma marca molecular específica do patógeno que causa a doença-alvo, a seqüência de DNA correspondente ao marcador é feita, radioativamente, com isótopos de fósforo - (P^{32}) - ou etiquetada com um substrato sensível a uma enzima que o converte em produto colorido visível a olho nu. Na marcação radioativa com P^{32}, a resolução da técnica é maior em relação à marcação colorimétrica ou quimioluminescente com digoxigenina ou biotina, no entanto, atualmente a quimioluminescência com marcadores modernos torna a resolução desta técnica semelhante àquela obtida pela marcação com radioisótopos. A sonda pode ser de DNA ou RNA. Em geral, as sondas são feitas de DNA a partir de clones contendo seqüência parcial do genoma do patógeno. No preparo de sondas para detecção de vírus de RNA e viróides, o RNA específico extraído da planta infectada é convertido em DNA complementar (cDNA) por meio de reação química com a enzima transcriptase reversa. O cDNA obtido é inserido em plasmídeos e

transferido para *Escherichia coli* (DUSI; MARINHO, 2001). Para a produção das sondas, uma PCR pode ser realizada contendo nucleotídeos marcados utilizando o inserto como molde.

Para a execução da técnica "dot-blot", o pesquisador deve analisar o material vegetal e hipotetisar sobre a espécie, subespécie ou raça presente do agente causal, para em seguida escolher a sonda de DNA ou RNA adequada (MEINKOTH; WAHJ, 1984).

O tecido contaminado ou infectado é triturado e o DNA presente é desnaturado, aplicado diretamente na membrana de náilon ou nitrocelulose na forma de pontos e fixado em aparatos específicos para este fim, como por exemplo Bio-Dot SF (Bio-Rad Laboratories). Em seguida, uma solução de DNA, em geral de esperma de salmão, é aplicada sobre a membrana para pré-hibridização com o objetivo de bloquear sítios livres da mesma e evitar que a sonda se ligue nestes sítios. Para hibridizar com a sonda específica do patógeno-alvo, a membrana pré-hibridizada é retirada da primeira solução e colocada para hibridizar na solução da sonda de detecção em um forno de hibridização com temperatura e tempo pré-determinado. Depois de decorrido o tempo de hibridização, a membrana é retirada, lavada para remover o excesso de sonda e revelada (Fig. 1).

Outra técnica importante na diagnose de doenças de plantas é a RFLP que consiste na análise do polimorfismo no comprimento do fragmento DNA após digestão com enzima de restrição. Este polimorfismo origina-se das diferenças nas seqüências do DNA dos organismos em estudo e do fragmento gerado pelo corte da fita dupla com enzima de restrição. A técnica consiste em obter o DNA do microrganismo que se deseja identificar e digerir este DNA com enzimas de restrição. Em seguida, aplica-se o DNA digerido em um gel de agarose ou poliacrilamida e depois de decorrida a eletroforese, cora-se o gel com brometo de etídeo ou prata e as marcas são visualizadas e comparadas com o padrão que se tem para o microrganismo que se deseja detectar.

A técnica RFLP também pode ser empregada para estudos de diversidade genética e detecção de fitoplasmas e bactérias fitopatogênicas, notadamente de fitobactérias fastidiosas numa combinação de técnicas denominadas PCR-RFLP. No caso de fitobactérias, genes *hrp* ou mesmo de regiões intergênicas dos genes 16S ou 23S do DNA ribossomal (rDNA) podem ser utilizados para este propósito (POUSSIER et al., 1999).

A técnica AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) consiste em extrair o DNA do microrganismo, fragmentá-lo com enzimas específicas e ligar adaptadores de dupla fita aos fragmentos, para posteriormente proceder a uma PCR com primers indicados e dNTP radioativo ou fluorescente (VOS et al., 1995). Em seguida, procede-se à eletroforese em um gel de poliacrilamida e a revelação das marcas (JANSSEN et al., 1996) ou a leitura pode ser feita em um equipamento apropriado com sensor para fluorescência. Em todos os casos, a análise dos dados consiste em tabular os resultados em uma planilha com respostas positivas e negativas para cada marca em um programa de computador. A análise de agrupamento irá mostrar a qual espécie pertence o isolado em teste, desde que a estes dados sejam incorporados os dados

dos isolados tipos. Em casos de doenças específicas, a presença de uma a poucas marcas exclusivas no gel é o suficiente para detectar o patógeno inclusive na subespécie (AVROVA et al., 2002).

Fotos: Francisco Murilo Zerbini Júnior

Fig. 1. Etapas da técnica "dot-blot" para detecção de patógenos e diagnose molecular de doenças de plantas com sondas: montagem das membranas e aplicação da amostra no aparato Bio-dot (a, b, c, d), forno de hibridização (e), cassete de revelação (f) e tanque de revelação da membrana (g).

5. PCR, Marcadores do Tipo ARDRA, RAPD e PCR Quantitativa

A técnica de PCR (Polimerase Reaction Chain) (MULLIS; FALONA, 1987) baseia-se no aumento do número de cópias de seqüências de DNA de interesse por meio de reação enzimática in vitro. Para processar a reação, combinam-se em um tubo ou placa de reação o DNA molde, dois ologonucleotídeos iniciadores ou "primers", os dNTPs (deoxynucleotídeos

fosfatos: dATP, dTTP, dCTP e dGTP), a enzima polimerase de DNA termoestável e a solução tampão da reação. Estes tubos são colocados dentro de um equipamento denominado termociclador programado para condicionar binômios de tempo e temperatura adequados a cada etapa da reação. Deste modo, a primeira etapa consiste na desnaturação do DNA obtida pela elevação da temperatura. Após a desnaturação do DNA, o equipamento abaixa a temperatura para que os oligonucleotídeos iniciadores se liguem às fitas simples e assim ocorra a etapa de anelamento. A temperatura de anelamento varia de 25°C a 65°C e serve como estratégia de amplificação específica devido ao aumento de estringência com a elevação da temperatura de anelamento. Na etapa de extensão da fita, o termociclador é programado para manter a temperatura em 72°C quando a enzima realiza a polimerização das duas novas fitas. Depois de decorrido o tempo programado para a polimerização, as fitas se separam em nova etapa de desnaturação pela elevação de temperatura e, subseqüentemente, os iniciadores novamente se ligam nas fitas moldes antigas e nas fitas moldes que foram produzidas na primeira reação. Após esta segunda polimerização estarão formadas as duas primeiras seqüências de DNA no tamanho definido pelo par de oligonucleotídeos iniciadores colocados no tubo de reação. Há a amplificação de fragmentos maiores que os definidos pelo par de primers, uma vez que o DNA molde original continua presente no tubo de reação, mas, a quantidade deste DNA amplificado no produto final não é significativa. A seqüência molde alvo de tamanho definido pelos primers é chamada de "amplicon" e a multiplicação destas seqüências se dá em progressão geométrica de ordem 2. O produto da reação é resultado da amplificação específica da região anelada pelos primers e bastam algumas cópias de DNA para que seja possível realizar a PCR. Deste modo, a técnica de PCR caracteriza-se por ser de alta sensibilidade, especificidade, rapidez (WEISING et al., 1995) e facilidade de execução. Alguns fatores como a temperatura de anelamento, a concentração de magnésio, a presença de inibidores químicos, a quantidade e atividade da enzima polimerase e a quantidade e especificidade dos primers influenciam na eficiência da reação, sendo, às vezes, necessário ajustes iniciais nestes fatores em cada estudo.

O uso de PCR, associado à digestão com enzimas de restrição, é viável pela eficácia em discriminar grupos de microrganismos, principalmente quando são realizados em seqüências conservadas entre espécies. Deste modo, a digestão enzimática pode ser combinada com a PCR para produzir um perfil de marcas do DNA amplificado. Para tanto, depois de realizada a PCR, as seqüências obtidas são digeridas com enzimas de restrição e o produto digerido é separado por eletroforese.

A técnica ARDRA (Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis) consiste em proceder a uma análise do padrão de bandas resultantes da digestão de seqüências de rDNA com enzimas de restrição. Espécies do nematóide *Bursaphelenchus* Fuchs podem ser identificadas por esta técnica utilizando-se ITS-RFLP com primers específicos para amplificar as regiões ITS1 e ITS2 (BRAASCH et al., 1999). Em seguida

as seqüências são digeridas com as enzimas RsaI, HaeIII, MspI, HinfI e AII e o produto visualizado em gel de agarose. Esta técnica também tem sido empregada com sucesso para distinção de fungos (OLIVEIRA; COSTA, 2002). Para fitoplasmas, a identificação pode ser feita a partir da aplicação do produto da digestão com enzimas de restrição nas seqüências de rDNA16S destes microrganismos (LEE et al., 2001), bem como para a identificação da bactéria *Ralstonia solanacearum* em eucalipto (Fig. 2).

Foto: Ricardo Roberto da Silva

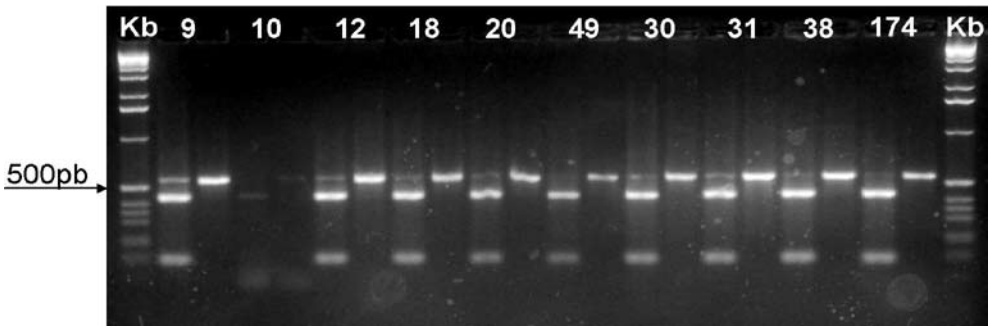


Fig. 2. Padrão de restrição do rDNA16S obtido com a enzima RsaI para diferentes isolados de *Ralstonia solanacearum* de eucalipto.

Kb = 1 Kb DNA Ladder à esquerda; produto de PCR não digerido à direita.

A técnica denominada RAPD (Random Amplified Polimorfic DNA) consiste em extrair o DNA do microrganismo de interesse e proceder a uma reação de PCR com pequenos primers de seqüência arbitrária e ricos em GC. Em seguida, o produto da PCR é aplicado no gel de agarose e submetido à eletroforese para separação dos fragmentos. Depois de decorrido um tempo pré-definido, o gel é visualizado e os dados são analisados como presença ou ausência das marcas genéticas. Esta técnica tornou-se amplamente utilizada a partir de 1990 (WILLIAMS et al., 1999) e pode ser usada para detecção de raças de fungos (KURAMAE; SOUZA, 2002) e estirpes de bactérias.

A PCR quantitativa ou PCR em tempo real consiste na multiplicação enzimática de seqüências de DNA e detecção do produto amplificado por fluorescência durante a amplificação. A técnica consiste em aplicar princípios básicos da PCR tradicional somado ao uso de sondas fluorescentes e detecção dos produtos em tempo real. A detecção do produto amplificado ou "amplicons" pode ser realizada por diferentes sistemas fluorescentes (MACKAY et al., 2002). O sistema TaqMan® consiste em adicionar um oligonucleotídeo de aproximadamente 25 nucleotídeos denominado sonda TaqMan® que contém na extremidade 5', um composto de alta energia denominado "reporter" e na extremidade 3', uma molécula receptora de energia denominada "quencher" ao mix de PCR. Esta sonda é desenhada para anelar especificamente na fita molde entre os primers reverse e forward. Após cada ciclo da reação, subseqüentemente à polimerização, a enzima Taq polimerase atua como uma exonuclease no sentido 5'-3', degrada a sonda e libera as duas moléculas.

A molécula "quencher" liberada e com energia emite fluorescência que é detectada pelo sensor do equipamento, sendo proporcional à quantidade de produto amplificado (Fig. 3).

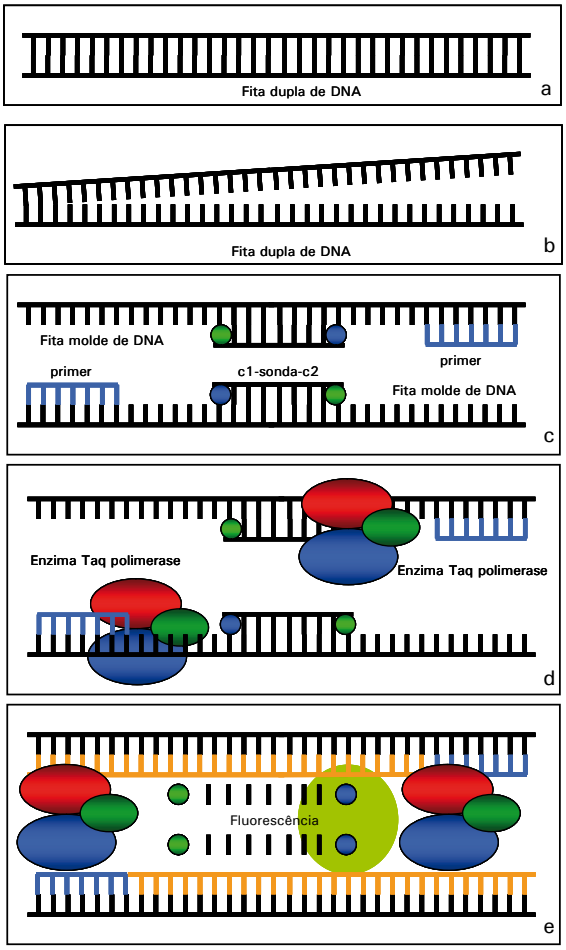


Fig. 3. Estágios da técnica PCR em tempo real com o sistema TaqMan® de sondas ligadas a uma molécula de cromóforo e uma molécula "quencher": a) fita dupla de DNA molde intacta; b) desnaturação do DNA molde e separação das fitas; c) anelamento dos primers e da sonda TaqMan® marcada; d) polimerização das novas fitas e desligamento dos cromóforos e "quenchers"; e) desligamento da polimerase e emissão de fluorescência forte.

A proximidade entre os cromóforos na sonda original antes do anelamento evita as emissões de fluorescência após excitação a partir da fonte de luz do termociclador. A detecção da seqüência alvo é obtida quando o equipamento, por meio de um programa de computador, indica que foi atingido o primeiro valor detectável acima do limite de referência, o qual é definido como a fluorescência de base sem ocorrer reação de PCR (Fig. 4).

Outro sistema interessante para ser utilizado em PCR quantitativa é o de "molecular beacons" (TYAGI; KRAMER, 1996). Neste sistema, as oligosondas também possuem fluoróforos e quenchers nas extremidades, mas apresentam uma conformação secundária de DNA tipo haste e alça com os cromóforos próximos entre si e parte da fita anelada no início da reação enzimática. Na alça, há uma seqüência complementar à fita molde de DNA, de modo que, quando a reação se processa, a sonda hibridiza-se com a fita molde e adota uma

conformação linear mantendo distantes os cromóforos. Nesta situação, uma pequena quantidade de fluorescência é produzida e corrigida pelo programa de modo a não interferir na detecção. A possibilidade de utilização de fluoróforos de diferentes cores na mesma reação permite detectar diferentes seqüências alvo.

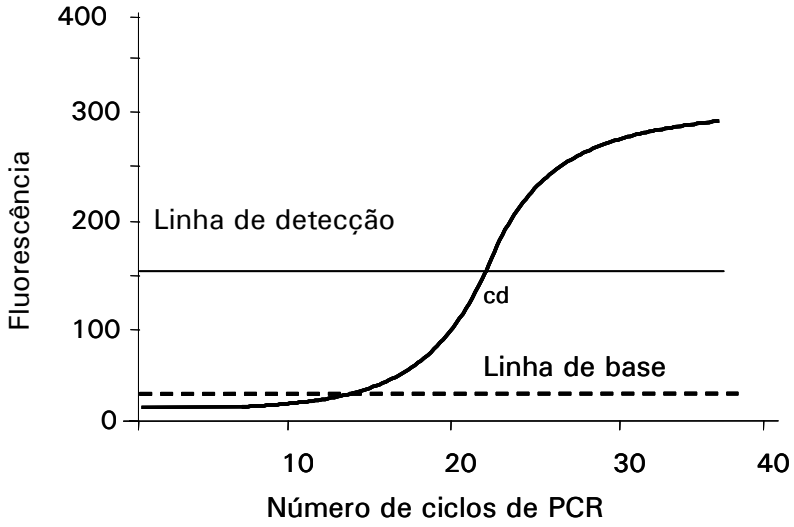


Fig. 4. Curva hipotética de amplificação de seqüência de DNA de um fitopatógeno via PCR em tempo real.

Onde: cd – ciclo de detecção do fitopatógeno.

O sistema SYBR® Green para PCR em tempo real também é fluorescente e tem como características o baixo custo relativo aos demais, maior factibilidade e inespecificidade quanto ao substrato de fita dupla. O uso deste sistema baseia-se na adição de um cromóforo denominado SYBR Green ao mix da reação de PCR no início da reação (VITZTHUM et al., 1999). A molécula de SYBR Green apresenta um pequeno nível de fluorescência basal sem estar ligada à fita dupla de DNA, o que não interfere na quantificação dos amplicons e na detecção da seqüência alvo, uma vez que esta quantidade basal é considerada pelo programa. Os picos de fluorescência aumentam de acordo com o aumento do número de fitas duplas no mix da reação, uma vez que o composto intercala-se e liga-se à fita dupla e desliga-se da mesma durante a desnaturação (Fig. 5).

Atualmente, uma série de equipamentos está disponível no mercado para a prática de PCR em tempo real como o Gene Amp 5700® da Applied Biosystems (Foster City, Califórnia), o iCycler iQ™ da empresa Bio-Rad (Hércules, Califórnia) e o Smart Cycler® TD da Idaho Technologies (Salt Lake City, Utha), além de outros. Até o momento apenas o Smart Cycler® TD tem a capacidade de realizar até 16 reações independentes. Para viabilizar a aplicação prática da PCR em tempo real na área de Fitopatologia, alguns protocolos foram desenvolvidos para detectar fungos em sementes (ZHANG et al., 1999), bactérias em sementes (BERG et al., 2006) e vírus em tecidos de plantas (ROBERTS et al., 2000).

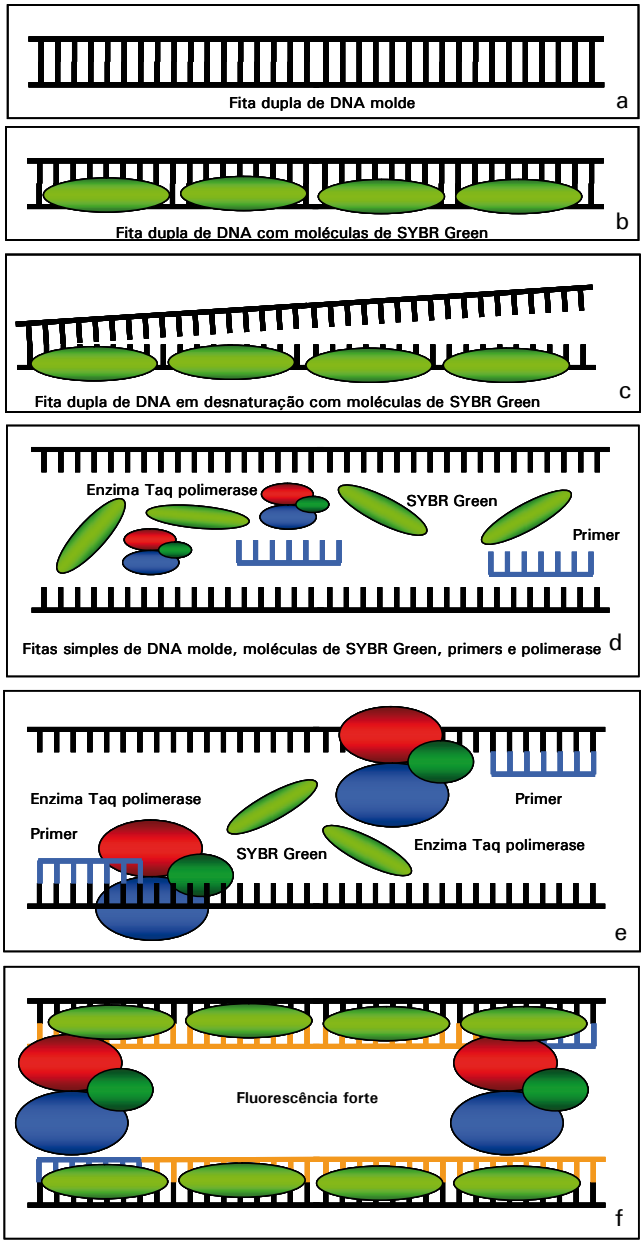


Fig. 5. Estágios da técnica PCR em tempo real com o sistema SYBR Green®: a) fita dupla de DNA molde intacta; b) integração e ligação do corante à fita dupla; c) desnaturação do DNA molde, separação das fitas e desligamento do corante; d) solução contendo DNA molde, primers, polimerase e corante; e) anelamento dos primers e acoplamento da polimerase; f) polimerização das novas fitas, desligamento da polimerase e ligamento do corante nas fitas duplas de DNA.

6. Reação em Cadeia da Polimerase e Análise Filogenética de Seqüências do DNA Genômico

A escolha da PCR associada à análise filogenética de seqüências como técnica padrão para diagnose de doenças de plantas depende de boa infra-estrutura no laboratório para extração de DNA, seqüenciamento e análise de dados. Após a análise do material vegetal, o pesquisador pode optar por isolar primeiramente o microrganismo em meio de cultura e multiplicá-lo para extração de DNA. Não sendo possível cultivar o patógeno em meio de cultura, a PCR poderá ser realizada com extrato vegetal ou DNA extraído dos tecidos infectados. Os fragmentos de DNA amplificados poderão ser clonados em vetores ou enviados diretamente para seqüenciamento. Quando se trata de doença sem sinais visíveis do patógeno, uma série de inferências é feita no material coletado em diferentes idades e sintomas, antes de se proceder à análise molecular. Quando não é possível a verificação de sinais do patógeno no tecido atacado com microscópio de luz e acredita-se que a doença é causada por um agente biótico, primers específicos para micoplasmas, vírus e viróides são avaliados. No caso de ocorrência de um fungo desconhecido cultivável em meio de cultura, ou conhecido mas não ao nível taxonômico desejado, pode-se realizar a identificação molecular por meio de seqüências correspondentes a rDNA 18S, 5.8S e ITS de rDNA ("Internal Transcribed Spacer" de DNA Ribosomal Nuclear) com o uso de primers universais. Outras regiões genômicas também são importantes para diferenciar espécies, a exemplo do gene correspondente ao rDNA 28S, TEFa (fator de tradução e elongação 1-alfa), RPB1 (subunidade I da RNA polimerase II). O mesmo procedimento com primers universais pode ser adotado para diagnose molecular de nematóides e bactérias, sendo neste último caso utilizados primers para amplificação do rDNA16s ou regiões específicas do genoma. Em todos estes casos, depois de obtida a seqüência do gene, uma análise filogenética para fins taxonômicos é realizada em programas de computador (Fig. 6) (GONÇALVES, 2003). Primers exclusivos para espécies até grupos infra-subespecíficos (KURAMAE; SOUZA, 2002; MAHUKU et al., 2006) também podem ser utilizados na diagnose molecular de doenças de plantas causadas por fungos e bactérias bem como para espécies de micoplasmas, vírus e viróides (LEE et al., 2001; ZERBINI et al., 2001; DUSI; MARINHO, 2001). Nesses casos, a presença de uma banda marcadora do grupo no gel significa resultado positivo para a diagnose, tendo como comparador um isolado tipo do grupo. Marcadores baseados em seqüências repetitivas, a exemplo das seqüências ERIC (Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus Sequence), REP (Repetitive Extragenic Palindromic Sequence) e BOX, podem ser utilizados para caracterizar populações específicas e,

nestes casos, tornam-se ferramentas valiosas na diagnose molecular de isolados de interesse (WILLIAMS; FITT, 1999).

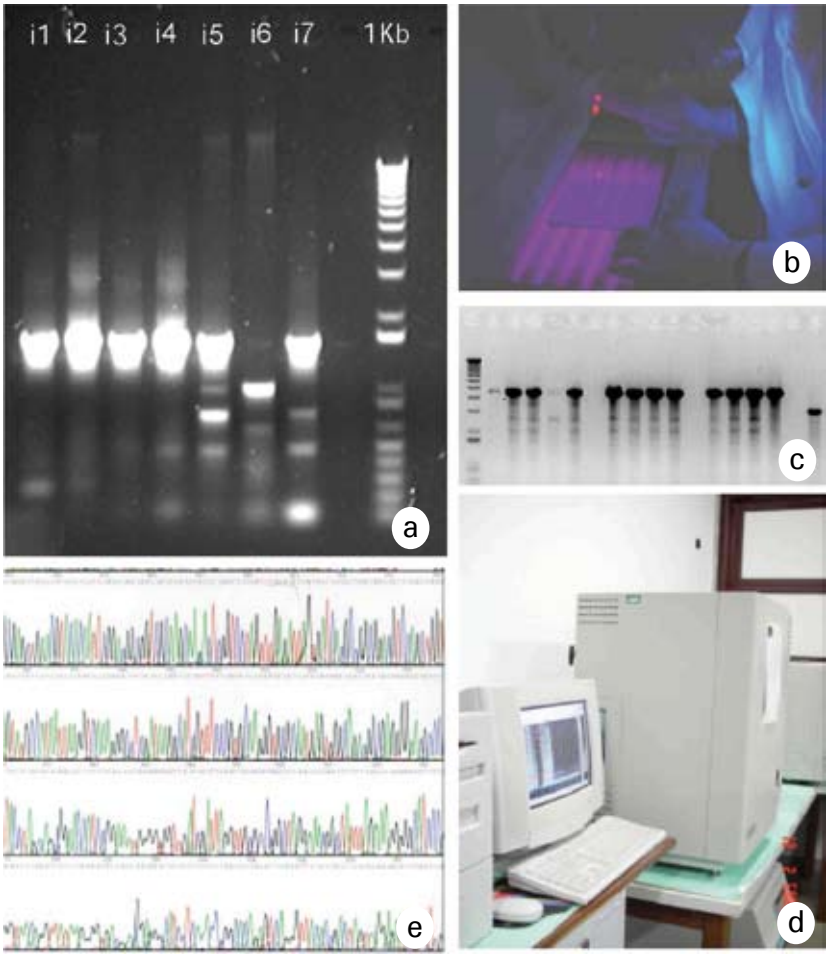


Fig. 6. Etapas da identificação molecular de fitobactérias por análise filogenética de seqüências de rDNA16S a partir de DNA de diferentes isolados de bactérias patogênicas ao eucalipto (i1a i7); e à direita marcador 1Kb: a) gel de agarose com fragmentos amplificados via PCR; b) gel visualizado em luz ultravioleta; c) gel com marcas fortes dos plasmídeos contendo os genes; d) seqüenciador automático ABI Prism 377; e) eletroferograma parcial de seqüência de DNA.

7. Perfil de Ácidos Graxos (Fame)

Os lipídeos ou ácidos graxos são extensas moléculas com esqueleto de carbono que têm a função de estruturar a membrana plasmática e

servir de reserva de energia. Em fungos e bactérias, o perfil quali-quantitativo de ácidos graxos por meio de cromatografia gasosa pode ser utilizado na diagnose molecular de doenças de plantas (LANOISELET et al., 2005). Atualmente, um sistema automatizado denominado MD (Microbial Identification System) é capaz de identificar com grande precisão fungos filamentosos, leveduras e bactérias por meio da análise qualitativa e quantitativa dos ácidos graxos presentes na parede celular destes microrganismos. Este sistema constitui de um cromatógrafo gasoso acoplado a um computador, o qual armazena a base de dados dos perfis de ácidos graxos de uma grande coleção de espécimes, além do programa que analisa os dados obtidos na leitura do cromatógrafo. A metodologia de identificação consiste em cultivar o microrganismo alvo, extrair os ácidos graxos, aplicar a amostra e aguardar os resultados que saem em forma de gráficos e tabelas com a indicação da espécie e índice de similaridade. Para os casos em que não há na base de dados informações suficientes para reconhecer o organismo que se deseja identificar, o sistema indica os *taxa* mais prováveis e seus respectivos valores de similaridade, além do perfil encontrado na amostra. A identificação de bactérias com este sistema pode constituir rotina na diagnose molecular de doenças de plantas, além de ser mais uma ferramenta de trabalho para a pesquisa que envolve a taxonomia de fitopatógenos. A desvantagem é que esse sistema é caro e existe em poucos laboratórios no Brasil. Contudo, apresenta vantagens para trabalhos taxonômicos pois já possui uma extensa biblioteca e um programa de análise de dados, mesmo havendo limitações devido à baixa repetibilidade de resultados para usuários iniciantes e para isolados desconhecidos de sua base de dados. Este sistema tem sido usado com sucesso para a identificação de *Xanthomonas* spp. e *Pseudomonas* spp. (YANG et al., 1993, JANSEN et al., 1996).

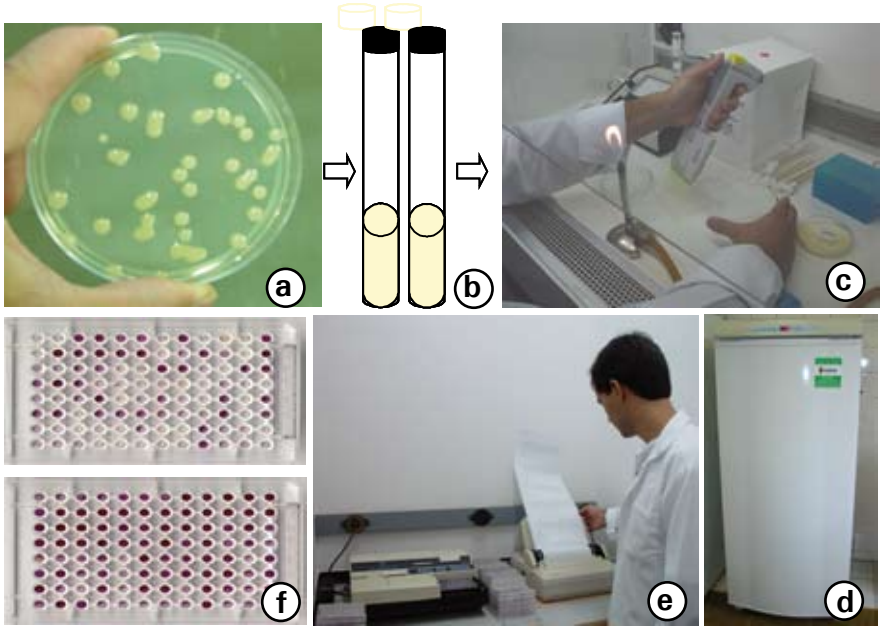
8. Perfil Isoenzimático por Eletroforese, Perfil Indireto de Enzimas e Análise Sorológica

Toda proteína é codificada por um gene correspondente. Ao considerar as pequenas variações no genoma de espécies de um mesmo gênero, a ausência de uma determinada proteína em uma espécie dada por uma pequena alteração no alelo do gene responsável por sua codificação pode ser considerada uma característica taxonômica fenotípica, a exemplo dos padrões de ranhuras na parte posterior de fêmeas de fitonematóides. Ao reunir informações da presença ou ausência de proteínas denominadas isoenzimas em número suficiente para separar as várias espécies dentro de um gênero e espécimes de

uma espécie, ou ainda, raças dentro da espécie, o pesquisador poderá auxiliar-se deste recurso para a diagnose de uma determinada doença. O perfil de isoenzimas é uma técnica que após sua implementação e padronização apresenta utilização simples, eficaz e de baixo custo, sendo seu emprego direcionado aos patógenos cuja informação de perfis de isoenzimas está bem caracterizada.

No caso de análise do perfil indireto de enzimas, inicialmente os espécimes em cultura pura são cultivados em meios que contêm fontes distintas de carbono, nitrogênio, lipídeos, aminoácidos e outras substâncias. Estes testes são realizados em tubos de ensaio fornecendo separadamente cada substância que se deseja avaliar quanto à utilização ou não pelo microrganismo alvo. Frequentemente, estes testes são empregados na diagnose de doenças causadas por bactérias. Atualmente, sistemas automatizados têm sido muito utilizados para facilitar parte deste trabalho, não dispensando, no entanto, a inclusão de provas bioquímicas em alguns dos testes necessários em cada gênero. No caso de não dispor de sistema automatizado, o pesquisador deve realizar uma análise numérica de uma grande quantidade de dados utilizando-se para tanto um programa de computador apropriado. O sistema de análise de perfil de uso de fontes de carbono BIOLOG® (JONES et al., 1993) tem este objetivo e consiste em avaliar a existência e produção de enzimas capazes de converter substratos diversos de fontes de carbono presentes numa microplaca contendo um corante indicador. Com os resultados de positivo ou negativo para cada fonte de carbono, o sistema permite por meio de análise de agrupamento perfazer uma taxonomia numérica (Fig. 7) e indicar a espécie presente. Devido ao aumento da complexidade do trabalho taxonômico a partir de provas bioquímicas necessárias, outro sistema possível de uso automatizado ou manual denominado API® System (BioMérieux, França) (Analytical Profile Index) tem sido utilizado em taxonomia de fitobactérias, a exemplo de *Serratia* spp. (RASCOE, et al., 2003) e *Erwinia* spp. (SHUERGER; BATZER, 1993).

Já a análise sorológica para a detecção de patógenos conhecidos é uma técnica muito útil na diagnose de doença de plantas devido ao baixo custo e facilidade de execução. A técnica consiste na extração de proteínas do agente causal da doença, a partir da planta com sintomas de doença causada por vírus, fungos ou bactérias ou mesmo a partir de cultura pura de bactérias ou fungos, e análise deste material mediante a técnica conhecida como Elisa (Enzyme linked immunosorbent assay) (CLARK; ADAMS, 1977). Em seguida, anticorpos específicos conjugados com a enzima catalizadora do teste devem ser adicionados à amostra alvo, conjuntamente com um substrato para reação colorimétrica, por exemplo, p-nitrofenilfosfato. O resultado é lido com um sensor colorimétrico denominado espectrofotômetro em comprimentos de onda específicos para cada enzima.



0	0	8	0	1	5	0	96	0	2	0	5
0	89	0	81	45	100	35	0	0	0	92	35
0	86	62	0	0	88	98	93	19	0	8	24
0	1	0	0	0	0	52	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	46
90	2	0	0	0	1	1	0	32	68	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	37	8	2	0	0	0	0	81	0	99	94

g

Fig. 7. Análise do perfil de utilização de fontes de carbono por bactérias fitopatogênicas: a) colônias de bactéria em meio Biolog; b) suspensão de bactérias em tubos; c) microplacas em fase de semeio da suspensão de bactérias; d) câmara BOD para cultivo de bactéria; e) equipamento leitor de placas de Elisa; f) microplacas com resultados positivos (poços roxos) e negativos (poços claros); g) tabela com resultados da porcentagem de isolados da espécie com resultado positivo para a fonte de carbono.

9. Conclusões

Para a tomada de decisão quanto às ações a serem realizadas visando ao controle ou manejo integrado de doenças numa planta ou numa população de plantas, sejam cultivadas ou daninhas, é fundamental ter a diagnose

correta da doença com a identificação precisa do agente causal. Tecnologias modernas que associam uma abordagem múltipla como as técnicas de avaliação do perfil genotípico e fenotípico de agentes bióticos causadores de doenças em plantas são ferramentas fundamentais para uma diagnose eficaz. A partir do desenvolvimento da biologia molecular, concomitantemente com a ciência da Computação, da Microbiologia e da Fitopatologia, tornou-se possível avaliar um maior número de características dos fitopatógenos, tanto do genoma ou mesmo de plasmídeos no caso de bactérias, utilizando-se hibridização com sondas, RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), marcadores AFLP, RAPD, ARDRA, PCR (Polymerase Chain Reaction) e PCR quantitativa (POOLER et al., 1995). Adicionalmente, as técnicas que empregam sistemas automatizados ou não para avaliar o perfil de ácidos graxos da parede celular (FAME), o perfil de utilização de fontes de carbono (p. ex. BIOLOG) e o perfil de proteínas reúnem em suas bibliotecas respostas dos isolados tipos e de uma ampla gama de espécimes de bactérias, leveduras e fungos filamentosos. Para os nematóides, o perfil de isoenzimas e a morfologia são as técnicas predominantes para a diagnose, com uma crescente tendência ao uso de marcadores moleculares, fundamentadas em seqüências de DNA. Este aumento do conhecimento das características genotípicas e fenotípicas de fitopatógenos associadas às especificidades dos mesmos quanto aos hospedeiros e ao clima permitiu classificá-los em *taxa* que representam com grande fidelidade as divisões naturais, resultando num sistema nomenclatural estável. Atualmente, no Brasil a diagnose de rotina em laboratórios de fitopatologia e patologia florestal emprega técnicas tradicionais de isolamento direto, cultivo quando necessário e análise microscópica e morfometria em microscópios de luz comum. Tais abordagens apresentam resolução em nível de espécie e têm tido êxito em orientar medidas de controle de doenças, pois estas medidas apresentam amplo espectro de ação. Mesmo que este diagnóstico resulte na identificação correta do patógeno até ao nível de gênero, poderá haver êxito no controle da doença causada por este, na propriedade. No entanto, para efeito de adoção de sistemas de manejo integrado dentro do conceito de desenvolvimento sustentável e para a perpetuação de um necessário e rigoroso sistema de segurança biológica no Brasil, a taxonomia molecular deve se consolidar como ferramenta útil para suportar decisões precisas e seguras.

10. Referências

ALFENAS, A. C. ; ZAUZA, E. A. ; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 442 p.

AVROVA, A. O.; HYMAN, L. J.; TOTH, R. L.; TOTH, I. K. Application of amplified fragment length polymorphism fingerprinting for taxonomy and identification of the soft rot bacteria *Erwinia carotovora* and *Erwinia chrysanthemi*. **Applied Environmental Microbiology**, v. 68, p. 1499–508, 2002.

BERG, T.; TESORIERO, L.; HAILSTONES, D. L. A multiplex real-time PCR assay for detection of *Xanthomonas campestris* from brassicas. **Letters in Applied Microbiology**, v. 42, n. 6:, p. 624-630, 2006.

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. Importância da fitopatologia. In: BERGAMIN FILHO A.; KIMATI, H . ; A M O R I M , L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos.** 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1 9 9 5 . v. 1, p.13-33.

BONDE, M. R.; MICALES, J. A.; PETERSON, G. L. The use of isozyme analysis for identification of plant-pathogenic fungi. **Plant Disease,** *v.* 77, p. 961–968, 1993.

BOYCE, J. S. **Forest pathology.** 3th ed. New York: McGraw-Hill, 1961. 550 p.

BRAASCH, H.; METGE, K.; BURGERME ISTER, W. *Bursaphelenchus*-Arten (Nematoda, Parasitaphelenchidae) in Nadegehõten in Deutschlandundihre ITS-RFLP-Muster. **Nachrichtenblattfür den Deutschen Pflanzenschutzdienst.** v. 51, 312-320. 1 9 9 9 .

CAMPBELL, C. L.; LUCAS, L. T.; LUCAS, G. B. **Introduction to plant diseases: identification and management.** New York : Springer, 1992. p. 364.

CLARK, M. F.; ADAMS, A. N. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the detection of plant viruses. **Journal of General Virology,** v. 34, p. 475-83, 1977.

DARNELL, J.; MATSUDAIRA, P.; ZIPURSKY, L.; LODISH, H.; BERK, A.; BALTIMORE, D. **Molecular Ce**ll **Biology.** 4th ed. New York: W. H. Freeman Bk & Cdr, 1999.1184 p.

DE BARY, A. Researches into the nature of potato fungus, *Phytophthora infestans*. **Journal of the Royal Agricultural Society of England**., v. 12, p. 239-269, 1876. Series 2.

DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; SANHUEZA, R. M. V.; VERZIGNASSI, J. R.; KONDO, N. Etiologia da podridão do coleto de *Brachiaria brizantha* em pastagens da Amazônia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 261-265, 2007.

DUSI, A. N.; MARINHO, V. L. A. Métodos de diagnose de viróides. In: . ALMEIDA, A. M. R.; LIMA, J. A. A. (Ed.). **Princípios e técnicas de diagnose aplicados em fitovirologia.** Londrina: Embrapa Soja; Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2001. p.125-140.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal:** principais doenças florestais no Brasil. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1989 . 570 p.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil.** Magi Iguaçu: International Paper, 2002. 98 p.

GONÇALVES, R. C. **Etiologia da mancha bacteriana do eucalipto no Brasil**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

JANSSEN, P.; COOPMAN, R.; HUYS, G.; SWINGS, J.; BLEEKER, M.; VOS, P.; ZABEAU, M.; KERSTERS, K. Evaluation of the DNA fingerprinting method AFLP as a new tool in bacterial taxonomy. **Microbiology,** v. 142, p. 1881-189 3, 1996.

JONES, J. B.; CHASE, A. R.; HARRIS, G. K. Evaluation of the biolog GN microplate system for Identification of some plant-pathogenic bacteria, **Plant Disease,** v. 77, p. 553-558, 1993.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia:** doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2. 663 p.

KURAMAE, E. E.; SOUZA, N. L. Variabilidade genética entre formae speciales de *Fusarium oxysporum* e raças 1 e 2 de *F. oxysporum f.* sp. *lycopersici* através de RAPD e seqüências de regiões ITS e rDNA. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1481-1485, 2002.

LANOISELET, V. M.; COTHER, E. J.; COTHER, N. J.; ASH, G. J.; HARPER J. D. I. Comparison of two total celular fatty acid analysis protocol to differentiate *Rhizoctonia oryzae* and *R. oryzae-sativae.* **Mycologia,** v. 97, n. 1, 2005, p. 77-83, 2005.

LEE, I. M.; DAVIS, R. E.; FLETCH, E. R. J. Spiroplasmas and phytoplasmas. In: SCHAAD, N. W.; JONES, J. B.; CHUN, W. (Ed.). **Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria.** 3th ed. St. Paul Minnesota: The American Phytopathological Society, 2001. p. 283-320.

LOPES, S. A.; MARCUSSI, S.; TORRES, S. C. Z.; SOUZA, V.; FAGAN, C.; FRANÇA, S. C.; FERNANDES, N. G.; LOPES, J. R. S. Weeds as alternative hosts of the citrus, coffee, and plum strains of *Xylella fastidiosa* in Brazil. **Plant Disease,** v. 87, p. 544-549, 2003.

MACKAY, I. M.; ARDEN, K. E.; NITSCHE, A. Real-time PCR in virology. **Nucleic Acids Research,** p.1292–1305, 2002.

MAHUKU, G. S.; JARA, C.; HENRIQUEZ, M. A.; CASTELLANOS, G.; CUASQUER, J. Genotypic characterization of the common bean bacterial Blight pathogens, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* by rep-PCR and PCR-RFLP of the Ribosomal Genes. **Journal of Phytopathology,** v. 154, n. 1, p. 35, 2006.

MEINKOTH, J.; WAH, U. G. Hybridization of nucleic acids immobilised on solid supports. **Annalytical Biochemistry,** v. 1, n. 38, p. 267-284, 1984.

MERKEL, H. W. **A deady fungus on the American chestnut.** 10th ed. New York : Zoological Society, 1905. p. 97-103.

METZSTEIN, M. M.; HORVITZ, H. R. The *C. elegans* cell death specification gene ces-1 Encodes a Snail Family Zinc Finger Protein. **Molecular Cell,** v. 4, p. 309-319 , 1999.

MULLIS, K. B.; FALOONA, F. A. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. In: WU, R. (Ed.). **Methods in enzymology**. San Diego: Academic, 1987. v. 155. p. 335-350.

MURPHY, R. W.; SITES, J. W.; BUTH, D. G., HAUFLER, C. H. Proteins I: isozyme electrophoresis. In: HILLIS, D. M.; MORITZ, C. (Ed.). **Molecular Systemics**. Massachusetts: Sinauer Associates Publishers, Sunderland, 1990. p. 45-126.

OLIVEIRA, V. C. de; COSTA, J. L. da S. Análise de restrição de DNA ribossomal amplificado (ARDRA) pode diferenciar *Fusarium solani f.* sp. *phaseoli* de *F. solani f.* sp. *glycines.* **Fitopatologia Brasileira,** v. 27, p. 631-634, 2002.

PEREIRA, J. L. M.; RAM, A.; FIGUEIREDO, J. M.; ALMEIDA, L. C. C. Primeira ocorrência de vassoura-de-bruxa na principal região produtora de cacau do Brasil. **Agrotrópica,** v. 1, p. 79-81, 1989.

POOLER, M. R.; HARTUNG, J. S. pecific PCR detection and identification of *Xylella fastidiosa* strains causing citrus variegated chlorosis. **Current Microbiology,** v. 31, p. 377-381, 1995.

POUSSIER, S.; VANDEWALLE, P.; LUISETTI, J. Genetic diversity of African and world wide strains of *Ralstonia solanacearum* as determined by PCR restriction fragment length polymorphism analysis of the *hrp* gene region. **Applied Environmental Microbiology,** v. 65, p. 2184-2194, 1999.

PRUSINER, S. B. **Prions.** Proceedings of the National Academy of Science. v. 95, n. 23, p. 13363-13383, 1998.

RASCOE, J.; BERG, M.; MELCHER, U.; MITCHELL, F. L.; BRUTON, B. D.; PAIR, S. D.; FLETCHER, J. Identification, phylogenetic analysis, and biological characterization of *Serratia marcescens* strains causing cucurbit yellow vine disease. **Phytopathology**, v. 93, p. 1233-1239, 2003.

ROBERTS, C. A.; DIETZGEN, R. G.; HEELAN, L. A.; MACLEAN, D.J. Real-time RT-PCR fluorescent detection of tomato spotted wilt virus. **Journal Virology Methods**, v. 88, p. 1-8, 2000.

SHUERGER, A. C.; BATZER. J. C. Identification and host range of an Erwinia pathogen causing stem rots on hydroponically grown plants. **Plant Disease**, v. 77, p. 472-477, 1993.

STRANGE, R. N.; SCOTT, P. R. Plant disease: A threat to global food security. **Annual Review of Phytopathology**, v. 43, p. 83-116, 2005.

TAYLOR, J. W.; JACOBSON, D. J.; FISHER, M. C. The evolution of asexual fungi: Reproduction, Speciation and Classification. **Annual Review of Phytopathology,** v. 37, p. 197-246, 1999.

TYAGI, S.; KRAMER, F. R. Molecular beacons: probes that fluoresce upon hybridization. **Nature Biotechnology,** v. 14, p. 303-308, 1996.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas:** grandes culturas. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora, 1997. 2 v.

VITZTHUM, F.; GEIGER, G.; BISSWANGER, H.; BRUNNER, H.; BERNHAGEN, J. A quantitative fluorescence-based microplate assay for the determination of double-stranded DNA using SYBR Green I and a standard UV transilluminator gel imaging system. **Analytical Biochemistry,** v. 276, p. 59-64, 1999.

VOS, P.; HOGERS R.; BLEEKER M.; REIJANS M.; VAN DE LEE T.; HORNES M.; FRITERS A.; POT, J.; PALEMAN J.; KUIPER M.; ZABEAU, M. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Research**, 1995, v. 23, n. 21, p. 4407-4414, 1995.

WEISING, K.; NYBOM, H.; WOLFF, K.; MEYER, W. **DNA fingerprinting in plants and fungi.** CRC Press, 1995. p. 320.

WILLIAMS, R. H.; FITT, B. D. L. Differentiating A and B groups of *Leptosphaeria maculans,* causal agent of stem canker (black leg) of oilseed rape. **Plant Pathology**, v. 48, p. 161-175, 1999.

YANG, P.; VAUTERIN, L.; VAN CANNEYT, M.; SWINGS, J.; KERSTERS, K. Application of fatty acid methyl esters for the taxonomic analysis of the genus *Xanthomonas*. **Systematic and Applied Microbiology,** v. 16, p. 47-71, 1993.

ZHANG, A. W.; HARTMAN, G. L. B.; CURIO-PENNY, B.; PEDERSEN, W. L.; BECKER, K. B. Molecular detection of *Diaporthe phaseolorum* and *Phomopsis longicolla* from soybean seeds. **Phytopathology**, v. 89. n. 9. p. 796-804, 1999.

ZERBINI, F. M.; AMBROZE VICIUS, L. P.; NAGATA, A. K. I. Diagnose molecular de fitoviroses. In: ALMEIDA, A. M. R.; LIMA, J. A. A. (Ed.). **Princípios e técnicas de diagnose aplicados em fitovirologia.** Londrina: Embrapa Soja; Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, p. 95-124, 2001.

CAPÍTULO 17

A Comunicação Química entre os Insetos: Obtenção e Utilização de Feromônios no Manejo de Pragas

Marcílio José Thomazini

1. Introdução

A expansão e a evolução da agricultura brasileira trouxeram avanços econômicos e tecnológicos à sociedade; no entanto, impactos negativos também foram observados, como, por exemplo, no controle de pragas que, em muitos casos, passou a ser realizado preventivamente, com base em calendários, sem saber se a praga se encontrava em um nível populacional que pudesse causar danos à cultura.

O uso indiscriminado de pesticidas resultou em problemas como resistência de pragas aos produtos químicos, aparecimento de pragas secundárias, ressurgência de pragas pela destruição de seus inimigos naturais, efeitos adversos em insetos benéficos, efeitos tóxicos ao homem e em animais e efeitos negativos ao meio ambiente.

Para fazer frente a isso, investiu-se em novas tecnologias, fundamentadas em conceitos, que pudessem minimizar os riscos dos pesticidas. Surge então o Manejo Integrado de Pragas (MIP), que visa, por meio de amostragens sistemáticas, enfatizar o controle biológico natural e os níveis de ação, manter as pragas abaixo do nível de dano econômico, de forma harmoniosa com o homem e meio ambiente.

Entre as táticas de manejo de pragas com grande importância dentro do MIP destaca-se aquela baseada no comportamento, principalmente no que se refere aos aspectos da comunicação entre insetos e insetos-plantas. Essa comunicação ocorre por meio de diferentes sinais, entre estes destacam-se os químicos, visuais e vibracionais. A longa e curta distância o sinal químico é o mais importante. Um inseto é capaz de reconhecer a quilômetros de distância o odor emitido pelo parceiro no meio de uma gama de odores na natureza.

Os odores são muito importantes na localização de presas, na defesa e agressividade, na seleção de plantas, na escolha de locais de oviposição, na corte e acasalamento, na organização das atividades sociais e em diversos outros tipos de comportamento (VILELA; DELLA LUCIA, 2001a).

2. Conceitos sobre Comunicação Química

A descoberta das substâncias químicas que intermedeiam as relações entre organismos da mesma espécie, denominadas feromônios, e entre espécies, denominadas aleloquímicos, pode permitir o desenvolvimento de novos produtos para uso no manejo integrado de pragas.

Os feromônios agem na comunicação intra-específica e são divididos segundo sua função como feromônio de alarme, sexual, de atração e agregação entre outros; os aleloquímicos agem na comunicação interespecífica e podem ser divididos em três classes: 1) cairomônios, um composto ou uma mistura de compostos que beneficia o receptor do sinal. Como exemplos existem os voláteis induzidos de plantas, devido ao dano causado por herbivoria, que agem na atração de parasitóides de ovos (MORAES et al., 2005a); 2) alomônios, substâncias que beneficiam o emissor do sinal. Como exemplo tem-se as substâncias de defesa de artrópodes, como veneno de vespas, substâncias repelentes em formigas, substâncias para atrair e subjugar presas e diversos compostos secundários de plantas como substâncias de defesa contra herbívoro; 3) sinomônios, sinais que beneficiam tanto o emissor como o receptor e são identificados na interação planta-herbívoro, herbívoro-predador e no terceiro nível trófico. Como exemplos de sinomônios podem ser citadas as interações formiga-pulgão, odores florais e polinizadores e planta e parasitóide. Os aleloquímicos podem se originar tanto de plantas, como insetos, alimentos ou outras fontes.

Os insetos são capazes de distinguir com precisão quantidades diminutas de um odor ou uma mistura destes na complexidade de odores que os cerca. Por exemplo, uma fêmea acasalada procurando o local ideal para oviposição deve ter a habilidade para localizar a planta hospedeira e ignorar todos os outros odores. Uma fêmea do percevejo-praga da soja *Euchistus heros* é capaz de perceber o feromônio sexual do macho no meio de uma plantação de soja de milhares de hectares.

Durante as últimas quatro décadas houve um grande avanço na importância de feromônios em programas de manejo de pragas (BIRCH, 1982; VILELA; DELLA LUCIA, 2001b). Estes compostos têm várias vantagens quando comparados aos pesticidas químicos: a) são específicos; b) não afetam populações de pragas secundárias ou inimigos naturais; e c) têm baixa toxicidade a mamíferos (SILVERSTEIN, 1981). A utilização de feromônios como um método direto de controle de pragas ou para o monitoramento de populações pode contribuir para prevenir o uso indiscriminado de inseticidas.

Os feromônios, tanto os sexuais como os compostos defensivos, em sua maioria, possuem característica multicomponente. Os compostos de defesa produzidos por percevejos são de baixo peso molecular e compartilhados por várias espécies, mas há uma tendência da mistura de componentes de defesa ser específica, isto é, as espécies apresentam vários componentes em comum, mas ao menos um é diferente ou as proporções entre eles são bem distintas entre as espécies. A mistura do feromônio sexual é constituída, no geral, por dois ou três compostos e é espécie-específica. Esta especificidade é garantida

pela presença de multicomponentes, além de insaturações, ramificações, grupos metílicos, e grupos funcionais nas cadeias lineares.

Um bom exemplo da importância da presença de multicomponentes é o feromônio sexual dos lepidópteros, grupo no qual quem libera o feromônio sexual é a fêmea. Os insetos da ordem Lepidoptera apresentam uma diversidade de feromônios baseada em poucas estruturas básicas e podem ser divididos em dois grandes grupos, chamados tipo I e II. Os compostos do grupo I apresentam estrutura carbônica linear, variando de 10 a 18 carbonos, com grupos funcionais terminais, álcool, acetato ou aldeído, e duplas ligações, sendo a sua maioria dos compostos de 0 a 3 instaurações. Os do tipo II são hidrocarbonetos de cadeias longas de C_{17} a C_{23} e seus epóxidos (ANDO et al., 2005).

A mariposa do bicho-da-seda, *Bombyx mori*, foi o primeiro lepidóptero a ter seu feromônio identificado e produz como feromônio sexual um composto do tipo I (KARLSON; BUTENANDT, 1959), chamado de bombicol (Fig. 1).

Fig. 1. Estrutura química do feromônio sexual da mariposa *Bombyx mori,* (*E,Z*)-10,12-Hexadecadien-1-ol.

Na ordem Heteroptera a diversidade dos compostos pertencentes ao feromônio sexual é muito maior do que nas mariposas e não há padrões de estrutura química tão bem estabelecidos para famílias ou subfamílias. No entanto, é possível observar um padrão dentro do mesmo gênero, embora isso nem sempre ocorra (MILLAR et al., 2005). Na família Pentatomidae quem libera o feromônio sexual são os machos. Os gêneros *Acrosternum* e *Nezara* compartilham os mesmos componentes na mistura do feromônio sexual, o *trans* –(Z)-epóxi-bisaboleno ((Z)-(1′ S,3′ R,4′ S) (-)-2-(3′,4′-epoxi-4′-metilciclohexil)-6-metilhpeta-2,5-dieno) (Fig. 2); *trans*-Z-BAE e seu isômero *cis* (*cis*-Z-BAE) (BAKER et al., 1987; ALDRICH et al., 1987; McBRIEN et al., 2001). A especificidade do feromônio sexual ocorre devido a diferentes proporções destes dois compostos na mistura feromonal.

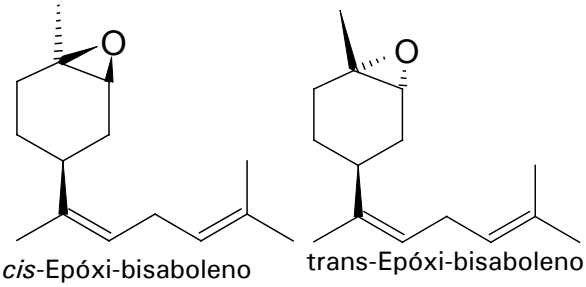
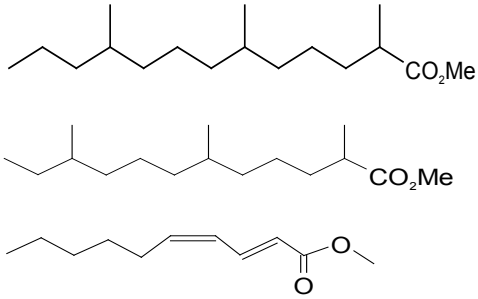


Fig. 2. *Cis* e *trans* –(Z)-epóxi-bisaboleno ((Z)-(1′ S,3′ R,4′ S) (-)-2-(3′,4′-epoxi-4′-metilciclohexil)-6-metilhepta-2,5-dieno), o feromônio sexual produzido por diferentes gêneros de *Acrosternum* e *Nezara*.

O percevejo *Tibraca limbativentris*, praga da cultura do arroz, libera o sesquiterpeno alcoólico zingibenol (BORGES et al., 2006). Este composto é altamente atrativo às fêmeas em bioensaios usando olfatômetros em Y. Um outro pentatomídeo que tem como feromônio sexual um sesquiterpeno, o (7*R*)-sesquifelandreno, é *Piezodorus guildinii*, praga da cultura da soja. Já *E. heros* e *Thyanta perditor* têm como feromônio sexual ésteres acetatos. Em *E. heros* foram identificados três acetatos específicos do macho, 2,6,10 trimetiltridecanoato de metila, (*E*,*Z*)-2,4-decadienoato de metila e 2,6,10 trimetildodecanoato de metila (Fig. 3). *T. perditor* tem um único composto específico no macho que é o éster (E2,Z4,Z6) decatrienoato de metila (BORGES et al., 1997; MORAES et al., 2005b).



2,6,10 trimetiltridecanoato de metila

2,6,10 trimetildodecanoato de metila

(*E*,*Z*)-2,4-decadienoato de metila

Fig. 3. Estrutura química dos componentes do feromônio sexual do macho do percevejo *Euschistus heros*.

Nos curculionídeos os machos produzem o feromônio sexual e os compostos identificados no geral são de origem terpenóide. O bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis*, tem quatro componentes na sua mistura feromonal, todos derivados do isopreno. Os dois principais componentes consistem de álcoois terpenóides, o álcool grandisol (1R,2S)-*cis*-2-isopropenil-1-metilcyclobutanoetanol e o álcool (Z)--3,3 dimetil delta-1-beta-ciclohexanoetanol e, em menores quantidades, dois aldeídos terpênicos, os (Z)-3,3-dimetil-delta-1-alfa-ciclohexanoacetaldeído e (*E*)-3,3-dimetil-delta-1-alfa-ciclohexanoacetaldeído (TUMLINSON et al., 1969).

Atualmente na literatura é possível encontrar milhares de compostos identificados como feromônio de insetos (THE PHEROBASE, 2007), mas sabe-se muito pouco sobre a função destes compostos na comunicação química entre inseto-inseto ou inseto-planta para torná-los uma nova ferramenta no manejo de inimigos naturais e outros insetos.

3. Metodologias para Obtenção de Feromônios

Feromônios, principalmente os sexuais, são geralmente obtidos em quantidades diminutas, de μg a mg, sendo moléculas orgânicas com centros quirais e/ou instaurações e ramificações, em geral, de baixo peso molecular de 60 a 220 u, o que garante a volatilidade da molécula. A maior dificuldade de se trabalhar com feromônios é que esses compostos são produzidos e liberados

pelos insetos em quantidades muito pequenas. No caso do feromônio sexual é mais complicado devido à presença de uma série de compostos defensivos produzidos em grandes quantidades que podem mascarar sua identificação.

A identificação de um feromônio sexual requer uma série de etapas interligadas: criação e manutenção de uma colônia de insetos; bioensaios com insetos vivos, para entender o comportamento e avaliar quem é o sexo produtor do feromônio sexual; aeração ou extração do feromônio por solvente; análise química, para identificação estrutural do composto; síntese do feromônio e mais bioensaios para avaliar se o feromônio isolado e o sintético estimulam alguma mudança no comportamento do inseto. Após estas etapas, a eficiência dos compostos voláteis será testada em campo, com uso de diferentes armadilhas.

Zarbin (2001) relata, detalhadamente, os principais procedimentos para extração, isolamento e identificação de substâncias voláteis de insetos e enfatiza que as pesquisas com feromônios caracterizam-se pela interdisciplinaridade, envolvendo várias áreas do conhecimento, e técnicas que permitam obter materiais naturais puros, com bom rendimento, em escala de nanogramas.

Para o primeiro feromônio sexual identificado, o da mariposa *B. mori* no final da década de 1950, foram utilizados mais de 500 mil insetos. Nos dias atuais é possível a identificação de um feromônio sexual com poucos insetos e, algumas vezes, com até um único inseto, devido ao grande avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas.

3.1. Coleta do Material

A obtenção de um feromônio pode ser feita usando diferentes metodologias. É importante conhecer a fisiologia do inseto para poder decidir qual a melhor metodologia de extração.

Para os percevejos pentatomídeos, quando se está interessado na coleta dos compostos defensivos dos adultos o mais indicado é coletar o material diretamente da glândula, usando um microcapilar de vidro. Os percevejos apresentam uma glândula grande de cor alaranjada chamada de glândula metatorácica (GM), podem ser dissecados e a GM pode ser facilmente encontrada e exposta (BORGES; ALDRICH, 2001). Com o auxílio de um microcapilar de vidro, afinalado em uma das extremidades, pode-se cuidadosamente inserir a extremidade afinalada na glândula e a secreção que está no seu interior sobe por capilaridade. A secreção pode ser dissolvida em um solvente orgânico como diclorometano, éter, hexano. No caso de ninfas de percevejos as glândulas estão localizadas na parte abdominal dorsal. Assim sendo, é mais fácil obter os compostos das glândulas mergulhando as exúvias, nas quais as glândulas estão presentes, direto em uma pequena quantidade de solvente.

Para coletar o feromônio sexual de mariposas é possível extrair a glândula das fêmeas, que fica no ovipositor. A lagarta-elasmo, *Elasmopalpus lignosselus*, tem hábito noturno e expõe a glândula durante a noite, liberando o feromônio para atrair os machos. Neste caso, pode-se tanto cortar a glândula quando está exposta e mergulhá-la em um solvente para a extração, ou realizar aerações. No primeiro caso há a vantagem da facilidade e rapidez, mas a desvantagem

de contaminação da amostra com outros compostos que estão no interior da glândula e tecidos que a envolvem.

Na extração por aeração a garantia de que somente os compostos voláteis liberados estão sendo extraídos é maior. A aeração é conduzida com machos e fêmeas colocados, separadamente, em câmaras de vidro de 1 litro (ZHANG et al., 1994) (Fig. 4). O ar é introduzido na câmara de vidro através de uma bomba de vácuo. Antes de alcançar o olfatômetro o fluxo de ar deve ser filtrado usando, por exemplo, um filtro de carvão ativado a uma taxa de 1.000 ml/h. A bomba de vácuo é conectada a dois tubos de vidro (15 cm de comprimento x 1,5 cm de diâmetro) contendo alguns miligramas de adsorvente químico, como Super Q (Alltech Associates, Inc., Deerfield, IL), Tenax, Porapak ou carvão ativado, nos quais os voláteis serão retidos (MILLAR, 1998). O formato e volume da câmara podem variar conforme os requerimentos do inseto (tamanho, características biológicas e quantidade necessária de insetos a fim de obter voláteis em número suficiente para as análises químicas e bioensaios).

Foto: Arquivo da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Fig. 4. Exemplo de um sistema de aeração para coleta de voláteis de insetos.

Durante as aerações os insetos podem ou não ser alimentados. Para alguns percevejos pentatomídeos a vagem fresca de feijão pode ser usada como alimento. Neste caso é importante fazer a aeração do alimento como controle.

Os insetos são aerados continuamente durante vários dias e a extração dos voláteis do adsorvente que está nos tubos é feita diariamente usando-se hexano, éter ou outros solventes orgânicos.

Os extratos obtidos nesse processo são concentrados sob um leve fluxo de nitrogênio a, aproximadamente, 0,1 inseto/equivalente (I.E.)/μl para serem usados em bioensaios. Nas análises quantitativas o volume do extrato é reduzido para, aproximadamente, 200 μl.

3.2. Análise e Fracionamento dos Extratos

Os extratos e as frações podem ser analisados por cromatografia gasosa, com cromatógrafo equipado com um detector de ionização por chama para análise quantitativa. Na identificação dos compostos os extratos são submetidos à cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. A coluna e o programa de temperatura devem ser escolhidos dependendo da classe de compostos presentes nos extratos.

Os extratos poderão ser fracionados usando diferentes estratégias dependendo da classe dos compostos separados. Em geral, os fracionamentos são conduzidos utilizando-se colunas de sílica gel e solventes de diferentes polaridades. As proporções entre os solventes podem variar conforme a característica química dos compostos presentes nos extratos (MILLAR, 1998).

3.3. Identificação Estrutural dos Componentes

Os componentes presentes nos extratos de insetos machos e fêmeas e de plantas são identificados por comparação do padrão de fragmentação usando-se uma biblioteca de dados de espectro de massas. As identificações são confirmadas por comparação do tempo de retenção e comparação do espectro de massas com padrões autênticos e cálculo dos índices de Kovats em colunas cromatográficas capilares polares e apolares.

Microderivatizações podem ser conduzidas para auxiliar na identificação estrutural dos compostos. Há uma vasta gama de possíveis estratégias para identificar a presença de grupos funcionais na molécula e localizar a posição de insaturações e ramificações na cadeia (ATTYGALLE, 2000). Um exemplo de uso de microderivatizações na identificação de feromônio foi o estudo conduzido com *T. limbativentris*, cujo feromônio sexual foi identificado como o zingeberenol. O espectro de massas obtido para este composto por impacto por elétrons não apresentou o íon molecular m/z 222, mas o padrão de fragmentação sugeria um sesquiterpeno e a perda de água e, portanto, a provável presença de um grupo alcoólico. Para confirmar a presença do grupo OH foi conduzida uma microderivatização usando o reagente de sililação *N*-metil-*N*-(trimetilsilil) trifluoroacetamida (MSFTA). O novo espectro de massas obtido do extrato derivatizado mostrou um íon molecular em m/z = 294, confirmando a presença do grupo OH (BORGES et al., 2006). O aumento do peso molecular ocorreu devido ao grupo $Si(CH_3)_3$ que substituiu o próton lábil do grupo OH (Fig. 5).

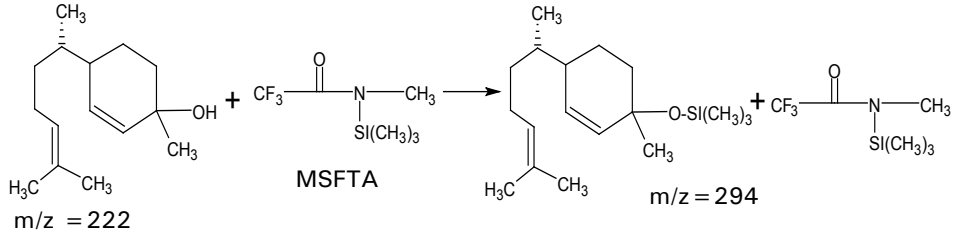


Fig. 5. Reação de sililação do zingibernol, feromônio sexual do percevejo *Tibraca limbativentris*, com MSFTA.

3.4. Eletroantenografia

A eletroantenografia é uma técnica que usa como detector a antena do inseto. Tanto a eletroantenografia usando compostos puros de forma discreta como a eletroantenografia acoplada à cromatografia gasosa, que analisa extratos puros com multicomponentes, permitem aos pesquisadores a identificação de compostos que geram respostas eletrofisiológicas e que provavelmente terão algum papel no comportamento de uma determinada espécie. No entanto, por meio da eletroantenografia não é possível discernir qual o papel deste composto (para isto são conduzidos bioensaios em laboratório e/ou no campo), mas essa técnica auxilia na identificação de possíveis compostos, dentro de uma mistura, que podem ser ativos, eliminando a necessidade de realizar bioensaios com insetos vivos com todos os compostos identificados na mistura (BJOSTAD, 1998).

3.5. Síntese Química

A última etapa necessária para ter certeza da estrutura química de um determinado composto é a síntese química e a posterior comparação dos dados espectrais e cromatográficos do produto sintético com o natural, além dos bioensaios com esses produtos. Muitos feromônios apresentam sítios assimétricos, sendo o inseto capaz de distinguir enantiômeros. No caso de *E. heros*, foram identificados três acetatos específicos do macho, sendo o 2,6,10 trimetiltridecanoato de metila o mais abundante, seguido pelo 2*E*,4*Z* decadienoato de metila e 2,6,10 trimetildodecanoato de metila. Bioensaios em laboratório e testes de campo mostraram que fêmeas de *E. heros* são atraídas principalmente pelo componente mais abundante, sendo a presença dos outros dois componentes desnecessária (BORGES et al., 1999, 1998a, 1998b). O 2,6,10 trimetiltridecanoato tem três centros quirais que geram oito estereoisômeros possíveis. Para identificar qual a configuração absoluta do composto produzido pelo inseto os oito estereoisômeros foram sintetizados (MORI; MURATA, 1994) e testados em laboratório (COSTA et al., 2000).

3.6. Bioensaios

Cada passo do trabalho deve ser monitorado por um bioensaio adequado, baseado na resposta comportamental do inseto com relação ao semioquímico testado. A metodologia para os bioensaios consiste de testes em olfatômetros em ambientes com controle das condições físicas (temperatura, umidade, luminosidade) necessárias aos insetos. As respostas dos insetos em relação à fonte natural de feromônio serão comparadas com as respostas à fonte artificial (compostos sintéticos ou formulações).

Baseando-se nos resultados obtidos por meio dos experimentos em laboratório, os feromônios serão testados em condições de campo, com a finalidade de verificar se poderão ser usados como uma ferramenta para o controle biológico de insetos-praga. Os testes devem ser feitos com diferentes tipos/formatos de armadilhas e de fontes de feromônio.

4. Feromônios de Insetos no Manejo de Pragas

Basicamente, os feromônios podem ser utilizados para monitoramento do nível populacional da praga, captura massal visando ao controle da praga e confundimento, por meio da saturação da atmosfera com feromônios, de forma a evitar a localização do sexo oposto, impedindo assim o acasalamento.

O monitoramento de insetos no campo com feromônios pode ser empregado para detecção de incidência prematura de pragas, por meio de um sistema sensível de armadilhas; levantamento de áreas infestadas, principalmente em grandes áreas como florestas, cana-de-açúcar, armazéns; inspeção quarentenária, monitorando a entrada de pragas exóticas em portos, aeroportos, divisas de países; determinação de limiares de ação, utilizando a sensibilidade dos feromônios aliada à correlação com parâmetros climáticos e fenológicos para predizer níveis populacionais que justifiquem um controle; obtenção de estimativas populacionais, correlacionando o número de insetos capturados na armadilha e a quantidade de ovos e/ou larvas no campo, normalmente os primeiros instares (BENTO, 2001).

No caso da coleta massal exige-se, em geral, um grande número de armadilhas para coletar a maior quantidade possível de insetos. As características das armadilhas, como modelo, tamanho, custo, facilidade de construção, cor, retenção de insetos, número de armadilhas/área, localização, atraentes e liberadores de feromônios, influenciam a eficiência do método. Os maiores casos de sucesso com coleta massal ocorrem em florestas e grandes armazéns (BENTO, 2001).

O confundimento é uma técnica que necessita de grandes quantidades de feromônios no campo, em formulações apropriadas para desorientar e impedir o acasalamento (BENTO, 2001). A formulação deve ter uma taxa de liberação de longo período e o feromônio precisa ser estável. Quanto às pragas polífagas deve-se considerar que provavelmente não estarão na cultura na maior parte do tratamento, e que muitas vezes chegam à cultura já acasaladas. Com relação às pragas monófagas o confundimento pode ser bastante eficiente, como para o percevejo *Campylomma verbasci*, praga das macieiras, em que os dois componentes do feromônio foram usados com sucesso (McBRIEN et al., 1996). Outro exemplo do sucesso do método ocorreu com *Pectinophora gossypiella*, a lagarta-rosada-do-algodoeiro, sendo o feromônio liberado no campo na forma de capilares, com ação de 3 semanas.

O mercado mundial de semioquímicos representa cerca de 1% do mercado dos inseticidas químicos e aproximadamente 30% do mercado dos produtos biológicos, incluídos nestes últimos os entomopatógenos, inseticidas botânicos e os insetos benéficos.

Os semioquímicos, especialmente feromônios sexuais, têm sido investigados intensivamente por vários pesquisadores da área de controle de pragas por mais de uma década. Como resultado, foram descobertos excelentes caminhos para o seu emprego e vários programas que os utilizam têm sido implementados (CARDÉ et al., 1977; DEJONG, 1980; BENTO et al., 1995). Além disso, muitos inimigos naturais usam os feromônios como um “caminho” para encontrar o hospedeiro (cairomônios) (BORGES; ALDRICH, 2001).

Pesquisadores investigaram também o emprego de feromônio de alarme (GRIFFITHS; PICKETT, 1980) e ainda o uso de cairomônios para insetos benéficos (predadores e/ou parasitóides) (ALDRICH et al., 1984), como uma nova estratégia em programas integrados de controle de pragas.

No Brasil, o primeiro feromônio sintético utilizado foi o gossyplure, para monitoramento da lagarta-rosada-do-algodão, em 1979, segundo Flint et al. (1979), citado por Bento et al. (2001a), os quais também relatam que os maiores avanços nos estudos com feromônios de insetos coletados no Brasil começaram a partir de 1990 e os principais casos de sucesso ocorreram com o besouro *Mygdolus frianus* em cana-de-açúcar (LEAL et al., 1994), a traça-do-tomate, *Tuta absoluta* em tomate (SVATOS et al., 1996) e a lagarta-enroladeira, *Bonagota cranaodes* em maçã (UNELIUS et al., 1996).

Complementando a revisão de Bento et al. (2001a) é possível citar outras pesquisas mais recentes com feromônios no Brasil e suas implicações a campo, como no caso das respostas de percevejos-praga da cultura da soja ao feromônio de *E. heros* (BORGES et al., 1998b), das pesquisas com a broca-das-palmáceas, *Rhynchophorus palmarum*, no que se refere aos testes de armadilhas e atrativos (TIGLIA et al., 1998; MOURA et al., 1998; DUARTE et al., 2003; FERREIRA et al., 2003) e taxas de liberação do feromônio de agregação (DUARTE; LIMA, 2001).

Também devem ser citados os trabalhos em tomateiro como o monitoramento da traça-do-tomateiro, *T. absoluta*, com armadilhas contendo feromônio (MICHEREFF FILHO et al., 2000; GOMIDE et al., 2001; BAVARESCO et al., 2005b) e a avaliação do feromônio sexual da broca-pequena-do-tomateiro, *Neoleucinodes elegantalis* (BADJI et al., 2003). Em algodão, destacam-se o controle da lagarta-rosada-do-algodoeiro, *P. gossypiella*, com o feromônio de interrupção do acasalamento (PAPA et al., 2000) e a utilização do feromônio de agregação do bicudo-do-algodoeiro, *A. grandis*, para atração dos adultos na entressafra (FERNANDES et al., 2001). Michereff et al. (2000) relataram o uso de diferentes formulações de feromônio e de armadilhas para captura da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em repolho.

Em citros, ressalta-se o monitoramento do bicho-furão-dos-citros, *Ecdytolopha aurantiana*, com feromônio sexual (BENTO et al., 2001b; PARRA et al., 2004; REIS JUNIOR et al., 2005) e o trabalho de identificação, síntese e avaliação de campo do feromônio sexual do minador-dos-citros, *Phyllocnistis citrella* (LEAL et al., 2006).

Verificou-se o efeito do feromônio sexual sintético na captura da lagarta-enroladeira, *B. cranaodes*, em macieira (KOVALESKI et al., 2003), a atração de machos da lagarta-das-fruteiras, *Argyrotaenia sphaleropa*, ao feromônio sintético em caquizeiro (BAVARESCO et al., 2005a), a flutuação populacional da mariposa-oriental, *Grapholita molesta*, na cultura do pessegueiro (ARIOLI et al., 2005) e o controle desta praga com feromônio de confundimento (BOTTON et al., 2005).

No café, Bacca et al. (2006) verificaram o espaçamento ótimo de armadilhas contendo feromônio para monitoramento do bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella*. Em milho, Batista-Pereira et al. (2006) isolaram, identificaram, sintetizaram e

realizaram testes de campo com o feromônio sexual da lagarta-do-cartucho-do-milho, *Spodoptera frugiperda*.

Existem empresas no Brasil que comercializam feromônios para algumas pragas importantes da nossa agricultura (BIO CONTROLE, 2007; ISCA TECNOLOGIAS, 2007). Entre os produtos estão os feromônios sexuais sintéticos para monitoramento das seguintes pragas: bicudo-do-algodoeiro, *A. grandis*; mosca-das-frutas, *Ceratitis capitata*; broca-pequena-do-tomateiro, *N. elegantalis*; traça-do-tomateiro, *T. absoluta*; traça-da-batatinha, *Phthorimaea operculella*; traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*; lagarta-rosada-do-algodoeiro, *P. gossypiela*; lagarta-do-cartucho-do-milho, *S. frugiperda*; moleque-da-bananeira, *Cosmopolites sordidus*; vaquinha, *Diabrotica speciosa*; bicho-da-maçã, *Cydia pomonella*; mariposa-oriental, *G. molesta*, em maçã e pêssego; lagarta-enroladeira-da-maçã, *B. cranaodes*; bicho-do-fumo, *Lasioderma serricorne*, em fumo armazenado; traças de grãos armazenados; besouro-castanho, *Tribolium castaneum*, em grãos de cereais armazenados. Há um feromônio sexual sintético para monitoramento e também coleta massal, como no caso do besouro-da-cana-de-açúcar, *M. fryanus*, e um feromônio sintético de agregação, para monitoramento e coleta massal da broca-do-olho-do-coqueiro, *R. palmarum*.

5. Referências

ALDRICH, J. R.; KOCHANSKY, J. P.; ABRAMS, C. B. Attractant for a beneficial insect and its parasitoids: Pheromone of the predatory spined soldier bug, *Podisus maculiventris* (Hemiptera, Pentatomidae). **Environmental Entomology**, v. 13, n. 4, p. 1031-1036, 1984.

ALDRICH, J. R.; OLIVER, J. E.; LUSBY, W. R.; KOCHANSKY, J. P.; LOCKWOOD, J. A. Pheromone strains of the cosmopolitan pest, *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae). **Journal of Experimental Zoology**, v. 244, n. 1, p. 171-175, 1987.

ANDO, T.; INOMATA, S.; YAMAMOTO, M. Lepidopteran sex pheromones. In: SCHULZ, I. S. (Ed.). **The chemistry of pheromones and other semiochemicals**. Berlin: Springer, New York: Heidelberg, 2005, p. 51-96.

ARIOLI, C. J.; CARVALHO, G. A.; BOTTON, M. Flutuação populacional de *Grapholita molesta* (Busck) com armadilhas de feromônio sexual na cultura do pessegueiro em Bento Gonçalves, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 1-5, 2005.

ATTYGALLE, A. B. Microchemicals techniques. In: MILLAR, J. G.; HAYNES, K. F. (Eds.). **Methods in chemical ecology-Chemical methods**. 2. ed., 1 v. Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 207-281.

BACCA, T.; LIMA, E. R.; PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C.; VIANA, J. H. M. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata,** v. 119, n. 1, p. 39-45, 2006.

BADJI, C. A.; EIRAS, A. E.; CABRERA, A.; JAFFE, K. Avaliação do feromônio sexual de *Neoleucinodes elegantalis* Guenee (Lepidoptera: Crambidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 2, p. 221-229, 2003.

BAKER, R.; BORGES, M.; COOKE, N. G.; HERBERT, R. H. Identification and synthesis of (Z)-(1′S,3′R,4′S)(-)-2-(3′,4′epoxy-4′methylcyclohenyl)-6-methylhepta-2,5-diene, the sex pheromone of the southern green stinkbug, *Nezara viridula* (L.). **Journal of the Chemical Society D. Chemical Communications**, n. 1453, p. 414-416, 1987.

BATISTA-PEREIRA, L. G.; STEIN, K.; PAULA, A. F.; MOREIRA, J. A.; CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; PERRI JUNIOR, J.; CORREA, A. G. Isolation, identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone of the Brazilian population of *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1085-1099, 2006.

BAVARESCO, A.; NUNEZ, S.; GARCIA, M. S.; BOTTON, M.; SANT´ANA, J. Atração de machos da lagarta-das-fruteiras *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) aos componentes do feromônio sexual sintético na cultura do caquizeiro. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 4, p. 619-625, 2005a.

BAVARESCO, A.; TORRES, A. N. L.; PILATI, G. Uso do feromônio sexual sintético para o monitoramento da flutuação populacional da traça-do-tomateiro, *Tuta absoluta*, no Planalto Norte Catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v. 18, n. 2, p. 83-86, 2005b.

BENTO, J. M. S. Fundamentos do monitoramento, da coleta massal e do confundimento de insetos-praga. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Ed.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001, p. 135-144.

BENTO, J. M. S.; VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C. Considerações sobre a história do estudo e emprego de feromônios no Brasil. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Ed.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001a. p. 147-150.

BENTO, J. M. S.; VILELA, E. F.; PARRA, J. R. P.; LEAL, W. S. Monitoramento do bicho-furão-dos-citros com feromônio sexual: bases comportamentais para utilização dessa nova estratégia. **Laranja**, v. 22, n. 2, p. 351-366, 2001b.

BENTO, J. M. S.; VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C.; LEAL, W. S.; NOVARETTI, W. R. T. **Migdolus:** biologia, comportamento e controle. Salvador, 1995. 58 p.

BIO CONTROLE. **Métodos de controle de pragas.** Disponível em: <http://www.biocontrole.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2007.

BIRCH, M. C.; HAYNES, K. F. **Insect pheromones**. London: E. Arnold, 1982. 58 p. (The Institute of Biology's Studies in Biology, 147).

BJOSTAD, L. B. Electrophysiological methods. In: MILLAR, J. G.; HAYNES, K. F. (Ed.). **Methods in chemical ecology-Chemical methods**. Kluwer: Academic Publishers, 1998, v. 1. p. 339-375.

BORGES, M.; ALDRICH, J. R. Attractant pheromone for Neartic stink bug, *Euschistus obscurus* (Heteroptera: Pentatomidae): insight into a neotropical relative. **Journal of Chemical Ecology**, v. 20, n. 5, p. 1095-1102, 1994.

BORGES, M.; ALDRICH, J. R. Feromônios de Heteroptera. Oportunidades para o manejo de insetos benéficos. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Ed.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p. 93-98.

BORGES, M.; MORI, K.; COSTA, M. L. M.; SUJII, E. R. Behavioural evidence of methyl-2,6,10-trimethyltridecanoate as a sex pheromone of *Euschistus heros* (Het., Pentatomidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 122, n. 6, p. 335-338, 1998a.

BORGES, M.; SCHMIDT, F. G. V.; SUJII, E. R.; MEDEIROS, M. A.; MORI, K.; ZARBIN, P. H. G.; FERREIRA, J. T. B. Field responses of stink bugs to the natural and synthetic pheromone of the Neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae). **Physiological Entomology**, v. 23, n. 3, p. 202-207, 1998b.

BORGES, M.; BIRKETT, M.; ALDRICH, J. R.; OLIVER, J. E.; CHIBA, M.; MURATA, Y.; LAUMANN, R. A.; BARRIGOSSI, J. A.; PICKETT, J. A.; MORAES, M. C. B. Sex attractant pheromone from the rice stalk stink bug, *Tibraca limbativentris* Stal. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 12, p. 2749-2761, 2006.

BOTTON, M.; KULCHESKI, F.; COLLETTA, V.; ARIOLI, C. J.; PASTORI, P. L. Avaliação do uso do feromônio de confundimento no controle de *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) em pomares de pessegueiro. **Idesia**, v. 23, n. 1, p. 43-50, 2005.

CARDÉ, R. T.; BAKER, T. C.; CASTROVILLO, P. J. Disruption of sexual communication in *Laspeyresia pomonella* (Codling moth), *Grapholitha molesta* (Oriental fruit moth) and *G. prunivora* (lesser appleworm) with hollow fiber attractant sources. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 22, n. 3, p. 280-288, 1977.

COSTA, M. L. M.; BORGES, M.; VILELA, E. F. Effect of stereoisomers of the main component of the sex pheromone of *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) in the attractiveness of females. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 3, p. 413-422, 2000.

DEJONG, D. G. Monitoring techniques, forecasting systems and extension problems in relation to the summer tortricid *Adoxophyes orana* (F.v.R.). **EPPO Bulletin**, v. 10, p. 213-221, 1980.

DUARTE, A. G.; LIMA, I. S. Eficiência de diferentes taxas de liberação do feromônio de agregação na captura de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 217-221, 2001.

DUARTE, A. G.; LIMA, I. S.; NAVARRO, D. M. A. F.; SANT´ANA, A. E. G. Captura de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) em armadilhas iscadas com o feromônio de agregação e compostos voláteis de frutos do abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 81-84, 2003.

FERNANDES, W. D.; CARVALHO, S. L.; HABIB, M. E. E. M. Between-season attraction of cotton boll weevil, *Anthonomus grandis* Boh. (Coleoptera: Curculionidae) adults by its aggregation pheromone. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 229-234, 2001.

FERREIRA, J. M. S.; LEAL, M. L. S.; SARRO, F. B.; ARAÚJO, R. P. C.; MOURA, J. I. L. Avaliação de diferentes fontes atrativas e suas prováveis interações na captura de *Rhynchophorus palmarum*. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecologia**, n. 67, p. 23-29, 2003.

GOMIDE, E. V. A.; VILELA, E. F.; PICANÇO, M. Comparação de procedimentos de amostragem de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em tomateiro estaqueado. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 4, p. 697-705, 2001.

GRIFFITHS, D. C.; PICKETT, J. A. A potential application of aphid alarm pheromones. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 27, n. 2, p. 199-201, 1980.

ISCA Tecnologias. Disponível em: <http://www.isca.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2007.

KARLSON, P.; BUTENANDT, A. Pheromones (ectohormones) in insects. **Annual Review of Entomology**, v. 4, p. 39-58, 1959.

KOVALESKI, A.; BOTTON, M.; NAKANO, O; VILELA, E. F.; EIRAS, A. E. Concentração e tempo de liberação do feromônio sexual sintético de *Bonagota cranaodes* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) na cultura da macieira. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 1, p. 45-48, 2003.

LEAL, W. S.; BENTO, J. M. S.; VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C. Female sex pheromone of the longhorn beetle *Migdolus fryanus* Westwood: N-(2′ S)-methylbutanoyl 2-methylbutylamine. **Experientia,** v. 50, n. 9, p. 853-856, 1994.

LEAL, W. S.; PARRA-PEDRAZZOLI, A. L.; COSSE, A. A.; MURATA, Y.; BENTO, J. M. S.; VILELA, E. F. Identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone from the citrus leafminer*, Phyllocnistis citrella*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 1, p. 155-168, 2006.

LIMA, E. R.; DELLA LUCIA, T. M. C. Biodinâmica dos feromônios. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Eds.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p. 13-25.

McBRIEN, H. L.; JUDD, G. J. R.; BORDEN, J. H. Potential for pheromone-based mating disruption of the mullein bug, *Campylomma verbasci* (Meyer) (Heteroptera: Miridae). **Canadian Entomologist**, v. 128, n. 6, p. 1057-1064, 1996.

McBRIEN, H. L.; MILLAR, J. G.; GOTTLIEB, L.; CHEN, X.; RICE, R. E. Male-produced sex attractant pheromone of the green stink bug, *Acrosternum hilare* (Say). **Journal of Chemical Ecology**, v. 27, n. 9, p. 1821-1839, 2001.

MICHEREFF, M. F. F.; VILELA, E. F.; MICHEREFF FILHO, M.; MAFRA NETO, A. Uso do feromônio sexual sintético para captura de machos da traça-das-crucíferas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 1919-1926, 2000.

MICHEREFF FILHO, M.; VILELA, E. F.; ATTYGALLE, A. B.; MEINWALD, J.; SVATOS, A.; JHAM, G. N. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, n. 4, p. 875-881, 2000.

MILLAR, J. G. Liquid chromatography. In: MILLAR, J. G.; HAYNES, K. F. (Ed.). **Methods in chemical ecology-Chemical methods**.. Kluwer Academic Publishers, 1998, v. 1. p. 38-84.

MILLAR, J. G. Pheromones of the true bugs. In: SCHULZ, I. S. (Ed.). **The chemistry of pheromones and other semiochemicals**. Berlin: Springer; New York: Heidelberg, 2005, p. 37-84.

MORAES, M. C. B.; LAUMANN, R.; SUJII, E. R.; PIRES, C.; BORGES, M. Induced volatiles in soybean and pigeon pea plants artificially infested with the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros*, and their effect on the egg parasitoid, *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 115, n. 1, p. 227-237, 2005a.

MORAES, M. C. B.; MILLAR, J. G.; LAUMANN, R. A.; SUJII, E. R.; PIRES, C. S. S.; BORGES, M. Sex attractant pheromone from the neotropical red-shouldered stink bug, *Thyanta perditor* (F.). **Journal of Chemical Ecology**, v. 31, n. 6, p. 1415-1427, 2005b.

MORI, K.; MURATA, N. Synthesis of all of the eight stereoisomers of methyl 2,6,10-trimethyltridecanoate, the male-produced pheromone of the stink bugs, *Euschistus heros* and *E. obscurus*. **Liebigs Annalen Der Chemie**, n. 12, p. 1153-1160, 1994.

MOURA, J. I. L.; VILELA, E. F.; FERREIRA, J. M. S. Una trampa con feromona para el control de *Rhynchophorus palmarum* en palma africana. **Manejo Integrado de Plagas**, n. 50, p. 55-59, 1998.

PAPA, G.; SILVA, R. B.; ALMEIDA, F. J. Efficacy and total release interval of mating disruption pheromone on the control of pink bollworm - *Pectinophora gossypiella* - in cotton under field conditions in Brazil. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCES, 2000, San Antonio. **Proceedings...** Memphis, USA: National Cotton Council, 2000. v. 2. p. 1022-1024.

PARRA, J. R. P.; BENTO, J. M. S.; GARCIA, M. S.; YAMAMOTO, P. T.; VILELA, E. F.; LEAL, W. S. Development of a control alternative for the citrus fruit borer*, Ecdytolopha aurantiana* (Lepidoptera, Tortricidae): from basic research to the grower. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 4, p. 561-567, 2004.

REIS JUNIOR, R.; PARRA, J. R. P.; BENTO, J. M. S. Desenvolvimento de um modelo para previsão de ocorrência do bicho-furão-dos-citros, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) (Lepidoptera: Tortricidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 4, p. 627-637, 2005.

SILVERSTEIN, R. M. Pheromones: background and potential use in insect pest control. **Science**, v. 213, n. 4514, p. 1326-1332, 1981.

SVATOS, A.; ATTYGALLE, A. B.; JHAM, G. N.; FRIGUETTO, R. T. S.; VILELA, E. F.; SAMAN, D.; MEINWALD, J. Sex pheromone of the tomato pest *Scrobipalpuloides absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Journal of Chemical Ecology**, v. 22, n. 4, p. 787-800, 1996.

THE PHEROBASE. **Data base of insect pheromones and semiochemicals.** Disponível em: <http://www.pherobase.com/>. Acesso em: 23 abr. 2007.

TIGLIA, E. A.; VILELA, E. F.; MOURA, J. I. L.; ANJOS, N. Eficiência de armadilhas com feromônio de agregação e cana-de-açúcar na captura de *Rhynchophorus palmarum* (L.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, n. 2, p. 177-183, 1998.

UNELIUS, C. R.; EIRAS, A.; WITZGALL, P.; BENGTSSON, M.; KOVALESKI, A.; VILELA, E. F.; BORG-KARLSON, A. K. Identification and synthesis of the sex pheromone of *Phtheocroa cranaodes* (Lepidoptera: Tortricidae). **Tetrahedron Letters**, v. 37. n. 9, p. 1505-1508, 1996.

VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C. Introdução aos semioquímicos e terminologia. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Ed.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001a. p. 9-12.

VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. M. C. **Feromônios de insetos**: biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001b. 206 p.

ZARBIN, P. H. G. Extração, isolamento e identificação de substâncias voláteis de insetos. In: VILELA, E. F.; DELLA LUCIA, T. (Ed.). **Feromônios de insetos:** biologia, química e emprego no manejo de pragas. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2001. p. 45-50.

ZHANG, A.; BORGES, M.; ALDRICH, J. R.; CAMP, M. Stimulatory male volatiles for the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 4, p. 713-717, 2003.

Parte 4

Biodiversidade e Recursos Genéticos de Plantas

CAPÍTULO 18

Plantas da Amazônia Ocidental com Potencial de Uso como Inseticida

Murilo Fazolin
Joelma Lima Vidal Estrela

1. Introdução

Diante das perdas de produção provocadas pelo ataque dos insetos, o produtor agrícola se depara com a necessidade de recorrer a diversos métodos de controle, como o biológico, genético, cultural e químico. Este último, que se realiza pela utilização dos inseticidas convencionais e específicos, tem estabelecido maiores vantagens devido a sua eficiência, baixo custo e facilidade de uso em relação aos demais (SODERLUND, 1995). Todavia, a contínua utilização do controle químico com produtos não seletivos, sem a rotação de ingredientes ativos, pode causar desequilíbrios como a eliminação de insetos benéficos, explosões populacionais da praga e, principalmente, a perda de eficácia de inseticidas mediante a seleção de populações resistentes a estes compostos químicos (KAY; COLLINS, 1987; GUEDES; FRAGOSO, 1999).

Os inseticidas podem ser produzidos a partir de um protótipo natural, como os piretróides sintéticos, introduzidos no mercado a partir da década de 70, que são análogos das piretrinas encontradas no piretro, pó obtido de flores de algumas espécies do gênero *Chrysanthemum* (HIRATA, 1995).

Mais recentemente têm se buscado novos compostos com ação inseticida que possuam características desejáveis. Os inseticidas botânicos são uma fonte promissora desses compostos e muitos autores têm estudado a atividade de diversas plantas como *Calceolaria andina* L. (Scrophulariaceae), *Persea americana* Mill. (Lauraceae), *Rhododendron molle* (Blume) G. Don. (Apiaceae), *Zanthoxylum kauanse* A. Gray (Rutaceae), *Z. dipetalum*, *Z. hawaiiensis*, *Thujopsis dolabrata* Sieb & Zucc. (Cupressaceae), *Aglaia odorata* Lour. (Meliaceae) e *Piper nigrum* L. (Piperaceae) (KLOCKE et al., 1991; WRBA et al., 1992; MARR; TANG, 1992; HU et al., 1993; JANPRASERT et al., 1993; OBERLIES et al., 1998; AHN et al., 1998; KHAMBAY et al., 1999). Villalobos

(1996) ressaltou que o princípio ativo dos inseticidas botânicos são compostos resultantes do metabolismo secundário das plantas, sendo acumulados em pequenas proporções nos tecidos vegetais. Atualmente, consideram-se tais substâncias de plantas como um modelo para síntese de agrotóxicos mais eficientes, menos tóxicos e menos persistentes no meio ambiente e como auxiliar para a compreensão da complexa interação entre os seres vivos no ecossistema (SAITO; LUCHINI, 1998).

A diversidade da flora brasileira apresenta um imenso potencial para a produção de compostos secundários, que têm sido demandados continuamente pela indústria nesta última década, devido ao incremento da utilização de produtos naturais na agropecuária (PLETSCH; SANT´ANA, 1995). Segundo estes autores, 16% das 500 mil espécies de plantas, que se estima existirem no mundo, encontram-se na Floresta Amazônica. A pesquisa de substâncias ativas derivadas de plantas no Brasil ainda é muito incipiente. Até o início da década de 80 foi estimado que menos de 1% das espécies da flora brasileira era conhecida quanto aos seus constituintes químicos (GOTTLIEB; MORS, 1980). Mesmo considerando ter havido incrementos significativos a partir desse percentual, nas últimas duas décadas, há, evidentemente, uma grande lacuna de conhecimento da nossa flora a ser preenchida. Nesse sentido, desenvolver ensaios, isolar, caracterizar e finalmente sintetizar ou biossintetizar compostos de interesse no controle de insetos torna-se um desafio constante (SHAPIRO, 1991).

Embora a Amazônia possua uma biodiversidade invejável, no Brasil, segundo Martinez (2000), os estudos para avaliação do uso inseticida de plantas foram poucos e restritos a condições de laboratório, o que limita a utilização prática destes produtos.

Nas condições de Rio Branco, Fazolin e Estrela (2000) e Fazolin et al. (2000) obtiveram resultados preliminares satisfatórios com produtos vegetais aplicados no controle de *Cerotoma tingomarianus* Bechyné, importante praga desfolhadora do feijoeiro.

No Acre, levantamentos realizados por Souza (1997) demonstraram que 73,8% dos pequenos produtores utilizam inseticidas convencionais na produção de alimentos, destacando-se o parathion methyl em 57,6% dos casos. Na maioria das vezes esse produto é utilizado erroneamente por falta de conhecimento e orientação apropriada. Nesse trabalho é apontado também que 10,2% dos produtores utilizam produtos organoclorados no controle de pragas, aumentando consideravelmente os riscos de intoxicação e demais efeitos nocivos aos seres humanos, uma vez que estes agrotóxicos são de uso proibido.

Dentro deste contexto, foi desenvolvido um projeto de pesquisa com o objetivo de realizar a prospecção e avaliação de plantas da Amazônia com atividade inseticida, visando à conservação ambiental dos agroecossistemas onde as frações ativas dessas plantas poderão ser utilizadas como bioinseticidas naturais no manejo de pragas.

2. Metodologia

2.1. Origem dos Vegetais com Potencial de Utilização como Inseticidas

Por meio de uma autorização do Ibama Acre, foram realizados levantamentos das espécies vegetais na Reserva Extrativista Chico Mendes, Seringal Porvir, os quais apontaram as seguintes espécies para avaliação: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. – Meliaceae), quina-quina (*Guettarda* sp. – Rubiaceae), *Quassia amara* L. (Simaroubaceae), capança-cidreira (*Siparuna* spp. – Monimiaceae), lacre-de-folha-larga (*Vismia sandwithii* Evan, 1962 – Hypericaceae), cana-de-macaco-roxa (*Costus guianensis* Rusby – Zingiberaceae), joão-brandinho (*Piper ottonoides* Yancker – Piperaceae), aninga (*Dieffenbachia picta* Schott – Araceae), ninho-de-porca (*Borreria* spp. – Rubiaceae), jutaí (*Hymenaea* spp. – Caesalpiniaceae), *Palicourea rigida* Kunth (Rubiaceae), café-branco *(Esenbeckia* spp. – Rutaceae) e breu (*Tetragastris* spp. – Burseraceae).

Em meados de 2004, com autorização do Ibama do Estado de Roraima, foram coletadas e avaliadas sete espécies vegetais do Cerrado: *Antonia ovata* Pohl (Loganiaceae), mirixi (*Byrsonima crassifólia* (L.) HBR. – Malpigiaceae), mirixi-vermelho (*Byrsonima intermedia* A. Juss – Malpigiaceae), mirixi-caju (*Byrsonima* Coc. – Malpigiaceae), *Miconia rubginosa* (Bonpl.) DC. (Melastomataceae), pimenta-de-macaco (*Eugenia punicifolia* (H.B.K.) DC. –Myrtaceae), congonha (*Roupala montana* S. Sleumer – Proteaceae), sucuba (*Hymatanthus articulatus* (Vahl.) Woods – Apocynaceae).

Devido aos estudos desenvolvidos pela Embrapa Acre com pimenta longa na década de 90, foi avaliado o potencial inseticida de duas espécies obtidas na coleção de plantas da Unidade: *Piper hispidinervum* C. DC. e *Piper aduncum* L. A única espécie coletada na reserva florestal da Embrapa Acre para avaliação do potencial inseticida foi o cipó-vick, *Tanaecium nocturnum* (Barb. Rodr.) Bur & K. Shum, por se tratar de uma planta abundante no Estado do Acre.

2.2. Obtenção e Composição dos Óleos Utilizados nos Bioensaios

2.2.1. Óleos Essenciais

2.2.1.1. Piperáceas

Plantas adultas de *P. aduncum* e *P. hispidinervum* foram cortadas a 0,4 m do solo, separando-se, para processamento, as folhas e os ramos secundários. A massa vegetal foi submetida à secagem por 6 dias em secador solar, até atingir 30% de umidade, sendo revolvida duas vezes ao dia para facilitar a aeração (PIMENTEL et al., 1998). Posteriormente, o material foi submetido à extração por arraste forçado de vapor de água, utilizando-se o sistema de

caldeira aquecida por gás, acoplada a um extrator (SIMÕES; SPITZER, 1999). Após a condensação, a mistura de cada óleo essencial foi recebida em coletores comunicantes e separada por decantação.

O rendimento dos óleos foi em média de 1,8%. A análise por cromatografia dos óleos essenciais foi realizada em cromatógrafo gasoso HP5890, coluna capilar de sílica fundida (DB-5,30 m x 20 mm), tendo hélio como gás de arraste e programação de temperatura de 80ºC a 140°C (4°C/min) e de 140ºC a 240°C (20°C/min). O óleo de *P. aduncum* apresentou 74% de dilapiol, 3,9% de safrol e 2,8% de sarisan como componentes majoritários, já para *P. hispidinervum* a análise cromatográfica apontou o safrol como componente majoritário com 94,7% (Fig. 1).

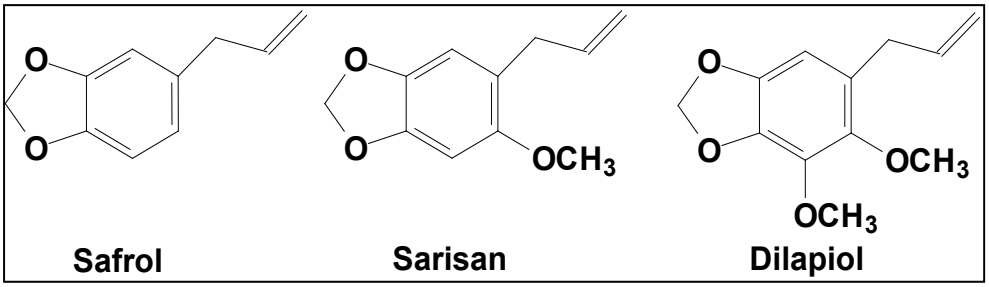


Fig. 1. Constituintes principais de *Piper hispidinervum* C.DC. e *Piper aduncum* L.

2.2.1.2. Bignoniácea

Para extração do óleo de *T. nocturnum* coletaram-se plantas que apresentavam secções de caule de até 1 cm de diâmetro. As folhas foram separadas dos ramos sendo as amostras imediatamente submetidas à extração por arraste de vapor de água, utilizando-se um destilador do tipo Clevenger. O rendimento de óleo das folhas foi de 0,8% e das cascas e talos novos de 0,7%. A análise do óleo essencial em cromatógrafo gasoso acoplado ao espectômetro de massa mostrou ser a mandelonitrila o principal constituinte deste óleo, que por hidrólise libera ácido cianídrico em quantidades consideráveis (Fig. 2).

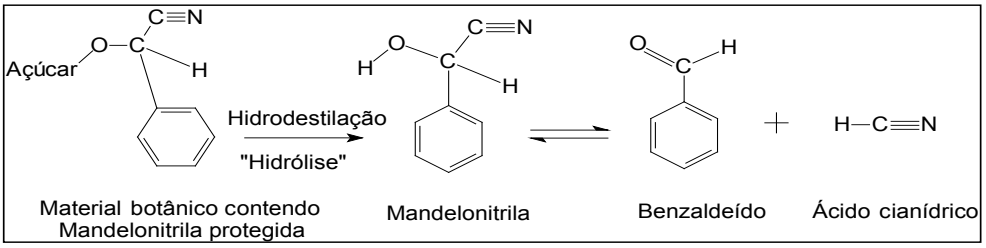


Fig. 2. Composição do óleo de *Tanaecium nocturnum* (Barb. Rodr.) Bur & K. Shum após hidrodestilação das folhas.

2.2.2. Óleo Não-essencial

2.2.2.1. Meliáceas

O óleo de andiroba, *Carapa guianensis* Aubl., foi adquirido no comércio local, sendo sua origem de fabricação artesanal, por isso não há garantias da qualidade e pureza. Desta forma o óleo foi emulsificado na proporção de 1 ml/100 ml de água, adicionando-se 2 ml de espalhante adesivo (Agral), e em seguida foram feitas diluições menores até obter a proporção de 10% do óleo.

2.3. Preparo e Extração do Material Vegetal

O preparo dos vegetais que não produzem óleos essenciais seguiu uma metodologia padronizada e adotada para todos eles. Um dia após a coleta, as estruturas vegetais foram secas à sombra até apresentarem aproximadamente 40% de umidade, com intervalo de secagem variando de 3 a 5 dias. Após este processo foram trituradas em moinho até obtenção do pó que foi submetido à extração alcoólica. Os tipos de extração utilizados foram:

2.3.1. Extração por Percolação em Álcool

Tomou-se uma alíquota de 200 g de vegetal em pó, adicionando-se 1 litro de álcool anidro p.a. A mistura foi depositada em um vidro âmbar deixando-se em repouso por um período de 72 horas. Finalmente filtou-se o extrato a vácuo.

2.3.2. Extração por Percolação/Concentração do Extrato

Houve casos em que os extratos obtidos foram concentrados, para eliminar o solvente, utilizando-se um rotavapor a 55°C-60°C. Após a obtenção do concentrado, para utilizá-lo nos bioensaios, foi necessário uma ressuspensão em solução aquosa com auxílio do tensoativo Tween 20%.

2.3.3. Extração por Refluxo do Solvente

Tomou-se uma alíquota de 200 g de vegetal em pó, adicionando-se 1 litro de álcool anidro p.a. Neste caso, o extrato foi obtido por meio de aquecimento em álcool etílico p.a. à temperatura de refluxo do solvente (78°C) por 2 horas, filtrando-se a solução final a vácuo.

Independentemente do método utilizado para extrair compostos de interesse para avaliação, formaram-se soluções-estoque de cada um deles obtendo-se um volume médio de 100 ml, que posteriormente foram submetidas às diluições seqüenciais de 10 vezes, para comporem as concentrações avaliadas tanto nos bioensaios preliminares como nos definitivos com a finalidade de obter curvas e doses de concentração-mortalidade (DL50 e CL50).

2.4. Experimentação em Condições de Laboratório

2.4.1. Bioensaios Preliminares

Inicialmente foram realizados testes de ajuste com o propósito de determinar os padrões ideais dos seguintes fatores: tempo de exposição dos insetos aos compostos, volume do produto a ser utilizado e número de inseto por parcela experimental.

Realizaram-se testes preliminares para avaliar a intoxicação dos insetos por exposição de papel-filtro (contato em superfície contaminada), contato (tópico), fumigação, ingestão e alteração na viabilidade dos ovos visando obter intervalos de concentrações dos óleos que ocasionarem mortalidade do inseto desde próximos de zero até próximos de 100%. Cada faixa de resposta foi determinada a partir de uma solução-estoque de 100 ml de princípio ativo dos compostos que posteriormente foi submetida a diluições seqüenciais até obter as concentrações a serem avaliadas. Assim, dentro desta ampla faixa de concentrações testadas nos bioensaios iniciais, foram determinadas faixas mais estreitas para serem avaliadas nos bioensaios definitivos.

As faixas de resposta obtidas para os ensaios definitivos variaram em função dos compostos utilizados e das espécies e estádios de desenvolvimentos dos insetos-alvo. Dentro destes intervalos foram utilizadas entre 5 e 11 concentrações para os bioensaios definitivos, além de um controle com apenas solvente. Essas concentrações foram usadas para determinar as respectivas curvas de concentração-mortalidade e cálculo da concentração/dose com probabilidade de causar 50% de mortalidade (CL_{50} e DL_{50}) dos insetos submetidos à experimentação, seguindo metodologia descrita por Finney (1971).

2.4.2. Bioensaios Definitivos

Em todos os bioensaios definitivos as placas de Petri/potes plásticos foram mantidas em câmara climatizada à temperatura de 25°C ± 1°C, umidade relativa de 70% ± 5% e fotofase de 12h, até o momento da avaliação da mortalidade dos insetos. O tempo de exposição aos compostos foi de 48h, considerando-se a mortalidade cumulativa no período.

Utilizaram-se as seguintes espécies de insetos: a) larvas de 5º instar de *Tenebrio molitor* L., 1758; b) larvas de 3º instar de *Ascia monuste orseis* (Godart, 1819); c) adultos de *Cerotoma tingomarianus* Bechyné, *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 e *Zabrotes subfasciatus* (Boh.).

2.4.2.1. Exposição por Contato em Superfície Contaminada (Papel-filtro)

Bioensaios de concentração-mortalidade foram realizados utilizando-se placa de Petri (9,0 cm x 1,5 cm) e papéis-filtro impregnados com 0,5 ml dos compostos a serem avaliados. Após a aplicação do composto, os papéis-filtro foram colocados para secar por meia hora e posteriormente inoculados com 20 larvas ou 10 adultos das espécies-alvo por placa.

2.4.2.2. Exposição por Aplicação Tópica

Os ensaios consistiram na aplicação tópica de 0,5 µl das concentrações dos compostos obtidas nas faixas de resposta. A aplicação foi realizada com auxílio de uma microsseringa na região dorsal do protórax, no caso de larvas e lagartas, e na região protorácica ventral no caso de insetos adultos, que foram previamente anestesiados por meio de congelamento em freezer a -8ºC, por 5 minutos. Posteriormente, foram formados grupos de 10 ou 20 indivíduos, dependendo da espécie de inseto-alvo à semelhança da metodologia utilizada nos bioensaios para avaliar a exposição por contato (papel-filtro).

2.4.2.3. Exposição por Fumigação

Esses bioensaios foram realizados exclusivamente para insetos-praga de grãos armazenados (*Sitophilus zeamais* Mots., 1855 e *Zabrotes subfasciatus* Boh.), avaliando-se como inseticida os óleos essenciais, por apresentarem volatilidade acentuada.

Os bioensaios foram instalados, utilizando-se 30 g de grãos (ou milho ou feijão dependendo do inseto-alvo), que após a pesagem e determinação da umidade foram colocados em potes plásticos descartáveis com tampa hermética com capacidade para 100 ml. Na massa de grãos foram aplicados 2 ml de cada concentração dos óleos essenciais. Após o revolvimento para homogeneização, deixou-se a mistura secar até a completa volatilização do solvente, para em seguida confinar em cada frasco 20 indivíduos adultos da espécie-alvo a ser avaliada.

2.4.2.4. Efeito da Ingestão de Alimento Contaminado

Este tipo de bioensaio foi desenvolvido para as espécies de insetos-alvo *A. monuste orseis*, *C. tingomarianus* e *S. zeamais*, utilizando-se como alimento folhas de couve, folhas de feijoeiro e grão de milho, respectivamente.

2.4.2.4.1. Efeito da Ingestão de Grãos de Milho Contaminados com Óleos Essenciais sobre *S. zeamais*

Após os resultados de fumigação e utilizando as concentrações dos óleos essenciais que não causaram mortalidade a estas espécies, a fim de verificar se havia reduzido a alimentação das mesmas, foram montados bioensaios usando-se potes de plástico com tampa perfurada e recoberta com tela, contendo 20 g de milho por tratamento. Os grãos foram tratados com 2 ml dos óleos nas diferentes concentrações e deixados secar ao ar livre para serem inoculados com 20 adultos de *S. zeamais* em cada pote. O período experimental foi de 30 dias, avaliando-se a mortalidade diariamente. A umidade dos grãos de milho foi mensurada antes e ao final do período experimental, com a finalidade de corrigir o peso final dos grãos.

2.4.2.4.2. Efeito de Ingestão de Folhas Contaminadas com Extratos Vegetais

Para lagartas de *A. monuste,* discos de couve de 7 cm de diâmetro foram imersos nas concentrações dos extratos a serem avaliados e colocados para secar à temperatura ambiente, sendo em seguida transferidas para placas de Petri de igual diâmetro. Nessas placas foram inoculadas 10 lagartas de *A. monuste*. Avaliou-se o efeito dos extratos quanto ao consumo foliar e a mortalidade das lagartas durante 17 dias, observando-se adicionalmente a ocorrência de deformidades das sobreviventes.

Para adultos de *C. tingomarianus* folhas de feijão com área conhecida foram imersas nas diferentes concentrações dos extratos a serem avaliados seguindo-se a mesma metodologia descrita anteriormente. Nas placas de Petri foram introduzidos 10 adultos de *C. tingomarianus*. Avaliou-se o efeito dos extratos quanto ao consumo foliar e a mortalidade de adultos deste crisomelídeo durante 5 dias.

Em ambos os casos, para a medição da área foliar oferecida e consumida, utilizou-se o integrador de área foliar modelo ADC AM-200.

2.4.2.5. Avaliação da Viabilidade dos Ovos

Para este tipo de bioensaio foram coletados ovos de *A. monuste* oriunda de criação massal mista entre laboratório (fase de lagarta a pupa) e telado (fase de adulto até a realização de posturas). Foram tomadas posturas de 80 ovos, em média, imergindo-as nas diferentes concentrações dos extratos/óleos essenciais a serem avaliados por 10 segundos, transferindo-as a seguir para placas de Petri forradas com algodão umedecido. As placas foram mantidas abertas até a total evaporação do solvente, sendo posteriormente fechadas e transferidas para câmara climatizada. A eclosão das lagartas foi avaliada diariamente durante 5 dias consecutivos.

2.4.3. Delineamento Experimental e Análise dos Dados

Para todos os bioensaios definitivos adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo cada bioensaio repetido três vezes, realizando-se uma análise conjunta dos resultados.

Os dados de mortalidade foram corrigidos pela fórmula de Abbott (1925) e sua relação com a concentração-resposta foi submetida à análise de Próbit, utilizando-se o programa de análises estatísticas SAS (SAS INSTITUTE, 1989). Após a estimativa das CL_{50} e DL_{50}, estas foram usadas como concentrações discriminatórias dos compostos na detecção da toxicidade em relação aos insetos em estudo.

Para os bioensaios de avaliação de ingestão de alimento contaminado e viabilidade de ovos realizou-se uma análise de regressão conjunta entre estas variáveis e as concentrações dos compostos submetidos aos bioensaios utilizando o procedimento SAS (SAS INSTITUTE, 1989).

2.5. Experimentação em Condições de Semicampo

Os ensaios foram conduzidos em ambiente telado com cobertura de vidro, utilizando-se gaiolas metálicas teladas com náilon, medindo 50 cm x 50 cm e 60 cm de altura, para proteger vasos de barro com capacidade de 3 litros de solo. Nesses vasos plantaram-se cinco sementes de feijão da cv. Pérola que, após a emissão da segunda folha definitiva, sofreram desbaste permanecendo apenas uma planta, constituindo assim uma parcela experimental.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com o número de tratamentos variando de 8 a 10 (dependendo do composto a ser avaliado), comparados com uma testemunha (pulverização com água) com quatro repetições. Após as plantas emitirem a terceira folha definitiva, foram realizadas pulverizações a cada 3 dias com os extratos a serem testados.

Vinte e quatro horas após a primeira pulverização, as gaiolas foram infestadas com cinco adultos de *C. tingomarianus* capturados no campo com rede entomológica. Diariamente, realizaram-se contagens dos insetos mortos repondo-se novos indivíduos, com o objetivo de avaliar o consumo foliar médio durante 10 dias.

Após este período foram retiradas as folhas das plantas, dispondo-as na forma de quadrados, para cálculo da área foliar consumida, utilizando-se integrador de área foliar modelo ADC AM-200.

2.6. Experimentação e Avaliações em Condições de Campo

2.6.1. Controle da Vaquinha-do-feijoeiro *C. tingomarianus*

2.6.1.1. Cultura do Feijão

Após a obtenção de resultados satisfatórios no controle de *C. tingomarianus* ao nível de semicampo, principalmente no que se refere aos extratos alcoólicos de *P. aduncum* e *P. hispidinervum,* instalou-se um experimento no campo para avaliar o efeito nestas condições experimentais.

A cultivar de feijão Pérola foi semeada no espaçamento 0,50 m entrelinhas em uma densidade aproximada de 200 mil plantas/ha. As parcelas experimentais mediram 10 m x 10 m, com uma bordadura de separação entre si de 3 m. Os tratamentos consistiram de pulverizações (300 L/ha) semanais de: 1) extrato de *P. aduncum* a 5% (v/v); 2) *P. hispidinervum* a 5% (v/v); 3) inseticida carbaryl (850 PM) a 1,5 g/litro de água; e 4) testemunha. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com 5 repetições. A porcentagem de desfolhamento causada pelo inseto foi avaliada por meio de atribuição semanal de notas de zero a cem, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste de Scott & Knott ($P<0,05$) dentro dos estágios de desenvolvimento do feijoeiro, definidos por Santos e Gavinales (1998) como: V3 (primeira folha trifoliolada), V4 (terceira folha trifoliolada), V5 (desenvolvimento vegetativo), R6 (floração), R7 (formação de vagens) e R8 (enchimento de vagens).

2.6.1.2. Cultura da Soja

Utilizou-se a cultivar de soja Gralha, linhagem de ciclo médio, semeada no espaçamento de 0,5 m, com estande de 15 plantas por metro linear e fizeram-se duas capinas, o suficiente para manter a área cultivada livre de invasoras.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos, as parcelas experimentais mediram 5,7 m x 10 m, totalizando 57 m² cada uma e os tratamentos utilizados consistiram em pulverizações de 300 L de água/ha contendo os produtos à base de: 1) carbaryl (2 ml/L de água); 2) *Piper aduncum* L. (extrato alcóolico a 5% v/v); 3) *Piper hispidinervum* C.DC. (extrato alcóolico a 5% v/v); e 4) testemunha (aplicação de água). Foram avaliadas as seguintes variáveis: a) porcentagem de danos às folhas; e b) produtividade (média da produção em kg do número total de plantas por parcelas x 300 mil plantas por hectare). As médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de Scott & Knott a 5%.

Com relação à *C. tingomarianus*, adotaram-se os níveis de ação das principais pragas desfolhadoras da soja segundo Gazzoni et al. (1998): nível de 30% na fase vegetativa e 15% na fase reprodutiva. Atingindo esses níveis de desfolha as pulverizações foram processadas.

Para determinar o nível de dano foliar, foram marcadas 10 plantas em cada parcela, avaliando-se semanalmente os danos às folhas por meio de atribuição de notas de zero a cem, conforme a porcentagem de consumo da praga.

Os tratamentos foram aplicados por meio de um pulverizador costal manual, sempre ao final da tarde quando a temperatura já se apresentava mais amena.

2.6.1.3. Unidades de Observação em Áreas de Produtores

2.6.1.3.1. Cultura do Feijão

Em uma área de produtor cultivada com a cv. Pérola, realizaram-se semanalmente avaliações dos danos causados pela *C. tingomarianus* às folhas do feijoeiro, atribuindo-se notas de zero a cem em função da porcentagem de área consumida pela praga. Dependendo da etapa de desenvolvimento da cultura, foi determinado o nível de ação, segundo Fazolin e Estrela (2004), para decidir quanto à pulverização do extrato, aplicando-se o de *P. aduncum* na concentração de 5% (v/v). Foram realizadas avaliações idênticas na área manejada pelo produtor, o qual utilizou inseticida à base de carbaryl, visando comparar os níveis de danos e a produção final.

2.6.1.3.2. Unidade de Observação de Abacaxi

A unidade foi instalada com o objetivo de controlar a broca-do-fruto-do-abacaxi, *Strymon megarus* (Godt, 1824), por meio de pulverizações com óleo de *P. aduncum* a 0,5% (v/v). Esta área de cultivo de abacaxi havia sido explorada durante os últimos 8 anos, sem correção de solo e adubação. O produtor utilizou o inseticida à base de deltametrina (2 ml/litro de água) para o controle da broca adicionando Benzocreol à solução.

A propriedade possuía 51 mil plantas de abacaxi da cv. Rio Branco, sendo o espaçamento das plantas em fila dupla de 1,50 m x 0,50 m.

Inicialmente, avaliou-se a infestação da broca contando-se e retirando-se da área os frutos atacados. Semanalmente foi contado o número de frutos atacados pela broca em 600 plantas previamente marcadas, e o óleo foi pulverizado na concentração de 0,5% (v/v). Foram realizadas as mesmas avaliações na área manejada pelo produtor, com o objetivo de comparar os níveis de danos e a produção final. As avaliações foram realizadas semanalmente e as pulverizações em função do nível de infestação da broca.

3. Resultados

3.1. Bioensaios em Condições de Laboratório

3.1.1. Óleos Essenciais

Os óleos essenciais de *P. aduncum, P. hispidinervum* e *T. nocturnum* apresentaram toxicidade para a quase totalidade das espécies/estádios de insetos-alvo avaliados, por exposição por contato em superfície contaminada e contato tópico (Tabela 1).

Com relação ao efeito de contato por superfície contaminada com os óleos essenciais a menor CL_{50} observada foi para *A. monuste* ($0,90 \cdot 10^{-2}$ µl de óleo de *P. hispidinervum*/cm^2). No efeito de contato por aplicação tópica, manteve-se esta mesma tendência, com a menor DL_{50} ($0,94 \cdot 10^{-7}$ µl de óleo de *P. hispidinervum*/mg de inseto) para lagartas deste lepidóptero, observando-se neste caso o maior valor da DL_{50} (0,56 µl de óleo de *P. aduncum*/mg de inseto) para larvas de *T. molitor.* Este resultado demonstra que lagartas de *A. monuste* são susceptíveis à exposição dos óleos essenciais das piperáceas avaliadas. Avaliações complementares, procurando pulverizar diferentes concentrações desses óleos essenciais em folhas de couve e feijoeiro, mostraram efeito fitotóxico em concentrações acima de 1%, o que pode limitar o seu uso em condições de campo, estendendo-se esta limitação às plantas que possuam folhas menos coriáceas.

Embora nas condições experimentais utilizadas não tenha sido possível separar claramente os efeitos de fumigação, ingestão e contato com grãos contaminados pelos óleos essenciais, estes apresentaram um grande potencial para controle de insetos-praga de grãos armazenados. Destacou-se neste aspecto o óleo essencial de *P. aduncum*, o qual apresentou a menor CL_{50} (0,11 µg/g de grãos) para *Z. subfasciatus*, que também foi susceptível ao óleo de *T. nocturnum* (CL_{50} 0,25 µg/g de grãos), segundo menor valor dentre as CL_{50} (Tabela 1).

Avaliações complementares serão realizadas em experimentação futura para mensurar o resíduo deixado nos grãos, assim como alteração

na palatabilidade em função do tratamento com os óleos essenciais. Neste particular, a substituição do óleo de *T. nocturnum* por segmentos de caules da planta fresca parece ser uma alternativa viável para a utilização prática desta planta no expurgo de grãos armazenados em pequenas propriedades rurais no Acre, uma vez que o ácido cianídrico liberado no processo poderá garantir a eficácia deste uso.

Observou-se efeito ovicida significativo para *A. monuste,* quando os óleos essenciais de *P. hispidinervum* e *T. nocturnum* foram aplicados às posturas na concentração de 1% v/v (Tabela 1).

3.1.2. Óleo Não-essencial

O óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) não apresentou efeito significativo sobre a maioria das espécies/estádios de desenvolvimento dos insetos submetidos à avaliação toxicológica, exceto sobre a *T. molitor,* cuja CL_{50} foi de 0,56 µl de óleo de andiroba/cm^2 em contato em superfície contaminada.

Este óleo quando aplicado em folhas de couve e feijão também causou fitotoxicidade às plantas, provocando queimas das folhas em concentrações acima de 1%.

3.2. Avaliação da Toxicidade dos Extratos em Condições de Laboratório

Das 26 espécies de plantas submetidas à extração alcoólica, apenas 7 causaram mortalidade a alguma das espécies de insetos-alvo.

Os extratos alcoólicos de *P. aduncum* e *P. hispidinervum* destacaram-se pelo efeito tóxico e principalmente pela inibição alimentar. As larvas de *T. molitor* e adultos de *C. tingomarianus* submetidos à exposição por contato em superfície contaminada pelo extrato dessas duas piperáceas apresentaram os mesmos valores da CL_{50} (0,42 µl de extrato/cm^2), sendo *T. molitor* mais sensível ao efeito do extrato de *P. aduncum* e *C. tingomarianus* ao efeito de *P. hispidinervum*.

Para a exposição de larvas de *T. molitor* por via de contato tópico, os valores da DL_{50} foram semelhantes (0,015 µl do extrato de *P. aduncum* e 0,016 µl do extrato de *P. hispidinervum*/mg de inseto, respectivamente), demonstrando que os dois extratos são eficazes no controle deste inseto por esta via de contaminação. Já os adultos de *C. tingomarianus* mostraram-se mais susceptíveis ao extrato de *P. hispidinervum,* apresentando valor da DL_{50} de 0,0013 µl do extrato/mg de inseto, o que representa uma dose letal cem vezes menor comparada àquela para larvas de *T. molitor*.

Deve-se destacar o efeito fumigante do extrato de *P. aduncum* para adultos de *S. zeamais*, embora obtido com um alto valor da CL_{50} (8,73245 µl de extrato/g de grão), o que pode inviabilizar a sua utilização prática (Tabela 2).

O potencial de utilização prática dos extratos de *P. aduncum* e *P. hispidinervum* parece estar mais relacionado ao efeito de inibição alimentar do que à mortalidade dos insetos, uma vez que quando aplicados às folhas de feijoeiro na concentração de 4% para *P. aduncum* e 5% para *P. hispidinervum* proporcionaram uma redução significativa do consumo foliar de *C. tingomarianus* (Tabela 2). Além disso, ao contrário do que ocorreu com os óleos essenciais, os extratos não causaram fitotoxicidade nessas concentrações. Folhas de couve tratadas com o extrato de *P. aduncum* a 5% (v/v) também inibiram significativamente a alimentação de lagartas de *A. monuste* (Tabela 2).

Quanto ao aspecto da inibição de alimentação, levando-se em conta os outros extratos vegetais alcoólicos avaliados, podem ainda ser considerados promissores no controle de *C. tingomarianus*: *A. ovata*, *Guettarda* spp., *Borreria* spp. e *Esenbeckia* sp., todos utilizados na concentração de 7,5% (v/v) (Tabela 2).

Não foi observado efeito ovicida para nenhum extrato alcoólico avaliado.

3.3. Avaliação da Toxicidade dos Extratos em Condições de Semicampo

3.3.1. Avaliação da Toxicidade do Extrato de *P. aduncum*

Ao contrário do que foi observado nos bioensaios, ocorreu significativa mortalidade de adultos de *C. tingomarianus* nas condições experimentais de semicampo quando se utilizaram concentrações a partir de 1% (v/v) do extrato de *P. aduncum* (Fig. 3). A porcentagem de mortalidade dos insetos foi crescente até atingir o máximo de 43% na concentração de 10% (v/v).

Nessas condições experimentais houve um decréscimo significativo no consumo foliar por adultos de *C. tingomarianus*, à medida que maiores concentrações do extrato de *P. aduncum* foram pulverizadas nas folhas das plantas de feijoeiro (Fig. 4). Em concentrações acima de 5% (v/v) houve inibição de alimentação de aproximadamente 50% em relação à testemunha.

3.3.2. Avaliação da Toxicidade do Extrato de *P. hispidinervum*

Não houve mortalidade de adultos de *C. tingomarianus* em nenhuma das concentrações do extrato de *P. hispidinervum* avaliadas nas condições experimentais de semicampo.

À semelhança dos resultados obtidos com a pulverização das diferentes concentrações do extrato de *P. aduncum,* houve um decréscimo significativo no consumo foliar por adultos de *C. tingomarianus*, à medida que maiores concentrações do extrato de *P. hispidinervum* foram pulverizadas nas folhas das plantas de feijoeiro (Fig. 5). Em concentrações acima de 4% (v/v) houve inibição de alimentação na ordem de 69% em relação à testemunha.

Tabela 1. Toxicidade de óleos para *A. monuste orseis*, *C. tingomarianus*, *S. zeamais*, *Z. subfasciatus* e *T. molitor*.

Espécies de plantas	Espécies de insetos	Contato (papel-filtro) CL_{50} (μl/cm^2)	Contato (tópico) DL_{50} (μl/mg de inseto)	Fumigação CL_{50} (μl/g de grãos)	Ovicida (concentração promissora)
Piper hispidinervum	*Ascia monuste orseis*	0,00906	0,0000000936	**	1%
	Sitophilus zeamais	0,5199	0,0405	1,32320	**
	Zabrotes subfasciatus	0,2862	0,01753	1,84521	**
	Tenebrio molitor	0,07732	0,0000248	**	**
	Cerotoma tingomarianus	0,03433	0,006183	**	**
Piper aduncum	*Ascia monuste orseis*	**	0,00000213	**	**
	Sitophilus zeamais	2,8795	0,0265	0,561	**
	Zabrotes subfasciatus	0,07721	0,00895	0,1100	**
	Tenebrio molitor	0,03323	0,55836	**	**
	Cerotoma tingomarianus	0,06232	0,00165	**	**
Tanaecium nocturnum	*Ascia monuste orseis*	0,1360	0,02059	**	1%
	Sitophilus zeamais	0,013717	0,01372	1,235	**
	Zabrotes subfasciatus	0,01180	0,00478	0,2457	**
	Tenebrio molitor	0,091	0,000152	**	**
	Cerotoma tingomarianus	0,0153	0,00212	**	**
Carapa guianensis	*Ascia monuste orseis*	negativo	0,66398	**	**
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	**	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	**	**
	Tenebrio molitor	0,55836	5,45987	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	**	**

**Efeitos não avaliados.

Tabela 2. Toxicidade de extratos vegetais para *A. monuste orseis*, *C. tingomarianus*, *S. zeamais*, *Z. subfasciatus* e *T. molitor*.

Espécies de plantas	Espécies de insetos	Contato (papel-filtro) CL_{50} ($\mu l/cm^2$)	Contato (tópico) DL_{50} ($\mu l/mg$ de inseto)	Ingestão (concentração mais promissora)	Fumigação CL_{50} ($\mu l/g$ de grãos)	Ovicida
Piper aduncum	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	5%	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	8,73245	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	0,4188	0,01508	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	4%	**	**
Piper hispidinervum	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	0,01609	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	0,417	0,0013	5%	**	**
Antonia ovatta	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	negativo	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	7,5%	**	**
Esenbeckia spp.	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	negativo	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	7,5%	**	**
Guettarda sp.	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	negativo	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	7,5%	**	**

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Borreria spp.	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	negativo
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	negativo	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	7,5%	**	**
Hymeneaea spp.	*Ascia monuste orseis*	negativo	negativo	negativo	**	**
	Sitophilus zeamais	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Zabrotes subfasciatus	negativo	negativo	negativo	negativo	**
	Tenebrio molitor	negativo	negativo	negativo	**	**
	Cerotoma tingomarianus	negativo	negativo	5%	**	**

**Efeitos não avaliados.

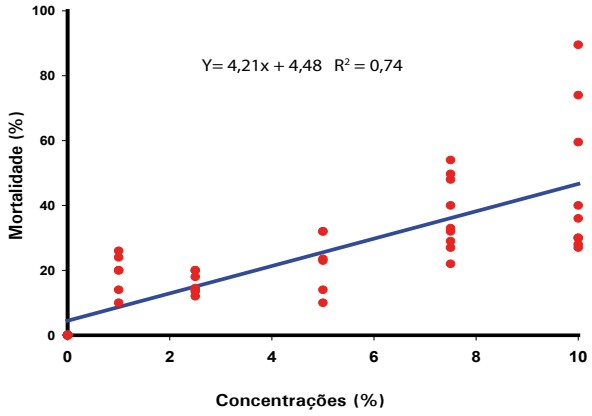


Fig. 3. Mortalidade de adultos de *C. tingomarianus* em plantas de feijoeiro pulverizadas com as diferentes concentrações do extrato de *P. aduncum*, em condições de telado (semicampo).

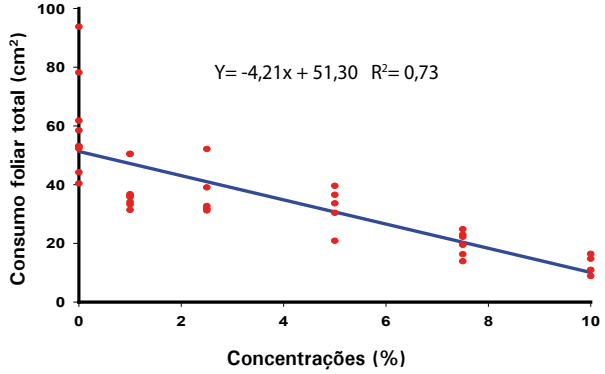


Fig. 4. Área foliar total consumida por adultos de *C. tingomarianus* em plantas de feijoeiro pulverizadas com diferentes concentrações do extrato de *P. aduncum*, em condições de telado (semicampo).

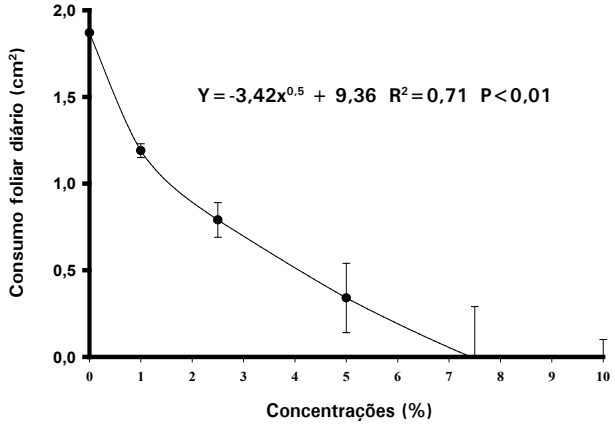


Fig. 5. Consumo foliar diário médio de adultos de C. *tingomarianus* em plantas de feijoeiro tratadas com diferentes concentrações do extrato de *P. hispidinervum*, em condições de telado (semicampo).

3.4. Avaliação da Toxicidade de Extratos e Óleos em Condições de Campo

3.4.1. Manejo Integrado da Vaquinha-do-feijoeiro em Áreas Experimentais

3.4.1.1. Cultura do Feijão

Durante a fase de desenvolvimento das plantas de feijoeiro nos estágios fenológicos V4 (desenvolvimento vegetativo) até R6 (florescimento), a população de *C. tingomarianus* no campo e, conseqüentemente, seus danos às folhas do feijoeiro não foram significativos impedindo assim uma diferenciação entre os tratamentos avaliados (Fig. 6). A partir do estágio R7 (formação de vagens), quando a tolerância da cultivar Pérola à desfolha é menor (FAZOLIN; ESTRELA, 2003), refletindo em consideráveis perdas na produção, houve um maior ataque da praga, ressaltando a diferença entre os menores níveis de danos às folhas das plantas observados nas parcelas submetidas à pulverização, tanto com extratos de piperáceas como com inseticidas, em relação à testemunha. Nessas condições não houve diferença significativa entre os extratos alcoólicos de *P. aduncum*, *P. hispidinervum* e o inseticida. Esses resultados não se alteraram até que as plantas de feijão atingissem os estágios de formação e de enchimento de vagens (R7 e R8, respectivamente). Se fosse adotado o nível de ação como 20% de desfolhamento nessas fases, baseado em Fazolin e Estrela (2004), a pulverização dos extratos de *P. aduncum* e *P. hispidinervum* impediria que este nível de dano fosse atingido nos estágios de desenvolvimento R7 e R8, considerados críticos quanto à influência negativa da desfolha na produção das plantas de feijoeiro.

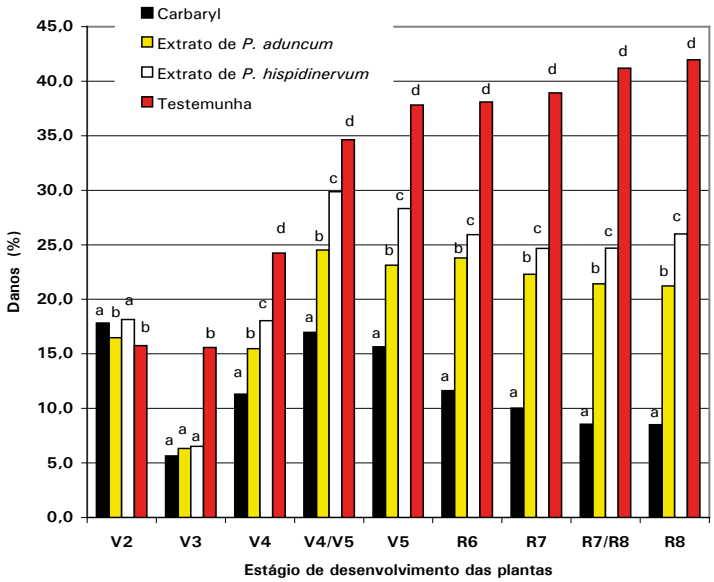
3.4.1.2. Cultura da Soja

Com exceção do estágio de desenvolvimento V3 (emissão do primeiro nó), em todas as demais etapas houve diferença significativa entre os valores da porcentagem de danos foliares de *C. tingomarianus* Bechyné na testemunha em relação aos tratamentos de pulverização com extratos e o inseticida carbaryl (Fig. 7). Em todos os estágios observou-se também que as parcelas pulverizadas com carbaryl apresentaram percentual de danos foliares significativamente inferiores às parcelas pulverizadas com os extratos de *P. aduncum* e *P. hispidinervum* (Fig. 7). Quanto aos extratos, com exceção dos estágios V3 e V5, houve diferença significativa entre os valores de danos foliares das parcelas pulverizadas com os extratos de *P. aduncum* e de *P. hispidinervum*, sendo o primeiro mais eficaz na proteção das plantas contra o ataque da praga (Fig. 7).

Pode-se observar também que na maioria dos estágios de desenvolvimento da soja cv. Gralha, a pulverização dos extratos das duas piperáceas não foi suficiente para promover o controle dos adultos de *C. tingomarianus*, a tal ponto que os valores percentuais dos danos foliares permanecessem abaixo daqueles adotados para o nível de ação (NA) da praga, nos diferentes estágios

de desenvolvimento das plantas de soja. Deve-se considerar, no entanto, que mesmo as parcelas pulverizadas com inseticida carbaryl, reconhecidamente eficaz no controle desse inseto, também apresentaram valores porcentuais de danos acima do NA nos estágios R3, R6, R7 e R8, caracterizando-se assim a alta agressividade desta praga em relação à cultura da soja. Pode-se supor neste caso que a mortalidade da população dos insetos em função do inseticida foi, em determinados momentos, inferior à migração dos insetos para as áreas de cultivo, refletindo desta maneira no aumento dos valores da porcentagem de danos causados às folhas das plantas (Fig. 7).

A significativa diferença entre a porcentagem de danos causados às folhas da soja entre os tratamentos com inseticida e com os extratos de piperáceas não refletiu na produtividade, uma vez que não houve diferença significativa entre os tratamentos com extratos de *P. aduncum* (2.797,25 kg/ha), *P. hispidinervum* (2.722,25 kg/ha) e o inseticida carbaryl (2.798,25 kg/ha), todos diferindo significativamente da testemunha (2.045,75 kg/ha). Levando-se em conta que a produtividade média da soja brasileira é de 2.755 kg/ha (CONAB, 2006) em cultivo convencional que utiliza pulverização de inseticidas químicos em larga escala, pode-se considerar altamente satisfatória a produtividade obtida nas condições experimentais de Rio Branco utilizando-se a cv. Gralha pulverizada com inseticidas à base de extrato de *P. aduncum* e *P. hispidinervum*.

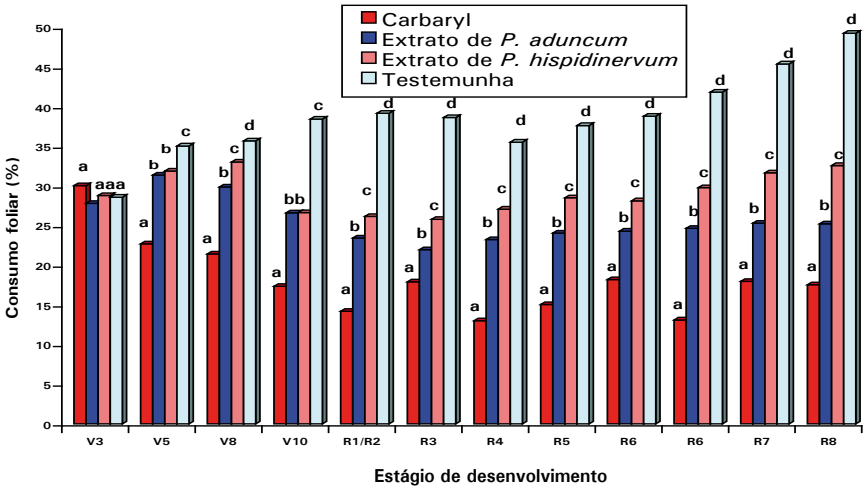


Onde: V2 = emissão de folhas cotiledonares; V3 = primeira folha trifoliolada; V4 = terceira folha trifoliolada; V5 = final do desenvolvimento vegetativo; R6 = floração; R7 = formação de vagens; e R8 = enchimento de vagens.

Fig. 6. Comparação dos danos foliares de *C. tingomarianus* em plantas de feijoeiro cv. Pérola tratadas com extratos de óleo essencial e inseticida carbaryl, em condições de campo, em função dos estágios de desenvolvimento das plantas*.

*Médias dentro de cada estágio de desenvolvimento, seguidas de mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott & Knott (P= 0,05).

Esse resultado sugere também que a cv. Gralha é tolerante ao desfolhamento, necessitando de uma adequação dos valores dos níveis de ação a serem adotados durante as etapas de desenvolvimento das plantas.



Onde: V3 = emissão do primeiro nó; V5 = emissão do quinto nó; V8 = emissão do oitavo; V10 = emissão do décimo nó; R1 = início do florescimento; R2 = florescimento; R3 = início de formação de legumes; R4 = formação de legumes; R5 = início de enchimento de grãos; R6 = máximo volume de grãos; R7 = maturação fisiológica; R8 = maturação.

Fig. 7. Consumo foliar de *C. tingomarianus* em soja cv. Gralha, tratada com extratos de *P. aduncum* L., *P. hispidinervum* e carbaryl, nos diferentes estágios de desenvolvimento*.

*Médias dentro de cada estágio de desenvolvimento, seguidas de mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott & Knott (P= 0,05).

3.5. Manejo Integrado de Pragas em Unidades de Observação

3.5.1. Cultura do Feijão (Manejo Integrado da Vaquinha-do-feijoeiro)

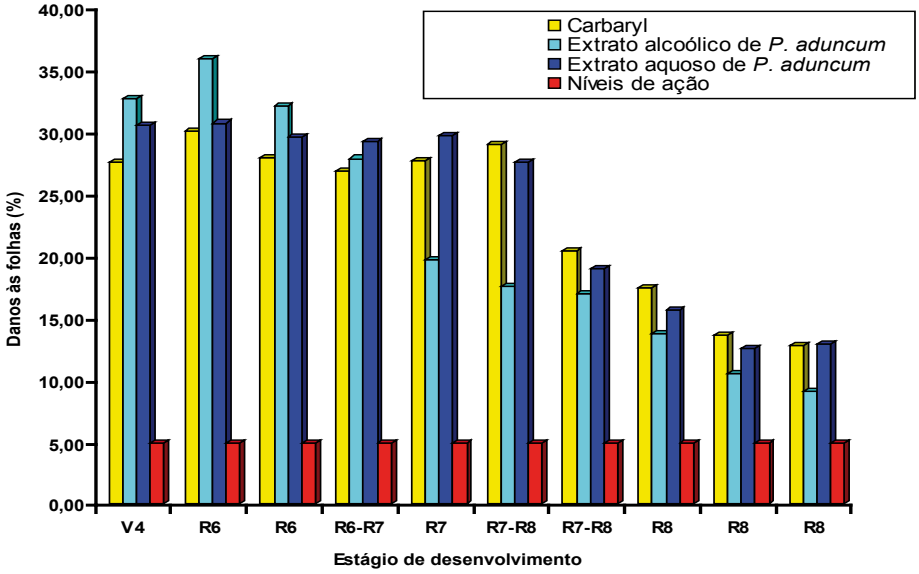
Os valores do desfolhamento das plantas de feijão atingiram o nível de ação, durante todo o período experimental, indicando a necessidade da pulverização para o controle da vaquinha (Fig. 8). As pulverizações com os extratos alcoólicos e aquosos de *P. aduncum* foram semanais, mas aquelas com carbaryl realizadas pelo produtor não obedeceram a essa periodicidade, uma vez que com a estiagem prolongada a previsão de baixa produtividade desestimulou o investimento do produtor no controle da praga.

Pode-se observar que a partir da etapa de formação de vagens (R7), os menores danos às folhas foram obtidos nas parcelas pulverizadas com o extrato alcoólico. No entanto, todos os tratamentos testados não foram eficazes em manter esses danos abaixo do nível de ação. Tal fato não pode ser atribuído unicamente à ineficácia dos tratamentos, uma vez que devido à estiagem

rigorosa, o enfolhamento das plantas ficou abaixo do esperado, comprometendo a oferta de alimento para as vaquinhas e alterando, significativamente, os níveis de danos para valores mais altos (Fig. 8). Dentro desse contexto, mesmo causando a mortalidade dos insetos pelo consumo das folhas contaminadas os tratamentos não impediram a alimentação devido à alta população da praga.

A estimativa de produtividade para as parcelas em função dos diferentes tratamentos foi a seguinte: parcela do produtor (888 kg/ha), parcela pulverizada com extrato alcoólico de *P. aduncum* (1.736 kg/ha) e parcela pulverizada com extrato aquoso de *P. aduncum* (390 kg/ha). Observou-se que mesmo com níveis de desfolha elevados, as parcelas pulverizadas com o extrato alcoólico de *P. aduncum* apresentaram uma produção de vagens satisfatória, diante das limitações apresentadas, refletindo em uma produtividade acima dos demais tratamentos (Fig. 8).

Devido à forte interferência dos fatores climáticos (seca severa) não se podem tirar conclusões seguras quanto à eficácia da pulverização do extrato alcoólico de *P. aduncum* no controle da vaquinha-do-feijoeiro, devendo ser instalada uma nova unidade de observação no local para uma avaliação definitiva.



Onde: V4 = terceira folha trifoliolada; R6 = floração; R7 = formação de vagens; e R8 = enchimento de vagens.

Fig. 8. Danos causados às folhas do feijoeiro por *C. tingomarianus*, em função dos estágios de desenvolvimento das plantas e da pulverização com carbaryl (produtor), extrato aquoso e alcoólico de *P. aduncum*.

3.5.2. Cultura do Abacaxi (Manejo Integrado da Broca-dos-frutos)

Observa-se que o óleo de *P. aduncum* reduziu em 12,5% os frutos atacados em relação ao tratamento convencional realizado pelo produtor (deltametrina + Benzocreol) e em 28,5% em relação à testemunha (Fig. 9). Por se tratar de uma praga cujo dano inviabiliza a utilização do fruto para quaisquer finalidades, reduzir a população da praga e, conseqüentemente, os danos aos frutos aos níveis observados permite inferir que o óleo de *P. aduncum* foi eficaz no controle do referido inseto.

Pelo método convencional de controle, o custo do produto para pulverização chega a R$ 34,20/hectare. Já o uso do bioinseticida reduz as despesas para R$ 25,61/hectare. O cálculo toma como base o preço de comercialização do litro de óleo de pimenta longa, que é produzido no Acre e comercializado a R$ 16,10.

O óleo de *Piper aduncum* pode ser utilizado como inseticida no controle da broca-do-abacaxi por meio de pulverizações semanais ou quinzenais, dependendo da infestação da praga.

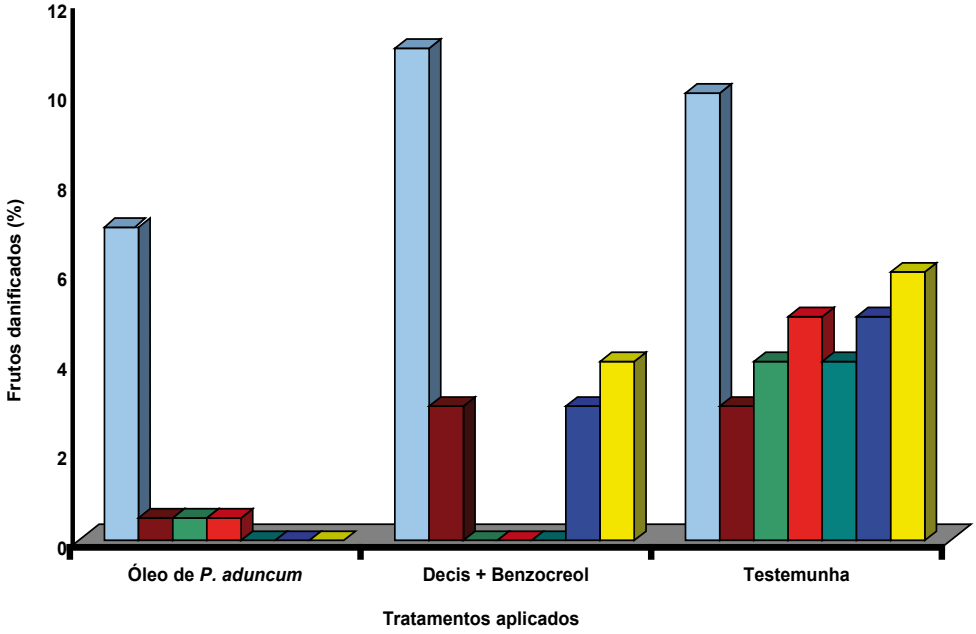


Fig. 9. Frutos danificados pela broca-do-fruto-do-abacaxi nas parcelas tratadas com óleo de *P. aduncum*, deltametrina + creolina (tratamento do produtor), em comparação com a testemunha (sem tratamento), no período de 7 semanas.

4. Conclusões e Recomendações

Os extratos de *P. hispidinervum* e de *P. aduncum* mostraram-se promissores no controle da vaquinha-do-feijoeiro. Torna-se necessário, portanto, o desenvolvimento de um processo prático de produção desses extratos na pequena propriedade rural. Como essas piperáceas são espontâneas, pioneiras e abundantes nos vales dos Rios Purus e Juruá, sendo constituintes importantes na composição de capoeiras, suas respectivas utilizações poderão refletir em um impacto social e econômico considerável na agricultura familiar do Estado.

Os óleos essenciais dessas piperáceas apresentaram potencial de utilização para plantas que possuam folhas mais coriáceas como café, citros e abacaxi, necessitando que sejam finalizadas as observações de campo quanto a sua aplicação em maior escala. Para a produção de óleos de *P. aduncum* poderá ser utilizado o mesmo processo de destilação para o óleo de *P. hispidinervum* em funcionamento no Acre, aumentando desta forma a capacidade de uso e produção desta infra-estrutura já instalada.

Algumas etapas deverão ser cumpridas para que o óleo de *P. aduncum* seja utilizado pelos produtores, dentre as quais:

- Comprovação científica da toxicidade do óleo ao grupo de pragas que se pretende controlar, visando ao manejo integrado delas.
- Avaliação do potencial de domesticação da pimenta-de-macaco, visando a sua produção em escala comercial.
- Viabilização do aproveitamento da infra-estrutura industrial já existente no Estado para a produção de safrol.
- Avaliação do rendimento industrial e do custo de produção do óleo de dilapiol.
- Avaliação do potencial de mercado consumidor interno e externo, visando à utilização do óleo na agricultura orgânica, uma vez que é evidente a crescente expansão do setor tanto no Brasil como mundialmente.
- Registro do óleo rico em dilapiol como inseticida, para utilização comercial.

Considerando que tanto o preparo da matéria-prima quanto o processamento industrial devam seguir a mesma metodologia desenvolvida no processamento de *P. hispidinervum* para obter o óleo safrol, a produção em escala comercial será apenas uma questão de tempo.

Além disso, novas ações de pesquisa foram iniciadas na Embrapa Acre com a finalidade de comprovar o efeito sinérgico do óleo de *P. aduncum* para inseticidas sintéticos do grupo dos piretróides e carbamatos.

Evidenciou-se também o potencial de utilização de óleos, talos e folhas de cipó-vick (*T. nocturnum*) para expurgo de grãos armazenados com ênfase ao milho. Resultados preliminares apontam como promissor o uso dos talos dessa

planta in natura para esse fim. Estão sendo realizadas também observações quanto à multiplicação desta espécie de forma a domesticá-la, no intuito de preservar as populações nativas desta planta da exploração predatória que poderia ocorrer caso fosse intensificada a sua utilização.

5. Referências

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of insecticide. **Journal of Economic Emtomology**, Lanham, v. 18, n. 1, p. 265-267, 1925.

AHN, Y. J.; LEE, S. B.; LEE, H. S.; KIM, G. H. Insecticidal and acaricidal activity of carvacrol and beta-thujaplicine derived from *Thujopsis dolabrata* var. hondai sawdust. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 24, p. 81-90, 1998.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2006/2007**, Brasília, DF: 2007, 24 p.

FAZOLIN, M.; ESTRELA, J. L. V. Efeito deterrente de medicamentos homeopáticos sobre *Cerotoma tingomarianus* Bechyné em plantas de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INSETICIDAS NATURAIS, 1., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Academia Cearense de Ciências, 2000. p. 60.

FAZOLIN, M.; ESTRELA, J. L. V. Comportamento da cv. Pérola (*Phaseolus vulgaris* L.) submetida a diferentes níveis de desfolha artificial. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 5, n. 27, p. 978-984, 2003.

FAZOLIN, M.; ESTRELA, J. L. V. Determinação do nível de dano econômico de *Cerotoma tingomarianus* Bechyné (Coleoptera: Chrysomelidae) em *Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola. **Neotropical Entomology,** Londrina, v. 33, n. 5, p. 1-7, 2004.

FAZOLIN, M.; ESTRELA, J. L. V.; LIMA, A. P. de; AMARAL JÚNIOR, D. L.; PESSOA, J. de S. Efeito deterrente de extratos vegetais, sobre *Cerotoma tingomarianus Bechiné* Bechyné em plantas de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INSETICIDAS NATURAIS, 1., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Academia Cearense de Ciências, 2000. p. 59.

FINNEY, D. J. **Probit analysis**. London, Cambridge University, 33 p. 1971.

GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B. de; CORSO, I. C.; FERREIRA, B. S. C.; VILLAS BOAS, G. L.; MOSCARDI, F.; PANIZZI, A. R. **Manejo de pragas da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1998. 44 p. (Embrapa-CNPSO. Circular técnica, 5).

GOTTLIEB, O. R.; MORS, W. B. Potential utilization of Brazilian wood extractives. **Journal of the Science and Food Agriculture**, Washington, v. 28, n. 2, p. 96-215, 1980.

GUEDES, R. N. C.; FRAGOSO, D. B. Resistência a inseticidas: bases gerais, situação e reflexões sobre o fenômeno em insetos-praga do cafeeiro. In: I ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DE CAFÉ COM QUALIDADE, 1., 1999, Viçosa, MG. **Resumos...** Viçosa, MG: UFV, Departamento de fitopatologia, 1999. p. 99-120.

HIRATA, R. Estrutura química-atividade biológica. **Química Nova,** São Paulo, v. 4, n. 18, p. 368-374. 1995.

HU, MAY; KLOCKE, J. A.; CHIU, S. F.; KUBO, I. Response of 5 insect species to a botanical insecticide, rhodojaponin-iii. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 86, p. 706-711, 1993.

JANPRASERT, J.; SATASOOK, C.; SUKUMALANAND, P.; CHAMPAGNE, D. E.; KAY, I. R.; COLLINS, P. J. The Problem of resistance to insecticides in tropical insect pests. **Insect Science and its Applications**, Washington, v. 8, p. 715-721, 1993.

KAY, I. R., COLLINS, P. J. The Problem of resistance to insecticides in tropical insect pests. **Insect Science and its Applications**, v. 8, p. 715-721, 1987.

KHAMBAY, B. P. S.; BATTY, D.; CAHILL, M.; DENHOLM, I.; MEAD-BRIGGS, M.; VINALL, S.; NIEMEYER, H. M.; SIMMONDS, M. S. J. Isolation, characterization, and biological activity of naphthoquinones from Calceolaria andina L. **Journal of Agricultural And Food Chemistry**, Washington, v. 47, p. 770-775, 1999.

KLOCKE, J. A.; HU, MAY; CHIU, S. F.; KUBO, I. Grayanoid diterpene insect antifeedants and insecticides from rhododendron-molle. **Phytochemistry,** v. 30, p. 1797-1800, 1991.

MARR, K. L.; TANG, C. S. Volatile insecticidal compounds and chemical variability of *Hawaiian zanthoxylum* (Rutaceae) species. **Biochemical Systematics and Ecology**, London, v. 20, p. 209-217, 1992.

MARTINEZ, S. S. The use of botanical insecticides in Brazil In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 21., 2000, Foz do Iguaçu. **Abstracts...** Foz do Iguaçu: Sociedade Entomológica do Brasil, 2000. v. 1. p. 317.

OBERLIES, N. H.; ROGERS, L. L.; MARTIN, J. M.; MCLAUGHLIN, J. L. Cytotoxic and insecticidal constituents of the unripe fruit of *Persea americana*. **Journal of Natural Products**, Washington, v. 61, p. 781-785, 1998.

PIMENTEL, F. A.; CABRAL, W. G.; SILVA, M. R. da; PINHEIRO, P. S. N. **Processo de secagem de biomassa de pimenta longa (*Piper hispidinervum*)**. Rio Branco, AC: Embrapa -CPAF/AC, 1998. 2 p. (Embrapa-CPAF/AC. Comunicado técnico, 98).

PLETSCH, M.; SANT´ANA, A. E. G. Secoundary compound accumulation in plants-The application of plant biotechnology to plant improvement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CHEMISTRY OF THE AMAZON, 2., 1995, Manaus. **Anais...** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1995, v. 5, p. 51-64.

SAITO, M. L.; LUCHINI, F. **Substâncias obtidas de plantas e a procura por praguicidas eficientes e seguros ao meio ambiente**. Jaguriúna: Embrapa-CNPMA, 1998. 46 p. (Embrapa-CNPMA. Documentos, 12).

SAS INSTITUTE. **SAS User´s Guide: Statistics**. Version 6.12. Cary, NC, 1989.

SHAPIRO, J. P. Phytochemicals at the plant-insect interface. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology,** London, v. 17, p. 191-200, 1991.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. O. **Farmacognosia da planta ao medicamento**. Porto Alegre: UFRS; Florianópolis, UFSC. 1999. p. 416.

SODERLUND, D. M. Molecular ne urobiology and insecticide discovery. p. 309-319. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY, 8., 1995. **Options** 2000. Washington: ACS, 1995.

SOUZA, M. L. de. **Avaliacão do uso de defensivos agrícolas na região de Rio Branco-AC**. 1997. 33 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Agrárias) - UFAC, Rio Branco, AC.

VILLALOBOS, M. J. P. **Plaguicidas naturales de origen vegetal: Estado actual de la investigacion**. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca Y alimentación, Madrid, 1996, 35 p.

WRBA, H.; ELMOFTY, M. M.; SCHWAIREB, M. H.; DUTTER, A. Carcinogenicity testing of some constituents of Black Pepper (*Piper nigrum*). **Experimental and Toxicologic Pathology**, Berlin, v. 44, n. 2, p. 6-65, 1992.

PARTE 5

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CAPÍTULO 19

Tecnologias de Processamento de Matérias-primas da Região Amazônica

Joana Maria Leite de Souza
Marlene Jardim Medeiros
Palmira Antônia Cruz
Fabiana Silva Reis

1. Introdução

A valoração dos alimentos regionais para o consumo local contribui de diversas formas para nutrir e manter a população. Primeiro, valoriza os hábitos alimentares, culturas e tradições dos povos amazônicos na medida em que reconhece a qualidade dos alimentos naturalmente selecionados pelos povos da floresta, contribuindo desta forma para elevar a auto-estima da população regional; e, segundo, incentiva a produção agrícola com o aumento da demanda dos alimentos regionais, motivando a geração de emprego e renda.

Há algum tempo, pensava-se que as tecnologias agroindustriais deveriam orientar-se em duas direções. Uma no sentido da continuação ou do incremento da produção de alimentos sofisticados, nutritivos, convenientes e atrativos como já existiam em países desenvolvidos, para atender a demanda de classes de maior poder aquisitivo; a outra, no desenvolvimento de processos tecnológicos orientando-se para o aproveitamento de derivados ou subprodutos visando à produção de alimentos mais nutritivos, que pudessem ser oferecidos a preços acessíveis e utilizados por grande parcela da população mundial, hoje carente de alimentos.

Considerando essa segunda tendência, a agroindustrialização de matérias-primas regionais poderá contribuir sobremaneira para a melhoria da dieta e do estado nutricional da população dessas regiões. A tecnologia de alimentos une produção e consumo, ocupando-se de sua adequada manipulação, elaboração, preservação, armazenamento, transporte e comercialização, associando de um lado rendimentos relacionados a métodos e processos de produção agropecuária e, de outro, princípios e práticas de nutrição.

Neste capítulo será oferecida ao leitor uma visão geral sobre os produtos regionais reconhecidos como fontes riquíssimas dos mais diversos nutrientes, além de uma rápida introdução sobre a importância destes, de forma a despertar nos povos amazônicos o interesse em consumi-los, contribuindo para suprir as

necessidades nutricionais da população. Os produtos e suas potencialidades serão tratados de modo geral e em particular, mostrando as possibilidades de uso e suas vantagens conforme a oferta disponível na região, como é o caso da banana e castanha-do-brasil.

A banana em sua grande maioria é consumida in natura, integrando a dieta alimentar da maior parte da população de baixa renda. Sob a forma de farinha apresenta-se como um derivado de reconhecido valor nutritivo e de grande aceitação, principalmente para crianças em idade escolar e por idosos. Além disso, a fruta in natura apresenta baixo valor de mercado, uma vez que grande parte da produção é perdida devido à ausência de adequado manejo pós-colheita e também por não serem gerados produtos derivados suficientes com esta matéria-prima.

A farinha de castanha-do-brasil apresenta sabor agradável e, mesmo em pouca quantidade, mascara o sabor de outras fontes protéicas e energéticas. Sua inclusão em produtos industrializados para complementação alimentar vem sendo testada com freqüência por instituições de pesquisa com o objetivo de reduzir os problemas de disponibilidade e quantidade de alimentos para populações carentes.

O conhecimento do que já está disponível, bem como do que o processamento e agregação de matéria-prima podem oferecer ao novo milênio, torna-se primordial para poder conviver e melhor usufruir dessas tecnologias.

2. Espécies Vegetais Nativas da Região Amazônica com Potencial de Processamento e Agregação de Valor

2.1. Banana (*Musa* spp. Linneu)

A banana (*Musa* spp.), pertencente à família Musaceae, é considerada a fruta mais produzida e consumida no mundo, sendo explorada na maioria dos países tropicais. No Brasil, é cultivada em todos os estados, desde a faixa litorânea até os planaltos (DANTAS; SOARES FILHO, 1995). Em 2004, a produção mundial foi de 70,6 milhões de toneladas e a Índia apresentou-se como maior produtora, seguida pelo Brasil que atingiu 9,3% do total da produção mundial, sendo ainda o maior consumidor (BORGES, 2003).

A cultura da banana ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas e consumidas no Brasil e a terceira posição em área colhida. As diversas camadas da população brasileira consomem banana, não só como sobremesa, mas como uma fonte alimentar. Todavia, a parcela da renda gasta com a aquisição deste produto é de 0,87% do total das despesas com alimentação.

A produção brasileira de banana está distribuída em todo território nacional, sendo a Região Nordeste a maior produtora (34%), seguida das regiões Norte (26%), Sudeste (24%), Sul (10%) e Centro-Oeste (6%). Em 2003 esta produção foi estimada em 6,5 milhões de toneladas em uma área cultivada de 510 mil ha, sendo São Paulo (1.178,4 mil toneladas), Bahia (764,7 mil toneladas) e Pará (697,8 mil toneladas) os maiores produtores (SILVA et al., 2005).

Todos os estados brasileiros cultivam banana, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior, embora o seu cultivo sofra restrições, em virtude de fatores climáticos, como temperatura e precipitação, impondo limites à cultura e favorecendo sua concentração nos estados de São Paulo, Bahia, Pará, Santa Catarina e Minas Gerais (Tabela 1) (QUANTIDADE, 2008). No Brasil, a banana é uma das frutas mais apreciadas pelos consumidores, sendo superada nessa preferência apenas pela laranja (ALVES, 1999). O volume total da produção, em torno de 6 milhões de toneladas/ano, é praticamente consumido dentro do País (FAO, 1990), sendo a maior forma de consumo in natura.

Tabela 1. Quantidade de banana produzida por região e por estado, no período de 2001 a 2006.

Brasil, região geográfica e unidade da Federação	Ano					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Brasil	6.177.293	6.689.179	6.800.981	6.583.564	6.703.400	6.956.179
Norte	980.207	1.256.774	1.265.869	1.087.329	970.173	1.007.782
Nordeste	2.047.459	2.202.735	2.259.344	2.354.759	2.424.219	2.706.207
Sudeste	1.996.782	2.073.188	2.046.775	1.953.666	2.071.177	2.073.503
Sul	846.008	912.186	974.010	939.407	1.005.683	946.567
Centro-Oeste	306.837	244.296	254.983	248.403	232.148	222.120
Rondônia	56.037	46.443	56.058	56.117	57.570	46.119
Acre	43.625	52.087	57.918	62.503	55.479	75.589
Amazonas	106.019	377.379	378.800	354.433	244.767	262.166
Roraima	28.000	23.720	29.250	36.454	36.454	36.454
Pará	712.417	723.694	705.268	540.312	537.900	551.786
Amapá	2.808	2.460	2.275	2.072	2.635	3.250
Tocantins	31.301	30.991	36.300	35.438	35.368	32.418
Maranhão	118.173	126.755	128.839	128.752	127.927	124.969
Piauí	35.688	34.877	31.532	28.965	25.203	25.149
Ceará	296.440	334.273	341.715	367.667	363.025	408.026
Rio Grande do Norte	123.749	163.538	157.552	199.666	201.891	202.872
Paraíba	272.584	287.735	283.810	284.896	257.447	264.638
Pernambuco	330.227	367.481	418.004	355.604	359.432	388.875
Alagoas	100.463	64.520	50.638	51.799	49.127	43.852
Sergipe	52.915	59.655	63.823	64.936	64.547	64.885
Bahia	717.220	763.901	783.431	872.474	975.620	1.182.941
Minas Gerais	593.877	607.575	544.081	561.721	550.503	554.039
Espírito Santo	137.314	137.380	158.340	170.509	180.207	180.026
Rio de Janeiro	159.764	176.633	161.769	160.916	162.327	163.670
São Paulo	1.105.827	1.151.600	1.182.585	1.060.520	1.178.140	1.175.768
Paraná	157.579	168.074	240.922	188.387	229.493	231.757

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Santa Catarina	585.858	628.850	618.403	655.680	668.003	596.636
Rio Grande do Sul	102.571	115.262	114.685	95.340	108.187	118.174
Mato Grosso do Sul	32.094	29.799	26.820	19.799	16.449	8.475
Mato Grosso	119.623	53.360	70.328	66.978	60.527	55.470
Goiás	152.055	158.169	156.374	159.669	153.018	155.943
Distrito Federal	3.065	2.968	1.461	1.957	2.154	2.232

A banana é parte integrante da alimentação das populações de baixa renda, não apenas por seu alto valor nutritivo como também por seu custo relativamente baixo. Em termos nutricionais, uma única banana supre aproximadamente 25% da ingestão diária de vitamina C recomendada para crianças. Contém ainda vitaminas A e B, alto teor de potássio, pouco sódio, nenhum colesterol e mais açúcar que a maçã (MEDINA et al., 2000). Além dos benefícios nutricionais, tem ainda um importante papel na fixação da mão-de-obra rural.

Fruto com larga faixa de maturidade fisiológica, a banana pode ser colhida e induzida ao amadurecimento com excelente qualidade, permitindo que o processo de maturação comercial seja uma operação de rotina na obtenção do produto em estado de maturação específico, de acordo com as exigências de mercado (MEDINA et al., 2000).

A banana denominada regionalmente como "comprida" é largamente produzida e comercializada no Estado do Acre. Em geral, é consumida no café da manhã e lanche da tarde, de diferentes maneiras: quando verde na forma de chips e frita, sendo usada também em receitas de bolo e tortas, entre outros produtos não menos apreciados na culinária nacional.

2.1.1. Farinha de Banana

A farinha é o produto obtido da desidratação da polpa da banana, cujo sabor deve ser suave, não podendo ser amargo ou adstringente. Apresenta cor branca ou ligeiramente amarelada, odor característico, é isenta de fibras, pedaços de pêlo (pericarpo) e de outras partículas e eventuais larvas. Deve conter de 70% a 85% de carboidratos e teor de umidade não superior a 8%.

Para o processamento da farinha de banana devem-se obedecer as etapas previstas no fluxograma a seguir (Fig. 1).

2.1.1.1. Descrição das Etapas

Recepção – as bananas são recepcionadas na plataforma da agroindústria e depositadas ainda em cachos ou pencas sobre paletes previamente higienizados. Nesta etapa, são observadas as seguintes características: coloração da casca verde-clara, polpa com 19% a 21% de amido e 1,5% de açúcar.

Pré-lavagem/lavagem/despencamento – a lavagem preliminar é feita em água fria, seguida de outras duas com água nas temperaturas de 40°C a 45°C e

de 70°C a 75°C, respectivamente, por um período de 5 a 6 minutos cada uma, com o objetivo de facilitar a próxima etapa (Fig. 2). O despencamento é feito manualmente, tomando-se o cuidado para evitar acidentes.

Descascamento – é feito manualmente, utilizando-se facas de aço inoxidável para evitar o escurecimento enzimático, uma reação química que ocorre naturalmente em contato com o oxigênio.

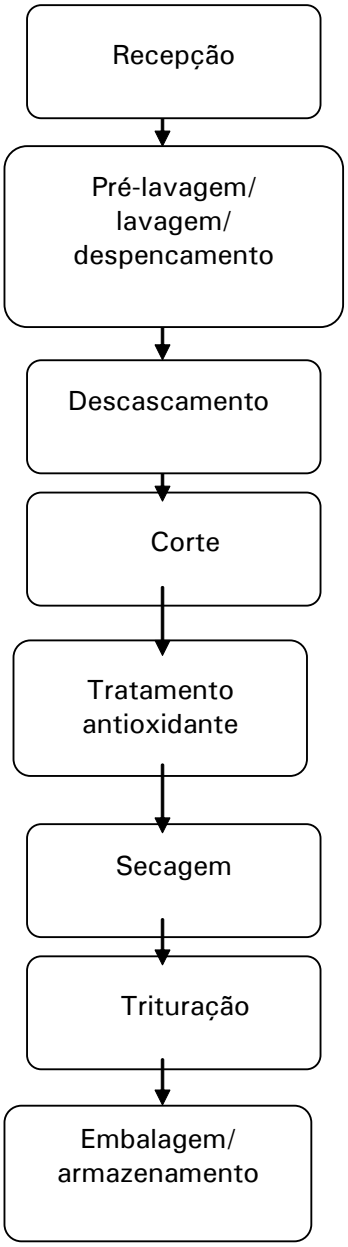


Fig. 1. Fluxograma para obtenção de farinha de banana.

Foto: Joana Maria Leite de Souza

Fig. 2. Tanque de imersão com água clorada para sanitização das frutas.

Corte – as frutas são cortadas em rodelas de aproximadamente 1 cm, utilizando-se um multiprocessador ou facas de aço inoxidável.

Tratamento antioxidante – as fatias de banana são submetidas a um tratamento antioxidante, que pode ser por via úmida, adicionando-se ácido cítrico 1% e bissulfito de sódio 1%, ou somente ácido cítrico 1% por, aproximadamente, 2 minutos; e por via seca com SO_2. Nesse caso ocorrerá a combustão do enxofre sublimado puro, podendo ser adicionado um pouco de nitrato de sódio ou de potássio para garantir a completa combustão. As doses de enxofre variam de 16 a 20 g/m² de atmosfera da câmara, com o tempo de exposição de 15 a 30 minutos. Independentemente do método aplicado, o teor residual de SO_2 no produto deverá ser de no máximo 200 ppm (ALVES, 1999).

Secagem – realizada com exposição direta do produto ao ar quente. O tipo e a capacidade do secador dependerão do investimento na produção, bem como dos recursos locais de combustível, mercado, rentabilidade, dentre outros. A secagem natural também poderá ser utilizada após a sulfitação, sendo as rodelas ou fatias distribuídas sobre lonas e expostas ao sol por cerca de 6 a 10 horas. Nesse caso, poderá haver contaminação por poeira e conseqüente comprometimento da qualidade do produto final (Fig. 3).

Trituração – o material desidratado é moído em moinho de martelos, com peneira de malha de 3 mm, podendo ser necessário peneirar a farinha para homogeneização do produto.

Embalagem/armazenamento – após a trituração a farinha obtida deve ser acondicionada em sacos plásticos com barreira à entrada de umidade e armazenada em local adequado, seco, colocando-se os sacos sobre estrados de material resistente à umidade e dispostos para facilitar a expedição, sempre seguindo o princípio de que o primeiro que entra é o primeiro que sai (pvps).

Fotos: Joana Maria Leite de Souza

a b

Fig. 3. Bananas fatiadas na bandeja para desidratação (a) e desidratação de bananas com o uso de estufa com circulação forçada de ar a 80ºC (b).

No preparo da farinha, deve-se evitar a presença de impurezas, efetuando-se uma boa lavagem para eliminar terra e detritos vegetais, o que favorece a obtenção de um produto de boa qualidade. A farinha obtida, independente do pré-tratamento efetuado, apresenta a seguinte composição química (em g/100 g banana): umidade (13,9%), sais minerais (2,5%), proteína bruta (3,3%), fibra bruta (1,5%) e carboidratos (78,9%) (BARROS, 1989).

O rendimento da farinha depende da cultivar e da técnica utilizada. De modo geral, tem-se, por 100 kg de banana, 50 kg de polpa utilizável, que após a secagem resultarão em 10 kg a 11 kg de farelo com 6% a 8% de umidade (MARTIN et al., 1985).

Esta é uma das formas mais simples de se aproveitar a banana "comprida", que poderá ser utilizada no preparo de vários alimentos (bolos, mingaus, biscoitos, pães, etc.), podendo ser consumida por crianças, idosos e enfermos, principalmente em países da América, Ásia e África (BARROS, 1989).

2.2. Castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

É uma árvore de grande porte, podendo atingir 50 m de altura e 2 m de diâmetro na base. Também denominada castanheira-do-brasil, é uma das mais importantes árvores amazônicas conhecidas e sua exploração tem um papel fundamental na organização socioeconômica de grandes áreas extrativistas da floresta. Possui caule liso ramificando-se somente na sua porção superior, casca escura e fendida, copa reduzida, folhas de coloração verde-escura, onduladas e brilhantes. A floração ocorre nos meses de novembro a fevereiro e as flores são branco-amareladas e aromáticas.

O fruto da castanheira, também conhecido localmente por "ouriço", é uma cápsula globosa, de superfície espessa e coloração castanho-escura, que possui casca lenhosa e bastante dura e chega a pesar dois quilos. Quando amadurece, destaca e cai do alto das castanheiras. A maturação ocorre no período de dezembro a março. Possui de 14 a 24 sementes em seu interior, envoltas em polpa amarela, que apresentam de 4 a 7 cm de comprimento, têm uma casca bastante dura e rugosa e encerram as amêndoas tão procuradas.

2.2.1. Importância da Castanha-do-brasil

A castanha-do-brasil é um alimento nobre de alto valor nutritivo, de grande demanda e consumo imediato em muitos países, tanto pelo óleo como por suas proteínas, vitaminas, principalmente tiamina e riboflavina, minerais como cálcio e fósforo (SANT'ANA, 1985), contribuindo também nutricionalmente com as vitaminas A, B, B_2 e niacina (NERI, 1969; SOUZA, 2006).

Rica em gorduras e proteínas, a castanha-do-brasil é considerada na literatura como "carne vegetal", pois duas amêndoas contém proteína equivalente a de um ovo de galinha. Pode ser consumida fresca ou tostada, é apreciada mundialmente como tira-gosto e utilizada na composição de inúmeras receitas de doces e salgados.

No Brasil, vários programas vêm promovendo campanhas educacionais para a utilização da castanha em populações com idade escolar e pré-escolar, com o objetivo de minimizar deficiências protéicas, calóricas, vitamínicas e minerais, utilizando-a entre outros produtos nutricionalmente balanceados e de baixo custo (CASTRO, 2005).

Alguns estudos evidenciaram o alto teor protéico da farinha de castanha-do-brasil, sendo sua principal proteína a globulina denominada 'excelsina' (ROTEMBERG; IACHAN, 1975).

Estudos também apontaram a presença de todos os aminoácidos essenciais na castanha-do-brasil, bem como rica composição em aminoácidos sulfurados, indicando a sua importância na suplementação de produtos alimentares (MOURA; ZUCAS, 1981).

2.2.2. Farinha de Castanha-do-brasil

A farinha de castanha-do-brasil apresenta sabor agradável e, mesmo em pouca quantidade, mascara o sabor de outras fontes protéicas, sendo usada com certa freqüência na complementação alimentar com o objetivo de reduzir os problemas de disponibilidade e quantidade de alimentos para populações carentes (SUDAM, 1976).

Na Fig. 4 estão descritas todas as etapas para obtenção da farinha de castanha-do-brasil.

O processamento para a obtenção da farinha de castanha-do-brasil foi realizado no laboratório de produtos agroflorestais da Embrapa Acre em Rio Branco, obedecendo às etapas descritas a seguir:

Recepção – seleção da castanha-do-brasil desidratada, eliminando aquelas atacadas por fungos ou com aspectos indesejáveis. Nesta etapa pode ser realizada a pesagem para fins de cálculo de rendimento.

Despeliculação – etapa opcional, porém com obtenção de um produto diferenciado, muito apropriado para servir sob a forma de salgadinho tipo *snack* ou para se obter farinha de coloração branco-creme. Para despeliculação, as amêndoas deverão ser imersas numa solução de hidróxido de sódio a 1%, temperatura de 100°C, durante 5 segundos, rapidamente transferidas para uma superfície de tela e lavadas sob água corrente até remoção total dos resíduos de hidróxido de sódio. Para neutralizar o efeito residual desse composto adicionar solução de ácido cítrico a 1% durante 5 minutos.

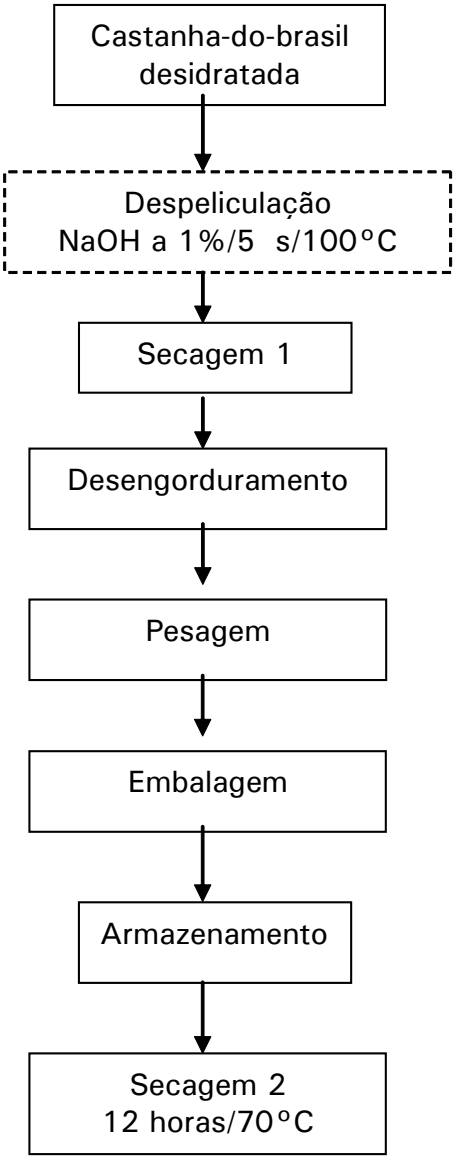


Fig. 4. Fluxograma da farinha de castanha-do-brasil. Linha descontínua indica etapa opcional.

Fonte: Adaptada de Souza, 1984.

Após esse procedimento, faz-se o teste da fenolftaleína a 1%, o qual consiste em apanhar amêndoas aleatoriamente entre aquelas despeliculadas e pingar uma gota dessa substância. Caso apresente coloração rósea, toda a massa de castanhas despeliculadas deverá ser novamente lavada e imersa na solução de ácido cítrico, conforme tratamento anterior. Realizar novo teste de fenolftaleína até não apresentar nenhuma reação, ou seja, até que todos os resíduos de hidróxido de sódio sejam eliminados (Fig. 5).

Foto: Joana Maria Leite de Souza

Fig. 5. Castanhas-do-brasil despeliculadas.

Secagem 1 – deve ser realizada se as amêndoas passarem pela etapa de despeliculação. Caso contrário, as amêndoas devem ser transferidas para estufa com renovação e circulação forçada de ar. Após vários testes, foi estabelecido o tempo de 4 horas em temperatura de 80ºC suficiente para deixar as amêndoas crocantes. Após esta etapa, a trituração é opcional.

Desengorduramento – é realizado em uma prensa alimentada com as amêndoas. Para cada 10 kg de amêndoas, é necessário adicionar 1 litro de água com a finalidade de facilitar a entrada e passagem da massa triturada no equipamento de prensagem.

Secagem 2 – a torta de castanha prensada deve ser colocada em estufa com renovação e circulação forçada de ar. Após testes preliminares, foi estabelecido o tempo de 12 horas em temperatura de 70ºC como suficiente para secar a farinha e deixá-la pronta para ser pesada e embalada.

Pesagem – a farinha seca obtida deve ser pesada após resfriamento, até obter a temperatura ambiente, em local suficientemente seguro para evitar contaminações.

Embalagem e armazenamento – depois de resfriada a farinha deverá ser embalada a vácuo em sacos de polietileno aluminizado e armazenada em local fresco e seco.

3. Produtos Desenvolvidos à Base de Farinhas de Banana e de Castanha-do-brasil

3.1. Elaboração de Farinha Mista de Banana com Castanha-do-brasil para a Fabricação de Pães

A formulação foi elaborada calculando-se um peso total de dez quilogramas para cada percentual. Assim, para obtenção de 100 kilogramas da farinha mista com 15% de farinha de castanha-do-brasil, adicionam-se 85 kg de farinha de banana e 15 kg de farinha de castanha-do-brasil. Esses percentuais foram definidos considerando-se o teor protéico e o residual de gordura presente na

farinha de castanha e também a capacidade do sabor desta prevalecer sobre o sabor da farinha de banana.

Após preparada a farinha mista, é importante a realização de análises químicas para verificar as características nutricionais do produto final. Conforme legislação em vigor, todo alimento deverá ter suas características analisadas utilizando-se os métodos descritos pela AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 1984) e IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ).

Na Tabela 2, podem-se observar os valores da composição da farinha mista.

Tabela 2. Composição química da farinha de banana enriquecida com 15% de farinha de castanha-do-brasil (em g/100 g).

Componentes	Farinha mista de banana com 15% de farinha de castanha-do-brasil
Proteína bruta	5,45
Gordura	11,03
Umidade	7,68
Cinza	2,56
Carboidrato	70,51
Fibra bruta	1,27
Fósforo	0,13
Cálcio	0,90
Magnésio	0,06
Potássio	0,41

A composição nutricional da farinha mista foi comparada à das matérias-primas individuais (Tabela 3). A inclusão de 15% de farinha de castanha incrementou ligeiramente os valores da composição química da farinha mista obtida, aspecto considerado positivo, uma vez que banana e castanha, como matérias-primas regionais, não têm sido consideradas pelos seus conteúdos nutricionais e possibilidades tecnológicas.

Tabela 3. Composição química das farinhas de banana e castanha-do-brasil (em g/100 g).

Componentes	Farinha de banana			Farinha de castanha	
	Embrapa Acre	IBGE (1977)	Barros (1986)	Embrapa Acre	Glória (2000)
Proteína bruta	3,87	4,4	3,40	14,97	47,6
Gordura	0,88	0,8	0,50	68,6	1,20
Umidade	8,00	3,0	12,8	4,78	4,50
Cinza	2,27	3,2	2,90	4,30	13,10
Carboidrato	82,77	-	78,90	3,93	32,7
Fibra bruta	0,54	2,0	1,50	5,50	5,50
Fósforo	0,10	0,104	0,130	0,31	-

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Cálcio	0,07	0,032	0,028	0,22	-
Magnésio	0,02	-	0,112	0,22	-
Potássio	0,45	-	0,107	0,29	-

3.1.1. Controle de Qualidade

A qualidade de um alimento é o somatório de características das diferentes unidades individuais de um produto, o qual determina o seu grau de aceitabilidade. Essa qualidade resulta tanto de atributos positivos e desejáveis, como sabor, odor e textura, quanto de negativos e indesejáveis como resíduos de agrotóxicos, de metais, microorganismos e toxinas. Esses atributos geralmente são objeto de legislação e regulamentação pelos órgãos oficiais.

Recomenda-se a realização de contagens de colônias de coliformes fecais, bolores e leveduras e mesófilos conforme metodologias de RDC nº 12/MS, 2001. O estudo dos coliformes a 45°C é importante por indicar a contaminação fecal nos alimentos processados, como descrito na Resolução nº 12 de 2 de janeiro de 2001 do Ministério da Saúde (RDC nº 12/MS, 2001).

Embora na Resolução nº 12 de 2 de janeiro de 2001 do Ministério da Saúde não existam padrões para o estudo de bolores e leveduras, pode-se realizá-lo com o objetivo de verificar condições higiênicas deficientes de equipamentos, multiplicação no produto pronto por falhas no processamento/estocagem ou mesmo matérias-primas com contaminação inicial excessiva.

A pesquisa de mesófilos também não consta na resolução citada, podendo ser feita apenas para permitir a detecção do número de bactérias aeróbias ou facultativas e mesófilos presentes sob a forma de esporos e células vegetativas. Esse estudo tem sido usado como indicador da qualidade higiênica dos alimentos, podendo fornecer uma idéia do tempo útil de conservação, se o produto está excessivamente contaminado e se a limpeza e sanitização são deficientes.

Nas farinhas de castanha e de banana o NMP/g (número mais provável/g) de coliformes a 45°C deve ser inferior a 3 coliformes/g (Tabela 4), em conveniência com a Resolução nº 12 de 2 de janeiro de 2001 do Ministério da Saúde. Dessa forma, garantem-se as boas condições de matéria-prima, ambiente, equipamentos e processos adotados neste estudo.

Tabela 4. Resultados das análises microbiológicas das farinhas de banana (FB) e castanha-do-brasil (FC).

Produtos	Análises microbiológicas		
	Coliformes a 45°C NMP/g	Mofos e leveduras UFC/g	Contagem de mesófilas UFC/g
FC	< 3	$0,2 \times 10^3$	$0,2 \times 10^3$
FB	< 3	$0,5 \times 10^3$	$0,4 \times 10^3$
Padrões	10^2	-	-

3.2. Elaboração de Pães à Base de Farinha de Castanha-do-brasil Desengordurada e Estudo Químico da Composição

Para elaborar pães é necessária a presença de um líquido que permite a ação da proteína da farinha de trigo (glúten) para o crescimento. Pode-se usar água, leite ou suco de frutas, mas cada um oferece um resultado diferente:

Água – o pão tem uma casca mais dura e o miolo mais leve.

Leite – o pão tem uma casca mais dourada, miolo mais macio e sabor mais suave.

O aparecimento da crosta dourada não é por acaso, deve-se a uma reação química, denominada reação de Maillard. Para que aconteça é necessária a presença de um grupo de proteínas e outro de carboidratos. O pão preparado com leite tem os dois, ou seja, as proteínas do leite e os carboidratos das farinhas. Esses dois compostos, quando submetidos a uma temperatura acima de 130°C, dão origem a um composto instável que por sua vez é responsável pela coloração dourado-marrom presente na crosta do pão.

Para tornar o pão mais nutritivo e macio, o ideal é preparar antes um mingau à base de leite, farinha de trigo, açúcar e manteiga, deixar esfriar, adicionar fermento e daí em diante seguir as mesmas técnicas do preparo. Além das vantagens de sabor, aroma e apresentação, o uso do leite no preparo de pães deixa-os com melhor valor nutricional, principalmente em relação ao teor de cálcio, nutriente importante para a formação e manutenção da estrutura óssea.

Ingredientes secundários ou melhoradores são utilizados para aperfeiçoar a qualidade, sabor, aparência, coloração e o valor nutritivo dos pães, sendo estes:

1. Açúcar – agiliza o crescimento da massa por meio da reprodução e multiplicação dos microorganismos existentes no fermento, que se alimentam do próprio açúcar, além de melhorar o sabor e dourar o pão.

2. Gorduras – conferem maciez, sabor e coloração aos pães, além de aumentar o valor nutritivo e o período de conservação, porém em demasia afetam a fermentação da massa alterando também a consistência do pão que pode ficar mais gorduroso e compacto.

3. Leite – aumenta o valor nutritivo, melhora o aroma, o sabor e a cor da casca, deixando-a mais corada, com melhor textura, conferindo maciez ao pão, podendo também proporcionar um período maior de conservação.

4. Ovos – por ser um ingrediente amaciador, proporcionam ao pão uma textura mais fina, melhorando também o sabor, a cor e o valor nutritivo, principalmente por possuírem proteínas de excelente qualidade.

5. Outras farinhas – são usadas com a função de enriquecer ou conferir sabor, aroma e textura específicos, caracterizando diferentes tipos de pães, como foi o caso da farinha de castanha-do-brasil.

A metodologia usada na fabricação dos pães seguiu o fluxograma da Fig. 6, proposto por EL-DASH e GERMANI (1994). Para obter pães de fôrma

e de hambúrguer adaptou-se uma formulação citada por SILVA (1996). Na Tabela 5 e Fig. 6 constam, respectivamente, os ingredientes e o fluxograma de processamento utilizado para fabricação dos pães.

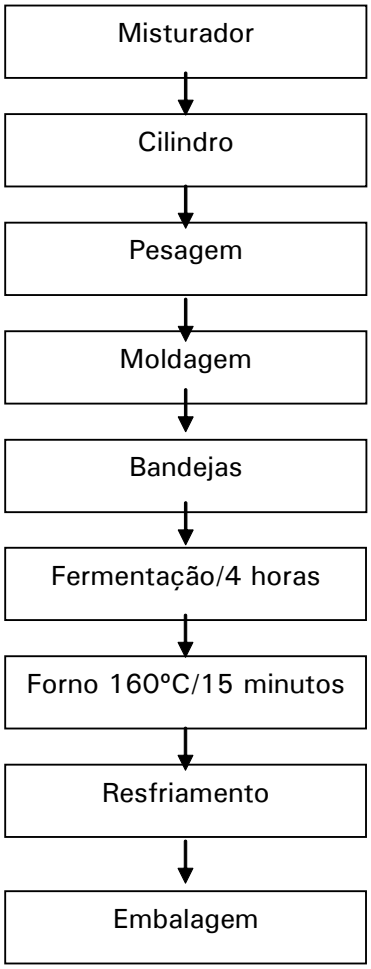


Fig. 6. Fluxograma para produção de pães de fôrma e de hambúrguer.

Fonte: El-Dashi e Germani, 1994.

Tabela 5. Ingredientes utilizados para obtenção dos pães.

Ingredientes	Unidade	Pão de fôrma	Pão de hambúrguer
Farinha de trigo	g	900	900
Farinha de castanha-do-brasil	g	100	100
Açúcar	g	250	100
Manteiga	g	200	200
Ovos	Unidade	4	4
Água	g	300	300
Fermento	g	100	100
Sal	g	-	8

3.2.1. Pão de Fôrma

Utilizando-se batedeira, misturam-se todos os ingredientes úmidos e o açúcar, deixando o fermento por último. Em seguida, acrescentam-se as farinhas de trigo e de castanha-do-brasil aos poucos, misturando-se tudo muito bem, sem bater, sovando a massa das laterais para o centro, até obter uma aparência lisa e homogênea. Depois de homogeneizada a massa deverá ficar macia ao toque. Deve-se deixá-la descansando por cerca de 1 hora. Após esse tempo, são feitos cordões com a massa e cortam-se pedaços no tamanho desejado. Deixam-se os pães crescendo nas assadeiras por aproximadamente 2 horas e decorrido esse tempo colocam-se para assar em forno com temperatura mínima (150°C) por cerca de 20 minutos, elevando para a temperatura média (190°C) quando começam a dourar. Após o resfriamento, os pães são cortados em fatias e colocados em sacos plásticos próprios (Fig. 7).

Foto: Joana Maria Leite de Souza

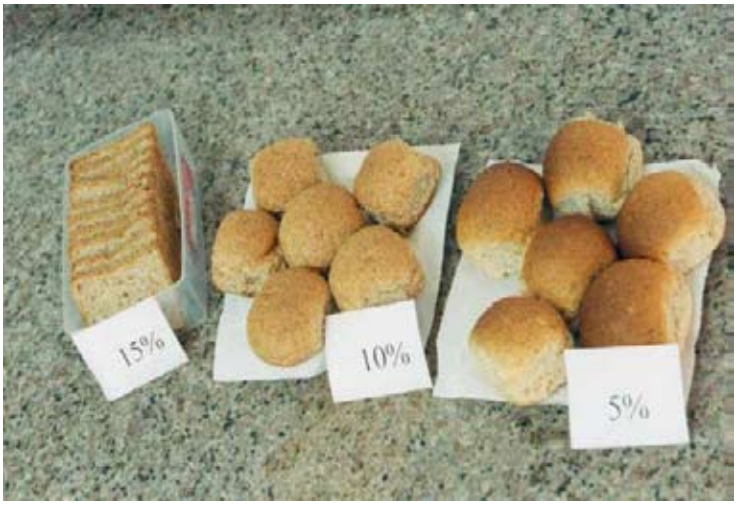


Fig. 7. Pães produzidos com diversos percentuais de inclusão de farinha de banana e de castanha-do-brasil.

3.2.2. Pão de Hambúrguer

Misturam-se todos os ingredientes, acrescentando-se água aos poucos até dar o ponto. A seguir, a massa é sovada até ficar macia ao toque. Deve-se deixá-la descansando por cerca de 1 hora. Após esse tempo, fazem-se cordões com essa massa e cortam-se pedaços de tamanho pequeno e redondo. Deixam-se os pães crescendo nas bandejas por aproximadamente 2 horas e decorrido esse tempo colocam-se para assar em forno de temperatura mínima por cerca de 20 minutos, elevando-a para média, a fim de dourar.

A composição química dos pães fabricados com farinha de banana e castanha pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6. Composição química dos pães à base de farinha de castanha-do-brasil (em g/100 g).

Produtos componentes (%)	Pão de fôrma	Pão de hambúrguer
Matéria seca	96,24	96,57
Umidade	3,76	3,43
Fibra bruta	0,54	0,47
Extrato etéreo	2,15	8,01
Cinza	4,35	3,61
Carboidrato	76,90	72,98
Proteína bruta	12,30	11,50
Cálcio	0,29	0,13
Magnésio	0,02	0,02
Fósforo	0,23	0,20
Potássio	0,20	0,04
Ferro	5,13	13,20
Zinco	24,60	16,20
Cobre	23,03	26,26
Magnésio	9,65	10,93

A quantidade máxima de farinha de trigo, que pode ser substituída por farinha de castanha-do-brasil, depende de fatores como a qualidade da farinha de trigo utilizada, ficando difícil fabricar pães de forma padronizada.

Outra alteração que deve ser observada é a quantidade de água, devido ao grande teor de proteína que a farinha de castanha contém. Pode-se ainda elevar o teor de gordura, uma vez que formulações mais ricas produzem pão de farinha mista com melhores características.

A etapa de fermentação foi a mais afetada pela inclusão de farinha de castanha-do-brasil, sendo necessário aumentar o tempo de mistura, pois o acréscimo de proteína e de água faz com que a rede de glúten demore mais tempo para se desenvolver completamente.

4. Conclusões

Os estudos bromatológicos de farinhas de banana e castanha-do-brasil, bem como das farinhas enriquecidas, demonstraram quantidades suficientes de proteína, gordura, cinza, carboidrato e fibra bruta, podendo-se recomendá-las para complementação alimentar.

O processamento de farinhas de banana e castanha-do-brasil descrito, bem como a inclusão de até 15% de farinha de castanha-do-brasil, possibilita obter produtos finais com qualidades microbiológicas dentro dos padrões permitidos pela legislação.

Os produtos à base de castanha-do-brasil, por seu elevado valor nutricional, podem ser recomendados para complementação alimentar, principalmente em merendas escolares.

A farinha de castanha-do-brasil, com valor nutritivo elevado, poderá ser utilizada na alimentação humana, principalmente em produtos de panificação como pães de fôrma, hambúrguer, pão caseiro, bolos e biscoitos.

5. Referências

ALVES, E. J. **A cultura da banana:** aspectos técnico, socioeconômicos e agro-industriais. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1999. 585 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of anaslysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 14. ed. Arlington, 1984. 1141 p.

BARROS, A. M. D. de. **Farinha de banana uma alternativa alimentar**. Caeté-MG, 1989. 23 p. (Orientações Técnicas, 2).

BORGES, A. L. B. **Cultivo da banana para o Agropolo Jaguaribe-Apodi, Ceará**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. (Sistema de produção, 9). Disponível em: www.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/Banana Para/index.htm - 7k. Acesso em: 30 abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 12.** Brasília-DF: ANVISA, 2001.

CASTRO, T. G. de et al. Caracterização do consumo alimentar, ambiente socioeconômico e estado nutricional de pré-escolares de creches municipais. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 18, n. 3, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141552732005000300004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 June 2008.

DANTAS, J. L. L.; SOARES FILHO, W. S. Classificação botânica, origem e evolução. In: ALVES et al. (Ed.). **Banana para exportação: aspectos técnicos da produção**. Cruz das Almas: MAARA-SDR-BA: EMBRAPA-SPI; 1995. p. 9-13. (FRUPEX. Publicações Técnicas, 18).

EL-DASH, A.; GERMANI, R. (Ed.). **Uso de farinhas mistas de trigo e soja na produção de pães**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1994. 89 p. (Tecnologia de farinhas mistas, v. 3).

ESTUDOS e pesquisas sobre a Castanha-do-pará. Belém, PA: SUDAM, 1976. 100 p.

FAO. **Quarterly Bulletin of Statistics.** Roma, 1990. p. 31. (Table 20).

MARTIN, Z. J. de; TRAVAGLINI, D. A.; OKADA, M.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T. Processamento: produtos, características e utilização. In: ITAL. **Banana**: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos. 2. ed. Campinas, 1995. p. 198-265. (Frutas Tropicais, 3).

MEDINA, V. M.; SOUZA, J.; SILVA, S. de O. **Como climatizar bananas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 20 p.

MOURA, E. C. V.; ZUCAS, S. M. Ensaio nutricional da proteína de soja, suplementada com farinha de castanha-do-pará. **Revista Alimentação**, v. 57, p. 6-17, 1981.

NERY, J. P. Castanha-do-pará. **Boletim do ITAL**, v. 12, n. 20, p. 13-25, 1969.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. (Coord.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v. 1.

QUANTIDADE de banana produzida por região e por estado, no período de 2001 a 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 30 abr. 2007.

ROTEMBERG, B.; IACHAN, A. Estudo de proteína da castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa).* **Inf. Int.,** Rio de Janeiro, v. 8, n. 7, p. 22-24, 1975.

SANT'ANNA, N. M. G. **Desenvolvimento e estudo de estabilidade e embalagem de alimentos formulados contendo castanha-do-pará.** 1985. 80 f. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UFV, Viçosa.

SILVA, D. B. da. **Trigo para abastecimento familiar**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 176 p.

SILVA, M. de C. A. da; TARSITANO, M. A. A.; BOLIANI, A. C. Technical and economical analysis of 'Apple' banana tree (Musa spp.) culture, in the northwest region of São Paulo State. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em: 30 abr. 2007. Pré-publicação.

SOUZA, M. L. de. **Estudos de processos tecnológicos para a obtenção de produtos derivados da castanha-do-brasil.** 1984. 139 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUZA, M. L. de; MENEZES, H. C. de. Avaliação sensorial de cereais matinais de castanha-do-brasil com mandioca extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci _ arttext&pid=S0101-20612006000400036&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 19 jun. 2008.

Parte 6

Solos do Acre: Alterações Naturais e Uso de Resíduo Industrial

CAPÍTULO 20

Evolução Geológica e Geomorfológica do Estado do Acre e Implicações na Estratificação de Ambientes

Luciana Mendes Cavalcante

1. Introdução

O conhecimento da geologia da Amazônia, em especial a do Estado do Acre, a despeito dos grandes esforços empreendidos em investigações de seus recursos naturais nas três últimas décadas, ainda é deficiente. Desde o final do século 19 etnógrafos e naturalistas adentraram as áreas a norte e a sul do Rio Amazonas, percorrendo os principais afluentes, e descreveram as litologias encontradas. No Estado do Acre destacam-se os nomes de W. Chandless e F. Katzer; já no início do século 20, com a criação do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, os trabalhos que se destacam são os de P. Moura e A. Wanderley, V. Oppenheim e J. T. Singewald (PROJETO RADAMBRASIL, 1976; 1977).

Os trabalhos do Serviço Geológico prosseguiram posteriormente com a atuação de instituições como o Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM) e a Petrobras (Petróleo Brasileiro S/A). O grande marco na evolução de conhecimentos geológicos ocorre na década de 70 com os trabalhos realizados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) por meio de mapeamentos geológicos e com o Projeto Radambrasil. A criação do curso de Geologia na Universidade Federal do Pará em 1963 promoveu o desenvolvimento de pesquisas na Amazônia Oriental, predominantemente no litoral. Com a regulamentação do curso de Geologia na Universidade Federal do Amazonas a pesquisa se desloca à Amazônia Ocidental, porém poucos são os trabalhos envolvendo o Estado do Acre.

Os dados apresentados neste capítulo são baseados, em grande parte, no banco de dados de recursos naturais do Sipam/IBGE (Sistema de Proteção da Amazônia/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e foram gerados em escala 1:100.000, mas publicados em escala 1:250.000, servindo como um dos temas primários para a elaboração do mapa de gestão territorial do ZEE/AC.

Com base nos dados do Sipam, em compilações bibliográficas e em análises fotointerpretativas de imagens de radar e de satélite, foram elencados aspectos da geologia do Acre em termos de evolução da paisagem, considerando que os processos ocorridos foram decisivos na elaboração da paisagem atual.

2. Geologia do Acre

No Acre, a unidade geotectônica mais importante é a Bacia do Acre (Fig. 1) que compreende unidades essencialmente cenozóicas, entretanto, em sua porção mais a oeste ocorrem remanescentes mesozóicos e até pré-cambrianos (Fig. 2). Sua história geológica envolve primeiramente deposição pericratônica e marginal aberta no Paleozóico, resultando em sedimentos continentais intercalados a sedimentos marinhos. A análise de feições sismoestratigráficas, em seções sísmicas realizadas pela Petrobras (OLIVEIRA, 1994), e das principais estruturas da bacia permite concluir que a sedimentação inicial se deu por rifteamento intracontinental com possíveis incursões marinhas vindas de oeste. Após o soerguimento dos Andes, a deposição se deu em ambiente essencialmente intracontinental, com a presença de lagos e, posteriormente, de megaleques aluviais.

As estruturas mais importantes na configuração do quadro atual são: 1) o Arco de Purus, que desde o Paleozóico até a inversão da cadeia andina no Mesozóico teria funcionado como paleodivisor de dois sistemas de drenagem, os quais corriam, respectivamente, para leste e para oeste (BEMERGUY; COSTA, 1991; WANDERLEY FILHO, 1991); 2) o Lineamento Madeira, que limita a Bacia do Acre a sudeste e também serviu como divisor de drenagem no Cretáceo; 3) o Arco de Iquitos, que separa a Bacia do Acre da Bacia do Solimões e o Lineamento Juruá.

O embasamento da Bacia do Acre é representado pelo Complexo Jamari, a unidade litoestratigráfica mais antiga aflorante. Aflora nas cabeceiras do Rio São Francisco (extremo oeste do estado, na Serra do Jaquirana, uma das serras que compõem o Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor) e compreende rochas gnáissicas, granulitos, anfibolitos, quartzo-dioritos e xistos. Corresponde ao Complexo Xingu citado na primeira fase do ZEE (PROGRAMA ESTADUAL DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ACRE, 2000), mas atualmente diferenciado deste por ambiência tectônica, posto que a bacia teria se desenvolvido sobre a Faixa Móvel Rondoniana, cujo embasamento é o chamado Complexo Jamari.

Sobreposta em discordância a essa unidade ocorre a Formação Formosa, cujos litotipos são resultantes de uma emersão do escudo brasileiro, conforme Caputo (1973). Após essa deposição houve manifestação ígnea alcalina (subida de magma), causando metaformismo de contato na Formação Formosa. Esse evento originou corpos intrusivos de pequenas dimensões (Sienito República).

No período Juro-Triássico houve inversões dos depocentros da bacia, culminando com forte evento compressivo (Tectônica Juruá) que inverteu toda a bacia. A partir desse episódio, durante o Cretáceo, houve momentos de incursões e regressões marinhas sucessivas, resultando na deposição do Grupo Acre em ambiente de bacia de antepaís. De uma forma geral,

há subsidência na área. O Arco de Iquitos (que separa a Bacia do Acre da Bacia do Solimões) funciona como área-fonte de sedimentos nos momentos de sedimentação clástica regressiva[1]. Com a Orogenia Andina e sua fase deformadora Quéchua (a única fase que afetou a bacia, originando a Serra do Divisor), houve compressão e inversão na área pelo avanço da cadeia andina para leste, o Arco de Iquitos é rebaixado e a Bacia do Acre torna-se intracontinental, com área-fonte vinda de oeste. Isso acarreta uma inversão no fluxo das drenagens principais, que se preserva até hoje (fluxo dos rios Solimões e Amazonas de oeste para leste, por exemplo).

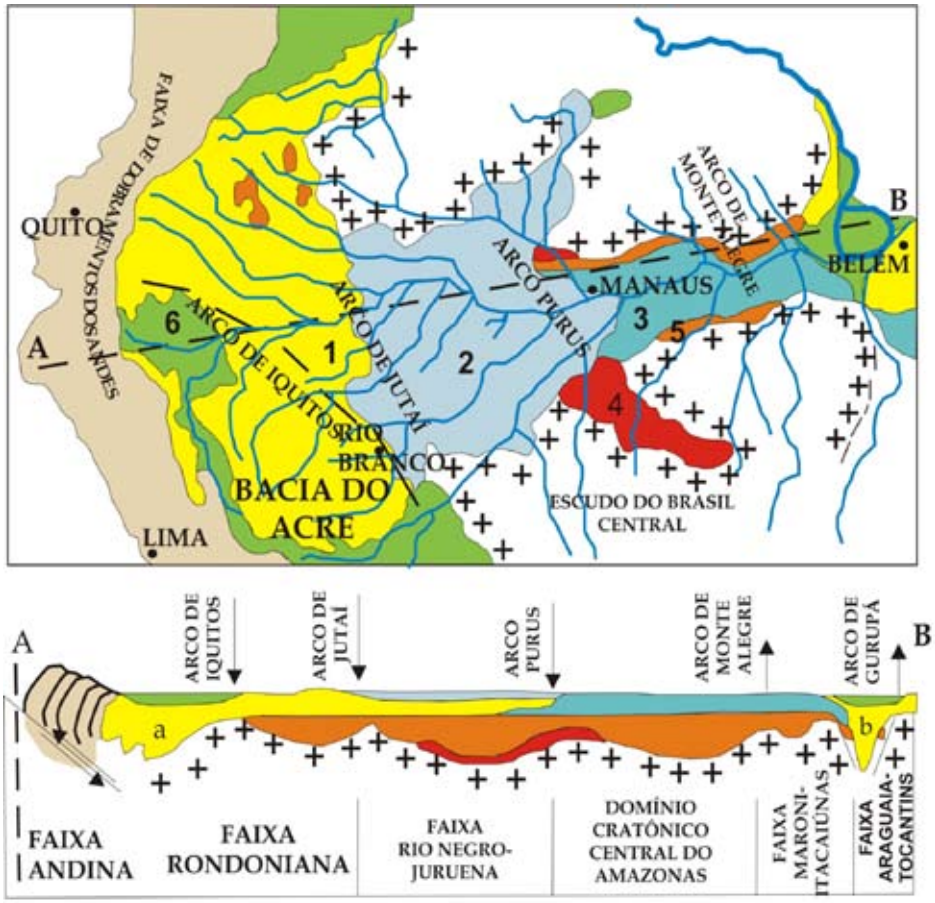


Fig. 1. Localização da Bacia do Acre no contexto geotectônico amazônico: 1) Formação Solimões (A) e sedimentos terciários (B); 2) Formação Içá; 3) Formação Alter do Chão; 4) coberturas proterozóicas; 5) rochas paleozóicas; 6) coberturas do quaternário.
Fonte: Adaptada de Bezerra, 2003.

Antes da completa inversão são depositados os litotipos da Formação Solimões (argilitos, siltitos e arenitos com intercalações de finos níveis de calcário, linhito e turfa). Maia et al. (1977), em função de análises de sondagens

[1]Momentos de recuo do mar.

e perfurações, separam o material da base da então Formação Solimões em outra formação, a Ramon (constituída por material arenoso de ambiente oxidante) que ocorre a oeste da Serra do Divisor.

As litologias da Formação Solimões apresentam-se em camadas lenticulares de extensões variáveis, cujas transições verticais e laterais se fazem tanto de forma brusca quanto gradacional, o que evidenciaria uma constante oscilação na energia de transporte durante o período de deposição destes sedimentos. De acordo com Maia et al. (1977), os sedimentos da Formação Solimões, de ambiente eminentemente redutor, gradam tanto vertical como lateralmente para uma seção inferior de ambiente oxidante, pertencente à Formação Ramon cuja idade se estende do Cretáceo Superior ao Paleoceno. Tal formação teria se depositado em ambiente essencialmente continental com prováveis incursões marinhas.

Os sedimentos da fácies redutora da Formação Solimões seriam, em geral, abundantemente fossilíferos, micáceos, localmente calcíferos. Os níveis de linhito estão na maior parte das vezes piritizados e gradam inferior e superiormente para argilitos carbonosos. A seção de ambiente oxidante, Formação Ramon, compõe-se de argilitos, siltitos e arenitos e apresenta coloração avermelhada, arroxeada, amarelada e esbranquiçada, sendo comum a ocorrência de todas estas tonalidades em conjunto (BEZERRA, 2003).

Maia et al. (1977) analisaram bioestratigraficamente a redefinida Formação Solimões, ou seja, abstraindo-se do conjunto sedimentar cenozóico a seção superior integrante da Formação Içá e a seção inferior integrante da Formação Ramon. A análise deste material paleontológico indicou o intervalo Mioceno a Plioceno para a sedimentação da unidade, alcançando o Oligoceno nas suas partes de maior espessura.

Latrubesse et al. (1994) confirmam o intervalo Mioceno Superior–Plioceno para a deposição das porções superiores da Formação Solimões, de onde descrevem uma abundante e variada fauna de vertebrados do Mio-Plioceno (idades mamífero *Huayqueriense* e *Montehermosense*)[2] coletada em toda a seqüência exposta, tanto nos barrancos dos rios como nos interflúvios no topo da formação.

Em Räsänen et al. (1998), por analogia à Formação Pebas (na região de Iquitos), define-se o ambiente de sedimentação da Formação Solimões no Brasil como um sistema lacustre que cobria inteiramente a Amazônia Ocidental e que tinha uma estreita conexão com o mar. Os rios que drenavam os Andes em processo de levantamento ingressavam neste lago pelo oeste, passando através de uma zona costeira aluvial de antearco relativamente estreita. Durante os milhões de anos de sua existência a bacia lacustre esteve em constante subsidência, e o registro sedimentar mostra que a linha de costa progradou e retrogradou repetidamente. Por volta de 12 Ma BP[3] (no Mioceno), dois processos teriam atuado de forma simultânea: as incursões marinhas que ingressaram a bacia lacustrina pelo norte (região da Venezuela) e um marcante incremento da deposição fluvial dos rios de origem andina. Estes depósitos fluviais, com influência estuarina e de maré, teriam alcançado a região do Acre.

[2]Idade definida a partir da datação de fragmentos fósseis dos mamíferos supracitados que estavam contidos nas seções da Formação Solimões.
[3]Do inglês *before present*: antes do presente.

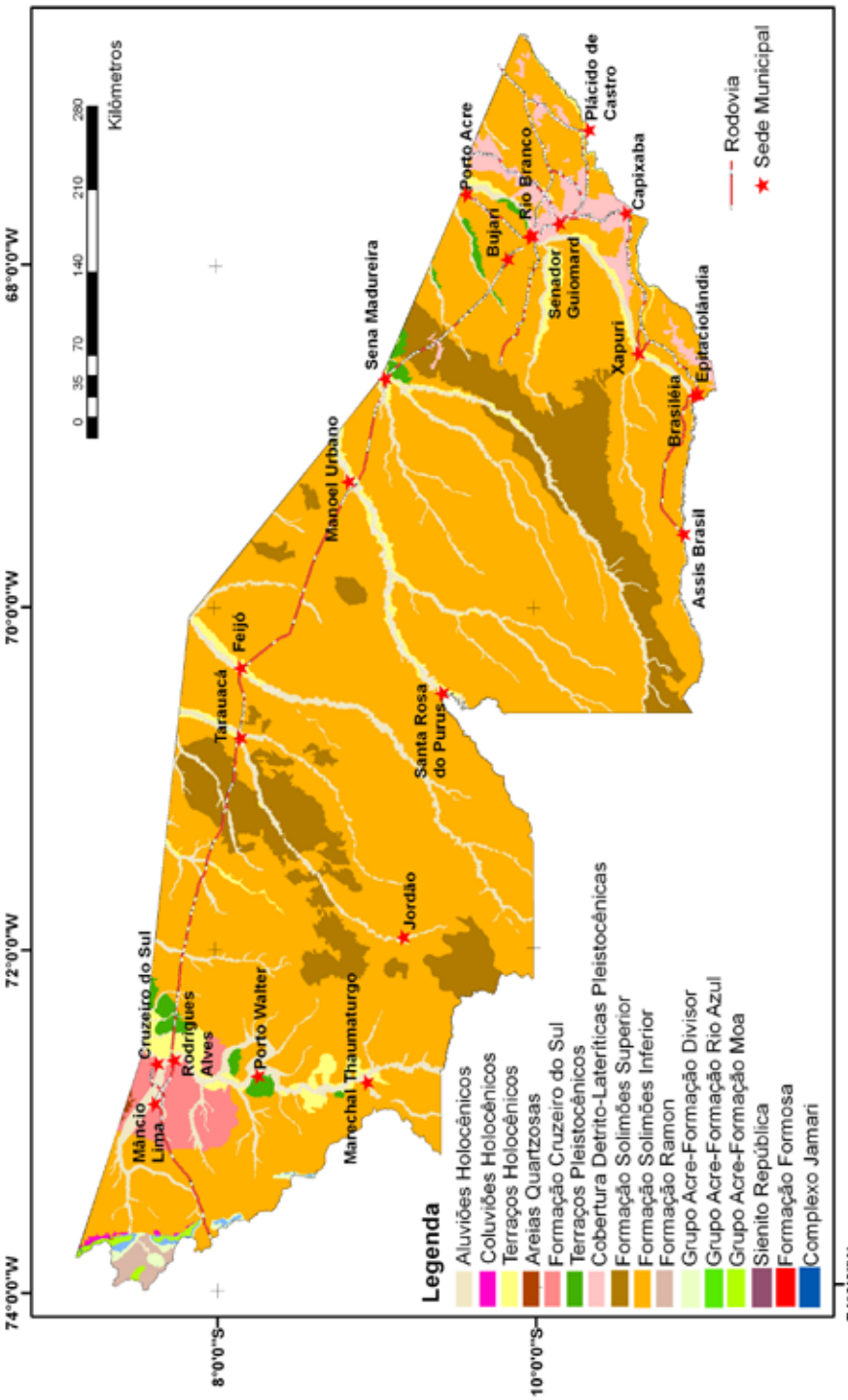


Fig. 2. Mapa geológico do Estado do Acre com base no banco de dados do Sipam.
Fonte: Cavalcante, 2006b.

Räsänen et al. (1998) concluem que a origem da Formação Solimões vinculava-se a um sistema fluvial que drenava a região de leste para oeste, em direção a uma área deprimida posicionada nas bordas da cadeia andina em soerguimento (Orogenia Quéchua), que também recebia sedimentação de alta energia sob a forma de leques aluviais provenientes desta região. Tais sedimentos foram acumulados em ambiente de águas rasas pouco movimentadas, provavelmente lagos rasos ou em áreas pantanosas, o que gerou as condições de ambiente redutor característico da Formação Solimões. Decorre disso, a abundância de níveis carbonosos e de fósseis e a predominância de sedimentos finos, ocasionalmente com precipitação química, que resultou na formação de gipsita dos dias atuais (Fig. 3).

No início do Quaternário, por deposição fluvial, tem-se a Formação Cruzeiro do Sul e os terraços pleistocênicos sendo depositados. Em seguida são alternados momentos de quietude (em que se dá o desenvolvimento dos perfis lateríticos – coberturas detrito-lateríticas) com outros de movimentação tectônica. Essa tectônica ressurgente (neotectônica) gera reativações de antigas falhas, soerguendo e rebaixando blocos, é a responsável pela deposição do material holocênico (terraços holocênicos, areias quartzosas inconsolidadas, aluviões holocênicos e coluviões holocênicos), além de controlar a distribuição do relevo e da drenagem atuais.

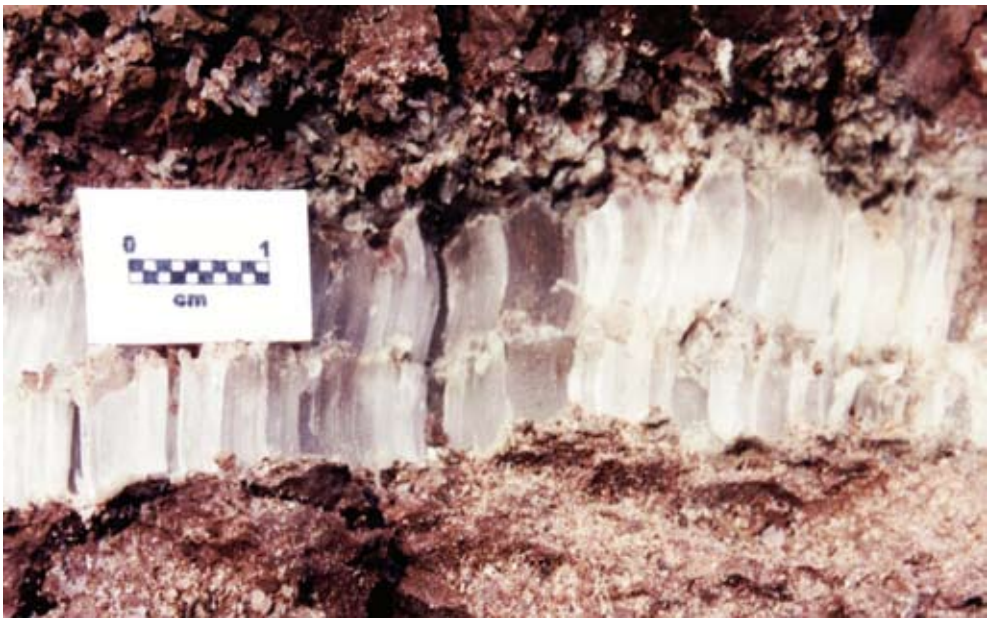


Foto: Eufran Ferreira do Amaral

Fig. 3. Gipsita (1,2 metro de profundidade) localizada após o Rio Caeté no Município de Sena Madureira às margens da BR 364.

3. Geomorfologia do Acre

O Estado do Acre mostra-se dividido em nove unidades geomorfológicas: Planície Amazônica, Depressão do Endimari-Abunã, Depressão do Iaco-Acre, Depressão de Rio Branco, Depressão do Juruá-Iaco, Depressão do Tarauacá-Itaquaí, Depressão Marginal à Serra do Divisor, Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul e Planaltos Residuais da Serra do Divisor (Fig. 4).

A Planície Amazônica forma-se por colmatagem de sedimentos em suspensão e construção de planícies e terraços orientada por ajustes tectônicos e acelerada por evolução de meandros. Os padrões de drenagem nela presentes são o meândrico e o anastomosado, indicando ajuste hidrodinâmico em áreas rebaixadas. É caracterizada por vários níveis de terraços e as várzeas recentes contêm diques e paleocanais, lagos de meandro e de barramento, bacias de decantação, furos, canais anastomosados e trechos de talvegues retilinizados por fatores estruturais.

As depressões variam em altitude da ordem de 130 m (na Depressão Endimari-Abunã) a 440 m (na Depressão Juruá-Iaco) de acordo com dados de imagem de radar SRTM[4]. A tectônica parece ter um papel importante na área, provavelmente uma movimentação tardia no Arco de Iquitos provocou o soerguimento dessas unidades que foram posteriormente niveladas por pediplanação pós-terciária e dissecadas em diferentes graus pela drenagem atual. Já a Depressão Marginal à Serra do Divisor pode ter sido rebaixada nessa fase por se constituir em um gráben[5] associado à Falha Batã, com possíveis rearranjos pela pediplanação pós-terciária e posterior dissecação fluvial.

A Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul consiste em um *horst*[6] associado à Falha Batã onde predominam relevos tabulares com declives suaves, à exceção de alguns trechos, como sua borda oeste, onde os declives são mais acentuados. Apresenta altitude média entre 150 e 270 m, e padrões de drenagem dendrítico a subparalelo (associado a estruturas tectônicas).

No Planalto Residual da Serra do Divisor ocorrem as serras do Jaquirana, do Moa, do Juruá-Mirim e do Rio Branco, compreendendo as maiores altitudes da Amazônia Ocidental (entre 270 e 750 m), intensamente dissecadas pela drenagem atual. O padrão dendrítico e paralelo denunciam forte controle estrutural.

[4]Produtos gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (em inglês, Shuttle Radar Topography Mission), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (Nasa e Nima), Alemanha (DLR) e Itália (ASI).
[5]Bacia limitada por falhas.
[6]Área elevada ao lado de um gráben.

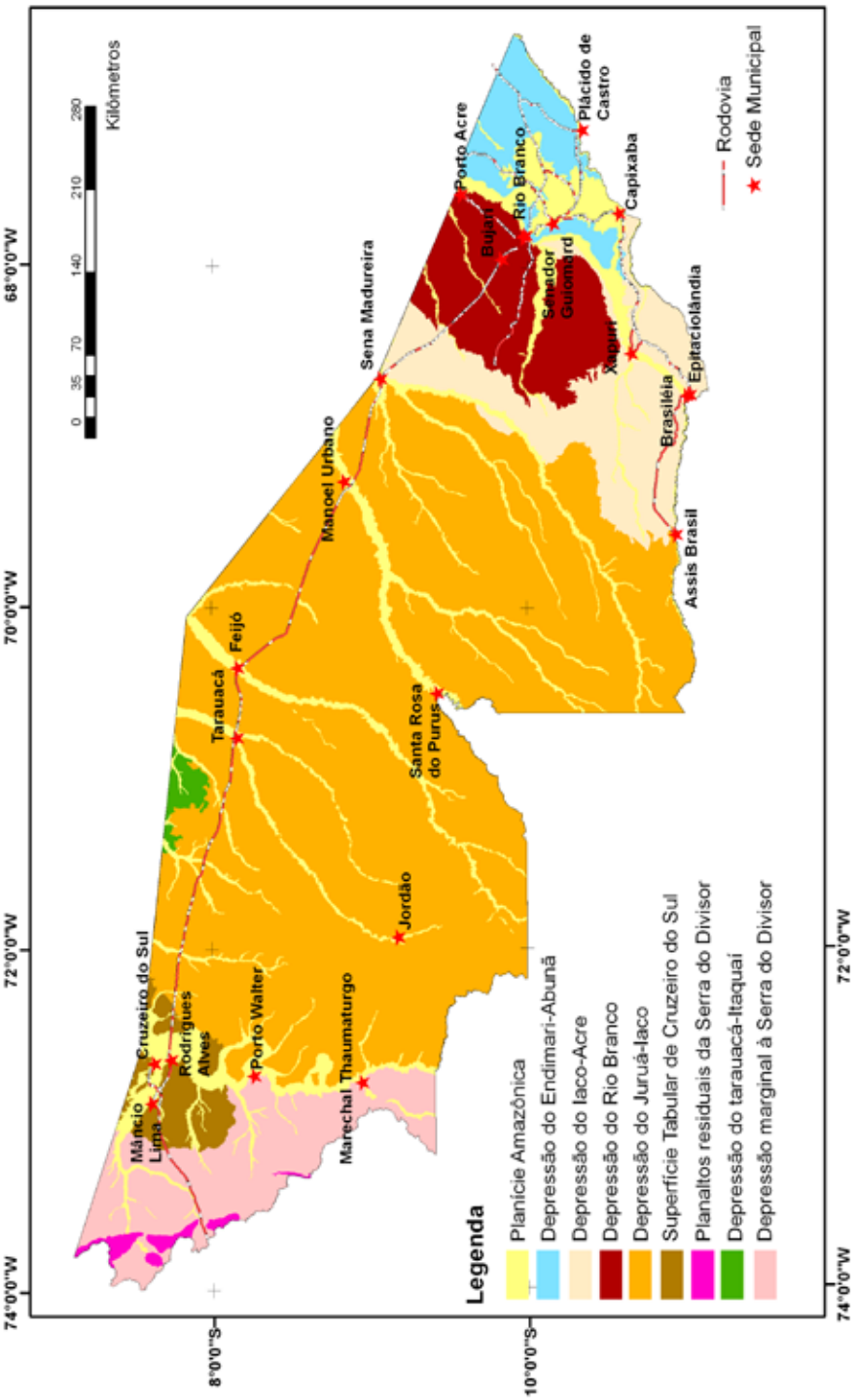


Fig. 4. Unidades geomorfológicas do Estado do Acre com base no banco de dados do Sipam.
Fonte: Cavalcante, 2006a.

4. Relação entre Neotectônica e Elaboração da Paisagem

Na Bacia do Acre, bem como na Amazônia, tem-se uma área morfoestrutural, pois a gênese e evolução do relevo estão diretamente relacionadas à estruturação crustal antiga, que marca zonas de fraqueza potencialmente favoráveis à reativação no desenvolvimento de processos geológicos posteriores, como o próprio processo de desenvolvimento da bacia (COSTA et al., 1996; BEZERRA, 2003). Por outro lado, a presença da zona sismogênica de Cruzeiro do Sul (relacionada à subducção da placa Nazca sob a placa Sul-Americana gerando sismos profundos e também relacionada a sismos rasos ainda pouco estudados), coincidente com a faixa de sutura do Acre/Serra do Divisor, revela uma área tectonicamente ativa, portanto, também morfotectônica (segundo dados apresentados em ASSUNÇÃO et al., 1983; 1998; ASSUNÇÃO; SUAREZ, 1988; MIOTO, 1993).

Por meio de análise de imagens de satélite e de radar, algumas características morfotectônicas da área podem ser evidenciadas:

- Assimetria de bacias, o que seria indicativo de basculamentos que deslocaram os rios (ex.: bacia dos rios Acre, Xapuri, Purus, Juruá, do igarapé São Francisco e outras).
- Bruscas mudanças nas direções de escoamento de rios, indicando seus condicionamentos às estruturas tectônicas da área (mais expressivas nos rios Acre, Purus e Juruá).
- Desnivelamento de terraços, indicando basculamentos.
- Trechos retilinizados em alguns rios alternados com trechos meandrantes.
- Compartimentação da bacia em áreas elevadas e em áreas subsidentes, etc.

A seguir serão expostos esquemas de evolução tectônica para a Amazônia Ocidental (BEZERRA, 2003), em que se observam os prováveis cenários onde a paisagem atual foi se modelando.

No Mesozóico (Triássico-Jurássico), com o advento do regime extensional Sul-Atlantiano toda a Região Amazônica esteve sujeita à distensão segundo um eixo orientado NW-SE ou NNW-SSE, imposto pela separação e migração para noroeste da placa Norte-Americana, e o início do afastamento da placa Africana para nordeste (COSTA et al., 1991a; 1991b; BERMEGUY, 1997). As estruturas do Arco de Purus foram reativadas como falhas transcorrentes.

Tais áreas soerguidas funcionavam nesta época como divisores de drenagem, com um sistema correndo para nordeste, na direção do golfo marinho, e outro, para sudoeste, em direção à Bacia do Solimões em franca subsidência termal, e daí para as bacias de antearco, ou antepaís, dos Andes orientais (RÄSÄNEN et al., 1998). Nesse momento depositou-se o Grupo Acre. Em seguida, no final do Mesozóico, inicia-se a deposição da Formação Ramon (Fig. 5A). Segundo Bezerra (2003), nessa fase predominava um clima árido a semi-árido no interior da placa Sul-Americana, onde os registros sedimentares e paleontológicos são essencialmente fluviais, secundariamente lacustres e localmente eólicos, sendo um período de longa fase erosiva/deposicional em clima seco, árido a semi-árido (COSTA et al., 1991a; 1991b).

A abertura do Atlântico culminou com a separação entre as placas Sul-Americana e Africana a leste, as quais começam sua deriva para oeste; com a movimentação das placas de Nazca para leste, inicia-se a colisão entre elas que perdura até hoje. Nesse momento instala-se uma tectônica direcional transcorrente destral no interior da placa Sul-Americana (Fig. 6), e essa nova tectônica (neotectônica) será a grande responsável pela evolução da paisagem que ocorre a partir de então, pronunciada sobretudo na gênese do relevo e de alguns solos.

Do fim do Cretáceo e por todo o Terciário inferior (Paleogeno) a área posicionada a oeste do Arco de Purus, em decorrência do contínuo levantamento da Cordilheira Andina, continuava em subsidência (do tipo flexural) principalmente nas proximidades da cordilheira.

Nesta área subsidente acumularam-se até o Mioceno-Superior as águas de um imenso sistema de lagos que cobria grande parte da Amazônia Ocidental (lago Pebas) e recebia sedimentação vinda dos Andes pelo lado oeste e de uma paleodrenagem amazônica pelo lado leste. No Brasil, a unidade litoestratigráfica representativa deste evento é conhecida como Formação Solimões, enquanto no Peru é denominada Formação Pebas (Fig. 5B). O lago Pebas era de águas calmas e tinha uma conexão estreita com o mar através de uma zona costeira aluvial de antearco. No início do Mioceno Superior (entre 8 e 11 Ma BP) houve conexão com o mar pelo norte da Venezuela, acompanhada de um marcante aumento da influência da deposição fluvial dos rios de origem andina, fenômeno interpretado como um incremento da subsidência em face do clímax do soerguimento da cordilheira, ocorrido no Mioceno durante a Orogenia Quéchua.

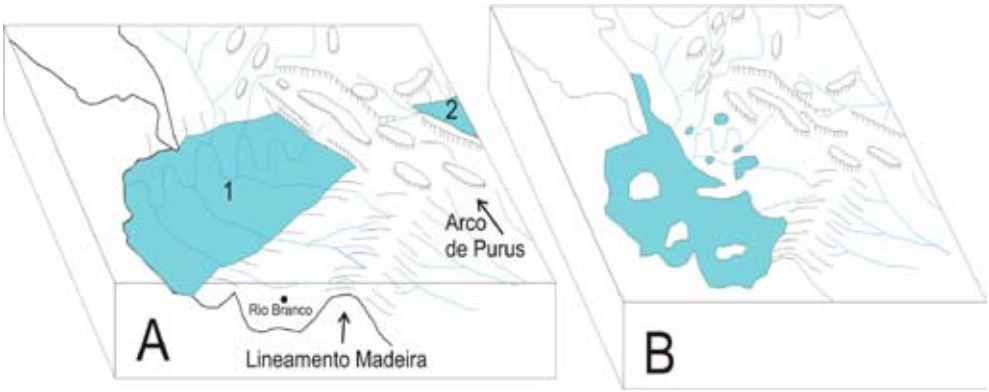


Fig. 5. A) Provável paleogeografia do final do Mesozóico[7]: bacia cretácica Solimões (1) e bacia cretácica Amazonas (2); B) provável paleogeografia do Terciário inferior/médio até o final do Mioceno[8].

Fonte: Adaptada de Bezerra, 2003.

[7]Na fase de subsidência termal do evento extensional Sul-Atlantiano, o Arco de Purus funcionou como zona compartimental entre dois depocentros cretáceos. Com a predominância de clima seco, árido a semi-árido, desenvolveram-se formas tabulares (mesas, platôs e chapadas).

[8]Em azul, a provável configuração do lago Pebas/Solimões. O Arco de Purus permaneceu como divisor de drenagens. Figura distorcida para fins de visualização em 3D.

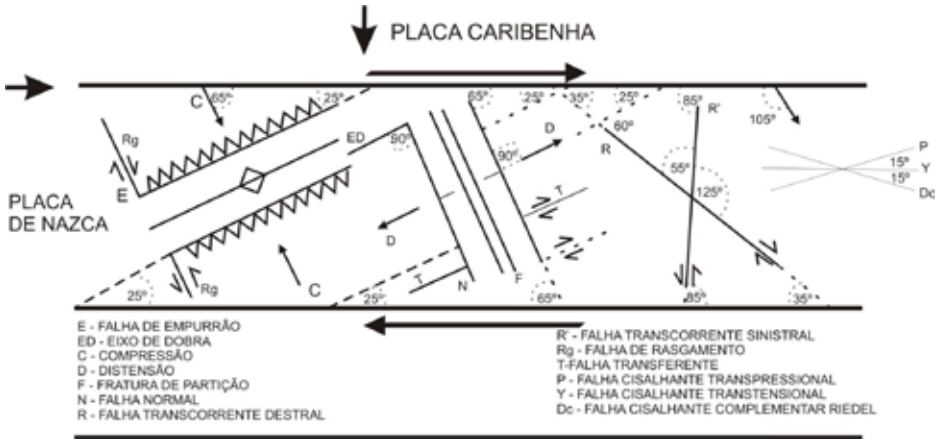


Fig. 6. Modelo neotectônico atual para a Amazônia.
Fonte: Saadi et al., 2005.

Ainda segundo Bezerra (2003), a contínua subsidência ao longo dos depocentros das bacias de antearco, o seu preenchimento sedimentar e, principalmente, a contínua sobrecarga relacionada ao espessamento crustal dos Andes Orientais provocaram o soerguimento periférico, responsável pela inversão do sistema de drenagem para leste e exposição dos sedimentos terciários da Formação Solimões à dissecação fluvial. Tal fenômeno teria ocorrido por volta de 8 Ma BP (RÄSÄNEN et al., 1998), correspondente ao Mioceno Superior–Plioceno Inferior. As águas invertidas de oeste ficaram por algum tempo confinadas em um grande sistema fluvial arreico, limitado a sul e sudeste por uma área soerguida formada na região de influência do Lineamento Madeira; a leste pela borda leste do Arco de Purus e a nordeste pelos relevos formados ao longo da estrutura em cunha do Rio Branco–Rio Negro, depositando-se nessa fase os sedimentos plio-pleistocênicos da Formação Içá (Fig. 7A).

A partir de então se registrou o primeiro pulso cinemático neotectônico no Mioceno Superior–Plioceno com o rebaixamento do eixo do Arco de Purus (Fig. 7B). Nessa etapa os litotipos da Formação Solimões foram soerguidos em função de movimentação do Arco de Jutaí. Paralelamente, diversas estruturas geradas ou reativadas durante este evento cinemático foram movimentadas segundo as direções principais E-W e NE-SW, estabelecendo-se ao longo delas as principais drenagens.

Após esse primeiro pulso cinemático, toda a região experimentou um período de estabilidade tectônica com incidência por volta do Pleistoceno Médio, quando da ocorrência de glaciação em que houve implantação na região equatorial de climas áridos a semi-áridos e rebaixamento do nível dos mares (a ser tratado posteriormente). Na região intraplaca este fenômeno foi responsável pela elaboração da extensa superfície de aplainamento neo-pleistocênica, denominada por Costa et al. (1978) de Pediplano Neo-Pleistocênico, atualmente preservada sob a forma de interflúvios tabulares.

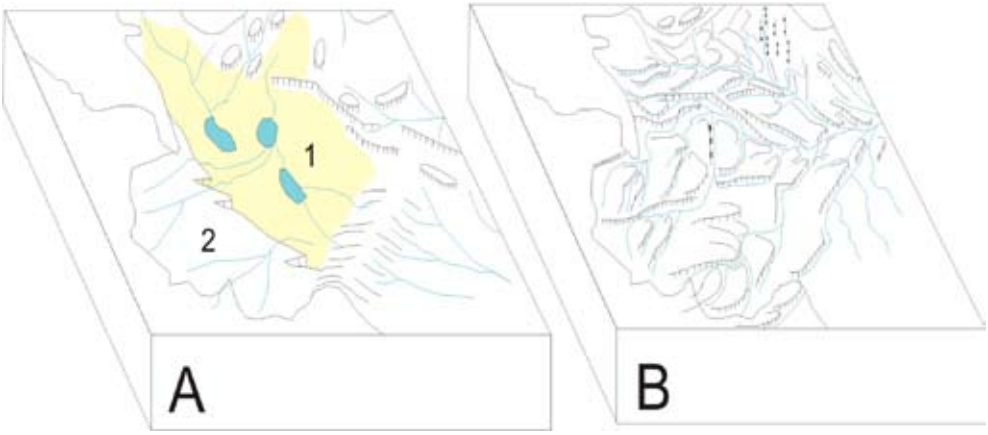


Fig. 7. A) Configuração paleogeográfica esquemática da Bacia Içá (1), com a configuração da inversão positiva da Bacia do Solimões e do Acre (2); B) provável paleogeografia do Terciário superior/Pleistoceno[9].

Fonte: Adaptada de Bezerra, 2003.

No final do Pleistoceno, após o desenvolvimento desta superfície de aplainamento, toda a região experimentou um segundo pulso cinemático do regime transcorrente neotectônico, o qual responde pela configuração do relevo e pelo desenho da rede de drenagem tal como se mostra atualmente (Fig. 8). A região ao longo do Lineamento Madeira sofreu transtensão e decorrente desse movimento, parte da drenagem que se dirigia para norte-nordeste foi capturada por falhas de direção NE-SW, em seguida deslocada por outras de direção E-W, desenvolvendo o curso atual do rio Purus e do Juruá que deságuam no Solimões. Os antigos cursos das paleodrenagens, com direcionamento geral N-S, encontram-se registrados sob a forma de terraços caracterizados como terraços pleistocênicos.

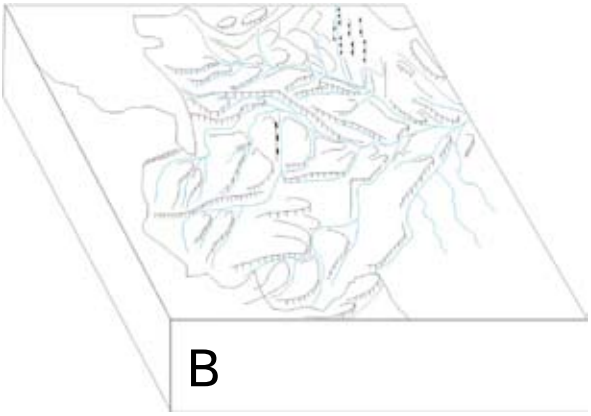


Fig. 8. Configuração da paisagem da Amazônia Ocidental, do final do Pleistoceno até os dias atuais.

[9]Notar um sistema de drenagem dirigido para sudeste com cabeceiras ao longo do Lineamento Madeira. Na Bacia do Acre, predominava transpressão com geração de dobras com eixos NE-SW.

O trecho do Rio Juruá, no Acre, manteve seu curso geral SW-NE controlado pelas estruturas transpressivas do primeiro pulso cinemático, adentrando o Estado do Amazonas ele é infletido para E-W segundo o lineamento homônimo. Atualmente, a rede de drenagem mostra os efeitos de todas essas etapas evolutivas, encontrando-se em estágio avançado de desenvolvimento entre os rios Juruá e Purus, cuja configuração do relevo e da rede de drenagem praticamente não sofreu modificações durante o segundo pulso cinemático. Já entre os rios Purus e Madeira, as modificações foram mais acentuadas, com a rede de drenagem em processo de organização.

As transformações impostas ao relevo e ao sistema de drenagem, durante o regime neotectônico, desempenharam um importante papel no desenvolvimento dos solos e da cobertura vegetal. Os processos de soerguimento e rebaixamento da superfície, e o bloqueio e desvios de rios são marcados, inicialmente, pela formação de grandes áreas inundáveis e pântanos. O alagamento ou inundação, nessas áreas, promove a degradação, ou mesmo degeneração da vegetação original, passando a ocorrer um ciclo de regeneração que se inicia com a ocupação por campinarana com predominância de gramíneas. A colmatação, ou dissecação desses lagos e áreas alagadas, é acompanhada de uma intensa destruição das argilas e preservação de areias, onde os processos pedogenéticos desenvolvem os solos Neossolos quartzarênicos (a norte de Cruzeiro do Sul). Estes aspectos são muito importantes, pois mostram que a evolução da paisagem nessas áreas arenosas está ligada à colonização vegetal e não diretamente à instalação da drenagem, embora uma coisa esteja diretamente ligada a outra.

5. Glaciações no Cenozóico e Evolução da Paisagem

Muito se tem tentado explicar a evolução da paisagem em seus aspectos físicos e bióticos a partir de alterações climáticas ocorridas, sobretudo no Cenozóico. Vários autores (RÄSÄNEN et al., 1997; RÄSÄNEN et al., 1995, etc.) destacam a evolução geológica como um fator tão condicionante quanto o clima. Durante os períodos glaciais, quando o nível marinho atingia 120 m abaixo do atual, o lençol freático evidentemente era rebaixado. Aliada a essa situação, contava-se ainda com um clima regionalmente mais frio e seco do que o atual. A conseqüência disso sobre os solos e a vegetação foi provavelmente muito marcante, uma vez que houve uma drástica redução na disponibilidade de água. Diversos autores atribuem a isso uma retração da floresta tropical até uma possível fragmentação. Segundo Haffer e Prance (2002), essa fragmentação criou áreas de refúgio, onde porções de floresta úmida eram cincundadas por vários tipos de savana, floresta seca, floresta de lianas e outros tipos intermediários de vegetação de climas sazonalmente secos. Com a volta da umidade após o derretimento do gelo, a floresta úmida recolonizaria as antigas áreas dominadas por savanas, etc. Outros autores contrariam a teoria de Haffer e Prance, afirmando que jamais houve tal fenômeno (ex. COLINVAUX et al., 2002). Contudo, dados que corroboram aquela teoria são apresentados por Kronberg et al. (1991): na Bacia do Acre, ocorrem precipitados de gesso e aragonita associados com sedimentos finos, o que é atribuído a uma dissecação

promovida por um extenso sistema fluvial-lacustre atuante em clima seco há cerca de 53.000 anos; e por Latrubesse e Rancy (1998), Rancy (1993): a presença de mamíferos fósseis com hábitos de pastejo indica uma ocorrência de campinas e de savanas antes de 40.000 anos BP.

A questão da fragmentação ou permanência da floresta úmida depende de aprofundamento em análises geológico-palinológicas. Por meio de análises palinológicas com datação radiocarbônica alguns trabalhos afirmam que:

- Durante o Plio-Pleistoceno, muitas áreas que experimentavam sedimentação marinha passaram a sofrer ação fluvial. Isso poderia explicar os muitos padrões biogeográficos subandinos, especialmente da biota aquática (RÄSÄNEN et al., 1995).
- No Pleistoceno Tardio houve um esfriamento ambiental na região com rearranjo da composição florística da vegetação de floresta. Nesse período mais frio (>40.000 a ~10.000 anos BP) alguns táxons arbóreos da floresta das terras baixas foram substituídos por táxons arbóreos típicos de locais mais frios (*Podocarpus, Ilex, Myrsine, Humiria*). A presença desses raros indivíduos hoje seria reminiscência daquelas florestas (PESSENDA et al., 2005).
- No último máximo glacial (o extremo climático mais forte dos últimos 20.000 anos), a queda de 5°C na temperatura modifica o funcionamento da zona de convergência intertropical, diminuindo a precipitação na parte leste da Bacia Amazônica; já na oeste, em função da cadeia andina, as nuvens que ocorriam no sopé das montanhas aumentavam a umidade dessa área (LEDRU et al., 1998).
- Entre 17.000 e 9.000 anos BP, o carbono da matéria orgânica do solo indica que em alguns locais da Amazônia havia vegetação de floresta em clima mais úmido e frio que o atual.
- A partir de 10.000 anos BP (início do Holoceno) ocorre mudança na temperatura média anual e declínio do *Podocarpus* e de outros táxons subtropicais. É no Holoceno que as comunidades florísticas e os elementos montanos tornam-se alopátricos, persistindo nas regiões elevadas até os dias atuais.
- Entre 9.000 e 5.000 anos BP ocorre enriquecimento isotrópico refletindo trocas de vegetação de florestas por savanas (gramíneas), indicativo de um provável clima mais seco (FREITAS et al., 2001).
- A partir de 3.000 anos BP ocorre empobrecimento isotópico refletindo expansão da vegetação da floresta sobre a savana, provavelmente devido a clima mais úmido. Segundo Mayle et al. (2000), essa expansão já ocorre a partir de 7.000 anos A.P., com o fim da precessão dos equinócios (Ciclos de Milankovitch).

Na região de Humaitá (AM), foram avaliadas a dinâmica e a origem da matéria orgânica acumulada (PESSENDA et al., 2005). Os resultados apontam para acumulação oriunda de savana há pelo menos 7.000 anos, indicando a

predominância de plantas C3 no início do Holoceno; já entre 7.000 e 4.000 anos BP, os dados indicam influência de plantas C4, sugerindo uma regressão da floresta por causa do clima mais seco. De 4.000 anos para cá, há entrada de matéria orgânica de origem C3, indicando expansão da floresta e retorno a um clima mais parecido com o atual. O mesmo ocorre em outro estudo realizado entre Pimenta Bueno e Vilhena (RO). A norte do Estado de Rondônia, em Ariquemes, os dados isotópicos da matéria orgânica do solo indicaram que a floresta se manteve ao longo do Holoceno.

Faz-se mister destacar a escassez de dados, principalmente de análises multidisciplinares para entender as trocas vegetacionais e climáticas, sobretudo no Quaternário. Nesse sentido, afirmar que determinado fato ocorreu de forma homogênea na região é desconsiderar a grande extensão da Amazônia e suas análises pontuais. Em todo caso, ressalta-se a importância da evolução geológica para o entendimento da evolução do ambiente amazônico com suas inúmeras especificidades.

6. Conclusões

Por meio dos dados expostos é possível concluir que para a Bacia do Acre, podendo-se ampliar para toda a Amazônia, não se explica a grande diversidade ambiental, de feições anômalas em sistemas de relevo e na rede de drenagem, sem levar em conta os processos geológicos operantes recentemente, tanto os relacionados à sua evolução litoestratigráfica quanto à sua evolução tectônica interagindo com fatores climáticos ou paleoclimáticos. Tais considerações são imprescindíveis para a definição e distinção dos graus de vulnerabilidade ecológica e ambiental em face dos fenômenos naturais e da intervenção antrópica.

A neotectônica tem um papel importante na configuração da atual Bacia do Acre e na distribuição dos solos e dos ambientes neles desenvolvidos (a presença de campinarana associada a Neossolos quartzarênicos é um indicador). As unidades morfoestratigráficas (que analisam as formas de relevo associadas à determinada litologia e sua gênese) representam em si mesmas efeitos de soerguimentos e rebaixamentos da superfície, desvios e bloqueios de drenagem pelas estruturas neotectônicas (ex.: inflexões no Rio Juruá na direção E-W e N-S). A presença de uma zona sismogênica na bacia implica na provável atuação dessas estruturas atualmente, o que torna a caracterização das mesmas ainda mais necessárias.

Os movimentos impostos a essas estruturas resultaram em soerguimentos e rebaixamento por meio da atuação de falhas transcorrentes com componentes essencialmente transpressivos e localmente transtensivos. Tais movimentos ocorrem em função de dois pulsos cinemáticos. O primeiro, essencialmente transpressivo, do final do Terciário, foi responsável pela orientação NE-SW dos principais corredores de drenagem e pela formação de dobras na região com eixos também NE-SW; o segundo, do final do Pleistoceno até o Holoceno,

responde pelas modificações no quadro estrutural e geomorfológico resultando na configuração da paisagem tal como se encontra nos dias de hoje.

7. Referências

ASSUNÇÃO, M. Terremotos no Brasil. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 1, n. 6, 1983.

ASSUNÇÃO, M. Sismotectónica y esfuerzos en Brasil. **Física da Terra**, São Paulo, v. 10, p. 149-166, 1998.

ASSUNÇÃO, M.; SUAREZ, G. Source mechanisms of moderate-size earthquakes in mid-plate South America. **Geophysical Journal**, v. 92, p. 253-267, 1988.

ASSUNÇÃO, M.; ORTEGA, R.; BERROCAL, J.; VELOSO, J. A. O sismo de Codajás. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 2, p. 39-44, 1983.

BEMERGUY, R. L. **Morfotectônica e Evolução Paleogeográfica da região da calha do rio Amazonas**. 1997. 199 f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, PA.

BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S. Considerações sobre a evolução do sistema de drenagem da Amazônia e sua relação com o arcabouço tectônico-estrutural. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi,** Belém, PA, v. 3, p. 75-97, 1991.

BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. da S.; SOARES JÚNIOR, A. V. Structural geomorphology of the Brazilian Amazon region. In: KLEIN, E. L.; VASQUES, M. L.; ROSA COSTA, L. T. **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, 2002. p. 245-258.

BEZZERA, P. E. L. **Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro.** 2003. 335 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, PA.

CAPUTO, M. V. **Relatório preliminar de exploração da bacia do Acre**. Belém, PA: PETROBRAS, 1973. 24 p. (Relatório técnico interno, 665 A).

CAPUTO, M. V. Origem do alinhamento estrutural do Juruá – bacia do Solimões. In. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, 1985. v. 1, p. 249-258.

CAVALCANTE, L. M. Recursos naturais e uso da terra: geomorfologia. In: PROGRAMA ESTADUAL DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ACRE. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II**: documento síntese. Escala 1 : 250.000. Rio Branco, AC: Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico-Sustentável, 2006a. p. 43-46.

CAVALCANTE, L. M. Recursos naturais e uso da terra: o meio físico. In: PROGRAMA ESTADUAL DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ACRE. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre fase II**: documento síntese. Escala 1 : 250.000. Rio Branco, AC: Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico-Sustentável, 2006b. p. 40-43.

COLINVAUX, P. A.; IRION, G.; RÄSÄNEN, M. E.; BUSH, M. B.; MELLO, J. A. S. N. de. A paradigm to be discarded: geological end paleoecological data falsiy the Haffer & Prance hypothesis of Amazonian speciation. **Amazoniana,** v. 16, n. 3-4, p. 609-646, 2002.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. da S.; FERREIRA JÜNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L. da; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da Amazônia: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **GEONOMOS**, **Revista de Geociências**, Belo Horizonte, UFMG, v. 4, 1996.

COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S. da; BORGES, M. da S.; HASUI, Y. Tectônica mesozóica – cenozóica da Região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., Rio Claro. **Boletim de resumos expandidos e roteiro de excursões**. Rio Claro, Sociedade Brasileira de Geologia, 1991a. p. 108-110.

COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. da S.; HASUI, Y. O quadro tectônico regional do Mesozóico na Região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 30., Belém, PA. **Anais**... Belém, PA, Sociedade Brasileira de Geologia, 1991b. p. 166-178.

COSTA, R. C. R. da; NATALI FILHO, T.; OLIVEIRA, A. A. B. de Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.20 -Manaus**. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energias, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1978. p. 167-244. (Levantamento de recursos naturais, 18).

FREITAS, H. A.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S. E. M.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soli organic matter. **Quaternary Research,** v. 55, p. 39-46, 2001.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Climatic forcing of evolution in Amazonia during the Cenozoic: on the refuge theory of biotic differentiation. **Amazoniana,** v. 16, n. 3-4, p. 579-607, 2002.

KRONBERG, B. I.; BENCHIMOL, R. E.; BIRD, M. I. Geochemistry of Acre Subbasin sediments: window on Ice-Age Amazonia. **Interciencia,** v. 16, p. 138-141, 1991.

LATRUBESSE, E.; RANCY, A.; RAMONELL, C. G.; SOUZA FILHO, J. P. de. A Formação Solimões: uma formação do Mio-Plioceno da Amazônia Sul-Ocidental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994. Belém, PA. **Boletim de resumos expandidos.** Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, [1994]. p. 20.

LATRUBESSE, E.; RANCY, A. The late quaternary of the upper Juruá River, southwestern Amazonia, Brazil: geology and vertebrate paleontology. **Quaternary of South America and Antarctic Penisula,** v. 11, p. 27-46, 1998.

LEDRU, M-P.; BERTAUX, J.; SIFEDDINE, A.; SUGUIO, K. Absence of Last Glacial Maximum records in lowlands tropical forests. **Quaternary Researchs**, v. 49, p. 233-237, 1998.

MAIA, R. G. N.; GODOY, H. de O.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. F. da; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. A. 1977. **Projeto Carvão no Alto Solimões**; relatório final. Manaus, Ministério das Minas e Energia, Departamento Natural de Produção Mineral, 1977. v. 1, 142 p.

MAYLE, F.; BURBRIDGE, R.; KILLEEN, T. J. Millenial-scale dynamics of southern amazonian rain forest. **Science**, v. 290, p. 2291, 2000.

MIOTO, J. A. **Sismicidade e zonas sismogênicas do Brasil.** 1993. 2 v. Tese (Doutoramento em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

OLIVEIRA, C. M. M. de. **Estilos estruturais e evolução tectônica da Bacia do Acre.** 1994. Dissertação (Mestrado em Geologia). Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1994.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A. de; RIBEIRO, A. de S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SIEFEDDINE, A. F.; YBERT, R. S. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. de G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, 382 p.

PROGRAMA ESTADUAL DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ACRE. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Acre**: recursos naturais – documento final. Rio Branco, AC: SECTMA, 2000. v. 1.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Folhas SC. 19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energias, Departamento de Produção Mineral, 1976, 464 p. v. 12.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Folhas SB/SC. 18 Javari/Contamana: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energias, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1977. 420 p. v. 13.

RANCY, A. A paleofauna da Amazônia indica áreas de pastagem com pouca cobertura vegetal. **Ciência Hoje,** São Paulo, v. 16, p. 48-51, 1993.

RÄSÄNEN, M.; LINNA, A.; SANTOS, J. C. R.; NEGRI, F. R. Late Miocene tidal deposits in the Amazonian foreland basin. **Science,** v. 269, p. 385, 1995.

RÄSÄNEN, M.; LINNA, A.; IRION, G.; HERNANI, L. R.; HUANAN, R. V.; WESSELING, F. Geologia e geoformas da área de Iquitos. In: KALLIOLA, S. F.; PAITÁN, S. F. (Ed.). **Geoecologia e dessarollo en la zona de Iquitos, Peru.** Turun Yliopisto, 1998. p. 21-95. il. (Turun Yliopiston Julkaisuja. Sarja A:114).

RÄSÄNEN, M.; SALO, J. S.; KALLIOLA, R. J. Fluvial perturbance in the western Amazon basin: regulation by long-term sub-Andean tectonics. **Science,** v. 238, n. 4832, 1997.

SAADI, A.; BEZERRA, F. H. R.; COSTA, R. D. da; IGREJA, H. L. S.; FRANZINELLI, E. Neotectônica da plataforma brasileira. In: SOUZA, C. R. de G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. 382 p.

SZATMARI, P. Tectonismo na faixa de dobramentos Juruá. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2., 1984, Manaus. **Anais...** Manaus, Ministério das Minas e Energia, DNPM, [1984]. p. 117-128.

WANDERLEY FILHO, J. R.; COSTA, J. B. S. Contribuição à evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 30, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia, 1991. p. 244-259.

CAPÍTULO 21

Uso de Resíduos de Indústrias Curtidoras na Recuperação de Áreas Degradadas[1]

Paulo Guilherme Salvador Wadt
Murielly de Sousa Nóbrega
Sandra Tereza Teixeira

1. Introdução

A modificação dos sistemas naturais pela atividade humana origina as "áreas alteradas", as quais podem ter sua capacidade de produção melhorada, conservada ou diminuída em relação ao sistema natural (WADT et al., 2003). Contudo, se essa alteração ocorrer com processos que levam à perda da capacidade produtiva do sistema significa que as áreas estão sendo degradadas. Normalmente, o processo de degradação das terras está relacionado à própria degradação dos solos, embora, outros processos, como as práticas de manejo inadequadas, também conduzam à degradação, constituindo um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representando um enorme risco para as futuras gerações (DIAS-FILHO, 2003).

A degradação dos solos agrícolas resulta de diferentes processos que podem estar relacionados à erosão hídrica ou eólica, à perda de matéria orgânica do solo, à exportação de nutrientes pelas colheitas e à compactação do solo, em decorrência de uso intensivo de máquinas agrícolas ou do superpastoreio (DIAS-FILHO, 2003; PRUSKI, 2006). A degradação ocorrerá, então, quando houver perda de propriedades físicas, químicas ou biológicas favoráveis à manutenção da produtividade agrícola, à medida que os fatores de produção não forem suficientes para manter a produtividade em níveis adequados. Geralmente, a degradação conduz ao abandono da área por vários anos até que as condições naturais do solo sejam recuperadas naturalmente (MOROKAWA, 1991).

O grau de susceptibilidade dos solos ao processo de degradação depende, portanto, das características de cada tipo de solo e dos processos relacionados à manutenção da produtividade. Por exemplo, Latossolos são menos susceptíveis à degradação por compactação que os Argissolos ou Luvissolos. Por outro lado, os Latossolos podem rapidamente perder sua fertilidade natural (ARAÚJO et al., 2005). Assim, o manejo para a recuperação das áreas degradadas deve

[1]Parte do relatório de conclusão de curso de Engenharia Agronômica apresentado à Universidade Federal do Acre pela segunda autora.

considerar não somente as causas da degradação, como forma de minimizar seus efeitos, mas também as propriedades do solo, de modo a corrigir os problemas responsáveis pela perda da produtividade da área.

Na região do entorno da cidade de Rio Branco concentra-se a maior densidade de áreas degradadas do Estado do Acre. Normalmente, estas áreas estão ocupadas por pastagens com idade superior a 15 anos e que não receberam adição de corretivos ou fertilizantes para a manutenção da sua fertilidade. Nestas áreas, a degradação não comprometeu ainda a capacidade de produção biológica do sistema (DIAS-FILHO, 2003), de forma que as medidas corretivas estão associadas principalmente à melhoria da fertilidade do solo. Assim, conclui-se que os processos de reabilitação possíveis estão relacionados à utilização de corretivos e fertilizantes minerais ou orgânicos, introdução de leguminosas forrageiras e ao uso de resíduos locais como condicionadores do solo ou fontes de nutrientes, entre outros.

As estratégias de recuperação devem ser definidas de acordo com o grau de degradação no qual se encontra o solo e com os objetivos pretendidos. Além disto, a estratégia definida deve se basear na adoção de tecnologias simples, de baixo custo e apropriadas às condições tecnológicas da região.

Alguns resíduos têm sido aplicados em solos agrícolas, visando principalmente ao aproveitamento de nutrientes às plantas e melhoria das propriedades físicas do solo.

A utilização de resíduos locais na reabilitação de áreas degradadas é amplamente vantajosa, visto que, quando aplicado no solo, o resíduo é simultaneamente tratado (à medida que sofre atenuação de seus constituintes perigosos) e disposto (quando o solo torna-se seu receptor final).

O lodo de curtume, produzido durante o curtimento do couro (STOMBERG et al., 1984; CASTILHOS et al., 2002), é constituído por macro e micronutrientes essenciais às plantas. Suas principais características são (BRAILE; CAVALCANTI, 1979):

- Cal e sulfeto livres.
- pH elevado.
- Crômio potencialmente tóxico (no caso de curtimento ao crômio).
- Matéria orgânica (sangue, soro, produtos da decomposição de proteínas), o que resulta em demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada.
- Teor elevado de sólidos em suspensão (principalmente pêlos, graxas, fibras, proteínas, sujeira).
- Coloração leitosa devido à cal, verde-castanho ou azul por causa do curtimento e das cores variadas do tingimento.
- Dureza das águas de lavagem.
- Elevada salinidade (sólidos dissolvidos totais).
- Elevada demanda química de oxigênio (DQO).

No entanto, a disposição de resíduos provenientes da curtição do couro não deve ser feita de modo indiscriminado. Dependendo do processo utilizado, estes resíduos podem apresentar crômio em sua composição. Esse elemento acarreta uma série de problemas à saúde pública, principalmente por ser um agente cancerígeno, devendo-se evitar a sua presença nos alimentos e líquidos consumidos pela população humana e pelos animais.

Além disto, normalmente estes resíduos apresentam elevado teor de sais inorgânicos, com forte potencial de salinização do solo. Considerando que no Estado do Acre o lodo de curtume vem sendo aplicado em áreas de pastagens, o objetivo deste capítulo será discutir o potencial do uso deste resíduo como insumo para a reabilitação de áreas degradadas.

2. Geração e Disposição de Lodo de Curtume

2.1. A Indústria de Couro

O setor de curtumes tem crescido significativamente nos países em desenvolvimento, deslocando-se a produção de couros da Europa e EUA para o extremo Oriente e América do Sul, destacando-se China, Brasil, Índia, Coréia e Argentina. Nos países do Leste Europeu também verifica-se o crescimento da produção de couros, especialmente o wet blue. Entre as razões, apontam-se a busca de mão-de-obra de menor custo e as restrições mais severas das políticas ambientais dos países produtores tradicionais. Na América do Sul, o Brasil destaca-se como produtor, pois a Argentina, apesar de ter couro reconhecidamente de melhor qualidade, não registrou mudanças relevantes no período em foco. O Brasil possui atualmente o segundo maior rebanho do mundo, embora a utilização seja ainda relativamente baixa quando comparada àquela dos países tradicionais e de menor rebanho (SANTOS et al., 2007).

A capacidade instalada da indústria curtidora, em 2000, foi de 35 a 40 milhões de couros bovinos. A produção brasileira cresceu nos anos 90, passando de 23,5 milhões de couros em 1991 para 33 milhões em 2001, representando cerca de 10% do mercado mundial. Os frigoríficos foram responsáveis por cerca de 60% dessa produção e, os salgadores, por outros 25%. As regiões Sul e Sudeste são responsáveis por 72% da produção brasileira de couro e registram o maior número de curtumes. Os principais estados produtores são Rio Grande do Sul (23,5%) e São Paulo (23%), além do Paraná (12%) e Minas Gerais, com 10% do volume produzido (GUTERRES, 2007).

Estes curtumes são caracterizados de acordo com sua etapa de processamento do couro:

- Curtume de wet blue: desenvolve o primeiro processamento de couro, logo após o abate. O couro salgado ou em sangue é despelado, graxas e gorduras são removidas e há o primeiro banho de crômio, então o couro passa a exibir um tom azulado e molhado.
- Curtume de semi-acabado: utiliza como matéria-prima o couro wet blue e o transforma em couro crust (semi-acabado).

- Curtume de acabamento: transforma o couro crust em couro acabado.
- Curtume integrado: realiza todas as operações, desde o processamento do couro cru até o couro acabado.

2.2. Geração de Resíduos

Os curtumes são responsáveis por grande parte dos resíduos que afetam o meio ambiente, os quais, gerados no processo de curtimento, são classificados em: gases e emissões, aparas, serragem, lodos da estação de tratamento de efluentes líquidos e aqueles provenientes dos banhos.

No Estado do Acre a única indústria que adota o processamento até a etapa de wet blue e é responsável pelo curtimento do couro de animais bovinos localiza-se em Rio Branco e recebe couro proveniente dos municípios pertencentes à bacia dos vales dos rios Juruá e Purus. Nesta região encontram-se:

a) Todos os municípios do Estado do Acre.

b) Alguns municípios do sul do Estado do Amazonas que fazem ligação rodo-fluvial com a BR 364.

c) Os distritos de Vila Extrema e Vila Califórnia, pertencentes ao Município de Porto Velho-RO.

No Estado do Acre, são gerados diferentes tipos de resíduos (efluentes líquidos) provenientes das seguintes etapas do processamento industrial (Fig. 1):

a) Remolho: como as peles chegam ao curtume geralmente desidratadas, devido aos processos de conservação a que foram submetidas, o remolho tem por finalidade repor o teor de água apresentado pelas peles, quando estas recobriam o animal; limpá-las, eliminando impurezas aderidas aos pêlos; e extrair proteínas e materiais interfibrilares.

b) Depilação e caleiro: tem como principal função remover os pêlos (queratina) e o sistema epidérmico, utilizando normalmente a cal hidratada e o sulfeto de sódio.

c) Desencalagem ou descalcinação: visa remover as substâncias alcalinas, tanto aquelas que se encontram depositadas como as quimicamente combinadas.

d) Purga: processo de limpeza da estrutura fibrosa por ação enzimática, que por ação proteolítica destrói materiais queratinosos degradados, gorduras, bulbos pilosos e outros, sendo normalmente realizado no mesmo banho da desencalagem.

e) Píquel: processo salino ácido que visa basicamente à preparação das fibras colágenas para uma fácil penetração do agente curtente, sendo o sal empregado no processo com a finalidade de controlar o grau de intumescimento. O píquel pode apresentar de 6% a 10% de cloreto de sódio, 1% a 1,5% de ácido sulfúrico e de 60% a 100% de água.

f) Curtimento: última etapa do processamento da pele, consiste na transformação das peles em material estável e imputrescível, passando a chamar-se de "couro". O produto mais usado neste processamento é o sal de crômio, normalmente em quantidade de 2,0% a 3,0%, relativo à massa da pele a ser curtida, dissolvido em 50% de água ou adicionado ao banho de píquel.

No curtimento com crômio, as peles incorporam entre 2,5% e 3,0% de Cr_2O_3. Os couros obtidos caracterizam-se pela elevada estabilidade hidrotérmica.

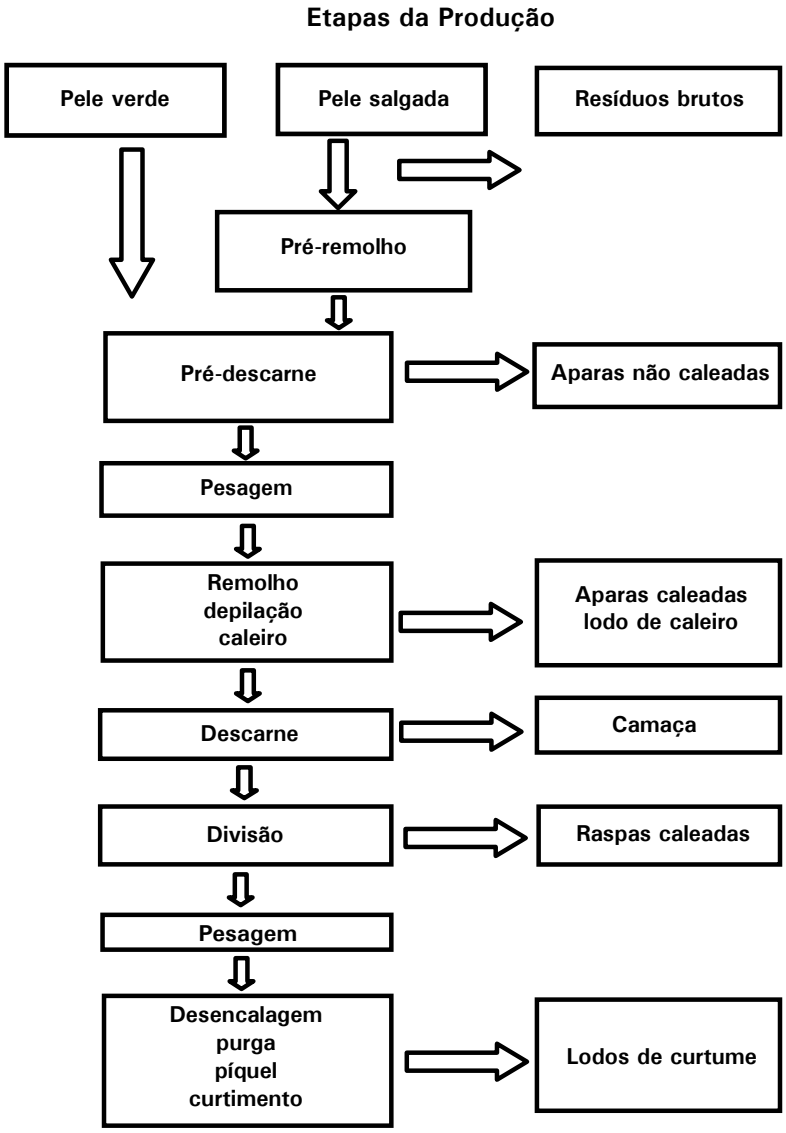


Fig. 1. Etapas da fabricação de couros e geração de resíduos

Fonte: Guterres, 1996.

A produção de couro até o estágio wet blue é responsável por 85% do resíduo ambiental da cadeia produtiva, em que sódio e crômio são os principais constituintes capazes de proporcionar impactos ambientais negativos. O crômio, considerado um dos principais problemas dos curtumes, é o insumo utilizado pela maioria das empresas no processo de curtimento.

A serragem cromada e o lodo de caleiro são os dois principais resíduos gerados no processo de curtimento em *wet blue*. Principal fonte de crômio, a serragem cromada é um resíduo volumoso, altamente tóxico e, por ser um produto lentamente biodegradável, permanece por muito tempo no ambiente (SANTOS et al., 2007).

Por sua vez, o lodo de caleiro constitui-se no efluente líquido derivado dos processos de remolho, depilação e caleiro; desencalagem e purga são processos cujos produtos possuem elevado poder neutralizante, além de conter nitrogênio, cálcio e sódio em sua composição. Junto ao lodo de caleiro, produz-se o lodo do refluxo, que normalmente é formado pela separação da fração menos densa do lodo de caleiro.

Além destes, há o processo de sedimentação do lodo de curtume e de limpezas gerais gerado no processo de reaproveitamento da água na indústria, que resulta, respectivamente, nos lodos de decantador primário e de águas gerais.

Todos os lodos gerados, como o caleiro, refluxo, decantador primário e águas gerais, são mantidos em tanques separados e depois misturados, quando da sua destinação final, em proporções variadas, sendo denominados indistintamente de "lodo de curtume".

Este lodo possui elevada carga orgânica e inorgânica, podendo apresentar concentrações variáveis de crômio segundo o tipo de lodo e contaminações do processamento industrial (STOMBERG et al., 1984). Em média, são gerados 15 kg de resíduos sólidos por pele processada (CASTILHOS et al., 2002).

Devido à presença de sais constituintes orgânicos (pêlos, gorduras, restos de epiderme) e inorgânicos (carbonatos, nitrogênio, cálcio, enxofre), estes resíduos são potencialmente úteis para a recuperação de áreas degradadas e para o crescimento das plantas. Sua aplicação pode ser feita facilmente em áreas de pastagens ou áreas agrícolas mecanizadas por meio de caminhões-tanque (Fig. 2).

Por outro lado, esses resíduos apresentam alto potencial poluidor devido a algumas de suas características químicas, como a presença de crômio, cujas quantidades encontradas no lodo de serragem cromada são de 17 a 36 $\cdot$ mg kg^{-1}, base seca, e no lodo de caleiro 0,025 a 0,080 mg $\cdot$ kg^{-1}, base seca, conforme resultados obtidos por alguns autores (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003). Além disto, há possibilidade de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais por nitrato (devido à carga orgânica elevada) e o risco de salinização do solo se disposto em grandes quantidades por unidade de área, sendo, este último o maior risco ambiental devido à utilização indiscriminada destes resíduos em áreas agrícolas.

Foto: Paulo Guilherme S. Wadt

Fig. 2. Aplicação do lodo de curtume na forma de efluente líquido em área agrícola mecanizada.

2.3. Disposição do Lodo de Curtume em Áreas Agrícolas

A correta disposição dos resíduos gerados pelas indústrias curtidoras tem sido uma questão de discordância entre as indústrias e os órgãos ambientais. A legislação ambiental vigente exige que as indústrias destinem os seus resíduos segundo as normas estaduais e/ou federais, dentro dos padrões de qualidade ambiental pré-estabelecidos.

Inicialmente, as indústrias de curtume descartavam os resíduos acumulados em aterros industriais, cuja construção e manutenção envolvem um custo muito alto. Além disso, esses aterros representam um elevado risco ambiental, podendo causar graves acidentes capazes de comprometer o ecossistema do entorno (KONRAD; CASTILHOS, 2002).

Uma alternativa para a destinação final de resíduos orgânicos ou inorgânicos é aplicá-los na agricultura, uma vez que possuem valor como corretivo e/ou fertilizante.

A disposição de resíduos em áreas agrícolas é regulada por instruções normativas e portarias estaduais e federais (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999; BRASIL, 2004) que limitam as quantidades máximas admitidas em função dos agentes fitotóxicos, tais como: organismos patogênicos ao homem, animais e plantas, presença de metais pesados tóxicos, além da existência de pragas e ervas daninhas. Estes limites máximos admitidos são variáveis em função do tipo de aplicação dada ao resíduo, ou seja, fertilizante, condicionador ou substrato vegetal.

O lodo de curtume é classificado como resíduo da Classe II-B (BRASIL, 2004), ou seja, fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria em que o sódio (Na^+), metais pesados e compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo industrial.

Para esta classe de resíduo, a concentração máxima de crômio permitida no lodo é de 200 mg · kg^{-1} (Tabela 1). Portanto, um limite bem inferior ao máximo admitido pela legislação federal.

Além da concentração dos metais pesados nos resíduos, outros pontos devem ser atendidos antes da aplicação do produto em áreas agrícolas: priorizar áreas que tenham facilidade de acesso durante o período de aplicação; manter o local de aplicação a uma distância segura de áreas residenciais, inclusive em relação aos ventos predominantes; e obter aprovação dos proprietários para a disposição do resíduo em suas áreas.

Tabela 1. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos da classe B.

Contaminante	Valor máximo admitido
Cádmio (mg · kg^{-1})	3
Chumbo (mg · kg^{-1})	150
Mercúrio (mg · kg^{-1})	1
Níquel (mg · kg^{-1})	70
Crômio (mg · kg^{-1})	200
Coliformes fecais - número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	1.000
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1
Salmonella sp. número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	3

Fonte: Brasil, 2005.

Recomenda-se também que (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999):

a) A declividade da área destinada à aplicação do lodo não ultrapasse 10% para aplicação superficial sem incorporação, 15% para aplicação superficial com incorporação e 18% para aplicação subsuperficial.

b) Sejam mantidas zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores.

c) Mantenham-se distâncias de 15 metros de vias de domínio público e 10 metros de drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.

d) A profundidade entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático seja superior a 1,2 m na época da aplicação.

Outro aspecto importante a ser observado consiste na taxa de aplicação, que deverá respeitar o menor valor calculado com base nos cinco critérios

seguintes (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999): 1) quantidade de nitrogênio disponível; 2) quantidade de outros nutrientes disponíveis; 3) capacidade de elevação de pH do solo; 4) quantidade de metais pesados aplicados anualmente; e 5) limites de acumulação de metais no solo.

A taxa de aplicação (T_N), em função do nitrogênio disponível, deve ser calculada de forma que a aplicação de lodo em Mg ha^{-1} (toneladas por hectare) não exceda o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (Q, em kg · ha^{-1}) e o teor de nitrogênio disponível no lodo (Nd, nitrogênio total disponível, em kg · Mg^{-1}).

O nitrogênio total disponível deve ser calculado em função do teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl multiplicado pelo fator 0,4 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999).

Assim:

$$T_N = Q/Nd$$

$$T_N = Q/(N_{Kjeldahl} \times 0,4)$$

Para verificar a quantidade de nitrogênio recomendada para as culturas no Estado do Acre deve-se consultar Wadt (2005). O fator 0,4 usado para transformar o teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl em nitrogênio disponível é um valor recomendado para o Estado de São Paulo e deverá ainda ser verificado para as condições do Acre, sendo, entretanto, a melhor aproximação disponível no momento.

A taxa de aplicação em função de outros nutrientes, quando devidamente justificada pelos teores de fósforo, potássio ou de macronutrientes secundários (Ca, Mg, S), deve ser definida com base na mesma equação sugerida para nitrogênio, porém não necessitando de nenhum fator para corrigir o teor de elemento determinado no resíduo. As quantidades requeridas por cultura podem ser obtidas em Wadt (2005) e a equação para determinar a taxa de aplicação é dada por:

$$T_E = Q/E$$

Onde:

T_E = taxa de aplicação em Mg · ha^{-1}.

Q = quantidade do nutriente recomendada para a cultura em kg · ha^{-1}.

E = teor do elemento nutriente disponível no lodo em kg · Mg^{-1}.

O outro critério a ser observado é a taxa de aplicação em função da capacidade de elevação de pH do solo. Esta taxa baseia-se na capacidade do lodo de neutralizar a acidez do solo e deve considerar os resultados de curva de neutralização, baseados em medidas dos ensaios de elevação de pH provocada pelo uso crescente de lodo, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo não ultrapasse o limite de 6,5 (pH determinado em água para uma mistura solo: água de 1:2,5).

O quarto fator a ser considerado é a taxa de aplicação em função do teor de metais pesados. Neste caso, as taxas deverão ser calculadas para respeitar os limites anuais máximos permitidos (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo.

Metal	Taxa de aplicação anual máxima ($kg \cdot ha^{-1}$ período de 365 dias*)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Crômio*	65
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

*Baseado no limite de 500 mg · kg^{-1} solo e em um período de 20 anos de aplicação contínua.

Fonte: Adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1999.

Uma dificuldade da aplicação deste critério é determinar os limites de confiança para os teores dos metais no lodo de curtume produzido de forma a adotarem-se os valores máximos esperados no lodo como indicador para o cálculo das taxas de aplicação. Neste sentido, deve-se fazer o monitoramento do resíduo gerado, durante o período mínimo de um ano, para obter estes valores iniciais de referência.

O limite máximo de acumulação de metais no solo é o último critério a ser observado, sendo importante para definir as taxas de reaplicação do lodo nas áreas agrícolas. Deve-se calcular a carga acumulada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação (Tabela 3).

Tabela 3. Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo ($kg \cdot ha^{-1}$)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1.500
Chumbo	300
Crômio*	1.300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2.800

*Baseado no limite de 500 mg · kg^{-1} solo.

Fonte: Adaptada de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1999.

Além dos critérios acima, há preocupação quanto ao potencial do lodo de curtume para causar salinização do solo, o que poderia ocorrer em função de acidentes na descarga dos produtos, concentrando altas doses em determinados locais, ou mesmo devido a reaplicações excessivas em uma mesma área. Também não se deve descartar a avaliação pedológica (zoneamento específico), visto que solos hidromórficos, com diferença textural abrupta ou rasos, são mais susceptíveis à salinização.

3. Potencial Agrícola para o Uso do Lodo de Curtume

Do ponto de vista econômico, o uso dos resíduos como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas, com rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais (UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1979).

Em função da origem e do processo de obtenção utilizado, o lodo de curtume apresenta composição muito variável, sendo um material ainda rico em matéria orgânica, nitrogênio, cálcio e micronutrientes e com uma excelente relação C/N (Tabela 4).

As características de altos teores de nitrogênio e uma relação C/N baixa sugerem sua utilização como fonte de nitrogênio, enquanto o elevado teor de matéria orgânica o torna indicado como condicionador de algumas propriedades físicas dos solos.

Tabela 4. Característica físico-química do lodo de curtume coletado em curtume do Município de Turuçu, RS.

Característica	Lodo de serragem cromada	Lodo de caleiro
Umidade ($g \cdot kg^{-1}$)	856	833
pH	7,1	11,8
C-org ($g \cdot kg^{-1}$)	595	298
PN %	4,2	40,9
N ($g \cdot kg^{-1}$)	34,1	25,9
P ($g \cdot kg^{-1}$)	2,5	3,1
K ($g \cdot kg^{-1}$)	1,0	1,8
Ca ($g \cdot kg^{-1}$)	31	180
Mg ($g \cdot kg^{-1}$)	1,5	2,2
Na ($g \cdot kg^{-1}$)	5,9	42,3
Cr^{+3} ($g \cdot kg^{-1}$)	36	0,023
Cr^{+6} ($g \cdot kg^{-1}$)	0	0
C/N	17,4	11,5

Fonte: Konrad; Castilhos, 2002.

Do ponto de vista químico, sua utilização seria limitada pelas quantidades excessivas de sódio e de crômio. O sódio é decorrente do tratamento das peles com produtos à base desse elemento, entre eles hidróxido de sódio e bissulfito de sódio. Corroboram com estes resultados Alcantara, (1999), Selbach et al. (1991) e Gutterres (1996).

Com relação à presença de metais pesados com potencial de contaminação do solo, embora suas quantidades geralmente mostrem valores abaixo dos limites considerados críticos pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (UNITED STATES, 1980), as aplicações contínuas devem ser monitoradas com base nos parâmetros estabelecidos no item Disposição do lodo de curtume em áreas agrícolas.

3.1. Efeito no Solo

3.1.1. Fertilidade do Solo

As quantidades de N contidas no lodo podem variar de 1 a 64 g · kg^{-1}, em base seca (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003), e o nitrogênio contido na fração orgânica do lodo de curtume não é prontamente disponível, dependendo da mineralização para ser disponibilizado às plantas. Isto implica na necessidade de estabelecer sua equivalência agronômica a fim de assegurar que a quantidade de resíduo aplicada irá disponibilizar nitrogênio suficiente para as plantas.

Souza et al. (2007b) observaram que a aplicação de 300 kg de N orgânico, tendo como fonte dois lodos de curtume (caleiro e decantador primário), resultou em uma acumulação de N em plantas de milho, cultivadas em vaso, equivalente à aplicação de 100 kg de N na forma de sulfato de amônio. A aplicação de maiores doses de N orgânico na forma de lodo apresentou menores acumulações totais de N nas plantas, provavelmente devido a problemas relacionados à salinização (SILVA et al., 2007). Doses de N orgânico equivalentes a 600 kg N · ha^{-1} causaram problemas no desenvolvimento das plantas, devendo-se evitar aplicações desta magnitude tanto para o lodo de caleiro como para o lodo de decantador primário (SOUZA et al., 2007a).

Deve-se ainda considerar o efeito do lodo sobre a mineralização do nitrogênio do solo. Camargo et al. (1998) verificaram que o potencial de mineralização do nitrogênio é afetado pela aplicação de lodo de curtume, sendo até quatro vezes maior nos solos onde o lodo foi aplicado.

Do ponto de vista da nutrição mineral das plantas, deve-se considerar não só o potencial de mineralização do N contido no lodo de curtume, mas também seus efeitos secundários para o desenvolvimento da planta, como por exemplo, a toxicidade de elementos afetando o metabolismo normal das plantas.

Além do efeito relacionado à fertilização nitrogenada, com um poder de neutralização de 4% a 40%, o lodo de curtume representa um material com excelente poder corretivo da acidez e fonte de cálcio.

Ferreira et al. (2003) verificaram elevação do pH do solo de 4,9 para 6,0 e neutralização do Al trocável de 6,0 para 2,3 $mmol_c \cdot dm^{-3}$ com a adição de 21 $Mg \cdot ha^{-1}$ de lodo de curtume, resultando ainda na mesma produtividade para a soja e o milho, em relação ao tratamento que recebeu 3,4 $Mg \cdot ha^{-1}$ de calcário (PRNT de 100%).

Ao avaliar o efeito de doses de lodo suficientes para fornecer de 50 a 600 kg de N orgânico $\cdot$ ha^{-1}, aplicadas a uma profundidade de 0 a 5 cm em amostras de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, em vasos, Bertotti et al. (2007) verificaram que as maiores doses de lodo aplicadas aumentaram o pH do solo na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, havendo também aumento do teor de Ca trocável na camada superior e de magnésio na camada inferior, além de redução da acidez potencial nas duas camadas, neste caso somente para o tratamento com a maior dose de N orgânico.

Dada a característica alcalina do lodo de curtume, seu efeito em aumentar o pH e diminuir a acidez potencial do solo já era esperado. Mesmo o aumento do teor de Ca trocável na camada superior pode ser explicado pela conjunção do efeito alcalino com os altos teores de Ca encontrados no lodo, ficando este efeito restrito à camada de aplicação pela baixa mobilidade do cálcio. Por outro lado, o aumento do teor de Mg trocável em profundidade indica o potencial deste resíduo para intensificar as perdas deste nutriente por lixiviação, o que a longo prazo poderia resultar em desequilíbrios da relação Ca/Mg no complexo de troca do solo na zona radicular.

3.2. Efeito sobre a Microbiota do Solo

O lodo de curtume pode ser altamente poluidor à medida que concentra elevada carga orgânica e inorgânica, como fenóis, sulfetos, sódio e cromo. Martines et al. (2006) avaliaram a mineralização do carbono orgânico do lodo de curtume, aplicado em solos com diferentes classes texturais. Foi observado que a maior liberação de CO_2 em solos tratados com lodo de curtume não foi devido à incorporação de matéria orgânica e nutrientes, mas principalmente ao efeito corretivo e à ação inoculante. O processo de mineralização do carbono, adicionado por meio do lodo de curtume, é dividido em duas fases distintas, uma de aproximadamente seis dias, com mineralização intensa, e outra mais lenta, na seqüência, observando-se a tendência de redução e estabilização do fluxo de carbono na forma de CO_2.

Castilhos et al. (2000) relataram que a aplicação de lodo de curtume em doses que incorporem até 500 mg $\cdot$ kg^{-1} de Cr^{+3} aumenta a atividade e as populações de bactérias, actinomicetos e fungos. Konrad e Castilhos (2002) verificaram que a produção vegetal é beneficiada pela aplicação de lodo de curtume, e este efeito associa-se principalmente à liberação do nitrogênio orgânico presente no lodo aplicado. O lodo ainda apresentou efeitos benéficos sobre a atividade microbiana, sem que a população microbiana fosse reduzida pela adição em doses de até 5.000 mg de Cr^{3+} $\cdot$ kg^{-1} de solo.

O maior estímulo do crescimento das populações microbianas na presença de matéria orgânica, em relação ao efeito inibitório de metais, pode

ser freqüentemente observado em solos que receberam resíduos orgânicos. No entanto, a análise isolada pouco reflete as alterações na qualidade do solo.

Além disto, os efeitos negativos da aplicação de Cr^{+6} sobre as populações e a atividade da microbiota do solo diminuem com o tempo e com a aplicação de fontes orgânicas que auxiliam na sua redução à forma Cr^{+3}, de menor toxicidade.

A ausência de efeitos negativos da aplicação sobre os microorganismos do solo não é uma situação que normalmente deveria ser esperada, visto que a biomassa microbiana e suas atividades são afetadas pela presença de agentes potencialmente poluentes (LAMBAIS; SOUZA, 2001). Provavelmente, devam ser utilizados dados biológicos compostos por mais de uma variável, como por exemplo, a atividade enzimática e o C da biomassa microbiana, para que o efeito destes resíduos nos microorganismos do solo seja mais bem elucidado.

3.2.1. Efeito na Planta

A utilização do lodo de curtume tem-se mostrado uma excelente tecnologia para a recuperação de áreas degradadas pelo uso agrícola intensivo.

No Estado do Acre, em área tratada com lodo de curtume, a produtividade média do milho sem adubação de cobertura foi de 3.370 kg · ha^{-1} (SOUZA et al., 2007b), superior à média regional que é de 1.495 kg · ha^{-1}. Neste experimento, onde foram testados seis diferentes híbridos de milho (cinco híbridos Pioneer e um Bandeirantes), os Bandeirantes e Pioneer 30F33 apresentaram as menores produtividades (2.325 e 2.855 kg · ha^{-1}, respectivamente), enquanto os híbridos Pioneer P3041 e Pioneer 30K75 apresentaram, na ausência de adubação de N em cobertura, as maiores produtividades (4.382 e 3.986 kg · ha^{-1}, respectivamente).

Estes resultados são bastante significativos, indicando que apenas a utilização de materiais genéticos mais produtivos em áreas recuperadas com a adição de lodo de curtume pode representar um ganho de produtividade de até 2.887 kg · ha^{-1}, em relação à média regional, ou de 2.057 kg · ha^{-1} em relação ao material genético de menor potencial produtivo (SOUZA et al., 2007b).

Nesse mesmo estudo, a aplicação de apenas 40 kg N · ha^{-1} resultou em melhoria da produtividade da cultura. Com exceção do híbrido Pioneer P3041, cujo ganho de produtividade foi de apenas 10%, os demais materiais testados apresentam um aumento de produtividade que variou de 37% para o Pioneer 30K75 até 57% para o Pioneer 30F33 (SOUZA et al., 2007b). Nesse mesmo trabalho, com relação à aplicação de 80 kg de N · ha^{-1}, em geral o ganho de produtividade foi inferior a 20% (em comparação com a aplicação de 40 kg N · ha^{-1}), independente da fonte de N utilizada (Pioneer 30F33, Pioneer 30F80, Pioneer 30K75 e Pioneer P3041). Entretanto, foi superior a 35% para os híbridos Bandeirantes e Pioneer 30F90 quando foi utilizado como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio, em comparação com a uréia.

Segundo Souza et al. (2007b), a combinação das tecnologias simples, como a utilização de lodo de curtume nas doses de 40 m^3 · ha^{-1} (teor de umidade em torno de 95%), aliada à adubação nitrogenada com uréia na dose de 80 kg N · ha^{-1}, e a utilização de sementes de híbridos com maior potencial produtivo,

mesmo mantendo-se todas as demais condições do sistema de produção atual, resultam em produtividades de milho entre 5.300 e 5.700 kg · ha^{-1}, ou seja, mais de três vezes superiores à média regional.

A maior produtividade em área tratada com lodo de curtume nos solos da região já foi observada em outro ensaio experimental por Wadt et al. (2007b), mesmo sem alterações significativas na fertilidade do solo (WADT et al., 2007a). Segundo Wadt et al. (2007b), apenas a utilização do lodo proporciona aumento de 50% da produtividade das culturas, o que é muito significativo do ponto de vista econômico, se for considerado que este produto é gratuito. Entretanto, Nóbrega e Wadt (2007) não observaram efeito do lodo de curtume sobre características fitotécnicas de plantas de milho.

O potencial do lodo de curtume observado no Estado do Acre já havia sido também constatado em outras situações no Brasil. Costa et al. (2000) verificaram maiores rendimentos de matéria seca da parte aérea em plantas de soja em tratamentos que receberam NPK + calcário e lodo com cromo (250 kg ha^{-1}). Ainda, Ferreira et al. (2003) observaram que o tratamento com lodo de curtume proporcionou incrementos de 22% no rendimento de grãos de milho quando comparado com o tratamento NPK + calcário.

Estes resultados indicam o potencial do uso do lodo de curtume para a recuperação de áreas degradadas e para a fertilização de culturas agrícolas. Entretanto, ainda são necessários estudos para determinar as quantidades adequadas a serem aplicadas em função do tipo de solo e de suas propriedades químicas.

4. Riscos Ambientais Associados ao Uso de Lodo de Curtume em Solos

4.1. Contaminação por Metais Pesados

Os metais pesados, particularmente o Cr presente no lodo de curtume, são preocupantes devido ao aumento de sua concentração em plantas e no solo, podendo, portanto, acumular na cadeia alimentar.

O crômio é o décimo metal de maior ocorrência na crosta terrestre. A maioria do crômio está presente no mineral cromita, no qual dois átomos de Cr (III) substituem átomos de Fe (III) na estrutura da magnetita ($FeCr_2O_4$) (BARLETT, 1997).

O Cr ocorre em estados de oxidação muito variáveis (de 2+ a 6+) (Tabela 5) e é capaz de formar complexos aniônicos e catiônicos ($Cr(OH)^{2+}$, CrO_4^{2-}, CrO_3^{3-}). Normalmente, os compostos de Cr têm valência III e VI. A forma trivalente é pouco móvel, solúvel somente a pH menores que 5,0 ou quando complexada com moléculas orgânicas de baixo peso molecular, que possuem pouca mobilidade através da membrana celular (ZAYED; TERRY, 2003; AQUINO NETO; CAMARGO, 2000).

Embora o Cr (III) seja essencial à nutrição humana (ZAYED; TERRY, 2003), ainda não teve sua essencialidade comprovada para os vegetais superiores (FERREIRA et al., 2003), podendo, entretanto, influenciar os níveis de citocinina e hormônios de crescimento e interagir com ácidos nucléicos, induzindo o aumento de espermina (ZAYED; TERRY, 2003).

O Cr (III) em quantidades adequadas é essencial à nutrição humana e desempenha importante papel no metabolismo do nitrogênio (MERTZ, 1969), sendo carcinogênico apenas em altas concentrações (DL_{50} de 1.900 a 3.300 $mg \cdot kg^{-1}$) (ZAYED; TERRY, 2003).

Por outro lado, na forma hexavalente, o crômio apresenta-se como cromato, possuindo efeito carcinógeno e letal em animais e humanos em doses mais baixas (DL_{50} de 50 a 100 mg kg^{-1}) (ZAYED; TERRY, 2003).

Konrad e Castilhos (2002) encontraram a forma trivalente de Cr no resíduo de curtume originado da estação primária de tratamento de lodo. Nesta forma, quando encontrada no solo em pH menor do que 3,6, o crômio é fortemente adsorvido por caulinitas e montmorillonitas e, em pH acima de 5,5, forma óxidos e hidróxidos estáveis e de baixíssima solubilidade.

Tabela 5. Formas de crômio no ambiente.

Espécie	Estado de oxidação	Exemplo	Comentários
Elemento crômio	Cr (0)		Não ocorre naturalmente
Cr divalente	Cr (II)	$CrCl_2$	Instável e rapidamente oxidado a Cr (III)
Cr trivalente	Cr (III)	$CrCl_3$	Estável na natureza em minérios
Cr tetravalente	Cr (IV)	CrO_2	Não ocorre na natureza, intermediário da redução de Cr (V)
Cr pentavalente	Cr (V)	CrO_4^{3-}	Não ocorre na natureza, intermediário da redução de Cr (VI)
Cr hexavalente	Cr (VI)	$K_2Cr_2O_7$	Segunda forma mais estável. Raro na natureza. Produzido por fontes antropogênicas

Fonte: Zayed; Terry, 2003.

Os compostos orgânicos podem complexar o Cr^{3+} em pH acima de 5,5, fazendo com que o metal continue solúvel, até que encontre condições de precipitação. Por outro lado o Cr^{6+} é muito instável em solos e facilmente mobilizado em meio ácido ou alcalino. Portanto, o comportamento do Cr no solo é governado pelo pH, pelos teores de matéria orgânica e de fosfatos de Fe, Mn e Al (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992).

Enquanto a adsorção do Cr (VI) diminui com o aumento do pH, a adsorção do Cr (III) aumenta. Estas reações podem ser modificadas pela formação de complexos orgânicos com o metal.

O efeito dominante da matéria orgânica é estimular a redução do Cr (VI). Assim, substâncias orgânicas adicionadas ao solo, como o lodo de curtume,

causam um aumento significativo de duas espécies de Cr: o Cr associado a hidróxidos e Cr ligado à matéria orgânica.

A aplicação de lodo de curtume, associado a determinadas condições, como a presença de manganês em formas oxidadas (Mn^{3+} e Mn^{4+}), pode promover a sua oxidação para formas hexavalentes (MILACIC; STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, caracteristicamente tóxicas e mutagênicas para os animais superiores, plantas e microrganismos. Entretanto, essa oxidação pode ser lenta e em pequenas quantidades quando o Cr (III) é adicionado ao solo via lodo de curtume ou juntamente com uma fonte de matéria orgânica (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; JAHNEL et al., 1999).

Entretanto, em solos com altos teores de Mn redutível e drenagem deficiente, o Cr (III) pode ser oxidado a Cr (VI), tornando perigosa sua disposição, se os solos forem mantidos úmidos (ZAYED; TERRY, 2003), uma vez que com a sua secagem, o crômio é reduzido a Cr (III).

Portanto, a variabilidade no estado oxidativo do Cr em solos é de grande importância ambiental. Aplicado sucessivamente no solo, haverá tendência de acúmulo nas camadas superficiais, uma vez que, de modo geral, os metais são pouco móveis no perfil. Todavia, em função da constituição do solo, poderá ocorrer a movimentação vertical no perfil, colocando em risco a poluição do lençol freático.

Alcântara (1999) avaliou a eluviação de crômio em Latossolos muito intemperizados com diferentes texturas e verificou que foi maior no LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO em relação ao LATOSSOLO DISTROFÉRRICO, sendo favorecida pelos ácidos fúlvicos presentes na matéria orgânica do solo.

Nos microrganismos, o Cr (III) é requerido por um limitado grupo, em alguns processos metabólicos. Embora a aplicação de lodo de curtume possa aumentar a atividade microbiana (CASTILHOS; KONRAD, 2002), concentrações de Cr^{+3} a partir de 500 $mg \cdot kg^{-1}$ podem reduzi-la significativamente (GAUGLHOFER, 1985).

Uma fração dos metais acumulados no solo estará disponível para as plantas. Ao absorvê-los elas poderão se transformar em porta de entrada desses metais para a cadeia alimentar. Sabe-se, por outro lado, que as plantas possuem certa capacidade de se proteger contra o acúmulo de metais pesados no solo e podem, em alguns casos, acumular altos teores em seus tecidos sem apresentar sintomas de fitotoxicidade ou mesmo diminuição na produção. Um dos mecanismos de proteção é a compartimentalização dos metais nos diferentes tecidos (MALAVOLTA, 1994).

As plantas absorvem o crômio do solo na forma de Cr (VI). O Cr (III), além da baixa mobilidade no solo, apresenta movimento muito restrito através da membrana biológica. A reação do Cr (III) com proteínas e outros colóides forma compostos relativamente grandes, que possuem baixa permeabilidade em membranas.

Borges (2003) avaliou o efeito do crômio adicionado ao solo via lodo de curtume na cultura do braquiarão e do milho cultivados em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO. A análise dos resultados revelou baixos teores de crômio nas folhas de rebrota do braquiarão após o corte da parte aérea. Segundo o autor, as plantas de braquiarão são seletivas, absorvendo o crômio em baixas

quantidades e, conseqüentemente, acumulando-o também em baixos teores em seus tecidos. Este comportamento da forrageira é vantajoso, viabilizando a aplicação do resíduo em áreas de formação de pastagem. Na cultura do milho, os teores de crômio nos grãos maduros foram baixos e, provavelmente, não constituem um fator limitante para o uso agronômico do resíduo nesta cultura.

4.2. Salinização

A salinização consiste na acumulação de sais solúveis de sódio, magnésio e cálcio nos solos. Essa acumulação diminui o potencial osmótico da solução do solo, gerando dificuldades na absorção da água e também toxicidade de íons específicos pela interferência dos sais nos processos fisiológicos da planta, reduzindo o seu crescimento e desenvolvimento.

A presença de grandes quantidades de sais nos solos deve-se: a) ao material de origem do solo; b) à ausência ou escassez de chuvas nas regiões de clima árido e semi-árido, onde não ocorrem precipitações suficientes para percolar os sais solúveis do solo que, conseqüentemente, acumulam; c) à alta evapotranspiração; d) à salinização pela água do mar; e) à ascensão do lençol freático; f) à água de irrigação; g) à utilização de resíduos, entre outros (BOHNEN et al., 2000).

As quantidades de sódio no lodo de curtume podem variar de 5,9 a 66 g $\cdot$ kg^{-1} (base seca) e as de cálcio podem variar de 30 a 180 g $\cdot$ kg^{-1} de lodo (base seca) (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000; CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA et al., 2003).

A condutividade elétrica do extrato de saturação ou da solução do solo é normalmente utilizada como um indicador da salinidade. Costa et al. (2000) notaram efeitos residuais da adição de lodo de curtume em um PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO solódico, resultando em aumento da salinidade, devido ao aumento nos teores de sódio, cálcio e magnésio e da condutividade elétrica da solução do solo. O lodo de caleiro utilizado foi a fonte com maior efeito residual, aumentando a condutividade elétrica em mais de três vezes e o teor de sódio em mais de quatro vezes, enquanto a utilização de lodo de serragem cromada produziu menores efeitos sobre a salinidade do solo.

A aplicação de elevadas doses de resíduo pode inibir o crescimento das plantas. Provavelmente este efeito inibitório está associado à elevada quantidade de sais de sódio (AQUINO NETO; CAMARGO, 2000) e não à presença de metais pesados nestes resíduos.

Souza et al. (2007c) verificaram que a aplicação de 1.200 kg $\cdot$ ha^{-1} de N, na forma de lodo de decantador primário, resultou em morte das plantas aos sete dias após a emergência e este efeito esteve associado à elevação do pH e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

De acordo com Silva et al. (2007), quando a condutividade elétrica no extrato de saturação está acima de 0,6dS $\cdot$ m^{-1}, há grandes possibilidades de ocorrer efeitos negativos pela salinidade sobre o desenvolvimento vegetal.

Entretanto, em dosagens normais, Castilhos et al. (2002) constataram, em cultivo de milho, pequenos aumentos nos teores de Na, que não afetaram a condutividade elétrica, e aumentos nos teores de Ca em proporções equivalentes ao tratamento com calcário.

5. Conclusões

Os estudos sobre a utilização de lodo de curtume em solos da região sudoeste da Amazônia Brasileira ainda são poucos. Todas as informações geradas no Brasil foram provenientes de experimentos conduzidos nas regiões Sul e Sudeste, sob condições de solo e clima totalmente distintas.

Até o momento, os estudos conduzidos corroboram os benefícios já observados pelos produtores quanto ao uso do lodo de curtume, que proporciona melhoria da produtividade das culturas, podendo-se utilizar lodo para aplicar até 300 kg N · ha^{-1}.

Assim, enquanto a utilização de lodo de curtume na agricultura representa uma alternativa para a melhoria da produtividade e a reabilitação de áreas degradadas, favorecendo o processo produtivo, atenção deve ser dada aos seus potenciais efeitos negativos, evitando-se a contaminação destas áreas com poluentes, em especial sais de sódio e cálcio.

6. Referências

ALCÂNTARA, M. A. K. **Eluviação de crômio (III) de resíduo de curtume em colunas de dois Latossolos com diferentes texturas**. 1999. 187 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Unicamp, Campinas.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. Acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com $CrCl_3$ e resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 24, p. 225-235, 2000.

ARAÚJO, E. A. de; AMARAL, E. F. do; WADT, P. G. S.; LANI, J. L. Aspectos gerais dos solos do Acre com ênfase ao manejo sustentável. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005, p. 27-62.

BARTLETT, R. J. Chromium redox mechanisms in soils: should we worry about Cr(VI)? In: CANALI, S.; TITTARELLI, F.; SEQUI, P. **Chromium environmental issues.** Milano: FrancoAngeli, 1997. p. 1-20.

BERTOTTI, F.; PINTO, C. E. D. L.; TERAN, J. J.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Alterações em componentes da acidez do solo em resposta a aplicação de lodo de curtume, em vasos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.

BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Solos ácidos afetados por sais. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 122-126.

BORGES, J. D. **Efeitos do lodo de curtume nas culturas do milho (*Zea mays* L.) e do caupi braquiarao [*Brachiaria brizantha* (HOCHST EX A. RICK) STAPF.] cultivar Marandu em Latossolo Vermelho-Amarelo.** 2003. 244 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 15, de 24 dezembro de 2004.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004. 18 p.

BRASIL. **Portaria nº 49, de 25 de abril de 2005.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005. 4 p.

CAMARGO, F. A. O.; SCHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, A. S.; SCHOLLES, D. Potencial de mineralização do nitrogênio presente em lodo de curtume adicionado ao solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA E FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBCS, 1998. 863 p.

CASTILHOS, D. D.; KONRAD, E. E. Alterações microbiológicas decorrentes de adição de lodos de curtumes. **Magistra,** v. 14, n. 1, 2002. Disponível em: < http://www. magistra.ufrb.edu.br/3 _ 02 _ 14.html>. Acesso em: 19 nov. 2007.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, G. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 26, p. 1083-1092, 2002.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J. Atividade microbiana em solo suprido com lodo de curtume e como hexavalente. **Revista Brasileira de Agrociência,** v. 6, n. 1, p. 71-76, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Norma P.4.230 - Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas** – critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32 p.

COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; KONRAD, E. E.; RODRIGUES, C. G.; PASSIANOTO, C. C. Efeito residual da adição de lodos de curtume sobre o rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: SBCS, 2000. 1 CD-ROOM.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens.** Processos, causas e estratégias de recuperação. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152 p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSAN, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimentos de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 27, p. 755- 763, 2003.

GAUGLHOFER, J. Environmental aspects of tanning with chromium. **Journal of the Society Leather Technologists and Chemists**, v. 70. p. 11-13, 1985.

GUTTERRES, M. Tecnologia da produção do couro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA QUÍMICA, 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal Rio Grande do Sul, 1996.

GUTTERRES, M. **Tendências emergentes na indústria de couros.** Departamento de Engenharia Química – Universidade do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http:\\ www.enq.ufrgs.br/dequi/pos/projetos/curtumes>. Acesso em: 14 ago. 2007.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número mais provável de microorganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 23, p. 553-559, 1999.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Flórida: CRC Press, 1992. 365 p.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento de milho decorrentes da adição de lodo de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 257-265, 2002.

LAMBAIS, M. R.; SOUZA, A. G. Impacto de biossólidos nas comunidades dos solos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 269-280.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental:** micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153 p.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1149-1155, 2006.

MERTZ, W. Chromium occurence and function in biological systems. **Physiological Review,** v. 49, p.163-239,1969.

MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in tannery wast and sewage sludje-amended soils. **Enviromental Science and Tecnology,** v. 29, n. 2, p. 506-514, 1995.

MOROKAWA, T. Uso e manejo das florestas nativas. In: WORKSHOP SOBRE RECUPEARAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais...** Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1991, p. 53-54.

NOBREGA, M. de S.; WADT, P. G. S. Características da espiga de milho em função do nitrogênio aplicado em cobertura. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.

PACHECO, J. W. F. Curtumes. In: BRAILE, P. M.;CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo: CETESB, 1979. cap. 11. p. 233-278.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água.** Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-23.

SANTOS, A. M. M.; CORREIA, A. R.; ALEXIM, F. M. B.; PEIXOTO, G. B. T. **Panorama do setor de couro no Brasil**. Disponível em: <www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/ is18 _ gs2pdf>. Acesso em: 15 ago. 2007.

SELBACH, P.; TEDESO, M. J.; GIANELLO, C.; CAVALETT, L. E. Descarte e biodegradação de lodo de curtume no solo. **Revista Couro**, v. 6, p. 51-62, 1991.

SILVA, A. L. F. da; SOUZA, L. F. de; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V.; TEIXEIRA, S. T. Condutividade elétrica e pH no extrato de saturação em solos tratados com duas fontes de lodo de curtume. In: SEMINÁRIOO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007. 2 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F. de; SILVA, A. L. F. da; BERTOTTI, F.; TEIXEIRA, S. T.; WADT, P. G. S.; PEREZ, D. V. Absorção e partição do nitrogênio em plantas de milho adubadas com lodo de curtume. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007a. 2 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; BERTOTTI, F.; SILVA, A. L. F. da; PÉREZ, D. V. Efeito do N em Cobertura na Produtividade do Milho Cultivado em Área Tratada com Lodo de Curtume. In: SEMINÁRIOO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007b. 3 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. F.; WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V. Avaliação do Nitrogênio Orgânico de Duas Fontes do Lodo de Curtume sobre o Rendimento de Matéria Seca na Germinação de Plantas de Milho. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2007, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC. 2007c. 3 p. 1 CD-ROM.

STOMBERG, A. L.; HEMPHILL JUNIOR, D. D.; VOLK, V. V. Yield and elemental concentration of sweet corn grown on tannery waste-amended soil. **Journal Environmental Quality**, v. 13, p. 162-166, 1984.

UNITED STATE. Department of Agriculture. **Report and recommendation on organic farming**. Washington, D. C, 1980. 94 p.

UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sludge treatment and disposal**. Cincinnatti: EPA, 1979. 2 v.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E. S.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. da C.; ALVES, L. da S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003, 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).

WADT, P. G. S. Recomendação de adubação para as principais culturas. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2005, p. 63-92.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; NÓBREGA, M. de S. Alteração na fertilidade do solo, teor de nutrientes e no estabelecimento inicial de milho cultivado em áreas tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira:** livro de resumos... Porto Alegre: UFRS; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007a. 360 p.

WADT, P. G. S.; PÉREZ, D. V.; NÓBREGA, M. de S. 2007b. Produtividade do milho em área de pastagem degradada, tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**: livro de resumos... Porto Alegre: UFRS; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007b. 360 p.

ZAYED, A. M.; TERRY, N. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. **Plant and Soil**, v. 249, p. 139-156, 2003.