

Uso do Solo e Adubação de Espécies Florestais nas Condições Pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu, Coari, AM



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Ocidental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 136

Uso do Solo e Adubação de Espécies Florestais nas Condições Pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu, Coari, AM

*Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Wenceslau Geraldes Teixeira
Maria Eleusa de Oliveira Barros
Rodrigo Santana Macedo
Gilvan Coimbra Martins
Rodrigo Demonte Ferraz
Ênio Fraga da Silva*

Embrapa Amazônia Ocidental
Manaus, AM
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Ocidental

Rodovia AM 010, Km 29, Estrada Manaus/Itacoatiara

Caixa Postal 319

Fone: (92) 3303-7800

Fax: (92) 3303-7820

<https://www.embrapa.br/amazonia-ocidental>

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Celso Paulo de Azevedo*

Secretária: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

Membros: *Maria Augusta Abtibol Brito de Sousa, Maria Perpétua Beleza Pereira e Ricardo Lopes*

Revisor de texto: *Maria Perpétua Beleza Pereira*

Normalização bibliográfica: *Maria Augusta Abtibol Brito de Sousa*

Diagramação: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

Foto da capa: *Maria do Rosário Lobato Rodrigues*

1ª edição

1ª impressão (2017): 300

Todos os direitos reservados.

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

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação
Embrapa Amazônia Ocidental**

Uso do solo e adubação de espécies florestais nas condições pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu, Coari, AM / Maria do Rosário Lobato Rodrigues... [et al.]. – Manaus : Embrapa Amazônia Ocidental, 2017.
40 p. : il. color. - (Documentos / Embrapa Amazônia Ocidental, ISSN 1517-3135; 136).

1. Adubação. 2. Essência florestal. 3. Uso do solo. 4. Vegetação. I. Rodrigues, Maria do Rosário Lobato. II. Teixeira, Wenceslau Geraldes. III. Barros, Maria Eleusa de Oliveira. IV. Macedo, Rodrigo Santana. V. Martins, Gilvan Coimbra. VI. Ferraz, Rodrigo Demonte. VII. Silva, Ênio Fraga da. VIII. Série.

CDD 631.4

© Embrapa 2017

Autores

Maria do Rosário Lobato Rodrigues

Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

Wenceslau Geraldes Teixeira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoecologia, pesquisador da Embrapa Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Maria Eleusa de Oliveira Barros

Bióloga, doutora em Ecologia de Solos, pesquisadora-adjunta do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), Manaus, AM.

Rodrigo Santana Macedo

Licenciado em Ciências Naturais, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, bolsista CTPetro Amazônia, Manaus, AM.

Gilvan Coimbra Martins

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Ênio Fraga da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Agradecimentos

À Rede CTPetro Amazônia e às fontes financiadoras: Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Petrobras.

Apresentação

As atividades de prospecção e exploração de petróleo e gás, em áreas de Florestas Tropicais na Amazônia, requerem a abertura de clareiras e estradas na floresta. O processo de regeneração natural da vegetação, que se inicia após o abandono dessas clareiras, é fortemente influenciado pela natureza e intensidade do impacto imposto aos solos.

Esta publicação se propõe a reunir informações sobre uso do solo e necessidades nutricionais de espécies florestais tropicais nas condições pedoclimáticas da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), Província Petrolífera de Urucu, em Coari, AM. Resulta, portanto, do relato de atividades e de um conjunto de dados gerados durante o desenvolvimento das pesquisas nos temas: Manejo e fertilidade do solo e Pedologia e física do solo, no âmbito do Projeto “Caracterização e análise da dinâmica do solo”, parte integrante do Projeto em rede “Avaliação, prevenção e recuperação dos danos causados em áreas de prospecção e transporte de gás natural e petróleo na Amazônia Brasileira”, Rede Ambiental 03 – CTPetro Amazônia.

Dessa forma, este documento representa uma maneira de organizar e disponibilizar informações que auxiliem na recomendação de adubação para espécies nativas ou adaptadas às condições pedoclimáticas da

Base Petrolífera de Urucu e de outras áreas semelhantes da Amazônia, onde a intervenção humana modificou, em escala variável, as condições de equilíbrio dos sistemas naturais.

Celso Paulo de Azevedo

Chefe-Geral Interino

Sumário

Uso do Solo e Adubação de Espécies Florestais nas Condições Pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu, Coari, AM.....	11
Introdução.....	11
Solos: pedologia, características físicas e químicas e manejo.....	14
Recomendação de adubação no campo.....	29
Recomendação de calagem.....	30
Recomendação de macro e micronutrientes.....	33
Referências.....	37

Uso do Solo e Adubação de Espécies Florestais nas Condições Pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu, Coari, AM

Maria do Rosário Lobato Rodrigues

Wenceslau Geraldes Teixeira

Maria Eleusa de Oliveira Barros

Rodrigo Santana Macedo

Gilvan Coimbra Martins

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

Ênio Fraga da Silva

Introdução

A intervenção humana vem modificando, em escala variável, as condições de equilíbrio dos sistemas naturais. Nesse contexto, a intervenção antrópica na região de Urucu, introduzida pela atividade da exploração de petróleo e gás desenvolvida pela Petrobras desde 1986, tem gerado grande quantidade de pequenas áreas, denominadas clareiras, com diferentes intensidades de degradação.

A utilização dessa região pela Petrobras tem alterado pontos da paisagem florestal da área, devido à abertura de clareiras para prospecção e estabelecimento de poços de petróleo, que são codificadas como LUC (Leste do Rio Urucu) e RUC (Oeste do Rio Urucu), e para extração de material para abertura e manutenção das estradas de acesso aos poços; transporte de petróleo e gás (oleodutos e gasodutos) que são codificadas como JAZ (Jazidas) (PETROBRAS, 2003).

A retirada da cobertura vegetal, seguida ou não da remoção dos horizontes superficiais, propicia a exposição da superfície do solo ao sol e à chuva, provocando mudança nas condições de sua bioestrutura, o que resulta na compactação da superfície e na formação de adensamento em subsuperfície, dando origem a barreiras para a infiltração e a correta circulação de água, nutrientes e ar e impedem o livre desenvolvimento radicular, implicando na perda de qualidade dos solos para o suporte da vida vegetal. Assim, as clareiras presentes na região de exploração petrolífera de Urucu possuem históricos diferenciados de usos e ocupação, dadas as diferentes ações empregadas nas suas formações. A Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), conhecida também como Base de Extração Petrolífera do Urucu ou simplesmente Base do Urucu ou Província do Urucu (Figura 1), está localizada no Município de Coari, à margem esquerda do Rio Urucu, no Estado do Amazonas, Brasil. Apresenta uma área de 514.000 ha, situada entre os paralelos $4^{\circ}51'18''S$ e $4^{\circ}52'16''S$ e os meridianos $65^{\circ}17'58''$ e $65^{\circ}20'01''W$, com altitudes entre 60 m e 70 m. O clima, na classificação de Köpen, é do tipo Af, constantemente úmido, correspondendo ao clima de floresta tropical.



Figura 1. Base de Extração Petrolífera do Urucu, no Município de Coari, AM, Brasil.

Para determinar os efeitos produzidos pela atividade e definir as estratégias adequadas para recuperação, conservação e manejo dessas áreas, é necessário ter-se uma avaliação integrada dos atributos do meio físico da região de Urucu, Coari, AM, caracterizar as potencialidades e as vulnerabilidades dos solos da região e desenvolver estudos que permitam o estabelecimento de diferentes coberturas vegetais, com o intuito de acelerar a revegetação dos ambientes terrestres degradados na região, oriundos das atividades petrolíferas.

O processo de regeneração natural da vegetação, que se inicia após o abandono das clareiras, é fortemente influenciado pela natureza e intensidade do impacto imposto aos solos. Nas áreas de clareiras submetidas aos impactos de menor intensidade, onde a camada superficial do solo e os bancos de sementes e de plântulas são preservados, o processo de regeneração é facilitado, já que propágulos originados da vegetação preestabelecida contribuem para o estabelecimento da nova comunidade (RODRIGUES, 2017).

Em condições de intenso impacto sobre o solo, devido à remoção da camada superficial seguida por compactação, o processo de regeneração natural normalmente é muito lento ou mesmo inexistente, especialmente quando os horizontes A e B são retirados, restando tão somente o horizonte C. Sob essas condições, o solo desnudo fica exposto à ação erosiva das chuvas e à incidência direta da luz, além de alterações na temperatura e umidade relativa do ar e do solo, o que dificulta a germinação das sementes e o estabelecimento de plântulas, impedindo o desenvolvimento de qualquer tipo de vegetação. É preciso intervir no sistema por meio de técnicas que minimizem os processos erosivos e recuperem as características físicas, químicas e biológicas dos solos, criando-se condições para germinação e estabelecimento de uma nova vegetação ou para o sucesso de plantios com espécies arbóreas, de modo que a vegetação que recobre as áreas degradadas renove o potencial produtivo do solo (RODRIGUES, 2017).

Nessas condições, é primordial conhecer as classes de solos predominantes na região de Urucu, caracterizando sua fertilidade e analisando sua dinâmica e vulnerabilidade que permita um melhor planejamento do uso do solo da Bacia do Rio Urucu, e de outras áreas semelhantes da Amazônia, por meio do desenvolvimento de tecnologias que incluam a integração de técnicas de manejo de solos e de vegetação, a fim de intervir, acelerar ou direcionar o processo de regeneração nas áreas degradadas pelas atividades de prospecção e exploração de petróleo na Amazônia.

Por outro lado, em se tratando dos solos da região Amazônica, existe uma lacuna científica e tecnológica relativa a recomendações e efeitos da adubação sobre o desenvolvimento de espécies florestais tropicais, tanto na fase de mudas como em plantios em campo.

É válido esclarecer que o objetivo básico desta publicação foi reunir e apresentar informações e procedimentos que possam contribuir para o planejamento e a recomendação de adubação de espécies florestais, nativas ou adaptadas às condições pedoclimáticas da Base Petrolífera de Urucu e de outras áreas semelhantes da Amazônia, principalmente considerando-se o pouco conhecimento existente sobre as respostas às variações ambientais e exigências nutricionais dessas espécies.

Solos: pedologia, características físicas e químicas e manejo

A correta identificação das principais classes de solos ocorrentes no Município de Coari, além da importância científica para o conhecimento da região, é também de fundamental importância para o planejamento de diversas atividades praticadas na Província Petrolífera do Rio Urucu, especialmente para apoiar a regeneração vegetal e a recuperação da capacidade produtiva do solo das áreas de clareiras geradas para atender diferentes finalidades inerentes às atividades da BOGPM.

Assim, com base em levantamento realizado nos acervos da Embrapa e de outras instituições, como Universidade Federal do Amazonas (Ufam),

níveis de fertilidade do solo, pouco sensíveis à acidez do solo e tolerantes a altos níveis de alumínio. Corroboram essa assertiva os resultados analíticos apresentados na Tabela 1. Nessa tabela, são mostradas as variações na composição granulométrica e nos teores dos nutrientes nas amostras de solo coletadas na camada superficial das clareiras (0 cm – 20 cm) antes da instalação dos experimentos de regeneração vegetal, utilizados para nortear a definição preliminar de recomendação de manejo e adubação das espécies florestais no campo.

Pelos resultados da análise granulométrica (Tabela 1), verifica-se uma pequena variação dos valores dentro da mesma classe textural, com predomínio das classes texturais: argila siltosa, franco-argilo-siltosa, franco-siltosa e argilosa. Na fração areia total destaca-se a fração areia fina, o que somado aos valores de silte podem estar contribuindo para a reduzida capacidade de infiltração da água nas áreas de clareira, muito provavelmente causada pelo arrançamento das partículas formando crostas impermeáveis e redução da porosidade, como demonstrado nos estudos conduzidos por Teixeira et al. (2006b, 2007, 2009); Silveira et al. (2009). Na ausência de vegetação, como consequência da baixa infiltração da água das chuvas de maiores intensidades, ocorre escoamento superficial, erosão do solo e, conseqüentemente, possível assoreamento dos igarapés, dependendo do relevo. Portanto, a retirada da cobertura vegetal propiciou a exposição da superfície do solo ao sol e à chuva, provocando mudança nas condições da bioestrutura do solo, o que resulta na compactação da superfície ou mesmo na exposição da subsuperfície adensada, dando origem a barreiras para a correta circulação de água, nutrientes e ar, impedindo o livre desenvolvimento radicular, o que implica na perda de qualidade dos solos para o suporte da vida vegetal.

Nessas circunstâncias, o sucesso da regeneração vegetal das clareiras demanda a adoção de práticas preventivas, como seleção de classes de solo mais favoráveis, prevenção da compactação do solo pelas máquinas e práticas corretivas, visando a uma maior cobertura do solo, que permita uma reconstrução da distribuição poral do solo e resulte em fluxos de massa e energia mais favoráveis ao desenvolvimento da vegetação e da fauna edáfica.

Tabela 1. Amplitude de variação e valores médios (n = 50) observados para as características químicas e físicas das amostras compostas de solo coletadas na camada superficial (0 cm – 20 cm) das clareiras da Base de Exploração Petrolífera de Uruçu, Coari, AM, antes da implantação dos experimentos. Análises realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental.

Macronutrientes ¹ , alumínio, alumínio mais hidrogênio e saturação por Al						
P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	m
mg/dm ³			cmol _c /dm ³			%
0,50 – 2,00	0,02 – 0,09	0,02 – 4,50	0,02 – 0,40	0,20 – 8,40	0,20 – 7,30	30 – 98
0,84	0,05	1,32	0,06	3,37	2,55	55,81
Nitrogênio, carbono orgânico ² e micronutrientes ¹						
N	C	M.O	Fe	Zn	Mn	Cu
	g/Kg					mg/dm ³
0,00 – 0,33	0,02 – 3,70	0,31 – 6,30	1,0 – 45,0	0,10 – 1,20	0,02 – 1,45	0,09 – 1,00
0,17	0,80	1,37	12,85	0,38	0,34	0,25
pH e Granulometria ³						
pH	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	
KCL	H ₂ O	g/kg				
	2.00 mm-0.20 mm	0.20 mm-0.05 mm	2.00 mm-0.05 mm	0.05 mm-0.002 mm	> 0.002 mm	
3,70 – 5,00	4,70 – 6,20	20 – 50	140 – 250	160 – 300	220 – 570	220 – 510
4,06	5,22	29	180	225	410	360

¹Método Mehlich 1; ²Método Walkley & Black; ³Método da Pipeta (NaHO).

Para um melhor entendimento dos padrões de intensidade das chuvas e da dinâmica da água no solo, estudos foram desenvolvidos, com o auxílio de um sistema automático de coleta de dados composto de um data-logger 23CR X (Campbell, Inglaterra) com fornecimento de energia por painel solar acoplado a 12 sensores TDR – CS 616 (Campbell), instalados nas profundidades de 10 cm, 30 cm e 50 cm, e um pluviômetro automático (Figura 3) (TEIXEIRA et al., 2007). O equipamento foi instalado na Jazida 21, clareira onde foram conduzidos experimentos de revegetação com espécies florestais nativas, com uso da adubação e plantas de cobertura para proteção do solo (RODRIGUES et al., 2005). Nessa clareira, o horizonte C do solo, pois os horizontes superficiais (horizontes A e B) foram removidos para retirada de material de solo para construção de estradas.

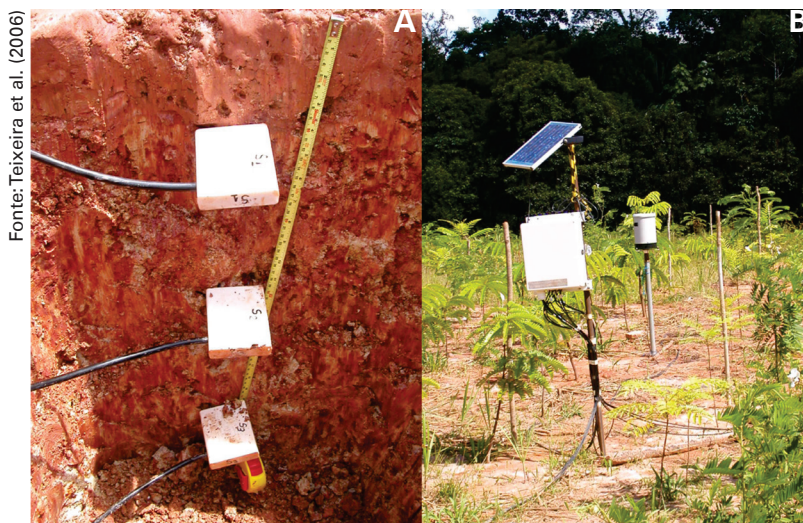


Figura 3. A) Detalhes dos sensores TDR; e B) Detalhe do coletor de dados e pluviômetro, instalados na clareira da Jazida 21 da Base de Operações Geológico Pedro de Moura, Coari, AM.

Os resultados mostraram que o período crítico das chuvas vai de novembro a maio, pois nesse período ocorrem eventos com intensidade de 22,45 mm/h; 50,8 mm/h e de 73,66 mm/h, em intervalos de 5, 3 e 60 minutos, usualmente concentrados no mês de março. Após

as chuvas, observa-se o aumento da umidade apenas na camada superficial do solo (10 cm), sendo bastante reduzida a variação da umidade nas camadas mais profundas (30 cm e 50 cm), indicando baixa movimentação da água no perfil, reduzida infiltração das chuvas e reduzida drenagem e depleção da água armazenada no solo por meio da absorção pelas raízes. Nesse período, os riscos de erosão são altos, devido às precipitações mais intensas e duradouras, conseqüentemente com maior energia cinética e poder erosivo, justificando a existência dos micropedestais (demoisseles ou chaminés de fadas) frequentes nas áreas de clareira (Figura 4) e praticamente ausentes nas áreas com cobertura do solo (floresta e áreas revegetadas). Esse fenômeno exemplifica a importância e efetividade da proteção do solo contra o salpicamento provocado pelo impacto direto das gotas de chuva no solo descoberto nas áreas alteradas, e a necessidade de evitar operações que aumentem a exposição da superfície do solo nesse período (TEIXEIRA et al., 2006b).

A reduzida movimentação da água no perfil solo pode ser explicada pela presença de uma estrutura quase maciça e ausência de poros de drenagem. O período menos chuvoso, em que os riscos de erosão são de moderados a baixos, vai de junho a outubro, sendo agosto o mês com menor número de dias com chuva. Torna-se evidente a necessidade de práticas conservacionistas que aumentem a resistência do solo (redução da erodibilidade) ou diminuam as forças do processo erosivo (erosividade das chuvas), por meio de práticas corretivas e preventivas visando principalmente a uma maior cobertura do solo contra o impacto direto da gota de chuva.

Um estudo complementar foi realizado para determinar o Índice de Erosividade das chuvas para a localidade de Coari, AM, utilizando os dados de precipitação mensal e anual da série histórica compreendida entre os anos de 1961 e 2001, fornecidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (MACEDO et al., 2007). O índice de erosividade para Coari, nesse período, foi de 8.899,90 MJ/ha.mm/ano, em que agosto foi o mês com menor poder erosivo, 158,87 MJ/ha.mm/

ano, em contraste com março, que apresentou elevado poder erosivo 1.350,50 MJ/ha.mm/ano (Figura 5). O valor obtido é semelhante ao obtido por Arruda (2005) para a localidade de Ucuru, Coari, AM (BOGPM), de 10.326,72 MJ/ha.mm/ano, e diferente do encontrado por Oliveira Júnior e Medina (1990) para Manaus. Provavelmente, o índice de erosividade em Manaus é maior porque as chuvas são mais concentradas.

Fonte: Teixeira et al. (2006b)

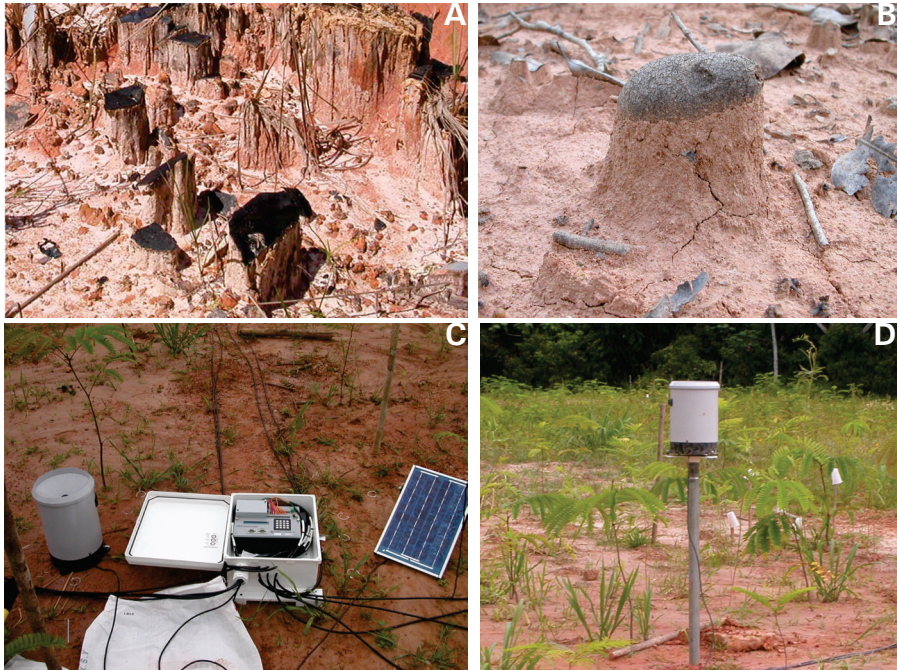
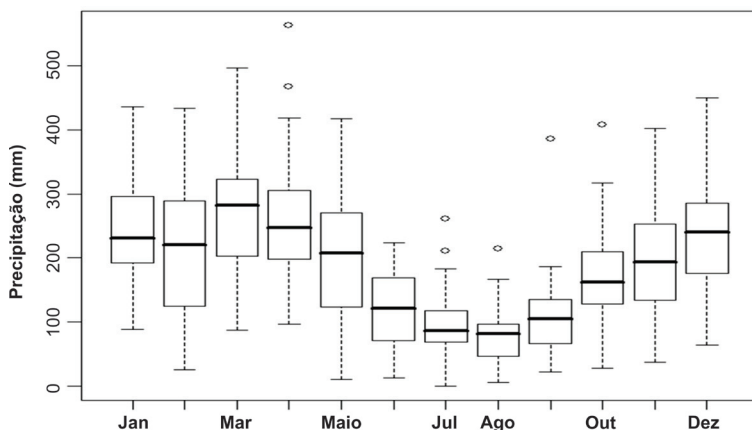


Figura 4. A e B) Microrrelevo com presença de pedestais (demoiselles ou chaminés de fada) indicando a ocorrência de salpicamento do solo e remoção pelo escoamento superficial. Essas feições residuais esculpidas abaixo de um objeto (folha, castanha, galho), cuja proteção não permitiu a remoção das partículas, são muito comuns nas áreas alteradas desprovidas de vegetação e permitem estimar a taxa de abaixamento da superfície; C e D) Detalhes do sistema de coleta automática de dados de precipitação (Data-logger Campbell CR 23X) com sistema de alimentação por bateria solar e pluviômetro automático.

Este estudo corrobora os resultados obtidos com o auxílio do sistema automático de coleta de dados da Campbell, definindo dois períodos bastante distintos: uma estação chuvosa (EC), com maiores valores

de precipitação, a qual compreende de dezembro a maio; e outro período mais seco (ES), que vai de junho a novembro. Os resultados permitiram concluir que a EC apresenta maior poder erosivo anual, correspondendo aproximadamente a 83% do índice de erosividade, ou seja, nesse período os riscos de perda de solo por erosão hídrica são expressivamente aumentados. Por outro lado, os meses de agosto e setembro, por apresentarem precipitações substancialmente menores, devem ser aproveitados para a realização de práticas de manejo que expõem os solos aos agentes erosivos, a fim de se evitar o arraste de nutrientes e perdas de material. Maiores detalhes sobre vários dos aspectos aqui abordados pela equipe de Pedologia e Física do Solo são apresentados em Teixeira et al. (2004, 2007), Macedo et al. (2006, 2007) e Silveira et al. (2009).



Fonte: Macedo et al. (2007).

Figura 5. Boxplot das médias mensais de precipitação no período entre 1961 e 2001, Coari, AM.

Do ponto de vista geológico, a região de Coari pertence à Formação Solimões. Os estudos desenvolvidos na região enquadram os perfis de Coari como do tipo caulinizado a fracamente lateritizado, sendo os sedimentos dominados por pelitos, argilitos e arenitos inconsolidados (HORBE et al., 2007). A composição mineralógica dominada por caulinita e por óxidos de ferro e alumínio dá origem a solos quimicamente pobres, predominantemente álicos e/ou distróficos,

devido à baixa CTC efetiva (em média $3,98 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e ao elevado teor de alumínio, ficando o complexo de troca saturado com este íon (a saturação por alumínio (m) observada foi em média de 56%). Nessas condições, o fósforo é um dos elementos mais problemáticos, não só pelas baixas concentrações, conforme mostram os resultados analíticos apresentados na Tabela 1, mas também devido à baixa disponibilidade causada pela adsorção por óxidos, hidróxidos e caulinitas.

Para melhor compreensão e caracterização pedológica dos solos da BOGPM, vários perfis foram abertos e amostrados (Figura 6). Apesar do fator clima – clima equatorial com altos níveis de precipitação e calor – e por associação dos mecanismos pedogenéticos de transformação e translocação, observa-se que o material de origem dos solos estudados confere a estes características físicas herdadas, notadamente a textura com preponderância da fração silte, que podem explicar a tendência desses solos a apresentar certa incipiência no desenvolvimento pedogenético. Em virtude dos elevados teores de alumínio (concentração maior que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), quase todos os horizontes dos perfis de solos estudados apresentaram em comum caráter alumínico, alítico ou álico, o que, aliado aos baixos teores de nutrientes e à reação acentuadamente ácida, resultam em solos de baixa fertilidade (FERRAZ et al., 2007).

A identificação de solos com diferentes características e susceptibilidade à erosão e diferentes graus de dificuldade da revegetação pode levar à seleção de áreas mais favoráveis à regeneração natural nas condições pedoclimáticas da BOGPM.

Destacam-se, entre os fatores que influenciam os teores totais dos nutrientes no solo, a textura e o teor de matéria orgânica dos solos. As principais fontes de nutrientes nos solos de textura mais fina (argilosos e siltosos) derivam de minerais de mais fácil decomposição que, sob condições drásticas de elevadas temperaturas e precipitação que favorecem a velocidade das reações químicas, físico-químicas e biológicas, são facilmente perdidos. Os fatores ambientais, durante

e após a formação do solo, determinam a natureza ácida ou alcalina da reação do solo. Assim, de modo geral, os solos formados sob condições de altas precipitações e boa drenagem são ácidos. Essas condições ambientais favorecem a lixiviação dos cátions básicos solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) com a consequente substituição por outros cátions menos solúveis, tais como H^+ e Al^{3+} .



Figura 6. Trabalho de campo para determinação dos limites das unidades de mapeamento, descrição e amostragem dos perfis modais para caracterização e classificação das classes de solos situados na Bacia Hidrográfica do Rio Urucu (BOGPM), Município de Coari, no Estado do Amazonas.

Nas condições pedoclimáticas da BOGPM, a média da capacidade de troca de cátions (CTC potencial) ficou abaixo de $5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo a participação das bases muito pequena, em geral abaixo de $1,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$. Embora o cálcio tenha variado de 0,02 a $4,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, os teores médios observados ficaram abaixo do valor mínimo de $1,50 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para o Ca (Tabela 1). Valores maiores que $1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ estão normalmente associados às amostras de solo coletadas na camada de 0 cm-10 cm e às clareiras que receberam calcário. A contribuição das bases no complexo de troca foi em ordem decrescente: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$, considerando os teores mínimos de $1,50 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para o Ca, 0,50

$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para o Mg $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e $0,10 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para o K (usando o método do duplo ácido – Mehlich-1). As relações Ca:Mg nas várias amostras analisadas variaram de alta a muito alta, indicando um desequilíbrio entre esses dois elementos. Daí a importância da escolha da fonte de calcário, isto é, usar preferencialmente calcário dolomítico ou magnesiano que apresentem teor mínimo de 5,1% de MgO, de modo a manter a relação Ca:Mg em intervalo de 1:1 a um máximo de 10:1, respeitando sempre o teor mínimo de $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ para o Mg.

O pH, juntamente com a calagem, é destacado na literatura como uma das principais características do solo que influenciam a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, devido principalmente ao efeito na solubilidade dos elementos químicos (PAVAN; MIYAZAWA, 1997; SOUSA; LOBATO, 2004; TISDALE et al., 2005). No caso dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , a disponibilidade aumenta com o aumento do pH, porque passam a ser os íons dominantes nos sítios de troca variáveis (cargas negativas dependentes de pH), substituindo progressivamente os íons H^+ e Al^{3+} . Nesse aspecto a calagem desempenha papel importante ao aumentar o pH do solo e fornecer Ca e Mg.

O aumento do pH até um valor em torno de 6 também melhora a disponibilidade do fósforo (P) porque causa a precipitação do Fe e Al, liberando o íon ortofosfato (H_2PO_4^-) para a solução do solo. Acima desse valor a disponibilidade do P volta a diminuir, devido à alteração na distribuição da espécie de P no solo e à formação de compostos de baixa solubilidade (fosfato de cálcio). No entanto, chama-se a atenção para a pobreza natural em P desses solos. Os resultados analíticos apresentados na Tabela 1 evidenciam teores extremamente baixos de P, independentemente dos teores de argila observados nas amostras de solo analisadas, portanto inadequados ao desenvolvimento da maioria das plantas.

Para os micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, B, o aumento do pH diminui a disponibilidade desses nutrientes para as plantas, devido à formação de precipitados nas formas de hidróxidos. Exceto para o Fe, os teores médios observados (Tabela 1) são muito baixos, especialmente os

teores de zinco e manganês, que em nenhuma das amostras de solo analisadas atingiram valores adequados (1,1 a 1,6 mg/dm³ de Zn e 2,0 a 5,0 mg/dm³ de Mn – Mehlich 1). Os estudos sobre a disponibilidade de micronutrientes em diferentes classes de solos da Amazônia, avaliando diferentes extratores (RODRIGUES, 1998; RODRIGUES et al., 2001), também mostraram, para a classe dos Espodosolos, Argissolos e Latossolos, valores baixos para todos os micronutrientes analisados pelo extrator Mehlich 1 (em mg dm³), variando de 0,06 a 0,26 para o Cu, 11 a 620 para o Fe, 0,27 a 6,25 para o Mn, 0,30 a 1,0 para o Zn. Independentemente do extrator utilizado e dos tratamentos aplicados, os teores disponíveis dos micronutrientes nos diferentes solos diminuiriam acentuadamente do primeiro para o terceiro cultivo.

Embora o pH tenha um efeito muito importante sobre a disponibilidade dos nutrientes, não deve ser usado sozinho na avaliação da fertilidade do solo, pois ele não reflete a acidez total de um solo, isto é, dois solos podem ter a mesma quantidade de H-total com diferentes H-solúvel e H-trocável, resultando em diferentes valores de pH. As formas de determinação do pH não se referem ao H-reserva ou potencial, que varia principalmente com a matéria orgânica, que em alguns casos pode ser responsável por mais de 80% da acidez de reserva ou potencial. Nessas condições, uma simples determinação de pH não reflete a capacidade total de acidez de um solo, constituindo-se assim em um indicador inadequado para determinar a necessidade de calagem desses solos.

As interferências provocadas pela abertura das clareiras modificam e, eventualmente, interrompem os ciclos de elementos importantes para o crescimento das plantas, perturbando ou destruindo a estrutura do solo; provocando diminuição mais ou menos drástica do teor de matéria orgânica e afetando a capacidade de absorção de nutrientes do solo pelas plantas. Os teores de MOS extremamente baixos apresentados na Tabela 1 indicam que, nas condições das áreas de clareiras de Urucu, a matéria orgânica é um dos fatores de qualidade do solo mais afetados pela retirada da vegetação. A amplitude de variação para o teor de carbono orgânico no solo foi de 0,02 g/kg a 3,70 g/kg nas diferentes

classes texturais, muito abaixo dos valores normalmente observados nos solos sob floresta primária (em torno de 15 g/kg a 30 g/kg).

Por outro lado, sabe-se que qualidade e quantidade de serrapilheira e de húmus são decisivas tanto para manter a estrutura do solo quanto para a formação de um estoque suficiente de nutrientes – ambos os fatores são essenciais para o desenvolvimento das espécies vegetais – porque a fração mineral do solo tem uma capacidade de retenção limitada para nutrientes. Portanto, uma cobertura do solo por plantas vivas, cobertura morta/resíduos vegetais ou serrapilheira melhoram as condições microclimáticas, com efeitos diretos e indiretos, por meio da fauna e microflora do solo, sobre as plantas (LUIZÃO, 1989; CERRI et al., 1996).

Nessa perspectiva foram realizados estudos para avaliar o efeito da adubação e da cobertura do solo sobre o estado nutricional e o desenvolvimento de espécies florestais nativas da Amazônia. Os estudos foram conduzidos na Jazida 21, com a roçagem da vegetação rala composta por algumas espécies que haviam sido implantadas três anos antes, mas sem nenhum sucesso, devido à pobreza química do solo, principalmente em fósforo e matéria orgânica (Tabela 2), somada à retirada dos horizontes superficiais (horizontes A e B) para construção de estradas. Observa-se também, pelo pH e teor de Ca, que a clareira já havia recebido calagem e/ou gessagem, a exemplo de outras clareiras da BOGPM. As espécies florestais usadas foram angico (*Anadenanthera colubrina*), angelim (*Dinizia excelsa* Ducke) e goiaba-de-anta (*Bellucia grossularioides* (L.) Triana) e as plantas de cobertura foram as leguminosas tefrósia (*Tephrosia candida*) e flemingia (*Flemingia macrophylla*), cultivadas entre as espécies florestais. As covas foram adubadas com fosfato ARAD em cinco níveis de fósforo, 12 g de zinco e 8 g de bórax. Em cobertura, por planta, usaram-se 10 g de cloreto de potássio e 50 g de sulfato de amônio; cada parcela foi formada por 16 plantas de cada espécie, dispostas em linhas alternadas, totalizando 48 plantas por parcela (Figura 7).

Tabela 2. Características químicas das amostras de solo coletadas na Jazida 21, após calagem, antes do plantio das espécies vegetais. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), Província Petrolífera de Urucu, Coari, AM. Análises realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental.

Profundidade	pH	P	Na	K	Ca	Mg	N
	KCl	mg dm ⁻³		c.mol _c dm ⁻³			
0 cm-10 cm	6,28	0,49	32,5	0,08	7,21	0,26	0,63
10 cm-20 cm	6,77	0,26	37,5	0,07	8,35	0,19	0,51
Profundidade	C	M.O	Cu	Fe	Mn	Zn	
	g kg ⁻¹		mg dm ⁻³				
0 cm-10 cm	6,94	11,9	0,35	239,0	0,71	0,24	
10 cm-20 cm	4,86	8,4	0,29	161,0	0,79	0,23	



Figura 7. Visão geral do experimento na Jazida 21 (da esquerda para a direita): desenvolvimento inicial, aos seis meses de implantação e condução (poda das leguminosas). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), Província Petrolífera de Urucu, Coari, AM.

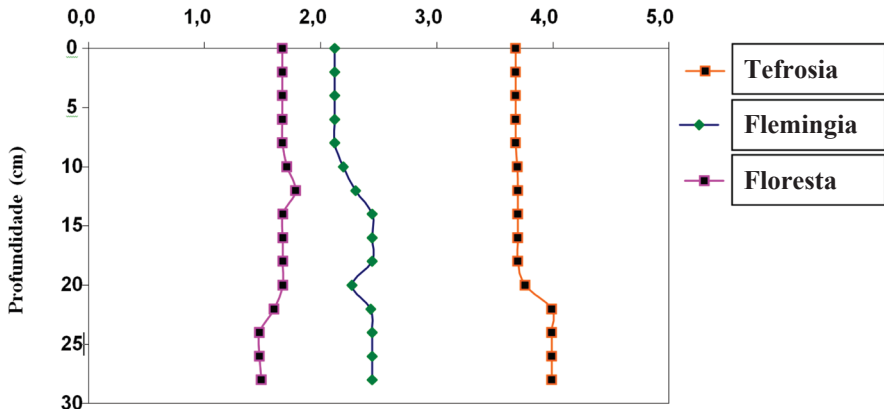
Nas condições experimentais, as espécies florestais apresentaram boa adaptação e crescimento, que variou de 1 m até 3,5 m de altura aos seis meses. Entre as espécies florestais, foi observado maior índice de mortalidade para a goiaba-de-anta, seguido do angelim; e entre as leguminosas a tefrosia apresentou alto nível de mortalidade em algumas parcelas. A espécie goiaba-de-anta mostrou não se adaptar bem às condições iniciais de reflorestamento, por ter apresentado alto índice de mortalidade, e as plantas que sobreviveram apresentaram sintomas de deficiência, principalmente de nitrogênio. A espécie que apresentou melhor desempenho no campo, em termos de crescimento e desenvolvimento, foi o angico (RODRIGUES et al., 2005).

O papel das leguminosas tefrosia e flemingia, utilizadas com a função de cobertura do solo, sombreamento para as espécies florestais na fase de desenvolvimento inicial e aporte de biomassa (serrapilheira) por meio de podas, também favoreceu a colonização pela comunidade edáfica na área, conforme apontam os estudos realizados por Oliveira et al. (2008). Embora as leguminosas desempenhem um papel importante na proteção do solo e ciclagem de nutrientes, recomenda-se atenção na escolha e no manejo de leguminosas como a puerária, por ser uma espécie agressiva, que se espalha por toda a área; sua ramagem sobe nas espécies vegetais, causando sufoco e muitas vezes a morte delas, caso não seja controlada/manejada adequadamente.

Como parâmetro indicador da qualidade física dos solos da Jazida 21, foi avaliada a resistência à penetração (RP), em comparação com solo sob floresta primária, para cada intervalo de 10 cm (0 cm – 10 cm, 10 cm – 20 cm e 20 cm – 30 cm). A RP foi estimada utilizando-se um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF de ponta fina (30°). Concomitantemente foi feita a avaliação da umidade volumétrica do solo (Θ), utilizando uma sonda Time Domain Reflectometry (TDR) (Easy- Test, Polônia) (Figura 4C e D). Os resultados mostraram que ocorreu uma redução altamente significativa (Tukey ≤ 0.01) entre as estimativas da RP em ordem crescente: tefrosia < flemingia < floresta primária em todas as profundidades medidas (Figura 8). Os valores da RP nas parcelas com flemingia sugerem maior eficiência dessa espécie na recuperação da estrutura do solo, provavelmente relacionada a uma maior produção de serrapilheira. A flemingia parece ser mais resistente ao encharcamento e à deficiência de O_2 que a tefrosia (MARTINS et al., 2006).

Os vários estudos realizados na Jazida 21 permitiram identificar camadas de impedimento ao crescimento radicular, devido ao manejo inadequado do solo pela remoção dos horizontes superficiais, expondo o solo aos processos erosivos. Nessas condições, o plantio de espécies florestais utilizando técnicas culturais adequadas ao desenvolvimento das plantas, como o uso de fertilizantes e de plantas para proteção

do solo, como flemingia e tefrosia, contribuiu para a formação e diversificação da serrapilheira. Além da função da serrapilheira de proteger o solo contra o salpico e a consequente erosão, a proteção do solo também contribui para reduzir as perdas de água por evaporação e diminuir a temperatura do solo tornando o ambiente mais propício ao estabelecimento da vida do solo.



Fonte: Martins et al. (2006).

Figura 8. Resistência à penetração (MPa) do solo na Jazida 21 da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (Coari, AM) revegetada com tefrosia (*Tefrosia* sp.) e flemingia (sp.) em comparação com solo da floresta primária adjacente.

Recomendação de adubação no campo

Respeitando-se todas as ressalvas feitas ao longo do texto, é apresentada abaixo uma proposta preliminar para nortear o planejamento da recomendação de uso de corretivos e fertilizantes no campo para o estabelecimento de povoamentos florestais na base de Urucu, atendendo demanda feita pela Petrobras. A recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes foi elaborada com respaldo nas informações contidas na literatura pertinente e na longa experiência da equipe, trabalhando com solos da Amazônia, nas excursões de campo e atividades de pesquisa desenvolvidas na BOGPM, associado à discussão/interpretação dos dados analíticos apresentados na Tabela

1 (resultantes de mais de 50 amostras compostas de solo coletadas na base de Urucu e analisadas pelo Laboratório de Análise de Solo e Planta da Embrapa Amazônia Ocidental). Assim, essas recomendações devem ser consideradas como diretrizes gerais, que deverão ser alteradas de acordo com os resultados da experimentação de campo, definidas para as espécies e tipos de solo mais representativos da região.

Recomendação de calagem

As espécies florestais nativas e as plantadas na Amazônia são adaptadas a baixos níveis de fertilidade do solo. Essas espécies são pouco sensíveis à acidez do solo e toleram altos níveis de A1. No entanto, recomenda-se a calagem por melhorar a disponibilidade dos nutrientes pelo aumento do pH e por fornecer Ca e Mg, elevando a saturação de bases do solo, com consequências positivas sobre o pH e a CTC. Com base nos resultados analíticos apresentados na Tabela 1, evidenciando teores muito baixos de magnésio, chama-se a atenção para a importância da escolha da fonte de calcário, isto é, recomenda-se usar preferencialmente calcário dolomítico ou magnesiano que apresentem teor mínimo de 5,1% de MgO, de modo a manter a relação Ca:Mg em intervalo de 1:1 a um máximo de 10:1, respeitando sempre o teor mínimo de 0,5 cmol_c/dm³ para o Mg.

Diante do exposto, a recomendação da necessidade de calcário (NC) será realizada utilizando o método de saturação por bases do solo (V), calculado pela fórmula:

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{V_2 - V_1}{100} T \times f$$

Em que:

V_2 = Saturação por bases que se deseja

V_1 = $S/T \times 100$ = Saturação por bases atual

T = $(H + Al + S)$ cmol_c/dm³

S = $(Ca + Mg + K)$ cmol_c/dm³

f = $100/PRNT$ = Fator de correção para a qualidade do calcário

Como a saturação por bases de 50% satisfaz os sistemas que incluem a maioria das culturas menos exigentes e/ou adaptadas a solos menos férteis, a fórmula pode ser simplificada para: $NC \text{ (t/ha)} = (T/2 - S) \times f$.

Os dados analíticos, apresentados de forma resumida na Tabela 1, foram originados de amostras de solo coletadas nas clareiras antes da instalação dos experimentos, porém pelas variações obtidas para o Ca, deduz-se que algumas delas já haviam recebido cal ou calcário. Dessa forma, quando se calcula a necessidade de calcário utilizando os dados originais que geraram a Tabela 1, obtêm-se valores para a necessidade de calcário (NC) que variam de 0 t/ha a 5 t/ha, considerando uma saturação por bases desejada de 50% e um calcário com um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 80%, portanto um $f = 1,25$.

Esses resultados evidenciam de modo muito claro a absoluta necessidade da análise de solo para realizar as recomendações de uso de corretivos e fertilizantes. Nessas condições, a generalização traduzida em uma única recomendação (única dose) para toda a área seria no mínimo imprudente. Atenção especial deve ser dada ao equilíbrio dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , bem como ao surgimento de possíveis problemas de deficiência com micronutrientes. Portanto, é recomendável que a aplicação do calcário seja realizada com base nos resultados da análise de solo. Quanto à saturação por bases desejada (V_2), lembrando que normalmente as espécies florestais nativas da Amazônia são adaptadas a solos ácidos e com baixos níveis de fertilidade, sugere-se buscar uma saturação por bases entre 40% a 50% (V_2). Buscando uma saturação por base de 40% associada às condições de solo de clareiras que não receberam calagem, a recomendação de calcário a ser aplicada ficaria em torno de 2,5 t/ha.

O calcário poderá ser distribuído a lanço em área total, incorporado ou não, ou aplicado em faixas de 1,0 m a 1,5 m de largura sobre as linhas de plantio. De modo geral, para as condições pluviométricas da região de Urucu, a incorporação do calcário não é necessária. No caso de se observar acidez subsuperficial e/ou da necessidade de se promover uma distribuição dos cátions (principalmente Ca) em profundidade, melhorando o ambiente radicular, sugere-se a realização de estudos utilizando o gesso agrícola. Esse produto vem sendo testado pela pesquisa nos solos brasileiros que têm subsolo muito ácido, com

deficiência de Ca ou excesso de Al tóxico, constituindo uma barreira química que impede a penetração das raízes.

O gesso agrícola é um material solúvel utilizado principalmente para a melhoria do ambiente radicular de camadas profundas do solo. Inúmeras são as vantagens citadas pela literatura: a) o gesso agrícola contém cálcio ($\approx 30\%$ de CaO) e enxofre ($\approx 18\%$ de S), e sua aplicação, além de melhorar o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, melhora também a absorção do Ca e do N-NO_3^- ; b) o anion sulfato SO_4^{2-} do gesso reduz a atividade do alumínio em solução pela formação do AlSO_4^+ ; c) desempenha papel de “condicionador de solos”, devido ao efeito floculante do sulfato de cálcio, permitindo uma maior infiltração da água e reduzindo a argila dispersa na água que poderia ser perdida por escurrimento (efeitos temporários).

Diante do exposto, enfatiza-se a importância de se realizar pesquisas voltadas para o emprego do gesso agrícola concomitantemente ao uso de corretivos e fertilizantes. Seu efeito mais conhecido de melhoria do ambiente radicular no subsolo, com a absorção de água e nutrientes sendo significativamente aumentada, tornando as plantas menos suscetíveis à deficiência hídrica e mineral durante a ocorrência de períodos curtos de estiagem (veranicos), é particularmente interessante para as condições de cerrado. Para as condições de solo da região de Urucu pode-se esperar melhorias no desenvolvimento e na proliferação de raízes em profundidade associadas às características químicas do solo mais favoráveis causadas pela redução da toxicidade do Al em solução e pela maior disponibilidade da Ca e S; e com relação às propriedades físicas do solo pode-se esperar redução da argila dispersa na água, melhoria da infiltração de água do solo e aumento da condutividade hidráulica.

Estudos preliminares indicam uma baixa movimentação da água nas camadas mais profundas do solo, tanto pela baixa infiltração das chuvas quanto pela reduzida drenagem e depleção por raízes. Fica evidente a necessidade da realização de pesquisas para verificar, por

exemplo, se as raízes, ao penetrarem e se desenvolverem no subsolo, alterariam as condições de macroporosidade do solo, melhorando a infiltração da água (as raízes que se desenvolvem/proliferam em profundidade, ao morrerem “deixam canais” no solo (macroporos) que irão auxiliar no movimento/transmissão de água, nutrientes e ar através do solo). Essas são algumas das hipóteses que poderiam ser testadas com o emprego do gesso agrícola.

Recomendação de macro e micronutrientes

Na Tabela 3 é apresentada uma recomendação de adubação preliminar de plantio e cobertura, com as quantidades totais de macro e micronutrientes a serem aplicadas quando da implantação de um povoamento florestal nas condições pedoclimáticas de Urucu.

A Tabela 3 foi elaborada com base nos resultados das análises de amostras de solo coletadas em clareiras de Urucu e nas recomendações da literatura para espécies florestais, em condições de solo de baixa fertilidade natural. Especial atenção deve ser dada às notas de rodapé da tabela, pois as informações nelas contidas muito podem contribuir para a escolha do fertilizante e para uma recomendação de adubação econômica e agronomicamente mais adequada.

Tabela 3. Recomendação de adubação⁽¹⁾ para espécies florestais nativas e adaptadas às condições pedoclimáticas da base petrolífera de Urucu.

Localização	N ⁽²⁾	P ₂ O ₅ ⁽³⁾	K ₂ O ⁽⁴⁾	Micronutrientes ⁽⁵⁾
Na cova	4.000	120	-	15
Em cobertura	40	-	60	-
Segundo ano no campo ⁽⁶⁾	60	120	80	15

⁽¹⁾As fontes, o modo, o local e a época de aplicação dos fertilizantes estão indicados ao longo das notas de rodapé. O adubo orgânico, o fósforo e os micronutrientes devem ser misturados à terra de enchimento das covas, ou aplicados na cova, sendo parte no fundo e parte misturada à terra de enchimento das covas. Os demais adubos são distribuídos ao redor das plantas, próximo ao caule, sob a projeção da copa.

⁽²⁾**Nitrogênio na cova:** para covas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m utilizar 4.000 L/ha de esterco de aves misturado à terra de enchimento das covas ou 16.000 L/ha de esterco

de curral bem curtido ou composto orgânico equivalente. **Nitrogênio em cobertura:** 40 kg/ha divididos em duas ou três aplicações, sendo a primeira \pm 40 dias após o plantio (normalmente realizado em janeiro/fevereiro); a segunda dose de N deve ser aplicada em maio/junho e a terceira, em novembro/dezembro. As quantidades recomendadas de N são considerando teores muito baixos de MO (0,31 g/kg – 6,30 g/kg). Na ausência de adubação orgânica rica em nitrogênio deve-se ajustar as doses de N mineral a ser aplicado para 60 kg/ha. A ureia (40% – 45% de N) e o sulfato de amônio (20% de N e 22% – 24% de S) são as fontes minerais de N mais comumente utilizadas. Quando se opta por fonte de P (superfosfato triplo) ou de outros nutrientes que não contêm enxofre na sua composição, recomenda-se o uso do sulfato de amônio que contém enxofre (S), nutriente igualmente importante para as plantas e normalmente carente nos nossos solos.

⁽³⁾**Fósforo:** usar preferencialmente superfosfato simples que contém Ca (18% – 20%) e enxofre (10% – 12%), ou fosfato parcialmente acidulado ou fosfato natural altamente reativo, que contenham em média de 20% a 33% de P_2O_5 total, sendo em torno de 8% – 10% prontamente disponível. Ao contrário dos fosfatos altamente solúveis, como o superfosfato triplo, essas fontes de fósforo possuem também Ca em sua composição (25% – 30% de Ca). Os fosfatos naturais brasileiros (Patos de Minas, Araxá, Catalão, etc), apesar de terem um custo menor, apresentam baixa disponibilidade para as plantas, além do que o Estado do Amazonas fica distante das fontes de produção. Logo, um fertilizante de custo mais elevado, porém mais disponível/mais concentrado, tem seu maior custo compensado pela vantagem de transporte, armazenamento e distribuição. Por outro lado, se a fonte de produção do fosfato natural é perto e o preço muito acessível, recomenda-se utilizá-lo. Mesmo assim, é aconselhável, no programa de recomendação de adubação, complementar com uma pequena quantidade de fonte mais solúvel.

⁽⁴⁾**Potássio:** recomenda-se o uso de cloreto de potássio (fácil aquisição e menor custo), além de conter também cloro (\pm 46% de cloro), importante nutriente para a maioria das palmeiras. O potássio deve ser aplicado em cobertura, parcelado em duas a três aplicações, similarmente à aplicação em cobertura do nitrogênio.

⁽⁵⁾**Micronutrientes:** utilizar fonte que contenha em torno de 8% de boro, 6% de cobre, 10% de zinco e 10% de manganês ou adequar a dose a ser aplicada em função da composição em micronutrientes do produto utilizado (o FTE é uma fonte de fácil aquisição e custo mais acessível. Mas atenção, pois existem inúmeros tipos de FTE, e o número de elementos e sua composição percentual variam muito). Se utilizar fontes individuais, dar preferência a fontes à base de sulfato.

⁽⁶⁾Para definir as doses de adubo a serem aplicadas a partir do terceiro ano recomenda-se a realização de uma nova análise de solo sob a projeção da copa, bem como uma análise foliar (fundamental para a recomendação do N e complementar para os demais nutrientes).

Nitrogênio e potássio são os nutrientes mais facilmente perdidos por lixiviação, justificando o parcelamento das doses a serem aplicadas. Nas condições de alta precipitação que ocorrem em Urucu, a lixiviação pode ser considerada como um dos processos de grande importância para a baixa eficiência das adubações nitrogenadas, pois os nitratos movimentam-se quase livremente com a água do solo, acelerando as perdas para as camadas mais profundas. Outro processo que envolve perda de N do solo é a volatilização, quando se utiliza a ureia como fonte de N em condições inadequadas de aplicação, como condições de baixa umidade, na superfície do solo seco. Nessas condições 70% do N aplicado pode ser perdido por volatilização.

Uma recomendação de adubação nitrogenada mais eficiente envolve necessariamente um sistema de manejo que possibilite manter ou mesmo aumentar o teor de matéria orgânica do solo (MOS). Um suprimento natural de N pode ser obtido com a utilização do adubo orgânico e/ou com a manutenção do teor de MOS. Nas condições das áreas de clareira de Urucu, onde geralmente a camada superficial do solo foi perdida, com conseqüente perda da qualidade do solo (química, física e biológica), é de fundamental importância utilizar a adubação orgânica na cova como fonte de nutriente (principalmente N) e para melhorar as condições físicas do solo, criando um ambiente mais adequado ao desenvolvimento do sistema radicular, ao estabelecimento da planta. Outra estratégia que pode ser adotada é o uso de cobertura morta e/ou adubos verdes.

Para os nutrientes sensíveis às variações texturais do solo, como fósforo e potássio, a recomendação de adubação foi realizada considerando a classe textural argila siltosa a argilosa, sendo os teores de argila ≥ 250 g/kg. Vale ressaltar que a fixação do potássio ocorre predominantemente em solos com argila de atividade alta (minerais 2:1 como montmorilonita e ilita). Nos solos da Amazônia predominam minerais 1:1 como a caulinita, que não fixam potássio. Comportamento contrário é observado para o fósforo, que é adsorvido mais fortemente em solos com argila 1:1, como a caulinita, que se

encontra normalmente associada à elevada quantidade de óxidos de Fe e AL. Assim, as reações de adsorção e dessorção são afetadas pelo tipo de superfície do mineral em contato com o P na solução do solo. Os óxidos de Fe e Al têm capacidade de absorver grandes quantidades de P em solução.

Assim, em solos cuja composição mineralógica das argilas predominante é de natureza sesquioxídica, o teor de argila do solo está diretamente relacionado com o potencial de adsorção/retenção de P do solo. Desse modo, quanto maior o teor de argila do solo, maior deverá ser sua capacidade de retenção de P e, conseqüentemente, maior deverá ser a recomendação de fertilizante fosfatado. Por outro lado, os melhores índices de produtividade conseguidos nos solos mais argilosos são atribuídos à maior capacidade de retenção e ao armazenamento de água e nutrientes desses solos. Essas são algumas das razões que justificam subdividir as recomendações de adubação fosfatada segundo classes de textura do solo.

Na fase inicial de estabelecimento do povoamento florestal, a demanda quantitativa por nutrientes é menor, permitindo que os fertilizantes simples possam ser misturados para serem aplicados juntos em uma mesma operação. Nesse caso, chama-se a atenção para o fato de que nem todos os fertilizantes minerais podem ser misturados, pois alguns são incompatíveis entre si, podendo sua mistura ocasionar perda de nitrogênio por volatilização, insolubilização do fósforo, umedecimento ou mela da mescla ou empedramento. Assim, não se recomenda misturar (mesclar) os adubos amoniacais (com exceção da ureia), nem os superfosfatos com os adubos ricos em cal, como escórias ou fosfatos naturais. Já a mistura de adubos amoniacais e superfosfatos com os adubos potássicos é sempre possível, bem como a mistura de outros adubos com o conjunto formado por eles.

Referências

ARRUDA, W. da C. **Estimativa dos processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura Urucu – Coari – AM**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J. L. **Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia**. In: O SOLO do Brasil. Viçosa: SBSC; UFV, 1996. p. 61-69.

FERRAZ, R. M.; FRAGA, E.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; RODRIGUES, M. R. L. Caracterização pedológica de alguns solos da Província Petrolífera de Urucu - Município de Coari - AM. Relatório Técnico – Rede CTPETRO – PI2 – Dinâmica do solo. In: REDE CTPETRO AMAZÔNIA. **Relatório técnico final fase II**. Manaus, 2007. p. 1-15.

HORBE, A. M. C.; PAIVA, M. R. P. de; MOTTA, M. B.; HORBE, M. A. Mineralogia e geoquímica dos perfis sobre os sedimentos neógenos e quaternários da bacia do rio Solimões na região de Coari – AM. **Acta Amazônica**, n. 37, p. 81-90, 2007.

LUIZÃO, F. J. Litter production and mineral element input to the Forest floor in central Amazonian forest. **Geojournal**, v. 19, p. 407-417, 1989.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; RODRIGUES, M. R. L. Índice de erosividade das chuvas em Coari – AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBSCS, Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD-ROM. p. 1-5.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; RODRIGUES, M. R. L.; MARQUES FILHO, A. O. Avaliação da intensidade das chuvas na Bacia do Rio Urucu – Município de Coari – AM. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: SBSCS, 2006. 1 CD-ROM.

MARTINS, G. C.; TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S. Resistência a penetração como indicador da qualidade física do solo na Província Petrolífera de Urucu – Coari, AM. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 2., 2006, Manaus. **Workshop...** Manaus: INPA, 2006. 1 CD-ROM 4 p.

OLIVEIRA, E. P.; RODRIGUES, M. do R. L.; TEIXEIRA, W. G. O cenário de uma área em vias de recuperação por espécies florestais: atributos biológicos que contribuem na validação da restauração. In: SIMPÓSIO NACIONAL [SOBRE] RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 7., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2008. p. 618-625.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 14, p. 235-239, 1990.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. **Lições de fertilidade do solo: pH**. Londrina: IAPAR, 1997. 47 p. (IAPAR. Circular, 93).

PETROBRAS. **Relatório: grande empresa – Petrobras (informativo)**. Manaus, fevereiro, 2003.

RODRIGUES, M. do R. L. **Disponibilidade de micronutrientes em solos da Amazônia**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RODRIGUES, M. do R. L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 143-149, jan. 2001.

RODRIGUES, M. R. L. (Coord.). Caracterização e análise da dinâmica do solo. **Projetos. INPA/ FINEP, 2017**. Disponível em: <http://projetos.inpa.gov.br/ctpetro/pg_projetos_03.php>. Acesso em: 15 dez. 2017.

RODRIGUES, M. R. L.; BARROS, M. E.; TEIXEIRA, W. G.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA, A. P. Resposta de espécies florestais nativas da Amazônia à adubação em área degradada da Província Petrolífera de Urucu, AM. In: CONGRESSO INTERNACIONAL PIATAM, 1., 2005, Manaus, **Anais...** Manaus: Universidade Federal do Amazonas/Centro de Pesquisa da Petrobras, 2005. p. 80.

SILVEIRA, A. K. da C. da; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; RODRIGUES, M. do R. L.; CEDDIA, M. B.; FERRAZ, R. D.; SILVA, E. F. da; MACEDO, R. S. Capacidade de retenção de água em amostras de diferentes horizontes de solo na Bacia do Rio Urucu – Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. [Viçosa, MG]: SBCS; Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.

TEIXEIRA, W. G.; CRUZ, M. E. G. da; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, M. do R. L. Levantamento das bases pedológicas disponíveis para o Município de Coari-AM. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 2., 2006, Manaus. **Workshop...** Manaus: INPA, 2006a. 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; ARRUDA, W. da C. Processos erosivos na Base Geólogo Pedro de Moura - Coari-AM: a presença de “demoisseles” e a relação com a intensidade e erosividade das chuvas e erodibilidade do solo. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 2., 2006, Manaus. **Workshop...** Manaus: INPA, 2006b. 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, W. G.; MARQUES, A. de O.; IWATA, S. A.; MARTINS, G. C.; REIS, A. R.; RODRIGUES, M. do R.; BARROS, M. E. Monitoramento da dinâmica da água numa clareira pela técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) na Província Petrolífera de Urucu. In: WORKSHOP TÉCNICO-CIENTÍFICO DA REDE CT-PETRO AMAZÔNIA, 1., 2004, Manaus. **Rede CT-Petro Amazônia.** Manaus: INPA: FDB: Petrobras, 2004. 1 CD-ROM.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; RODRIGUES, M. R. L. Parâmetros físicos e hídricos para monitoramento da recuperação de uma área degradada pela retirada dos horizontes superficiais do solo na Província Petrolífera de Urucu-AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da Ciência do Solo:** livro de resumos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 1 CD ROM. p. 1-5.

TEIXEIRA, W. G.; SHINZATO, E.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; CUBAS, O.; RODRIGUES, M. do R. L. Caracterização dos principais ambientes pedológicos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Amazônia Central Brasileira. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 18., 2009, San Jose, Costa Rica. **Suelo...** raíz de nuestro futuro. San Jose: Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo, 2009. 1 CD-ROM.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.** 6th. ed. New York: Prentice Hall, 2005. 499 p.

Divulgação e acabamento
Embrapa Amazônia Ocidental



Amazônia Ocidental

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 14288