

Intensificação Ecológica da Agricultura



ISSN 1678-1953

Agosto, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 208

Intensificação Ecológica da Agricultura

Inácio de Barros
Carlos Roberto Martins
Geraldo Stachetti Rodrigues
Adenir Vieira Teodoro

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2016

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Beira Mar, 3250, CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: (79) 4009-1300
Fax: (79) 4009-1369
www.embrapa.com.br
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente: *Marcelo Ferreira Fernandes*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Carlos Alberto da Silva, Elio Cesar Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, João Gomes da Costa, Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto de Araujo Amorim, Viviane Talamini e Walane Maria Pereira de Mello Ivo*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Normalização bibliográfica: *Josete Cunha Melo*

Editoração eletrônica: *Joyce Feitoza Bastos*

Ilustração da capa: *Inácio de Barros*

1ª Edição

On-line (2016)

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 Tabuleiros Costeiros

Intensificação Ecológica da Agricultura/ Inácio de Barros ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

31 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 208).

Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>>

1. Agricultura. 2. Ecologia. 3. Ecossistema Agrícola. 4. Produção de alimento. 5. Produção agrícola. 6. Recurso natural. 7. Tecnologia Agrícola I. Barros, Inácio de. II. Martins. Carlos Roberto. III. Rodrigues, Geraldo Stachetti. IV. Teodoro, Adenir Vieira. V. Série.

CDD 577.55 Ed. 21

©Embrapa 2016

Autores

Inácio de Barros

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Carlos Roberto Martins

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Geraldo Stachetti Rodrigues

Ecólogo, doutor em Ecologia e Biologia Evolutiva, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Adenir Vieira Teodoro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Apresentação

As perspectivas futuras sugerem que uma verdadeira revolução nos processos de produção agrícola deverá acontecer. Se, por um lado, o modelo produtivista, oriundo da Revolução Verde tem mostrado seus limites, principalmente no que diz respeito ao uso insustentável de recursos naturais não renováveis e aos impactos ambientais que ocasiona; por outro, estima-se que a população mundial deverá crescer para aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas no horizonte de 2050, aumentando fortemente a demanda por alimentos seguros, fibras e, junte-se a essa lista, biocombustíveis.

Atualmente, existe uma reserva limitada de terra cultivável disponível no planeta, praticamente toda localizada no hemisfério sul do continente americano e distante do local onde o aumento da demanda deverá ser mais expressivo: a Ásia. Além disso, os níveis atuais de desmatamento já têm sido associados a importantes mudanças que ameaçam não somente a própria produção agrícola (como, por exemplo, o aumento de pragas, a diminuição da produtividade das culturas pela redução da polinização em consequência da diminuição da população de abelhas), mas também estão ligadas à perda da biodiversidade e às mudanças climáticas globais.

O desafio, então, é o de atender às demandas por produtos agropecuários de uma população 50% maior e com melhor qualidade de vida, de forma sustentável, sem aumentar a superfície cultivada e com menor disponibilidade de água e energia fóssil. Para responder a esse desafio, uma nova proposta de modelo de produção surgiu na França no final da primeira década do século 21 – os sistemas de produção ecologicamente intensivos e de alto valor ambiental, cujo significado é conceber uma agricultura produtiva, econômica em insumos externos e menos nociva ao meio ambiente.

Com o intuito de promover o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola sustentáveis, baseados nas funcionalidades dos ecossistemas, temos a satisfação de apresentar esta publicação, cujo objetivo é o de apresentar o histórico, os fundamentos e técnicas dos sistemas ecologicamente intensivos de produção agrícola.

Manoel Moacir Costa Macêdo
Chefe-geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Sumário

Intensificação ecológica da agricultura	6
Introdução	6
Evolução histórica	8
O desafio da agricultura	11
Intensificar ecologicamente a produção agrícola	13
Manejo da população vegetal	17
Manejo da água	19
Manejo da fertilidade do solo	19
Melhoria da estrutura do solo	21
Controle de plantas espontâneas	22
Controle de pragas e doenças	22
Melhoramento vegetal	25
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Um exemplo de sistema agrícola ecologicamente intensivo	25
Considerações finais	26
Referências	27

Intensificação ecológica da agricultura

Inácio de Barros
Carlos Roberto Martins
Geraldo Stachetti Rodrigues
Adenir Vieira Teodoro

Introdução

Até a última década do século 20, existia um consenso de que as tecnologias agrícolas disponíveis seriam capazes de atender às demandas alimentares de 8 a 10 bilhões de pessoas, ao mesmo tempo em que diminuiriam substancialmente a fome e a má nutrição (PLUCKNETT, 1993; WAGGONER, 1995; KATES, 1996). Essa idéia foi de tal forma arraigada que a agricultura foi sendo considerada, em certos círculos de dirigentes internacionais nos últimos anos, como uma área de pesquisas cada vez menos prioritária e vital para as sociedades, como se fosse suficiente difundir as técnicas existentes para garantir alimentação adequada para um número cada vez maior de pessoas (GODFRAY et al., 2010a).

No entanto, essa ideia tem se mostrado errônea. As tecnologias do modelo produtivista da agricultura que surgiram como resultado da Revolução Verde têm mostrado que, apesar do grande sucesso que foi obtido no aumento da produtividade (TILLMAN et al., 2001; TILLMAN et al., 2002), esse aumento foi acompanhado de consequências negativas importantes, tais como: a poluição de lençóis freáticos por fertilizantes e pesticidas, a eutrofização de rios e lagos por fosfatos e nitratos levados dos campos pela erosão, a diminuição da biodiversidade pela substituição de habitats naturais devido à expansão agrícola, as perdas de solo por erosão e desertificação, além da forte dependência de energias fósseis e reservas minerais não renováveis, entre muitos outros exemplos de externalidades negativas

desse modelo (VITOUSEK et al., 1997a; VITOUSEK et al., 1997b; CARPENTER et al., 1998; DIRZO; RAVEN, 2003; BURNEY et al., 2010). Por tudo isso, uma verdadeira e profunda revolução na forma como realizamos a agricultura e na maneira como lidamos com os ecossistemas se faz necessária (GODFRAY et al., 2010b; FOLEY et al., 2011; TILLMAN et al., 2011; HERTEL et al., 2014).

A população mundial continua a crescer e demandar mais terra e mais recursos, enquanto nos dirigimos inexoravelmente aos limites físicos do planeta. A produção de biocombustíveis vem se juntar a essa demanda por terra e competir por espaços em áreas hoje destinadas à produção de alimentos. Ademais, espaços de conservação da biodiversidade devem ser preservados por inúmeras razões, o que reduz ainda mais o espaço disponível para a expansão agrícola. Será necessário, portanto, aumentar a produtividade. No entanto, segundo os padrões atuais, esse aumento de produtividade somente seria possível pelo uso massivo de insumos químicos (pesticidas e fertilizantes solúveis) e maquinário, causando assim riscos ao meio ambiente e uma dependência ainda maior da energia fóssil, que tem se tornado cada vez mais escassa. Para superar esse impasse é necessária uma nova abordagem tecnológica, com bases em fundamentos ecológicos que permitam transformar os agricultores em gestores tanto da produção quanto dos ecossistemas.

A intensificação ecológica é aquela capaz de produzir mais alimentos, na mesma área, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais (ROYAL SOCIETY OF LONDON, 2009; GODFRAY et al., 2010a, b). E, para tal, utiliza-se intensivamente das funcionalidades e mecanismos dos ecossistemas, segundo as leis científicas da ecologia, na perspectiva de desenvolvimento de sistemas de produção agrícolas sustentáveis (GRIFFON, 2013).

O objetivo deste documento é o de apresentar o histórico, os fundamentos e técnicas dos sistemas ecologicamente intensivos de produção agrícola com o intuito de subsidiar o debate sobre o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis sob a ótica da intensificação ecológica da agricultura.

Evolução histórica

Durante milênios, a satisfação das necessidades alimentares das populações crescentes foi sendo suprida ao custo de desmatamentos e expansão agrícola. Uma vez que o espaço disponível em determinada região acabava, a solução encontrada era a migração quando possível. No caso de impossibilidade de migração, a única saída para evitar a penúria sempre foi o aumento da produtividade, mas, para isso, era necessário o desenvolvimento de uma nova tecnologia.

Desde o início do século 20, o mundo tem observado um crescimento rápido de sua população, passando de menos de 2 para mais do que 6 bilhões de pessoas em 2000 (Figura 1), devendo alcançar o patamar de 9,7 bilhões em 2050.



Figura 1. Evolução da população mundial.

Fonte: UN World Population Prospects (2016).

A ascensão demográfica que é observada e esperada para o período até 2050 poderá levar à ocupação de territórios que ainda não o foram, levantando questões referentes à disponibilidade dos recursos naturais.

Para poder alimentar as populações europeia e norte-americana em crescimento demográfico extraordinário nos dois últimos séculos, começou-se, desde os anos 30, uma verdadeira revolução técnica da agricultura baseada no uso de variedades melhoradas de plantas, na utilização de adubos minerais, de pesticidas químicos e da mecanização. Essa revolução foi altamente subsidiada, nos países hoje considerados como desenvolvidos, por planos de modernização (como o plano Marshall, por exemplo). Esses planos ocorreram principalmente logo após a segunda guerra mundial e tiveram por objetivo liberar mão de obra do campo para a reconstrução e modernização dos países destruídos pela guerra e para alimentar uma população urbana cada vez maior na Europa e no Japão.

Para os países em desenvolvimento, foi posta em prática, a partir dos anos 60, a chamada Revolução Verde. Tal revolução promovia o uso de variedades melhoradas de cereais de alta produtividade e uso de adubos e pesticidas. Diferentemente da modernização agrícola europeia, a Revolução Verde não promovia a mecanização, pois era necessário manter uma grande quantidade de empregos manuais para as imensas populações asiáticas. Para promover essa revolução, ela foi acompanhada de políticas agrícolas voluntaristas fundamentadas em subsídios econômicos à agricultura, mas, como esses subsídios eram basicamente financiados por empréstimos internacionais, sua evolução foi bruscamente interrompida nos anos 80, quando os países em desenvolvimento começaram a encontrar dificuldades em honrar as suas dívidas junto aos credores.

O sucesso desses programas foi considerável apesar de tudo, principalmente no que tange ao aumento da produtividade (Figura 2). Devemos a eles, hoje, uma situação de penúria alimentar menor do que a que se poderia esperar sem eles. Além disso, o aumento impressionante da produtividade foi certamente responsável por conter em certa medida o avanço do desmatamento, especialmente das florestas tropicais (Figura 3) (HERTEL et al., 2014).

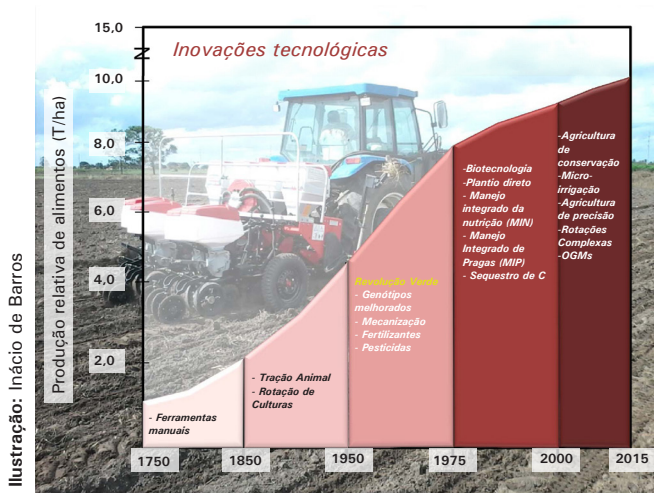


Ilustração: Inácio de Barros

Figura 2. Evolução da produção relativa de alimentos ao longo do tempo em função da evolução tecnológica.

Fonte: Adaptado de Lal (2014).

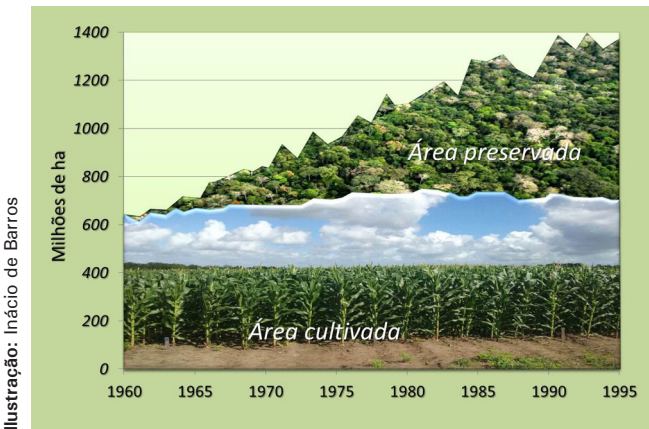


Ilustração: Inácio de Barros

Figura 3. Efeito da Revolução Verde na contenção da expansão da agricultura para novas áreas no mundo. A curva superior representa a área que seria necessária para produção de grãos aos níveis de produtividade dos anos 60. A curva inferior representa a área efetivamente colhida.

Fonte: Adaptado de Ausbel (1996).

Apesar desse grande sucesso em termos de produtividade, a agricultura resultante da revolução tecnológica (intensificação agrícola nos países desenvolvidos e Revolução Verde nos países em desenvolvimento) tem apresentado problemas técnicos imprevistos na época de sua concepção - a produção de efeitos ambientais negativos. Na Europa, são observadas poluições dos rios e lagos pelo excesso de adubos, poluição por pesticidas e as consequências potenciais à saúde humana, o uso de esteroides e medicamentos na saúde animal com riscos para os consumidores, o aparecimento de novas doenças como a vaca louca, etc. Nos países em desenvolvimento, outras externalidades se apresentam: o desmatamento e a desertificação, a erosão do solo, uma importante perda de biodiversidade, a exploração exagerada dos lençóis freáticos e a salinização dos solos.

O desafio da agricultura

O desafio que as ciências agrárias enfrentam hoje é o de encontrar uma nova forma de produzir que garanta uma quantidade suficiente para alimentar uma população superior a 9 bilhões de pessoas, com melhor qualidade de vida, ao mesmo tempo que se minimizem os impactos negativos que a agricultura causa ao meio ambiente (GODFRAY et al., 2010a; FOLEY et al., 2011; ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; HERTEL et al, 2014). Adicione-se a isso a produção de biocombustíveis em quantidades expressivas para atender às demandas da sociedade por fontes limpas de energia.

A escolha tecnológica que deve ser feita a fim de assegurar uma produção agrícola capaz de satisfazer as necessidades atuais e futuras da humanidade tem sido fonte de amplo debate (ANGELSEN; KAIMOWITZ, 2001; FISCHER et al., 2008; RAMANKUTTY; RHEMTULLA, 2012). Alguns estudiosos afirmam que se deve aprofundar ainda mais o modelo da Revolução Verde (BORLAUG, 2007; GRAINGER, 2009), fundamentada em variedades de altíssima produtividade obtidas por transgenia, na agricultura de precisão e em uma mecanização ainda mais intensa e tecnológica (eletrônica embarcada). Tal solução não parece viável em muitas culturas de base

alimentar, principalmente devido aos custos que acarretaria. Outros, por sua vez, argumentam que se deve avançar no sentido das chamadas agriculturas alternativas (orgânica, biodinâmica, agroecológica, etc.) (MCINTYRE et al, 2009; DE SHUTTER, 2010).

Em uma meta-análise com 316 comparações entre produção orgânica e convencional de 34 diferentes culturas, Seufert et al. (2012) concluem que, em vez de se insistir no debate ideológico entre agricultura orgânica versus agricultura convencional, dever-se-ia avaliar sistematicamente os custos e os benefícios das diferentes opções de gestão dos sistemas de produção; pois, no final, para que se possa alcançar segurança alimentar sustentável em nível mundial, será necessário, muito provavelmente, a combinação de diferentes técnicas, incluindo-se a agricultura orgânica, a convencional e, possivelmente, sistemas híbridos (NRC, 2010), de forma a produzir mais alimentos a baixo custo, assegurar a qualidade de vida no campo e reduzir as externalidades da agricultura.

Em todos os lugares do mundo, os agricultores estão sendo confrontados com uma mutação de seu contexto de produção, mas com equações distintas em termos de dificuldades e oportunidades. Em todas as regiões, é necessário se dirigir para uma forma de agricultura mais eficiente no uso dos recursos naturais renováveis (água, solo); mais eficaz no uso de energia e que gere menos externalidades ao meio ambiente (SPIERTZ; EWERT, 2009). As políticas agrícolas ainda não estão claramente orientadas nesse sentido, mas elas deverão se adaptar rapidamente (CHAVAS, 2011).

A opção técnica disponível é a utilização intensiva de mecanismos ecológicos naturais dos ecossistemas aos quais se acrescentem, subsidiariamente, técnicas de agricultura convencional, na condição de que estas não interfiram negativamente naquelas. A agricultura de antes da Revolução Verde teve progressos de produtividade sem a intervenção de insumos químicos. A moderna agricultura conservacionista (plantio direto, cultivo mínimo), os sistemas agroflorestais, a integração lavoura-pecuária-floresta, além de avançadas técnicas biotecnológicas que buscam maximizar as funcionalidades ecológicas (inoculação de *Rhizobium* em leguminosas,

o uso de bioinseticidas, etc) são, todas, tecnologias que ilustram perfeitamente esse objetivo (DORE et al., 2011).

Existe, portanto, uma gama de experiências que podem ser aproveitadas e que devem, hoje, unir os seus conhecimentos com o objetivo de definir alternativas tecnológicas que permitam tanto a obtenção de altas produtividades quanto o manejo sustentável dos ecossistemas, podendo ainda produzir serviços ecológicos (SWINTON et al., 2006; SWINTON et al., 2007).

Essas alternativas deverão ser viáveis. Dentro do domínio ecológico, um ecossistema é viável quando se pode, pelo seu manejo, garantir a renovação dos recursos naturais renováveis que o compõem, como por exemplo, a água, a diversidade biológica, a fertilidade orgânica ou a estrutura do solo; ele não poderá poluir e, se possível, deverá contribuir para a despoluição. Caso contrário, ele não será ecologicamente viável. Do ponto de vista econômico, um ecossistema cultivado deverá ser capaz de equilibrar as receitas e as despesas; senão, ele não poderá ser considerado economicamente viável. Ele deverá também ser compatível com o calendário de trabalhos daqueles que produzem e com as suas limitações, senão ele não será socialmente viável. Vale lembrar que o desenvolvimento sustentável se apóia sobre os três pilares: ecológico, econômico e social e, portanto, um sistema só pode ser considerado sustentável quando a viabilidade desses três pilares é alcançada (GRIFFON, 2009).

Intensificar ecologicamente a produção agrícola

Segundo Griffon (2009) e Griffon (2013), a intensificação ecológica se define em oposição à idéia de pressão. Por pressão entende-se o aumento da produtividade por meio da aplicação artificial e massiva de produtos externos ao sistema local, chamados de insumos. Dessa forma, altera-se artificialmente o estado de uma ou várias variáveis do sistema sem uma preocupação com os efeitos colaterais que essa alteração pode provocar sobre as outras variáveis. Por exemplo, o uso massivo de adubos químicos contribui para pressionar a

função fertilidade mineral, mas com risco de eliminar uma parte da fertilidade natural dos solos, ou seja, os mecanismos ecológicos fundamentais dessa fertilidade que são proporcionados pela biota do solo. Essa alteração (redução) na atividade biológica do solo tem como consequência adicional a redução da matéria orgânica, acarretando uma diminuição da capacidade de retenção de água, por exemplo.

As técnicas de intensificação ecológica buscam maximizar e/ou otimizar a disponibilidade das variáveis essenciais internas ao sistema por meio de técnicas que façam o sistema funcionar em um regime de atividade superior, ao invés de pressionar essas variáveis. Elas se substituem às técnicas de pressão química e energética convencionais, impulsionando as funcionalidades naturais dos ecossistemas e buscam a manutenção de altos níveis de produtividade, enquanto mantêm funcionais e viáveis as diferentes funcionalidades do agroecossistema, sem recorrer ao uso intensivo de insumos artificiais, mas não interditando sua aplicação de forma subsidiária, quando for necessário e compatível. Por exemplo, lançando-se mão do uso racional de um inseticida em uma situação na qual o controle biológico tenha falhado, impondo o risco de prejuízos irreparáveis (GRIFFON, 2009; GRIFFON, 2013).

Uma funcionalidade de um ecossistema é um processo ecológico identificado pela sua utilidade, como a fertilidade do solo, a capacidade de autorregulação do parasitismo, a manutenção da biodiversidade, entre outras. No caso da fertilidade natural, toda produção de biomassa provém da energia solar. Portanto, intensificar ecologicamente essa funcionalidade é adotar tecnologias de produção que visem utilizar ao máximo essa energia e maximizar a fotossíntese, fazendo-se de tal forma que, em qualquer fase do ciclo vegetativo, o solo esteja coberto por vegetação, a qual, por decomposição, humificação e mineralização venha a contribuir para a fertilidade desse solo.

Existe uma gama de técnicas e tecnologias de produção disponíveis, surgidas espontaneamente pelos produtores, trazidas pela tradição ou geradas pela pesquisa científica. Da mesma forma, existem vários objetivos de qualidade ambiental a serem buscados e, assim, pode-se facilmente imaginar que a concepção de uma agricultura ecologicamente intensiva induzirá formas de racionalização bastante

complexas. Na Tabela 1, são apresentadas as diferenças principais entre a agricultura convencional e a agricultura ecologicamente intensiva.

Tabela 1. Comparação entre agricultura convencional e ecologicamente intensiva.

Aspecto	Agricultura convencional	Agricultura ecologicamente intensiva
Orientação geral	Artificialização do meio ambiente, emprego de insumos comprados	Busca a utilização de processos naturais e da simbiose com a natureza
Itinerário técnico e modo de racionalização das intervenções	Seguem-se esquemas geralmente padrões	Principalmente por observações de campo ou obtidas por fontes diversas, buscando-se adaptação ao meio
Rede de assistência técnica	Relevância para cooperativas e comerciantes	Grupos de agricultores mais autônomos, refletindo coletivamente.
Fertilidade	Principalmente adubos químicos	Uso de leguminosas, micorrizas, minhocas, agentes microbiológicos do solo, plantas de cobertura, agroflorestas. Maior valorização de resíduos orgânicos e esterco. Busca por mobilização de elementos em profundidade. Evitar solo nu. Objetiva-se aumentar a biomassa reciclável.
Controle de plantas espontâneas	Controle manual, herbicidas	Rotação, capina mecânica, alelopatia, cobertura vegetal espessa, cobertura de solo
Tração	Motorização	Plantio direto ou cultivo mínimo

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Aspecto	Agricultura convencional	Agricultura ecologicamente intensiva
Controle de doenças	Principalmente tratamentos químicos ou uso de variedades resistentes	Rotações, controle integrado e biológico, emprego de associações de culturas, variedades resistentes, alelopatia. Busca de um manejo durável dos pesticidas quando empregado. Racionalização dos tratamentos
Controle de pragas	Principalmente uso de inseticidas ou variedades resistentes	Variedades resistentes, associação varietal, feromônios, controle biológico, confusão sexual
Limitações hídricas	Irrigação onde for possível	Plantas tolerantes à seca, cobertura de solo, aumento do teor de húmus, desenho de talhões, reservatórios para coleta de água, irrigação por gotejamento
Produção de serviços ecológicos	Fornecimento relativamente limitado	Conservação de água e da sua qualidade. Evita-se o solo nu. Redução das emissões de gases de efeito estufa e da erosão da biodiversidade
Paisagem	Localmente uniforme	Paisagens mais variadas com culturas diversificadas e, se possível, presença simultânea de animais e de culturas nas mesmas zonas. Plantio de cercas vivas

Fonte: Adaptado de Bonny (2011).

De forma simplificada, serão apresentados a seguir alguns aspectos do manejo da produção agrícola de forma que venham a ser tanto produtivas quanto benéficas ao meio ambiente.

Manejo da população vegetal

Um dos principais objetivos de uma agricultura ecologicamente intensiva é utilizar o máximo possível da energia solar pelas plantas. A população vegetal deve, portanto, ser manejada de tal forma a ocupar todo o espaço possível durante todo o período vegetativo. Assim, manejar a população vegetal é se assegurar da compatibilidade entre as espécies em termos de concorrência e cooperação, na dimensão espaço-tempo. A ideia central é combinar de forma otimizada funções específicas de diferentes plantas: remontagem de nutrientes devido a um sistema radicular profundo, capacidade de fixação biológica de nitrogênio, efeito repelente de alguns insetos, resistência a certas doenças, habitat para insetos auxiliares, quebra-vento, conservação da umidade do solo, sombreamento para animais etc.

O manejo da população vegetal deve favorecer as biocenoses naturais, evoluindo a sua composição na relação espaço-tempo por meio de associações culturais, para aproveitamento da área em um mesmo período e o uso de sucessões/rotações de culturas para maximização da produção de biomassa na escala temporal.

Existem alguns exemplos de tais técnicas, como os cultivos sob florestas tropicais úmidas (em que são cultivadas plantas perenes e raízes como cacaueteiro, cafeeiro, pimenta-do-reino, bananeira, baunilha, inhames e carás), os cultivos intercalares (mandioca, milho, feijoeiro e culturas perenes como laranjeira e cafeeiro), os sistemas agroflorestais (com uma larga gama de disposições de culturas), as plantas de cobertura em cultivos perenes (puerária em plantios de palma-de-óleo e coqueiro), os pousios melhorados, as rotações complexas de culturas, entre outras (Figuras 4, 5 e 6).

Foto: Carlos Roberto Martins



Figura 4. Cultivo intercalar de coqueiro com milho híbrido.

Foto: Carlos Roberto Martins



Figura 5. Cultivo intercalar de citros com milho.

Foto: Carlos Roberto Martins



Figura 6. Cultivo consorciado de citros com mandioca.

Manejo da água

As técnicas relativas ao manejo da água podem objetivar tanto a sua conservação para períodos de estiagem quanto, ao contrário, facilitar a drenagem para enfrentar situações de excesso de água. Existem inúmeras técnicas que podem ser adotadas como, por exemplo: o uso de coberturas vegetais para evitar a enxurrada, utilização de matas ciliares, sistemas para captação e armazenamento de água das chuvas, barraginhas, barragens subterrâneas, terraços, microaçúdes e manejo racional da irrigação.

Todas essas técnicas, além do seu papel no manejo da água, também podem contribuir no combate à erosão (Figura 7), na conservação da biodiversidade, na reciclagem de nutrientes lixiviados, etc. Por exemplo, a cobertura vegetal permanente nas encostas dos morros nas zonas tropicais úmidas permite a retenção da água, reduz a erosão, armazena o carbono no solo, entre outros. O pousio, após anos de cultivo com cereais, permite, em alguns anos, a proliferação de minhocas que constroem uma rede de canalizações, aumentando a porosidade e a infiltração da água.



Foto: Carlos Roberto Martins

Figura 7. Erosão de encostas de morros (A) com subsequente assoreamento de rios (B).

Manejo da fertilidade do solo

A questão da fertilidade do solo se torna ainda mais crucial no contexto em que o preço dos adubos químicos deverá aumentar devido ao custo da energia e do transporte. Devido a sua facilidade de aplicação, o uso de adubos químicos relegou, para um segundo plano, técnicas

destinadas à manutenção da fertilidade natural dos solos, tais como: o uso de leguminosas, a rotação de culturas e o uso de esterços. Além disso, outras técnicas são possíveis, principalmente o uso sistemático de plantas que assegurem uma cobertura viva ou morta do solo e estimulem a atividade biológica e a acumulação de húmus (Figuras 8 e 9).



Foto: Carlos Roberto Martins

Figura 8. Cobertura permanente do solo com *Pueraria sp.*



Foto: Carlos Roberto Martins

Figura 9. Cultivo de citros com plantas de coberturas para adubação verde.

Há todo um campo a ser estudado sobre técnicas que promovam os processos físicos, químicos e biológicos, que, em interação, favorecem a pedogênese e a liberação mais rápida dos nutrientes minerais. Pode-se também vislumbrar o uso de plantas de serviço, com sistema radicular profundo, destinadas à remontagem de nutrientes.

Melhoria da estrutura do solo

O preparo do solo constitui, desde vários séculos, a técnica de base para conferir a este uma estrutura favorável ao enraizamento das culturas, mas o seu custo em termos energéticos é elevado e tende a aumentar ainda mais com o crescimento no preço dos combustíveis. Portanto, a busca por técnicas que permitam conservar uma boa estrutura do solo, evitando-se as arações e gradagens, parece ser inevitável.

As técnicas que se enquadram nessa categoria são aquelas que promovem o acúmulo de matéria orgânica no solo e que favorecem o restabelecimento da malha biológica, principalmente das minhocas que asseguram uma estruturação favorável. Pode-se imaginar também o uso de plantas de serviço capazes de reestruturar os solos compactados (Figura 10).



Foto: Carlos Roberto Martins

Figura 10. Cultivo de noqueira-pecã (seta azul) com cultura intercalar de batata-doce (seta branca) e área em pousio (seta vermelha).

Controle de plantas espontâneas

O uso de herbicidas durante décadas fez se perderem diversas técnicas alternativas. Dentro dessa categoria, a ação mecânica de cultivadores, o controle térmico, o uso de rotações e o uso de animais para pastoreio ou de patos em plantações de arroz são técnicas bem conhecidas, mas de utilização relativamente complexa. Uma agricultura ecologicamente intensiva deverá, principalmente, fazer um melhor uso da cobertura vegetal permanente do solo, seja cobertura morta, seja de cobertura viva (Figura 11). Pode-se esperar também que o aumento no conhecimento dos mecanismos de alelopatia venha trazer grandes avanços nesse domínio. Uma vasta literatura está disponível com estudos de interações alelopáticas entre plantas (YAN et al., 2000; KOHLI et al., 2001; ALBUQUERQUE et al., 2011).



Figura 11. Plantio direto na palha.

Controle de pragas e doenças

Técnicas alternativas para o controle de fitopatógenos não são ainda numerosas. Ademais, pode-se esperar que não será fácil eliminar rapidamente o uso do controle químico se níveis elevados de produtividade são almejados. Por outro lado, pode-se esperar

uma redução das quantidades utilizadas pela aplicação das técnicas alternativas combinadas com racionalização na aplicação do controle químico, sendo esse baseado em uma lógica de precisão tanto no espaço quanto no tempo.

Apesar de não serem numerosas, algumas técnicas tais como as misturas varietais entre variedades resistentes e não resistentes, o uso de coberturas mortas ou vivas para se evitar o efeito de espalhamento, ou a construção de obstáculos naturais à dispersão de esporos de fungos, como quebra-ventos, devem ser priorizados nos sistemas de produção.

O controle de insetos apresenta menores dificuldades para se definir técnicas alternativas do que as doenças. Podem-se utilizar as técnicas de controle biológico (Figuras 12 e 13), a construção de habitats para os insetos ou animais auxiliares, a diversificação de culturas e de variedades, entre outras.



Foto: Adenir Vieira Teodoro

Figura 12: Lagarta-do-cartucho do milho morta pelo fungo *Beauveria bassiana*.



Foto: Adenir Vieira Teodoro

Figura 13. Percevejo *Podisus nigrispinus* predando lagarta-do-cartucho do milho.

É preciso considerar que o recurso ao controle químico poderá ser ainda necessário, mas de forma subsidiária e de exceção, bem como dentro de uma lógica de racionalização precisa no tempo e no espaço.

Outras tecnologias alternativas poderão evoluir ainda mais no futuro para substituir os inseticidas químicos: os inseticidas naturais (organismos entomopatogênicos e inimigos naturais) e os inseticidas da nova geração que atuam por biomimetismo, que se inspiram nos fenômenos naturais e nas moléculas existentes na natureza, e buscam imitá-las com o objetivo de controlar o processo e utilizá-las nas situações adequadas. É o caso, por exemplo, dos feromônios de confundimento sexual que atraem os insetos para armadilhas onde são eliminados. No entanto, a redução de doses e a diversificação de soluções de complementaridade ao controle biológico e as resistências genéticas devem constituir-se, inicialmente, numa prioridade.

O controle da mesofauna e da macrofauna também não deve ser negligenciado, e técnicas alternativas devem ser adotadas. Por exemplo, o uso de corujas para o controle de ratos e, por consequência, de cobras que representam risco aos trabalhadores, é prática comum em plantações de palma-de-óleo no sudeste asiático, especialmente na Indonésia e na Malásia.

Melhoramento vegetal

Dentro da ótica de uma agricultura ecologicamente intensiva, pode-se esperar, no futuro, que programas de melhoramento genético associados a modernas técnicas biotecnológicas busquem, além de aumentos de produtividade e resistência a doenças, adaptação a condições ambientais, tais como: seca e altas temperaturas, plantas mais eficientes no uso da água e dos nutrientes minerais ou mais tolerantes à salinidade ou à acidez, além de apresentarem melhores qualidades nutritivas, os chamados produtos biofortificados.

Programas nesse sentido já fazem parte da agenda de pesquisas em diversas instituições e os resultados desses trabalhos constituem peça fundamental no contexto de uma agricultura ecologicamente intensiva.

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Um exemplo de sistema agrícola ecologicamente intensivo

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (Figura 14) é um exemplo típico de sistema agrícola fundamentado nos princípios da Intensificação Ecológica (ou Intensificação Sustentável). Na ILPF, os mecanismos naturais dos ecossistemas são canalizados em favor do sistema de produção. As diversas espécies presentes (culturas anuais, pastagens e essências florestais) possuem raízes que exploram recursos do solo em diferentes profundidades, evitando assim a competição e favorecendo a complementaridade de nicho no uso de água e nutrientes minerais. A presença de diversos extratos radiculares favorece ainda a captura de lixiviados e a remontagem de nutrientes. Em relação à parte aérea, os diferentes níveis de dossel propiciam melhor captura e uso mais eficiente da radiação solar e uma cobertura do solo que reduz as perdas de solo por erosão e água por evaporação, além de reduzir a competição com plantas espontâneas. A biodiversidade presente tem o potencial de promover mecanismos benéficos como simbiose (fixação biológica do nitrogênio; associação

micorrízica) e alelopatia, que ajudam no controle de plantas invasoras, além de favorecerem a presença de inimigos naturais de pragas e oferecerem barreiras físicas e genéticas à disseminação de doenças. E a integração com animais, distribuídos adequadamente no tempo e no espaço, favorece o aproveitamento ótimo da biomassa produzida, favorece a diversidade e os mecanismos de ciclagem de nutrientes, e ampliam as opções de geração de renda.



Foto: Carlos Roberto Martins

Figura 14. Integração coqueiro e pecuária leiteira.

Considerações finais

Existe um grande número de técnicas disponíveis para uma larga gama de objetivos ambientais. Uma agricultura ecologicamente intensiva e de alto valor ambiental supõe assim a gestão de técnicas agrícolas e de organização da paisagem muito mais complexas do que aquelas hoje utilizadas no manejo da agricultura convencional. Esse manejo não se concentra simplesmente em nível do da propriedade, mas se aplica aos mais diferentes níveis de manejo do ecossistema. Portanto, pode-se imaginar que a Agricultura Ecologicamente Intensiva seja intensiva não somente em nível das funcionalidades ecológicas, mas que necessite de uma forte mobilização dos conhecimentos técnicos e da gestão das interações entre os diferentes usuários dos ecossistemas.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. B.; SANTOS, R. C.; LIMA, L. M.; MELO FILHO, P. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; CAMARA, C. A. G.; RAMOS, A. R. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 31, n. 2, p. 379-395, 2011.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Roma: FAO, 2012. 147 p.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. **Agricultural Technologies and Tropical Deforestation**. Wallingford: CABI Publishing, 2001. 422 p.
- AUSBEL, J. H. 'Can technology spare the earth?' **American Scientist Magazine**, Chapel Hill, v. 84, n. 2, p. 166–178, 1996.
- BONNY, S. L'agriculture écologiquement intensive: nature et défis. **Cahiers Agricultures**, Les Ulis, v. 20, n. 6, p. 451-462, 2011.
- BORLAUG, N. Feeding a hungry world. **Science**, Washington, v. 318, n. 5849, p. 359, 2007.
- BURNEY, J. A.; DAVIS, S. J.; LOBELL, D. B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 107, n. 26, p. 12052–12057, 2010.
- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORREL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, Washington, v. 8, n. 3, p. 559–568, 1998.
- CHAVAS, J. P. Agricultural policy in an uncertain world. **European Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 383-407, 2011.
- DE SCHUTTER, O. **Report submitted by the special rapporteur on the right to food**. Nova York: General Assembly, United Nations., 2010. 21 p. Disponível em: <http://www2.ohchr.org/english/issues/food/docs/A-HRC-16-49.pdf>. Acesso em: 28/04/2016.

DIRZO, R.; RAVEN, P. H. Global state of biodiversity and loss. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 28, p. 137–167, 2003.

DORE, T.; MAKOWSKI, D.; MALEZIEUX, E.; MUNIER-JOLAIN, N.; TCHAMITCHIAN, M.; TITTONEL, P. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 34, n. 4, p. 197–210, 2011.

FISCHER, J.; BROSI, B.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R.; GODMAN, R.; GOLDSTEIN, J.; LINDENMAYER, D. B.; MANNING, A. D.; MOONEY, H. A.; PEJCHAR, L.; RANGANATHAN, J.; TALLIS, H. Should agricultural policies encourage land sparing or wild life friendly farming? **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 6, n. 7, p. 380–385, 2008.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MEULLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNET, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBER, S.; TILLMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Nova York, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, S. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, Washington, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010a.

GODFRAY, H. C. J.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; NISBETT, N.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; TOULMIN, C.; WHITELEY, R. The future of global food system. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, Londres, v. 365, n. 1554, p. 2769–2777, 2010b.

GRAINGER, A. Measuring the planet to fill terrestrial data gaps. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 49, p. 20557–20558, 2009.

GRIFFON, M. Pour des agricultures écologiquement intensives. Avignon: L'aube, 2010. 144 p. DURU, M. Michel Griffon: Qu'est ce que l'agriculture écologiquement intensive? Versalhes: Édition Quae.. 224 p. 2013. Collection: Matière à débattre et décider.

HERTEL, T. W; RAMANKUTTY, N.; BALDO, U. L. C. Global market integration increases likelihood that a future African Green Revolution could increase crop land use and CO₂ emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 111, n. 38, p. 13799–13804, 2014.

KATES, R. W. Ending hunger: current status and future prospects. **Consequences**, Cohasset, v. 2, n. 2, p. 3–12, 1996.

KOHLI, R. K.; SINGH, H. P.; BATISH, D. R. (Ed.). Allelopathy in agroecosystems. Binghamton: Food Products Press, 2001.. 449 p.

LAL, R. Climate strategic soil management. **Challenges**, Switzerland, v. 5, n. 1, p. 43-74, 2014.

MCINTYRE, B. D.; HERREN, H. R.; WAKHUNGU, J.; WATSON, R. T. Agriculture at a Crossroads. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report. Washington: Island Press, 2009. 590 p. Disponível em: <http://www.unep.org/dewa/Assessments/Ecosystems/IAASTD/tabid/105853/Default.aspx>. Acesso em: 28/04/2016.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Toward sustainable agricultural systems in the 21st Century. Committee on Twenty-First Century Systems Agriculture. Washington: The National Academies Press, 598 p. 2010.

PLUCKNETT, D. L. International agricultural-research for the next century. **Bioscience**, Oxford, v. 43, n. 7, p. 432–440, 1993.

RAMANKUTTY, N.; RHEMTULLA, J. Can intensive farming save nature? **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 10, n. 9, p. 455, 2012.

ROYAL SOCIETY OF LONDON. Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture. Londres: The Royal Society, 2009. 73 p.

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. **Nature**, Nova York, v. 485, n. 7397, p. 229-232, 2012.

SPIERTZ, J. H. J.; EWERT, F. Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: Opportunities and constraints. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, Amsterdam, v. 56, n. 4, p. 281–300, 2009.

SWINTON, S. M.; LUPI, F.; ROBERTSON, G. P.; HAMILTON, S. K. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 245-252, 2007.

SWINTON, S. M.; LUPI, F.; ROBERTSON, G. P.; LANDIS, D. A. Ecosystem Services from Agriculture: Looking beyond the usual suspects. **American Journal of Agricultural Economics**, Oxford, v. 88, n. 5, p. 1160–1166, 2006.

TILLMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 2011.

TILLMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, Washington, v. 292, n. 5515, p. 281–284, 2001.

TILLMAN, D.; KASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, Nova York, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.

UNITED NATIONS. World Population Prospects. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/>. Acesso em: 27/07/2016.

VITOUSEK, P. M.; ABER, J. B.; HOWART, R. W.; LIKENS, G. E.; MATSON, P. A.; SCHINDLER, D. W.; SCHLESINGER, W. H.; TILMAN, D. G. Human alteration of the global nitrogen cycle. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, n. 3, p. 737–750, 1997a.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human domination of earth's ecosystems. **Science**, Washington, v. 277, n. 5325, p. 494–499, 1997b.

WAGGONER, P. E. How much land can ten billion people spare for nature? Does technology make a difference? **Technology in Society**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p.17–34, 1995.

YAN, F.; YAN, Z. M.; HAN, L. M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plants. **Acta Ecologica Sinica**, Amsterdam, v. 20, n. 4, p. 692-696, 2000.



Tabuleiros Costeiros

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

