

A AS-PTA tem participação ativa na Rede CLADES —
Consórcio Latino-Americano sobre
Agroecologia e Desenvolvimento,
composta por 11 organizações não-governamentais (ONGs)
de 8 países sul-americanos
dedicadas ao desenvolvimento rural de base
com um enfoque agroecológico.

O CLADES funciona como um eixo institucional
para promover pesquisa, treinamento e informação
sobre as bases agroecológicas
necessárias para um desenvolvimento mais sustentável
da pequena produção agrícola na América Latina.

AS-PTA Nacional

Rua Bento Lisboa, 58 — 3º andar
22221-011 — Rio de Janeiro — RJ
Tel.: (021) 285-5857

Fax 55 21 265-8876 — Nodo Alternex AX:PTA

AS-PTA Regional Sul

Rua do Comércio, 34 Fundos
98700-000 — Ijuí — RS
Tel/Fax.: (055) 332-4740

AS-PTA Rede Paraná

Praça Zacarias, 36/603
80020-080 — Curitiba — PR
Tel.: (041) 223-2140
Fax: (041) 222-3411

AS-PTA Regional Leste

Rua Major Barbosa, 187
30240-370 — Belo Horizonte — MG
Tel.: (031) 467-7470

AS-PTA Regional Nordeste

Av. Conde da Boa Vista, 1.295/107
50060-003 — Recife — PE
Tel: (081) 231-6587



Paradigmas e princípios ecológicos para a agricultura

Michael J. Dover
Lee M. Talbot

Tradução: Lourdes M. Grzybowski



AS-PTA ■ ASSESSORIA E
SERVIÇOS A PROJETOS EM
AGRICULTURA ALTERNATIVA

Textos para debate nº 44
Rio de Janeiro, outubro de 1992

Paradigmas e princípios ecológicos para a agricultura

Michael J. Dover
Lee M. Talbot

AS-PTA — Assessoria e Serviços a
Projetos em Agricultura Alternativa
Rua Bento Lisboa, 58 – 3º andar
22221-011 — Rio de Janeiro — RJ

Esta publicação contou com o apoio financeiro do
CLADES

Dover, Michael J.

Paradigmas e princípios ecológicos para a
agricultura. / Michael J. Dover, Lee M. Talbot.
Trad. Lourdes M. Grzybowski. — Rio de Janeiro:
AS-PTA, 1992.

42 p. — (Textos para Debate, 44).

1. Agroecologia 2. Ecologia. I. Talbot, Lee M.
II. Título III. Série.

Satis 404.

Sumário

Introdução.....	1
Os significados da sustentabilidade.....	2
Ecologia: a ciência integradora.....	4
Desenvolvimento do ecossistema	6
Diversidade e estabilidade.....	8
Conceitos de população: dinâmica e interações	12
Aplicações de conceitos ecológicos na agricultura	17
Análise e planejamento de sistemas de policulturas	18
Um agroecossistema modificado de policulturas no México	28
Agroflorestação: cultivando com árvores	31
Princípios agroecológicos em desenvolvimento	40

Setor de Comunicação — AS-PTA
Produção e tradução: Lourdes M. Grzybowski
Editoração eletrônica e revisão:
 Desktop Publicações Ltda.

Introdução

Em decorrência da modernização da produção de arroz no Sri Lanka, os tratores foram substituindo os búfalos como principal instrumento de tração para arar, sulcar e cultivar. Superficialmente, essa substituição parece ter sentido já que poupa 8 a 9 dias/homem por ha. Mas uma análise mais profunda é necessária.

Economicamente, o uso de tratores aumentou os custos para os agricultores quando o preço do combustível elevou-se na década de 70. Os custos indiretos também aumentaram, pois, para começar, o búfalo abastecia a família camponesa de leite e soro, itens que agora devem ser comprados. Também a urina e as fezes, que serviam como fertilizante, agora devem ser substituídos por fertilizantes inorgânicos industrializados. Por último, o pastoreio dos búfalos é uma fonte de emprego para os jovens, receita que se perde quando o trator substitui esses animais.

Existem, ainda, outros custos associados à substituição do búfalo que são mais sutis. Os tratores destroem a estrutura do solo, parcialmente criada pelo pisoteio desses animais, diminuindo a retenção da água e fazendo cair o rendimento. A eliminação dos tanques para o banho dos búfalos, que eram mantidos nos campos de arroz, trouxe inesperadas e sérias conseqüências:

Na medida em que os campos de arroz secam completamente durante a temporada da colheita, a maioria da fauna aquática morre. A recolonização dos campos se faz, usualmente, em tempos de inundação, pelos seres vivos que mantiveram suas populações em 'refúgios contra a seca', habitats que mantêm a água durante o período seco, como lagos ou rios. Porém, quanto maior for a distância de um desses 'refúgios' a um determinado campo, menor é a probabilidade de que este seja recolonizado... Os tanques para os búfalos também servem como refúgio para os organismos aquáticos e, depois da estação seca, asseguram a recolonização do conjunto dos campos a eles associados...

Muitos benefícios ecológicos desapareceram junto com esses tanques. Os peixes comestíveis pescados nos refúgios contra a seca chegavam a níveis de 700 a 800 kg/ha. Os peixes que se alimentavam de mosquitos e viviam nos tanques ajudavam o controle do vetor da malária. Por isso, agora é necessário um maior uso de inseticidas para o controle dessa enfermidade. Outros dois animais que dependem dos tanques para a sua reprodução são uma espécie de cobra e o crocodilo *Varanus*

salvator. A primeira é um importante predador dos ratos que se alimentam dos grãos maduros nos campos; os crocodilos consomem os caranguejos que furam, debilitam e destroem as estruturas necessárias para o bom manejo da água nos campos de arroz. Esses tanques também servem de reservatório de água para molhar as folhas de coqueiros utilizadas nos telhados. Se essas folhas forem substituídas por telhas (que precisam ser cozidas), haverá maior consumo com o conseqüente aumento da já alta taxa de desmatamento.

As conexões ecológicas contidas nesse pequeno exemplo de mudança no sistema de produção mostram a necessidade de se pensar muito mais seriamente sobre os “melhoramentos” tecnológicos que são propostos. A maioria dos sistemas tradicionais de cultivo evoluiu através de séculos, milênios, e o mundo natural evoluiu com eles. A coevolução de animais e plantas silvestres junto com as atividades agrícolas pode influir sobre o funcionamento do conjunto dos sistemas agrícolas, e qualquer mudança deveria ser feita com cuidado. Tais mudanças devem basear-se em um claro entendimento da estrutura e funcionamento ecológicos dos agroecossistemas se o que se quer é conseguir uma agricultura mais produtiva e estável.

Os significados da sustentabilidade

O que é uma agricultura sustentável? O economista californiano Gordon Douglas assinala que *sustentabilidade* tem diferentes significados para as diversas escolas de pensamento:

- A corrente *suficiência alimentar* ou de *produtividade*, que pensa a sustentabilidade como o abastecimento suficiente de alimentos para cobrir a demanda de todas as pessoas;
- A escola dos *cuidadosos*, que vê a *estabilidade* como um fenômeno *principalmente ecológico*, com a preocupação de manter um *nível médio de produção por um longo e indefinido período... sem esgotar os recursos renováveis de que a produção depende*;
- A perspectiva *comunitária*, que *concentra maior atenção nos efeitos dos diferentes sistemas agrícolas sobre a vitalidade, e sobre a organização social e cultural da vida rural*.

Dado que nem a produtividade nem a vida rural podem manter-se se os sistemas de produção não são ecologicamente estáveis a longo prazo, uma definição de sustentabilidade — como os objetivos da escola dos *cuidadosos* — deve estar baseada nos recursos que determinam a produção e nos meios para conservá-los. Stephen Gliessman, diretor do

Programa de Agroecologia da Universidade da Califórnia em Santa Cruz, descreve essa orientação dos “níveis médios de produção” com o intuito de “otimizar a produtividade a longo prazo em vez de maximizá-la a curto prazo”. Na realidade, para se manterem bem em um “período indefinidamente longo”, os sistemas agrícolas devem ser capazes de ter níveis confiáveis e contínuos de produção, de maneira similar ao conceito de rendimento sustentável ótimo no manejo da vida silvestre.

Existe um antigo conceito de rendimento máximo sustentável criado por cientistas estudiosos da piscicultura que buscavam limitar as capturas a um nível em que a pesca fosse igual à taxa de substituição da população máxima calculada, de forma que pudesse ser eterna. Infelizmente, as taxas de pesca foram calculadas como se cada espécie estivesse isolada de seu meio. Outros fatores no ecossistema que interatuam com as espécies em questão inevitavelmente causariam o colapso do sistema. A nova tendência desses estudos utiliza um modelo mais realista de dinâmica de populações, levando em consideração as interações interespecíficas e entre os organismos e o meio ambiente.

Diferentes regras de substituição entram em jogo na agricultura incluindo aquelas relacionadas com os nutrientes do solo e a matéria orgânica, com a água e com diversas plantas e animais benéficos. Portanto, o terceiro critério de Douglas é essencial: que os recursos renováveis não sejam esgotados.

D.J. Greenland, edafólogo do Instituto Internacional do Arroz, descreve de forma mais concreta as condições para uma agricultura estável:

- Os nutrientes químicos extraídos pelos cultivos são repostos no solo;
- A condição física do solo apropriada ao tipo de utilização da terra se mantém, o que significa, usualmente, que a quantidade de húmus no solo é constante ou vai aumentando;
- Não há aumento de ervas daninhas, pestes ou enfermidades;
- Não há aumento da acidez do solo ou de elementos tóxicos;
- A erosão do solo está controlada.

O critério de Greenland refere-se, fundamentalmente, “ao lugar de produção ou ao nível do estabelecimento agrícola”. A isso acrescentam-se exigências óbvias, como a de que o cultivo deve ser produtivo e rentável.

A lavoura e a propriedade são somente os dois primeiros níveis na hierarquia que define os agroecossistemas. Olhando-se a nível regional (conjunto de propriedades), a sustentabilidade adquire uma nova dimensão que inclui a necessidade de:

- Minimizar a dependência em relação a energia não-renovável, aos recursos minerais e aos produtos químicos;

- Reduzir a contaminação extrapropriedades do ar, da água e da terra por nutrientes e materiais tóxicos até os níveis em que a autodescontaminação seja possível e contínua;
- Manter um habitat adequado para a vida silvestre;
- Conservar os recursos genéticos das espécies vegetais e animais necessários para a agricultura.

Em nível nacional e internacional, as definições de produtividade e de comunidade presentes na tipologia de Douglas são predominantes: as pessoas precisam de alimentos e de renda, os custos das importações devem ser minimizados e é necessário preservarem-se os ecossistemas únicos. Se a agricultura pode estabilizar-se em nível da lavoura e do estabelecimento rural da região, as preocupações de maior nível hierárquico podem ser enfrentados de forma efetiva. Por outro lado, se a estabilidade não é alcançada em níveis mais baixos, será impossível alcançá-la nos níveis mais altos. O que se precisa é de um novo programa de longo prazo para a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação, orientado mais pelo planejamento de sistemas do que pela modificação das partes.

Ecologia: a ciência integradora

Assim como a análise de sociólogos, economistas, cientistas políticos e outros comprovam que distintos grupos de pessoas mostram comportamentos diferenciados, os sistemas naturais (grupos de plantas, de animais e de microrganismos) mostram características coletivas que diferem da simples soma das ações individuais dos membros do grupo.

É objeto da ecologia conhecer exatamente o que se passa quando os organismos interatuam uns com os outros e com o ambiente *não-vivo* (incluindo-se o clima). Essa ciência é definida por Charles Krebs, da Universidade de British, Colômbia, como o “estudo das interações que determinam a distribuição e a abundância dos organismos”. A ecologia também se preocupa com as mudanças na distribuição e na abundância através do tempo, elemento essencial para se entender a estabilidade dos sistemas naturais e a sustentabilidade daqueles *manejados*, como a agricultura.

Os ecólogos geralmente estudam três níveis de organização: população, comunidade e ecossistema. As populações são grupos de organismos que pertencem à mesma espécie, geralmente ocupando uma área contígua e caracterizados por taxas de reprodução ou natalidade, de mortalidade, de imigração e emigração. Esses processos interatuam criando estruturas etárias identificáveis nas populações. Tomados em conjunto, esses atributos definem o crescimento e o declínio populacional e ajudam a determinar onde e quando se localizam as populações.

Na natureza não existem espécies isoladas e sim complexas associações chamadas comunidades, que são o conjunto das populações de um determinado lugar. As interações entre seus membros definem os atributos da comunidade. Estes incluem a composição específica (quais as espécies que estão presentes na comunidade e em que número) e a rede alimentar ou estrutura trófica (quais espécies se alimentam de quais outras). Em um processo chamado sucessão, muitas comunidades vão gradualmente mudando: algumas espécies vão sendo substituídas por outras e novas espécies somam-se ao sistema. A diversidade específica — expressa pelo número de espécies ou pela importância numérica relativa de várias espécies — é freqüentemente utilizada para descrever diferenças na estrutura e na *maturidade* evolutiva entre as comunidades. A dinâmica de comunidades (expressa em termos de fluxo de energia e nutrientes através da rede alimentar e em termos da taxa de mudanças na composição das espécies) está determinada pelas taxas de produção primária (fotossintética) e pelo consumo por herbívoros, carnívoros e organismos decomponedores. Assim como as populações naturais só existem em associação com outras, o destino dos componentes vivos e não-vivos está intimamente unido.

Em cada caso, a comunidade tem inter-relações muito estreitas com o seu ambiente. Por exemplo, as condições climáticas de solo afetam a comunidade e esta afeta o solo e o seu próprio clima ou microclima interno; também a energia e a matéria são retiradas do ambiente para manter as funções vitais da comunidade e seu sustento, transferidas de um organismo a outro na comunidade para serem devolvidas ao meio ambiente. Uma comunidade e seu meio ambiente tratados juntos como um sistema funcional de relações complementares, transferências, circulação de energia e de matéria constituem um ecossistema.

Geralmente, o ecossistema é descrito como a unidade básica da ecologia porque é o que melhor inclui as mais importantes relações físicas e bióticas que afetam os organismos. Da mesma maneira que a comunidade, suas características estão determinadas pelos fluxos de energia e nutrientes, composição de espécies e diversidade, estrutura trófica e taxas de produção, consumo e decomposição. A diferença está no fato de que em um ecossistema as reservas não-vivas e as fontes de matéria e energia são consideradas em conjunto com os animais e microrganismos que habitam o meio ambiente.

Desenvolvimento do ecossistema

A compreensão da evolução das comunidades e dos ecossistemas é particularmente importante para a identificação das condições ecológicas que devem servir de base para uma agricultura sustentável. Devido ao modo como o ser humano muda o meio ambiente quando cultiva, a agricultura tem muitas das características dos ecossistemas naturais *imatuross*.

Na década de 60, os ecólogos Ramón Margalef e Eugene Odum desenvolveram teorias similares para descrever as mudanças que ocorrem enquanto os ecossistemas se desenvolvem. Segundo Margalef, com o tempo os ecossistemas que não sofrem distúrbios vão tendo sua maturidade aumentada, e os ecossistemas maduros diferem claramente daqueles em estado prematuro de desenvolvimento quanto ao aumento da biomassa (matéria viva), à diversidade específica e à estratificação (por exemplo, maior número de camadas de folhas nas copas em uma floresta madura) ou heterogeneidade espacial. A estrutura trófica nos sistemas maduros é maior e mais completa que nos imaturos, de acordo com Margalef e Odum. Em geral, os estados tardios de desenvolvimento do ecossistema se caracterizam por um grau maior de organização ou estrutura da comunidade do que o que é observado nos estados prematuros.

O fluxo de energia em diferentes tipos de ecossistema pode ser especialmente significativo para o planejamento de futuros sistemas agrícolas. Tanto Margalef como Odum notaram a relação existente entre a produtividade primária — captura de energia solar pelas plantas e consequente produção de biomassa — e a quantidade de biomassa na comunidade (às vezes chamado *cultivo em pé*). A razão produtividade/biomassa diminui com os aumentos de maturidade e, acrescenta Odum, a produtividade chega a ser quase igual à respiração — a taxa de consumo da energia capturada — na medida em que o ecossistema amadurece. Dessa forma, em ecossistemas maduros a energia é utilizada mais para manter o sistema do que para agregar novos materiais. Em contraste, os ecossistemas ~~mais~~ maduros apresentam uma relação produção/biomassa mais alta e a matéria viva se acumula. Essas condições, aponta Margalef, favorecem a exploração dos ecossistemas imaturos em relação aos maduros. A agricultura tem sido freqüentemente descrita como a manutenção artificial de um lugar nos estados prematuros da sucessão (baixa maturidade) a fim de explorar a alta produtividade líquida (biomassa acumulada), em lugar de deixar que o sistema progrida até estágios mais tardios.

Uma das dificuldades para se manter um ecossistema imaturo é que o ciclo de nutrientes é *aberto* em vez de *fechado*. Isso significa que os minerais essenciais e outros nutrientes não permanecem disponíveis no sistema mas se *filtram* para fora, algumas vezes em altas taxas. Em um local desmatado de New Hampshire, por exemplo, os níveis de nutrientes minerais presentes na lixiviação superficial foram de 3 a 15 vezes maiores que em áreas onde ainda existiam florestas. À medida que o ecossistema amadurece, assinala Odum, a reciclagem de elementos como o nitrogênio e o cálcio vai ficando mais *fechada*, o que faz com que o sistema melhore sua capacidade para capturar e conservar os nutrientes e passá-los lentamente de um organismo a outro.

Quando um ecossistema imaturo é explorado economicamente, deve-se ter em mente que as forças naturais que ajudam a estabilizar o ecossistema e as comunidades são normalmente características mais comuns nos ecossistemas maduros do que nos imaturos. Segundo Margalef, as flutuações populacionais são mais pronunciadas nos ecossistemas imaturos que nos maduros, enquanto que os mecanismos que controlam o tamanho da população nos estados prematuros do desenvolvimento do ecossistema parecem ser mais físicos (clima por exemplo) que biológicos (tais como predadores ou abastecimento de alimentos). Os controles finamente sincronizados do tamanho da população se tornam mais factíveis através de forças biológicas do que através de limitantes físicos, já que estes últimos variam ao acaso. De acordo com os dois teóricos, os tipos de organismos existentes em ecossistemas imaturos e maduros são diferentes entre si. Em estados prematuros de desenvolvimento, predominam as espécies que apresentam ciclos de vida curtos, que têm uma ampla gama de alimentos e preferências por habitats, e que conseguem rápidos aumentos de população. Em certas ocasiões, essas espécies são chamadas de *pioneiras* ou *oportunistas*. Muitas pragas agrícolas se incluem nessa categoria. Elas estão adaptadas para aproveitar habitats novos, e os estados prematuros de sucessão, tanto naturais como artificiais (como é o caso de campos regularmente limpos), são ideais para elas. Nos ecossistemas maduros, os organismos tendem a ter ciclos de vida maiores, têm necessidades de alimentos e de habitats mais especializados e estão habilitados para compartilhar com seus vizinhos a divisão dos recursos disponíveis. Odum define a *estratégia* de desenvolvimento do sistema como a tendência a “acrescentar o controle do (ou a homeostase com o) meio físico no sentido de conseguir uma máxima proteção contra suas perturbações”. Tomadas em conjunto, essas observações apontam uma importante limitação da agricultura: a tentativa de se obter a máxima estabilidade de uma estrutura complexa de biomassa muitas vezes entra em conflito com os esforços para obterem-se maiores rendimentos.

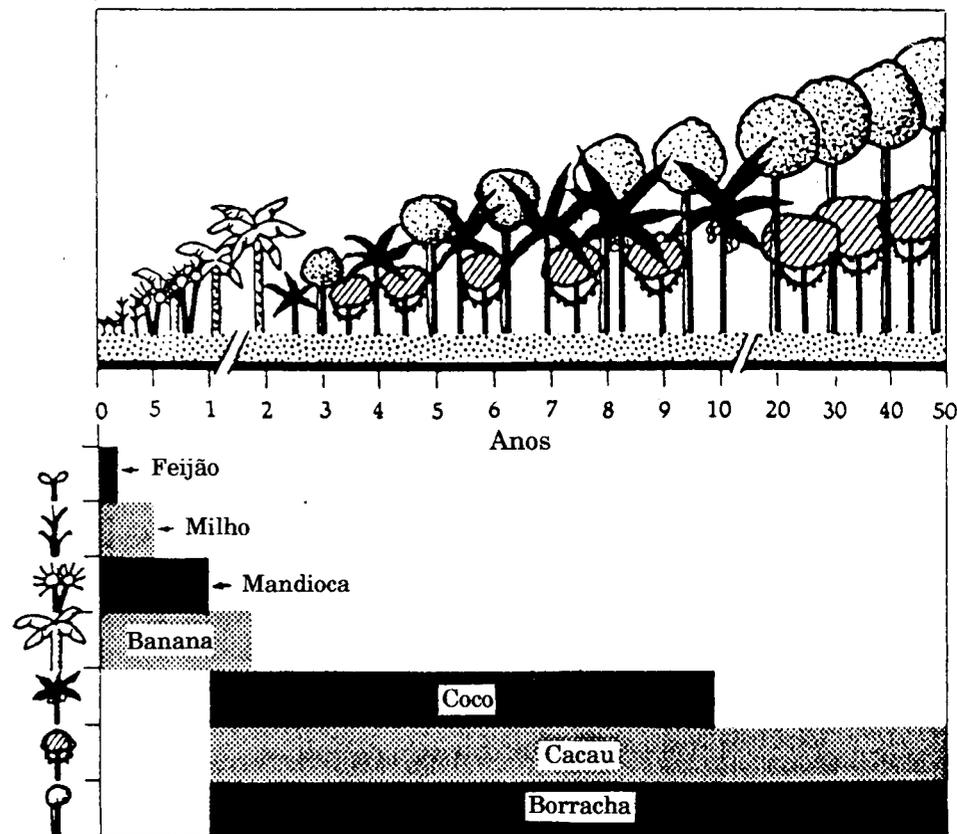
As teorias de Margalef e Odum têm análises pontencialmente valiosas para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Em particular, os conceitos de maturidade e desenvolvimento do sistema poderiam apontar a direção de futuras estratégias para o planejamento e o manejo dos agroecossistemas. Por exemplo, Robert Hart, do Winrock International Institute for Agricultural Development, sugere uma aproximação *análoga* à dos sistemas de produção de alimentos, na qual uma unidade de produção agrícola poderia ser manejada imitando-se a sucessão natural. Começando com pastos anuais e espécies de folhas largas, como milho e feijão, o sistema de Hart passa por etapas até chegar a uma “floresta” com árvores de valor econômico e culturas na camada inferior, com muitas das características ecológicas de uma floresta tropical úmida em maturação (Figura 1, pág. 9). A produtividade e a grande diversidade das hortas caseiras de Java exemplificam um sistema tradicional que usa essa estratégia: tal como acontece na sucessão natural, cada etapa cria as condições físicas (como luz, sombra e matéria orgânica no solo) necessárias para a próxima etapa. A proposta de Hart — dirigir a sucessão em vez de combatê-la — poderia aliviar a batalha sem fim contra as doenças, tão características dos sistemas anuais de cultivos, e reduziria os gastos de energia e trabalho para se estabelecerem cultivos perenes. O resultado seria um sistema de agricultura evolutiva, com uma diversidade crescente e reduzida suscetibilidade às perturbações.

Diversidade e estabilidade

A diversidade de espécies nos habitats naturais há muito tempo tem fascinado os ecólogos, especialmente aqueles que tentam explicar porque algumas comunidades têm grande número de espécies enquanto outras têm menos. Para a agricultura, é particularmente importante a tão repetida afirmação de que a diversidade causa ou eleva a estabilidade ou, pelo menos, contribui com ela. Em várias ocasiões, a relação diversidade/estabilidade tem sido descrita por respeitadíssimos biólogos como uma regra, um princípio, uma *lei imutável*, como algo *provado e sem dúvidas*. Por mais que na década de 60 a conexão diversidade/estabilidade fosse amplamente difundida, especialmente pelos conservacionistas, a hipótese se baseou em algumas evidências não-sistemáticas e em uma breve análise teórica.

A hipótese diversidade/estabilidade exerce uma atração instintiva que se remonta aos Darwinistas sociais do século XIX e, sem dúvida, ao ditado popular sobre cestas e ovos. Se fosse verdade, seria um argumento prático de grande peso para a conservação: manter a diversidade nos

Figura 1. Disposição cronológica dos componentes em sistema de sucessão de culturas



Fonte: Robert D. Hart, "A Natural Ecosystem Analog Approach to the Design of a Successional Crop System for Tropical Forest Environments", *Biotropica* 12 (Suplemento sobre sucessão de culturas nos trópicos, 1980); 73-82.

ecossistemas, sempre que fosse possível, como um neutralizante natural contra a perturbação. Mas basear políticas em teorias falhas poderia trazer insuspeitadas e indesejadas conseqüências para o meio ambiente. Por exemplo, se a diversidade causa estabilidade, as comunidades mais ricas em espécies como a floresta tropical úmida ou os arrecifes de coral seriam capazes de suportar a grandes interferências humanas. No entanto, ambas estão entre as mais frágeis.

Hoje em dia, a evidência experimental e as análises teóricas revelam que a noção de diversidade como causadora da estabilidade é, no melhor dos casos, excessivamente simplificada, se não totalmente errada. Para a explicação das diferenças na diversidade, essa hipótese tem dado lugar a idéias mais sofisticadas de prognóstico ambiental, adaptação populacional e coevolução entre as espécies, que levam a aumentar as relações simbióticas e as de especialização. E tanto os antecedentes listados como a teoria apontam para as características das inter-relações de uma população dadas como determinantes de estabilidade: o ponto de vista *qualitativo* sobre as causas da estabilidade se opõe ao ponto de vista *quantitativo* que simplesmente conta o número de espécies para prognosticar a estabilidade. As implicações disso para a agricultura são de grande alcance. A base qualitativa de estabilidade significa que os ecossistemas agrícolas não podem tornar-se mais estáveis simplesmente aumentando-se sua complexidade. Em lugar disso, as interações que ocorrem nos agroecossistemas devem ser cuidadosamente avaliadas para que se possa determinar os elementos estabilizantes e desestabilizantes e planejar sistemas harmônicos.

Uma deficiência importante das primeiras idéias sobre a diversidade e a estabilidade foi que, apesar de ter sido dedicado um esforço considerável para se definir diversidade tanto conceitual como operacionalmente, o significado da estabilidade não foi rigorosamente examinado. Com efeito, a estabilidade tem várias conotações, todas importantes. Margalef esboçou uma distinção chave: *ajuste versus persistência*. Ele descreveu *ajuste* nos seguintes termos: “um sistema é estável se ao mudar um estado estacionário desenvolve forças que tendem a restaurar sua condição original” (essa é a *homeostase* na teoria de Odum sobre o desenvolvimento do ecossistema, embora *resilência* seja o termo mais descritivo). De acordo com Margalef, um sistema é persistente “se permanece praticamente igual e (mesmo se) sua suposta estabilidade (*resilência*) não se comprovar”, isto é, alterando seu estado permanente. Um terceiro aspecto da estabilidade é descrito pelo ecólogo canadense C.S. Holling como “a capacidade dos (...) sistemas para absorver as mudanças (...) e ainda assim persistirem”. (Essa propriedade poderia ser

melhor chamada de *resistência*: tendência do ecossistema a conservar suas características frente à perturbação). Nessa perspectiva, a estabilidade tem duas dimensões: tempo e perturbação. Persistência é a tendência do sistema a parecer o mesmo através do tempo; resistência é a sua capacidade para enfrentar a perturbação e *resilência* é o seu potencial de recuperação se a perturbação causa mudanças.

Outras duas observações completam o conceito de estabilidade. A primeira é a diferença entre estabilidade local ou regional e estabilidade global. A estabilidade global indica que, não importa quanto um sistema tenha mudado em relação ao seu estado original (por exemplo, uma determinada mistura de espécies), ele voltará a esse estado depois de um determinado tempo. A estabilidade local significa que o sistema voltará ao seu estado original a não ser que a mudança seja muito grande, e, em tal caso, poderá enquadrar-se em outro estado persistente. Em termos práticos, e provavelmente até em teoria, só a estabilidade local é relevante, já que sempre é possível se imaginar uma perturbação tão severa que impeça um ecossistema de retornar à sua forma original. Considerando-se a desertificação: em muitas partes do mundo, apenas interromper as práticas destrutivas não reconduzirá a terra aos seus estados anteriores; serão precisos esforços maciços de regeneração.

Existe outra importante distinção entre estabilidade como equilíbrio e estabilidade como um estado mutante. Por mais que os ecólogos tenham construído muitos modelos populacionais com base na noção de pontos de equilíbrio, um cientista de Princeton, Roberto May, acredita que a natureza está melhor representada por *ciclos de limites estáveis* nos quais o estado da comunidade muda de acordo com algum padrão regular, que tanto podem ser as estações do ano como oscilações mais prolongadas. Um ponto de vista mais *permissivo* sobre a estabilidade considera que o ecossistema muda de estado dentro de certos limites, mas não necessariamente com algum tipo de regularidade. Este último enfoque provavelmente se aproxima de maneira mais real da natureza já que em qualquer ecossistema, ao menos parcialmente afetado por variáveis como temperatura e chuvas, podem ser esperadas mudanças ocasionais.

A utilização prática do conceito de estabilidade no planejamento e no manejo de sistemas agrícolas sustentáveis exige que se considerem seriamente essas distinções e que se desenvolvam expectativas reais sobre a estabilidade dos agroecossistemas. Os aumentos na diversidade não melhoram, necessariamente, e por si mesmos, a sustentabilidade, e uma diversidade mal planejada pode ser, na realidade, desestabilizadora. A busca de uma estabilidade global seria claramente infrutífera: a estabilidade local deveria ser a meta, e os tipos e a severidade das perturbações

esperadas deveriam ser claramente definidos juntamente com os horizontes aceitáveis de tempo para que o ecossistema pudesse responder e se recuperar. Certamente, a persistência da estrutura e da função do agroecossistema é desejável e necessária, definindo-as como a minimização das variações do produto. E a resistência às perturbações deveria estruturar-se em todos os sistemas agrícolas. As flutuações no número de pragas, nas condições climáticas e na disponibilidade de água teriam que ser levadas em conta quando são selecionadas as variedades de plantas e animais e planejados o conjunto de cultivos e as estratégias de manejo. Antecipar-se a vendavais, inundações e outras perturbações importantes significa planificar a resistência estrutural em forma de quebra-ventos, terraços e outras ações que minimizem os efeitos desses eventos. E, se ocorre a mudança, o sistema deverá ser capaz de recuperar-se rapidamente. Todos esses objetivos apontam a necessidade de se contar com agroecossistemas cuidadosamente planejados. Ao se planejarem esses sistemas, deveria se considerar em detalhe não só o ecossistema e a estrutura da comunidade, mas também as características dos componentes populacionais e suas inter-relações.

Conceitos de população: dinâmica e interações

O crescimento, a manutenção ou o declínio do número populacional surgem do confronto de vários fatores — uns mais outros menos inerentes às espécies, mas principalmente dependentes de como as populações dessas espécies afetam umas às outras. Cada espécie tem uma taxa reprodutiva diferente, dependendo da idade em que a reprodução começa e termina, do número de indivíduos por faixa etária e da probabilidade de sobrevivência dos descendentes. Em condições ótimas, essas características definem, no seu conjunto, a *taxa intrínseca de aumento natural* de uma espécie. Em condições adequadas, espécies com alta taxa de crescimento podem explorar habitats recentemente abertos melhor do que aquelas com taxas menores. Por exemplo, as plantas invasoras anuais são as primeiras a povoar terrenos limpos e, dado que produzem grande quantidade de sementes, podem dominar a paisagem, a não ser que se are ou se faça outro tipo de intervenção.

A medida que as populações aumentam em número no decorrer do tempo, geralmente começam a saturar o espaço habitável existente, esgotam o alimento disponível ou competem umas com as outras. Nessas circunstâncias, o crescimento populacional diminui e pode, eventualmente,

alcançar um nível a partir do qual o crescimento não pode ser sustentável. Esse limite ambiental ao tamanho da população ou *capacidade de carga* tem sido demonstrado em laboratório. Sua aplicação na natureza tem sido discutida, mas não há dúvida de que o entorno impõe alguns limites superiores a qualquer população, e a dinâmica populacional próxima ou a capacidade de carga difere daquelas marcadamente abaixo de tal capacidade. Por exemplo, quanto à capacidade de carga, a reprodução não está em sua taxa máxima, mas em um nível quase igual ao da taxa de mortalidade.

Qual é a importância do conceito de capacidade de carga para a agricultura? Esse conceito implica limites inerentes à produtividade ou a tecnologia pode superar qualquer barreira? As respostas a essas perguntas não são simples. Para começar, nem todas as populações exibem curvas de crescimento com capacidades de carga características. Odum distingue dois tipos básicos de modelos de crescimento populacional: uma curva em forma de J, na qual o crescimento prossegue em sua taxa máxima até que as condições ambientais mudem e a população *se desaprume* e uma em forma de S, na qual o crescimento diminui gradualmente à medida que se aproxima a capacidade de carga, e, ao alcançá-la, o número populacional flutua ao redor desse nível. Os padrões específicos de crescimento populacional podem variar consideravelmente a partir desses dois tipos ideais seguindo, algumas vezes, a um ou a outro padrão ou a combinações dos dois, na medida em que mudam as condições. E as condições *fazem a mudança: são raros os entornos estáveis na natureza, se é que existem. Para tanto, o entorno deve ser capaz de manter um nível de população em uma estação e um mais baixo ou mais alto em outra. As condições do tempo, por exemplo, podem influenciar a reprodução, a sobrevivência, o abastecimento de alimentos e a relativa importância de predadores e competidores.* O movimento de espécies de e para um determinado habitat pode também influir na quantidade de membros de outras espécies que podem sobreviver nessas áreas. Em resumo, a população máxima admissível pode variar bastante tanto no tempo como no espaço. Seria inútil calcular esse máximo como se fosse um número absoluto.

Aplicado à agricultura, o conceito de capacidade de carga deve incluir outras variáveis. Atestam isso as dificuldades metodológicas e conceituais enfrentadas por antropólogos que calcularam a capacidade de carga para populações agrícolas. Com a finalidade de estimar os níveis de produção agrícola que o entorno permitiria, teria-se que especificar as tecnologias que estão sendo utilizadas, as novas tecnologias que poderiam aplicar-se e o impacto ambiental de cada prática a curto e a longo prazo. Em lugar de se fixar, *a priori*, a capacidade máxima de um solo para pro-

duzir alimentos, é mais sensato examinar-se a produtividade e a estabilidade — resiliência, resistência e persistência — de sistemas de produção específicos, incluindo-se as características do lugar e as tecnologias.

Os ecólogos vêm descrevendo as formas através das quais as espécies têm desenvolvido diferentes adaptações nos dois extremos de um espectro ambiental: algumas exploram habitats *abertos* através da invasão e da intensa reprodução, enquanto que outras se especializam em viver em ambientes *saturados*, competindo eficientemente pelos limitados recursos. A primeira forma é uma *estratégia* de produtividade que se esforça em bancar o entorno; a segunda é uma estratégia de eficiência que enfatiza a permanência nele. A primeira será favorecida onde o entorno físico seja muito variável e imprevisível, onde os fatores de mortalidade sejam pouco afetados pela densidade de população e onde a competição de outras espécies pelos recursos seja fraca. A segunda se dará melhor onde os climas sejam claramente previsíveis, a mortalidade seja afetada fortemente pelos níveis de população e o entorno seja fortemente competitivo. Ao planejarem sistemas agrícolas sustentáveis, os pesquisadores precisam levar em conta ambos os tipos de adaptação e determinar quando e onde é adequado cada um deles: estratégias de produtividade para o necessário aumento da disponibilidade de alimentos e estratégias de eficiência para a estabilidade desejada.

Geralmente, o crescimento e o declínio de uma população depende das interações com outras espécies. Uma espécie se alimenta de outra, cada uma ajudando a regular o número das demais. Duas ou mais espécies podem competir pelo mesmo recurso, seja pelos lugares de criação, pelo abastecimento de alimentos ou pela luz, e isso limita a população de cada uma a níveis inferiores aos que poderiam dar-se na ausência da competição. As relações simbióticas prosperam onde duas espécies, mais do que competir, cooperam. Cada um desses processos pode ajudar ou prejudicar a estabilidade da comunidade, dependendo da extensão e da precisão da interação. A predação pode manter a diversidade em um ecossistema impedindo que alguma espécie domine a paisagem, mas os predadores invasores podem causar sérios danos ao equilíbrio de uma comunidade ao romperem as forças ecológicas que mantêm sob controle o número de espécies. Os competidores podem compartilhar de alguma forma seus recursos comuns ou algumas espécies podem eliminar outras. Uma forte dependência mútua pode significar grande persistência de espécies associadas dentro da comunidade, mas o grupo total de espécies pode desaparecer se algo alterar qualquer população do conjunto.

Alguns ecólogos têm utilizado a terminologia e os conceitos da cibernética para entenderem as propriedades estabilizadoras e desestabilizadoras das comunidades e dos ecossistemas. Um bom exemplo é a auto-

regulada *retroalimentação negativa*, melhor ilustrada por um termostato: se a temperatura cai ou se eleva a partir de um determinado ponto, o sistema de aquecimento liga ou desliga para que a temperatura volte ao nível desejado. Da mesma forma, um predador pode regular eficientemente uma população de pragas aumentando sua taxa de alimentação e seu número quando a população de pragas cresce, e diminuindo a pressão quando a população da praga declina (e a praga se torna difícil de encontrar). Os estudos sobre a dinâmica dos sistemas predador — praga e parasita — hospedeiro, têm sido especialmente úteis para a concepção de programas consistentes para o controle biológico de pragas (outra retroalimentação negativa nos agroecossistemas poderia incluir o crescimento mais rápido das plantas ou a produção de toxinas como resposta aos danos causados pelas pragas ou, ainda, a mudança nas taxas de reciclagem de nutrientes como resposta à fertilização). Em contraste, a retroalimentação positiva, onde a mudança é mais acelerada do que freada pelas interações no ecossistema, é desestabilizante, sendo um bom exemplo disso a desertificação. Uma vez iniciado, um deserto cria, geralmente, as condições para sua própria expansão.

A competição entre plantas e animais pelos recursos vitais pode ser um fator importante na determinação da distribuição e da abundância de várias espécies. Tomando o exemplo dos ecólogos que procuram entender como as espécies coexistem em comunidade, os técnicos em agricultura devem aprender como criar ambientes que tirem vantagem da tendência dos competidores a compartilhar habitats mediante a subdivisão. Uma ou outra vez, os estudos ecológicos sobre a agricultura demonstraram que misturas de plantas cuidadosamente selecionadas utilizam a luz, a água e os nutrientes mais eficientemente do que o faz uma só espécie.

Outra importante manifestação das espécies na natureza é a sua capacidade evolutiva. A maioria das populações é composta por um amplo espectro de indivíduos geneticamente únicos, alguns dos quais sobreviverão à medida que as condições ambientais mudarem. A agricultura moderna conheceu os riscos de eliminar a diversidade genética das populações vegetais: as doenças têm eliminado grandes áreas de cultivos geneticamente uniformes, trazendo como consequência graves perdas econômicas e sofrimento humano. As práticas agrícolas tradicionais, na maioria dos casos, têm preservado a diversidade genética e dirigido a evolução dos cultivos na direção de condições ecológicas, necessidades nutricionais e preferências individuais específicas. Só recentemente os cientistas agrícolas começaram a examinar a relevância da diversidade genética e a aplicar esse conhecimento aos sistemas agrícolas.

O mundo natural é inacreditavelmente diverso e complexo e suas múltiplas estruturas e processos não podem ser reduzidos a uns poucos

princípios universais. O conceito de comunidade, por exemplo, poder ser mais eurístico que real, com mudanças espaciais e temporais na composição de espécies que ocorrem a miúdo e de forma imprevisível.

Por isso, a estabilidade pode ser difícil de se medir. E as comunidades nem sempre evoluem de acordo com a teoria. Mesmo que a ordem e a constância apareçam sempre na natureza, também o fazem a desordem e a mudança, e nem tudo o que acontece pode ser facilmente explicado pelos conceitos existentes. Mais importante ainda, a ecologia procura explicar, não prescrever. Se a sustentabilidade se converteu em uma meta da agricultura, os conhecimentos dos ecólogos podem ser incorporados nos agroecossistemas a fim de alcançar essa meta. Alternativamente, se a sustentabilidade é ignorada, os ecólogos poderiam ser capazes de pressupor algumas conseqüências. Mas a eleição entre ambas as alternativas é social, influenciada por fatores como as necessidades alimentares e monetárias a curto prazo, pelos custos energéticos e materiais, pelas estratégias alternativas de desenvolvimento e pelas questões de equidade econômica, política e de poder. Os políticos devem tomar suas decisões baseados em todas essas considerações, mas devem lembrar, também, não importando a sua escolha, que suas ações provocariam respostas por parte da natureza. Algumas dessas respostas beneficiariam as pessoas da forma esperada e desejada. Mas, caso se pretenda evitar o inesperado, é necessário planejar com base em princípios ecológicos com o objetivo de evitar que as esperanças no desenvolvimento sejam frustradas pela degradação do meio ambiente e pelo esgotamento dos recursos.

Aplicações de conceitos ecológicos na agricultura

Tal como o ecossistema é uma unidade organizacional chave na ecologia, o agroecossistema, ainda que mais simples e ao mesmo tempo mais complexo que sua *contraparte* natural, é a unidade paralela no estudo da agricultura. O agroecossistema é mais simples enquanto contém, usualmente, menos espécies que seus mais próximos análogos naturais: compare-se, por exemplo, um campo de arroz e um pântano, ou um trival com uma pastagem. Mas a intervenção humana também faz o agroecossistema ecologicamente mais complexo. Os ecossistemas naturais estão, em grande parte, internamente regulados: seus fluxos de energia e nutrientes, a composição das espécies e a densidade populacional são determinados, fundamentalmente, pelas interações de vários componentes biológicos e físicos no seu interior. Por outro lado, a atividade humana é o principal determinante de muitas, se não da maioria, das características do agroecossistema.

Uma forma de se diferenciar os dois tipos de ecossistema é através do fluxo de energia. Não só a luz, como também a energia dirigida pelos seres humanos têm um enorme papel na dinâmica do agroecossistema ao determinar os níveis de nutrientes e a direção do fluxo, aumentando ou diminuindo as densidades populacionais de plantas e animais, extraindo a biomassa do ecossistema na forma de colheitas e dirigindo (ou detendo) o curso da evolução do mesmo. Nos sistemas agrícolas nativos, as principais fontes de energia são a força humana e a animal e, especialmente na agricultura itinerante, o fogo. Todos esses recursos retiram sua energia da atividade fotossintética das plantas, estejam eles perto ou distantes da área de produção. E todos, exceto os agricultores mais isolados, utilizam algum combustível fóssil (ou produtos derivados). Muitos sistemas agrícolas tecnológicos avançados são tão dependentes do petróleo e do gás que, na realidade, isso significa maior importação de energia em combustível do que de exportação em alimento.

Por definição, um agroecossistema é um ecossistema cuja estrutura e funcionamento são modificados pelo homem para produzir alimentos, fibras e outros produtos. Em uma definição menos ampla, o agroecossistema é composto, principalmente, pelas interações biológicas que ocorrem em nível de lavoura ou de propriedade rural. Alguns cientistas asseguram que o limite entre a atividade humana e a biológica é difuso e, assim,

o homem se converte em parte da definição de agroecossistema. Outros analistas acreditam que a unidade de produção ou o campo de cultivo são unidades geográficas demasiado pequenas para conter todas as interações relevantes e que é melhor pensar o ecossistema como unidades que abarcam regiões tão grandes como uma nação ou um subcontinente.

Cada vez mais o conceito de agroecossistema está ajudando cientistas e especialistas em desenvolvimento agrícola a entender e eventualmente planejar sistemas sustentáveis de produção. Seus trabalhos mostram alguns caminhos novos que podem ser importantes para a agricultura mundial.

Análise e planejamento de sistemas de policulturas

Uma característica da agricultura industrializada tem sido a sua confiança cada vez maior na monocultura. A monocultura — plantio de uma mesma cultura na mesma terra ano após ano — geralmente dá aos agricultores de grande porte melhores condições de comercialização, mecanização e outras vantagens econômicas. Para certas culturas, pode haver, também, alguns benefícios biológicos, entre eles o controle de algumas doenças. Mas, como modelo geral de produção de alimentos, a monocultura traz alguns problemas preocupantes. O alto grau de especialização em nível de unidade de produção e de região faz com que os agricultores fiquem vulneráveis às flutuações de preços, ao aparecimento de pragas e doenças e às condições climáticas. As espécies de monocultura exigentes em nutrientes esgotam a fertilidade natural do solo e levam a uma dependência maior dos fertilizantes comerciais. Muitos sistemas de monoculturas deixam o solo exposto à erosão eólica e hídrica durante boa parte do ano. Ainda que esse sistema possa gerar trabalho e dinheiro, muitos utilizam a energia e a terra de forma ineficiente.

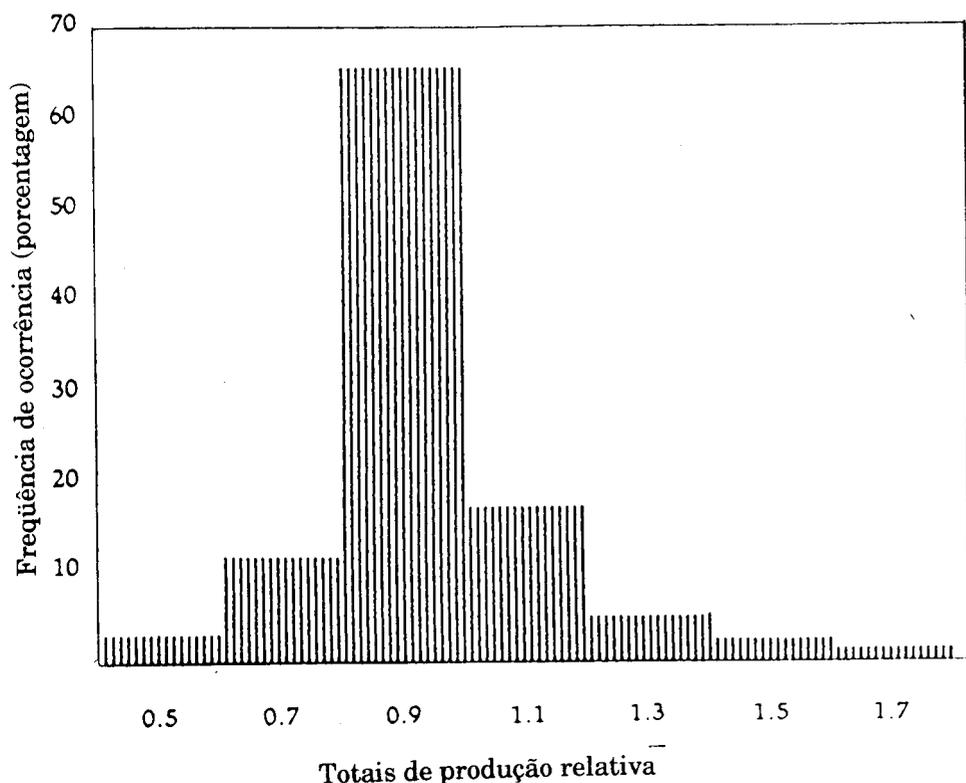
Um tema recorrente nos estudos sobre a agricultura tropical é a predominância de sistemas que empregam mais de um cultivo, seja em seqüência, seja em consórcio e que associam unidades de produção animal com cultivos em sistemas complexos e inter-relacionados. Na África, 98% do caupi, principal leguminosa do continente, é cultivado em combinação com outras espécies. Uma pesquisa feita na Nigéria, em 1974, mostrou que em cerca de 80% de suas terras cultivadas eram utilizados sistemas consorciados de cultivos. Na América Latina, o feijão semeado com milho, batata e outras espécies chega a ser 90% da produção na Colômbia, 73% na Guatemala e 80% no Brasil. O milho é semeado junta-

mente com outro cultivo em quase 60% da área produtora desse cereal na América Latina tropical. Esses sistemas, algumas vezes considerados primitivos, são, na realidade, o resultado de anos de evolução e refletem um profundo conhecimento da área de cultivo e das interações que nela acontecem. Enquanto que anteriormente a grande maioria dos cientistas costumava buscar uma forma de substituir os sistemas de produção nativos por sistemas de alta tecnologia — intensivos em capital e energia e originados em países industrializados — atualmente alguns estudam esses modelos antigos, buscando implementar certos elementos que possam ser melhorados sem que se perca a integridade do conjunto. Um bom exemplo da riqueza de informações e do senso comum existentes nas policulturas tradicionais é a horta familiar em Java, Indonésia. Os estudos dessas pequenas, mas altamente produtivas áreas, que abarcam 2,25 milhões de ha e 17% da terra agrícola do país, mostram que suas características ecológicas se parecem com a das florestas naturais. As hortas são semeadas consorciando-se espécies anuais e perenes, em uma coleção incrivelmente rica: em pesquisa realizada em 351 hortas familiares de Java, foram registradas 607 espécies, uma diversidade comparável à da floresta decídua subtropical. As plantas estão organizadas tanto horizontal como verticalmente, para aproveitar a luz solar disponível. Ao menos quatro tipos de canopia foram identificados, desde o café e o guanabano na parte alta, às ervas e plantas arbustivas na parte baixa. Em seu conjunto, os estratos interceptam quase 99,75% da luz solar, pelo fato dos horticultores determinarem os locais de cultivo para cada espécie segundo as necessidades de luz de cada uma. Mais ainda: considerando-se que os grupos de plantas raras vezes deixam o solo descoberto, a erosão é apenas visível.

Também na África, os sistemas de cultivo em consórcio, em algumas de suas formas, exibem uma “face caótica e que tem grande afinidade com a floresta da qual foram originalmente tirados”. Uma unidade de produção típica da Nigéria pode conter mais de oito cultivos, incluindo-se banana, feijão, goiaba, melão e mandioca, assim como uma diversidade de outras espécies. O rendimento por hectare é alto, como o é também a massa foliar total por unidade de área do solo.

Os cientistas agrícolas começaram a estudar diferentes consórcios de culturas para entenderem as razões do êxito e da popularidade da policultura. O agrônomo australiano B.R. Trenbath, pesquisando 572 experimentos com consórcios de plantas concluiu que em cerca de 20% dos experimentos estudados os consórcios produziam mais que as monoculturas (Figura 2, pág. 20). Como assinalou Stephen Gliesaman, a maioria dos casos que foram examinados por Trenbath eram experimentais e

Figura 2. Distribuição dos totais de produção relativa de consórcio de culturas com base em 572 experimentos publicados



Fonte: Stephen R. Gliessman, "Multiple Cropping Systems: A Basis for Developing an Alternative Agriculture" com base em dados de B.R. Trenbath, "Biomass Productivity of Mixtures", *Advances in Agronomy* 26 (1974): 177-210.

uma amostra dos sistemas de cultivos mistos poderia revelar uma proporção maior com rendimentos totais relativamente mais altos. Mas, inclusive esse conservador dado de 20% demonstra a necessidade de se aproveitarem as vantagens daquelas combinações de cultivos que melhoraram o rendimento. De acordo com Trenbath, os consórcios se comportam melhor quando as espécies se complementam umas às outras em ritmos de crescimento, profundidade radicular e utilização de nutrientes e luz.

Em uma dada situação, vários desses fatores podem estar interferindo. As hortas familiares em Java beneficiam-se claramente da utilização eficiente da luz. Em Trindade, intercalar milho com leguminosas aumentará a eficiência na absorção de nutrientes, talvez porque as espécies componentes têm necessidades nutricionais diferentes e extratos radiculares distintos. As vantagens produtivas da policultura foram indicadas por rendimentos totais relativos de 1,54 e 1,78 para cultivos intercalados mistos e em fila, respectivamente. Outro aspecto igualmente importante é que a policultura retirou de 1,3 a 2 vezes mais nutrientes do solo que a monocultura, fazendo, portanto, uso muito mais completo dos recursos disponíveis (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos da policultura mista e em linhas* de milho e guandu em St. Augustine, Trinidad, expressos como totais de produção relativa

	C individual		P mista			P em linhas		
	M	G	M	G	TPR	M	G	TPR
Produção em t/ha:								
Grãos	3,1	1,9	2,0	1,7	1,54	2,6	1,8	1,78
Matéria seca total	6,4	5,1	4,2	3,8	1,40	5,0	4,9	1,74
Insumo de nutrientes em kg/ha:								
Nitrogênio	66,0	119,0	48,0	100,0	1,56	54,0	127,0	1,88
Fósforo	13,0	6,0	9,0	5,0	1,52	11,0	7,0	2,01
Potássio	51,0	37,0	37,0	32,0	1,59	46,0	33,0	1,79
Cálcio	10,0	22,0	10,0	15,0	1,68	9,0	19,0	1,76
Magnésio	12,0	14,0	9,0	8,0	1,32	9,0	12,0	1,61

C = Cultura; P = Policultura; M = Milho; G = Guandu; TPR = Totais de produção relativa

* A policultura mista é o plantio de duas ou mais culturas simultaneamente, sem qualquer disposição linear definida. A policultura em linhas é o plantio de duas ou mais culturas com uma ou mais culturas plantadas em linha.

Fonte: P.A. Sanchez, *Properties and Management of Soils in the Tropics*.

No México, Gliessman e seus colegas compararam consórcios de cultivos tradicionais utilizando a Relação de Terra Equivalente (RTE), que significa a quantidade relativa de terra semeada em monocultura que seria necessária para se obter a mesma produção que em consórcio. Chegaram à conclusão que se deveria semear 1,73 ha de milho para se obter tanto alimento quanto em 1 ha semeado com milho, feijão e abóbora. Comparando-se a biomassa total (e não só o alimento), o consórcio é ainda mais vantajoso (Tabela 2). Considerando-se que a maioria da biomassa não colhida é arada e incorporada ao solo ou serve para alimentar os animais cujo esterco é utilizado como fertilizante, esse maior benefício do consórcio (aumento da matéria orgânica total no solo) é fundamental para a manutenção do agroecossistema a longo prazo. Outra pesquisa mexicana conclui que uma policultura de milho e feijão produz quase 4 t/ha de matéria seca para ser reincorporada ao solo, enquanto que a monocultura de arroz produz 2,3 t/ha.

Tabela 2. Produção e biomassa total de milho, feijão e abóbora, em kg/ha, plantados em policultura, em comparação a diversas densidades (plantas/ha) de cada planta em monocultura

Cultura	Monocultura				Policultura
Milho:					
Densidade	33.300	40.000	66.600	100.000	50.000
Produção	990	1.150	1.230	1.170	1.720
Biomassa	2.823	3.119	4.478	4.871	5.927
Feijão:					
Densidade	56.800	64.000	100.000	133.200	40.000
Produção	425	740	610	695	110
Biomassa	853	895	843	1.390	253
Abóbora:					
Densidade	1.200	1.875	7.500	30.000	3.330
Produção	15	250	430	225	80
Biomassa	241	941	1.254	802	478

Total da produção em policultura: 1.910; total da biomassa em policultura: 6.659

Taxa de Equivalência de Terra (TET)*

Com base na produção: 1,73;

Com base na biomassa: 1,78

*TET = somatório [(produção ou biomassa de cada cultura da policultura)/(máxima produção ou biomassa de cada cultura na monocultura)].

Fonte: M.F. Amador, *Comportamiento de Tres Especies (Maiz, Frijol, Calabaza) en Policultivos en la Chontalpa, Tabasco, Mexico*. Tesis Profesional, Colegio Superior de Agricultura Tropical, Tabasco, Mexico, 1980. Citado em Gliessman, "Multiple Cropping Systems: A Basis for Developing an Alternative Agriculture".

O cultivo consorciado também tem se mostrado vantajoso em trabalhos experimentais na África e na Ásia. Na República dos Camarões, os rendimentos totais do consórcio de milho e amendoim são maiores em 11 e 21%, respectivamente com e sem fertilização, do que a monocultura do milho sob as mesmas condições. A RTE oscilou entre 1,24 e 1,34 para consórcios não fertilizados, e entre 1,17 e 1,49 nas áreas fertilizadas (as diferenças entre as parcelas fertilizadas e as não fertilizadas sugerem que a disponibilidade de nitrogênio foi, provavelmente, um fator limitante à produção). Na Indonésia, um sistema de cultivo de milho e arroz intercalado com mandioca dois meses depois e, logo após serem colhidos os grãos, seguido de leguminosas tais como caupi e amendoim foi comparado com a semeadura seqüencial de três cultivos sem mandioca. O cultivo intercalado produziu um pouco menos que a semeadura seqüencial, porém houve maiores ganhos líquidos. As parcelas de cultivos intercalados que não receberam cal, fertilizante e cobertura morta conseguiram uma renda líquida de US\$ 219 por ha, sendo que constatou-se uma perda líquida de US\$ 14 por ha para as parcelas semeadas seqüencialmente e manejadas da mesma forma. Quando houve a utilização de cal, fertilizantes e cobertura morta, as diferenças foram mais acentuadas. Os ganhos líquidos por hectare para o cultivo intercalado foram de US\$ 639 e para a semeadura seqüencial foram de US\$ 178.

Na China, algumas das vantagens do cultivo intercalado de borraça e chá baseiam-se nos seus resíduos cujo valor foi calculado em termos dos nutrientes devolvidos ao solo. Os cientistas chineses concluíram que os resíduos vegetais depositados no solo significaram o equivalente a 813 kg/ha de sulfato de amônia (fertilizante nitrogenado), 65 kg/ha de superfosfato cálcico, e 146 kg de sulfato de potássio. Além disso, foi estimado que o cultivo intercalado reduziu a erosão do solo em 70% e aumentou em 2 °C a temperatura mínima no cultivo, reduzindo, assim, o risco das geadas para as seringueiras. Os rendimentos também foram maiores do que com a monocultura.

Por que a policultura está tão difundida? Os exemplos anteriores certamente indicam como razões principais para se continuar confiando nesses sistemas de cultivos consorciados a melhoria da produtividade e da fertilidade. Outra possível vantagem dos consórcios é o controle de pragas, ainda que isso não seja evidente. Na Costa Rica, o consórcio de mandioca e feijão reduz a incidência e a gravidade do oídio na mandioca e da mancha angular no feijão, mas não afeta outras doenças. Nos cultivos consorciados de milho e feijão, a roya do feijão diminuiu, mas a mancha angular aumentou. O vírus do caupi teve sua incidência reduzida quando essa cultura foi combinada com mandioca ou banana. Nesses consórcios e nos de caupi com milho, diminuiu a gravidade da lesão produzida pela *Asochyta* e também o oídio no caupi.

Outras combinações resistentes a doenças incluem milho — maravilha — aveia — gergelim, batata — mostarda, quiabo — tomate — gengibre, e feijão-mungo sob coqueiros. Os vírus, os fungos e os nematóides são afetados por consórcios específicos. Nem sempre se sabe como as doenças diminuem, mas alguns casos indicam que os compostos químicos produzidos por algumas plantas podem ajudar outras a repelir um ataque. A estrutura física da comunidade vegetal também pode inibir a liberação, a disseminação e a reprodução de agentes patógenos.

Em algumas policulturas, os insetos também podem ser menos daninhos. Os cultivos mínimos simplesmente dividem os riscos das perdas entre as várias culturas, em lugar de concentrá-los em uma só. Sem dúvida, existem ainda alguns fatores na distribuição temporal e espacial das plantas que podem influenciar a dinâmica populacional dos insetos. Os cultivos consorciados podem afetar os estímulos olfativos ou visuais que ajudam os insetos a encontrar seus alimentos. Alguns estudos sobre afídeos e outras pragas têm mostrado que certas espécies são atraídas às áreas onde as plantas emergem em solo descoberto: elas se interessam menos pelos solos verdes, resultado de cultivos intercalados densos. Os insetos que se alimentam somente de uma determinada planta podem não encontrar seu alvo se a cultura estiver consorciada com outras plantas igualmente aromáticas. Por exemplo, experimentalmente, os besouros que se alimentam da abóbora têm encontrado dificuldades para se instalarem e se reproduzirem quando o tomate e o fumo são semeados em filas intercaladas com abobrinha. Como resultado, o estrago nas folhas é cerca de 75% menor do que nas populações isoladas. Experimentos de laboratório confirmam que o odor do tabaco e do tomate inibem a alimentação e a permanência do inseto sobre a planta hospedeira.

Em alguns consórcios, os insetos podem dirigir-se a uma cultura em lugar de outra que seja mais vulnerável ao ataque. O caupi, por exemplo, parece ser protegido do ataque dos insetos se cultivado de forma intercalada com cereais como o sorgo, enquanto que o quiabo pode atrair o afídeo do algodão, um cultivo de maior valor comercial. A capacidade dos insetos de se dispersarem através do campo pode também diminuir se no consórcio forem misturadas culturas de diferentes tamanhos e estruturas. O mal causado por uma praga do caupi desapareceu quando foi semeado milho nas mesmas filas dessa leguminosa. Em certas circunstâncias, uma cultura pode ser semeada em faixas, como se fossem barreiras ou *filas guardiãs*, ao redor de outra. Semear soja ao redor de guandu, por exemplo, impede a incidência de algumas lagartas. O sistema de consórcio pode também melhorar o habitat dos inimigos naturais dos insetos, espe-

cialmente predadores não-específicos como aranhas e besouros do solo. Os inimigos naturais específicos como muitas vespas parasitas, podem ser inibidos se forem confundidos através da variedade de estímulos visuais e olfativos de diversas plantas, do mesmo modo que suas presas.

De toda forma, quando é utilizado o sistema de consórcio, o número de pragas se reduz. Em um levantamento de cerca de 150 estudos sobre insetos fitófagos, os pesquisadores constataram que 60% das populações e 50% das espécies observadas foram menos abundantes nos consórcios que nas monoculturas. Somente 11% das populações e 18% das espécies aumentaram com os consórcios. Com base na revisão bibliográfica sobre os prováveis mecanismos que favorecem os consórcios como forma de manejo de pragas, pode-se concluir que a maioria dos estudos atribui o sucesso da policultura principalmente à dificuldade que os insetos encontram para conseguir o suficiente de suas plantas preferidas (o necessário para sobreviverem e reproduzirem-se) e não à influência dos inimigos naturais sobre suas populações.

O controle das plantas invasoras pode ser grande nos sistemas de culturas múltiplas. Quando o milho foi cultivado em consórcio com cucurbitáceas no vale do Congo, com batata-doce e feijão-mungo nas Filipinas e com feijão na Colômbia, apresentou maior imunidade às plantas invasoras que necessitam de mais luz, pois esse sistema dá mais sombra. O mesmo efeito foi observado em uma combinação de mandioca com feijão na Colômbia. Outros cultivos intercalados como caupi, sorgo e milheto na Nigéria e milho, arroz e mandioca na Indonésia tiveram resultados similares através de diversos mecanismos. Nos consórcios, é comum a vegetação combinada de vários cultivos deixar pouco espaço para a instalação ou a sobrevivência das plantas invasoras, e a eficiência com que essas culturas utilizam a luz, a água e os nutrientes reduz a possibilidade de competição. Uma ampla gama de espécies tanto de cultivos como de plantas invasoras produzem e disseminam, por volatilização, através das folhas ou por exudação radicular, compostos químicos que inibem o crescimento e a sobrevivência das plantas próximas. Os cultivos com essas propriedades *alelopáticas* poderiam estar contribuindo para o controle das plantas invasoras em semeaduras mistas, e a possibilidade dessas combinações serem melhoradas está sendo estudada.

As plantas invasoras e seu controle geralmente são fatores complicadores na produção agrícola. Porém, certas “plantas invasoras” podem ser um recurso. No México, os pesquisadores encontraram agricultores com sofisticados pontos de vista: algumas plantas não cultivadas são consideradas benéficas em certos momentos e em certas densidades, mas daninhas em outras ocasiões. Para esses agricultores, o *cultivo limpo* —

uma meta em muitos sistemas agrícolas tecnificados — é uma clara desvantagem. Um estudo sobre as plantas não cultivadas nos campos de arroz da Índia encontrou dezenas de espécies com valor prático potencial: utilidades medicinais, industriais ou alimentícias. Um ponto de vista mais aberto sobre o papel das plantas em um agroecossistema — e sobre como favorecer as combinações mais adequadas para satisfazer as necessidades humanas — poderia aliviar a agricultura dos gastos e conseqüências que o excessivo controle das plantas invasoras provoca.

Durante algum tempo, a vantagem da policultura poderia ser atribuída simplesmente ao *papel estabilizador da diversidade de espécies*. Mas uma melhor explicação sobre o papel da diversidade beneficiará não só a ecologia, mas também o desenvolvimento das policulturas como uma estratégia de planejamento de agroecossistemas. Assim, como base do novo ponto de vista sobre a diversidade na agricultura está a distinção fundamental entre diversidade *natural* e diversidade *planejada*. A diversidade em um agroecossistema não pode aumentar ao acaso, da mesma forma que elementos redundantes como uma ponte ou uma nave espacial não podem integrar-se ao acaso em uma obra de engenharia. Como o projeto de engenharia deve decidir cuidadosamente quais são os elementos que devem contar com mecanismos de funcionamento alternativos, o agricultor ou o cientista elegem determinadas espécies, disposições no tempo e no espaço e táticas de manejo que respondam às diferentes necessidades, incluindo-se entre elas a estabilidade do ecossistema. Grande parte da diversidade encontrada nos agroecossistemas nativos nasce, indubitavelmente, não tanto dos conhecimentos ecológicos mas das necessidades econômicas ou de subsistência. Um amplo leque de culturas significa que a todo momento haverá algo a colher e, portanto, que sempre haverá algo para se comer ou vender. A diversidade de culturas também protege contra mudanças inesperadas de clima: se um cultivo falha por excesso ou falta de chuvas, outro poderá sobreviver ou, talvez, prosperar. As policulturas cobrem melhor as necessidades de subsistência das famílias sem acesso ao crédito e com recursos escassos, com riscos menores que a monocultura. Vários cultivos permitem repartir a demanda de trabalho durante toda a temporada, em lugar de concentrá-la em picos.

Tendo em mente critérios econômicos ou de estabilidade de subsistência, os agricultores tradicionais selecionaram sistemas compostos de espécies diversas quanto à estrutura (tanto sob como sobre a superfície), à química (propriedades alelopáticas e que protejam contra as pragas) e à nutrição das plantas (por exemplo, necessidade de água e nutrientes). Uma arquitetura vegetal aérea complexa permite desenvolver ecossistemas que maximizem o uso da luz. Uma vez que a estrutura radicular de

muitas espécies é estratificada, esses sistemas também fazem bom uso da água e dos minerais disponíveis. As plantas de raízes profundas podem atuar como *bombas de nutrientes* trazendo minerais das camadas mais profundas para contrabalançar a lixivação. A estrutura do solo permanece estável ou melhora à medida que, ano a ano, a matéria orgânica é incorporada, como mostra o cultivo intercalado de milho e feijão no México. A cobertura morta, que é a cobertura mais completa do solo, e as copas densas podem manter controladas as plantas invasoras. As combinações apropriadas de cultivos e práticas culturais podem reduzir o dano causado por pragas e doenças. Quando as leguminosas fazem parte da policultura, o nitrogênio do solo (frequentemente limitante do aumento da produtividade), pode ser conservado e, inclusive, aumentado.

Os cientistas geralmente concordam que os sistemas nativos de cultivos múltiplos não são tão produtivos como poderiam ser. Algumas variedades de alto rendimento, selecionadas e desenvolvidas para serem introduzidas em condições de uso intensivo de insumos se dão bem em ambientes de policulturas, especialmente as variedades menos competitivas. Outras características desejáveis para as variedades de alto rendimento em sistemas de cultivo intercalado incluem a insensibilidade ao fotoperíodo (independência em relação ao período diurno para o seu crescimento e desenvolvimento), maturidade precoce, resistência às pragas e doenças e ausência de resposta às mudanças de população (o que permite aos agricultores variar a densidade das plantas de acordo com as necessidades específicas dos consórcios). O mais importante é que as novas variedades devem ser experimentadas em consórcios e ambientes típicos.

Independentemente de quão importantes são as novas variedades para o desenvolvimento agrícola, elas representam somente uma parte do quadro. Em um agroecossistema, uma ampla gama de fatores físicos e biológicos perfila os padrões de crescimento de plantas e animais, as densidades de população, a produtividade e a estabilidade. Muitos desses fatores podem ser manipulados: as escolhas das espécies para um consórcio, o espaçamento entre as plantas, as épocas de semeadura e colheita, a quantidade e a ocasião das aplicações de fertilizantes, o controle do abastecimento de água e a aplicação de medidas de controle sanitário podem ser utilizados para se elevar a produtividade, a sustentabilidade, ou a ambas. Nesse contexto, mais do que um fim em si mesmo, o melhoramento de plantas se converte em uma das muitas ferramentas disponíveis para quem planeja um agroecossistema: o planejamento dos sistemas dita a seleção dos caracteres vegetais para o melhoramento, e não o inverso.

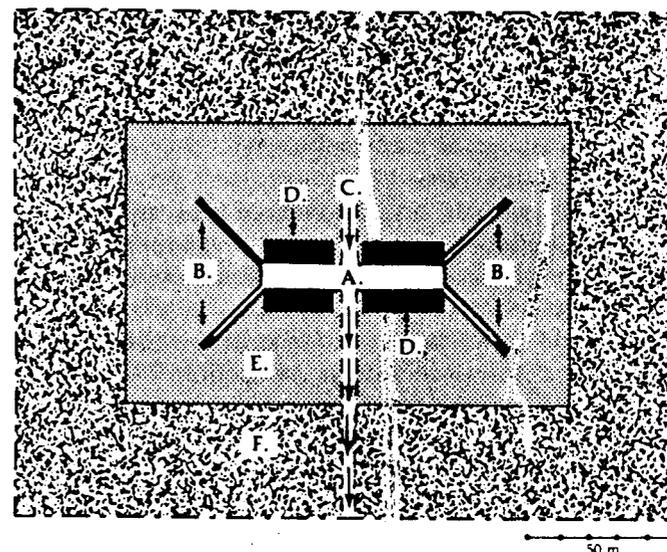
Um agroecossistema modificado de policulturas no México

No estado de Tabasco, México, nas décadas de 60 e 70, a agricultura de subsistência foi, em grande parte, abandonada para ceder lugar à agricultura comercial devido à crença de que fosse mais lucrativa. Localmente, o alimento se tornou menos disponível no solo, ao mesmo tempo em que os aumentos de produtividade esperados não se materializaram. A utilização da área agrícola foi desviada para a produção de culturas e lucros de exportação, enquanto que as terras que eram produtivas foram abandonadas na medida em que o cultivo intensivo e o pastoreio excessivo desnudaram e enfraqueceram o solo tropical. Para ajudar a recuperar essas áreas, foram planejados e implementados estabelecimentos agrícolas baseados parte na policultura nativa e parte na aplicação do conhecimento ecológico.

No projeto de Tabasco, cada unidade de produção consiste de um cinturão de proteção florestal, um tanque ou reservatório para o armazenamento de água, zonas de solos elevados para a produção de hortaliças e áreas para a produção de culturas anuais e frutas (Figura 3, pág. 29). Nos reservatórios são criados peixes e patos. Os sedimentos e as plantas aquáticas são utilizadas para fertilizar as culturas e construir *chinampas* — camas altas cujo desenho data da antiga civilização maia. A matéria orgânica dos reservatórios e o esterco dos porcos, patos e galinhas (alimentados com os excedentes da produção ou com os resíduos) enriquecem os solos das *chinampas*. Essa estratégia para manter a fertilidade do solo se parece muito com a que é empregada nas hortas familiares de Java, onde são construídos tanques com o múltiplo propósito de processar os dejetos humanos e animais, criar peixes e devolver substâncias ao solo.

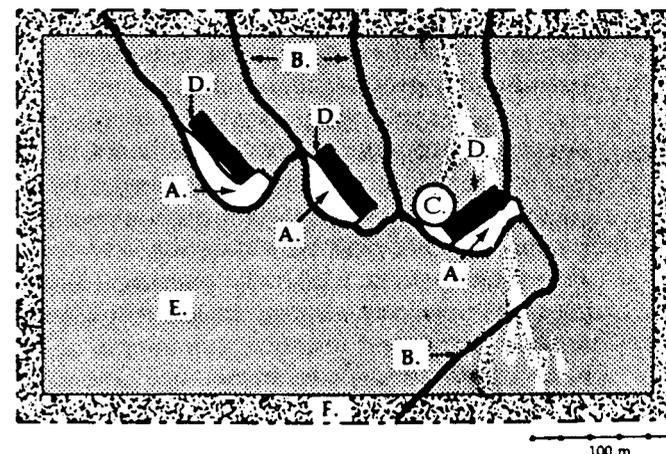
Sobre as *chinampas* são cultivadas, de forma intensiva, variedades tradicionais de culturas, principalmente hortaliças. Tomates, pimentões, cebolas, melões e outras culturas anuais são as principais, podendo também ser cultivadas algumas culturas perenes como o mamão, a banana e a mandioca. Entre os cultivos anuais básicos, a combinação milho-feijão-abóbora é usualmente preferida, acompanhada de uma diversidade de cultivos perenes. Também é cultivado um pouco de arroz. Diversas árvores, incluindo cacau, guanabano, manga, café, cítricos, coco e ananás, povoam as áreas de produção perene. Com essa ampla gama de espécies, alguma sempre está no momento de ser colhida, cada pedaço de terreno está coberto com plantas e a luz é utilizada de forma mais completa. A

Figura 3. Representações diagramáticas das unidades de produção em Tabasco, México



1. Onde a parte inferior da unidade puder ser localizada centralmente, grandes tanques (A) são construídos para coletar escoamento para coletar nutrientes e solo, às vezes com o auxílio de canais de escoamento (B). Um canal de drenagem (C) impede a inundação do local. Outros recursos são áreas de camas altas para produção de verduras conhecidas por *chinampas* (D), áreas de cultivo anual e perene (E) e um cinturão de proteção em floresta (F)

2. Onde as condições topográficas permitirem, reservatórios (A) e cursos hídricos naturais são utilizados em lugar de tanques e canais. Uma instalação para patos (C) também é apresentada no diagrama. *Chinampas* (D), áreas de culturas anuais/perenes (E) e um cinturão de proteção em floresta (F) são básicos para o planejamento do sistema.



Fonte: Stephen R. Gliessman, et al., "The Ecological Basis for the Application of Traditional Agricultural Technology in the Management of Tropical Agro-Ecosystems", *Agro-Ecosystems* 7 (1981): 173-85.

alta acumulação de biomassa é uma necessidade nesse sistema e a grande diversidade de culturas produz mais biomassa que a monocultura, ao mesmo tempo em que produz alimentos adicionais. A cobertura de leguminosas nas áreas de cultura anual devolve suficiente matéria orgânica e nitrogênio para manter a fertilidade do solo e pode, inclusive, ajudar no controle das plantas invasoras, dos nematóides e das doenças.

O manejo de pragas nessas unidades de produção não requer pesticidas químicos convencionais. O cinturão de proteção florestal provavelmente atua como reserva de numerosos predadores e parasitas de pragas. A diversidade estrutural e de espécies nesse sistema de cultivo também favorece esses organismos benéficos. Contando com variedades locais para todos os cultivos, os cientistas crêem que o sistema é capaz de desenvolver maior resistência às pragas e às doenças do que se conseguiu até agora nas áreas de culturas tradicionais. A diversidade de culturas, os cultivos de cobertura e as rotações utilizadas nas unidades de produção parecem controlar adequadamente as plantas invasoras.

Ainda que o sistema utilize somente espécies e variedades nativas, há espaço para o aperfeiçoamento. Novas espécies como, por exemplo, algumas videiras, poderão ser introduzidas no futuro, mesmo não substituindo as atuais culturas. Da mesma forma, os melhoristas sul-americanos de mandioca fomentam a incorporação de novas variedades, mas sem abandonar as antigas. Esse ponto de vista assegura um abastecimento contínuo de diversidade genética para o futuro melhoramento e, mais importante ainda, protege o agricultor frente às conseqüências que poderiam sofrer caso as novas variedades não fossem capazes de suportar mudanças ambientais ou de outro tipo.

O projeto de Tabasco aplica alguns princípios ecológicos fundamentais para a agricultura. Primeiro, sempre que é possível, utilizam-se culturas, consórcios e práticas tradicionais. A maior inovação está na arquitetura do agroecossistema, com a introdução das *chinampas*, dos tanques e dos cinturões de proteção vegetal. Segundo, o projeto dá ênfase à acumulação da matéria orgânica necessária para melhorar a estrutura e a fertilidade do solo mediante o uso combinado do sedimento dos tanques, do esterco animal e dos resíduos dos cultivos. Terceiro, a pedra angular de todo o planejamento do agroecossistema é a diversidade de cultivos nos consórcios, a diversidade da arquitetura vegetal e a diversidade de espécies no sistema cultivo/floresta/tanque. Toda essa diversidade traz segurança para as colheitas e parece ajudar a proteger os cultivos contra as pragas. Finalmente, o projeto de Tabasco é especialmente harmônico em relação às condições ecológicas e topográficas locais. Em resumo, essa experiência mostra que os princípios ecológicos e o conhecimento prático podem combinar-se com êxito para criar sistemas de produção que se auto-renovem.

Agroflorestação: cultivando com árvores

Provavelmente, os sistemas nativos de cultivos sempre incluíram árvores. Mesmo que o ciclo agrícola itinerante seja usualmente descrito com a limpa de terrenos com floresta e seu posterior abandono quando perdem a fertilidade, os limites não são tão claros. Os agricultores itinerantes geralmente mantêm as árvores frutíferas ou forrageiras, e raras vezes as terras descampadas são abandonadas abruptamente. Enquanto as árvores tornam a crescer, pode-se semear algumas culturas entre elas ou se fazer a colheita das culturas perenes que foram plantadas ao se iniciar o ciclo. Alguns agricultores itinerantes plantam certas espécies de valor que produzirão durante o período de pousio, fornecendo alimento adicional, forragem e lenha por vários anos depois que os cultivos anuais terminaram. A horta familiar de Java pode ser descrita como um sistema sucessivo dirigido pelo homem, onde a evolução desde o arroz em terrenos limpos até a horta com estratos múltiplos é cuidadosamente controlada através da plantação e da remoção seletiva de espécies no decorrer dos anos.

A partir da década de 80, cientistas e especialistas em desenvolvimento têm se mostrado cada vez mais interessados na união da produção agrícola com a produção animal e florestal, comumente chamada de agroflorestação. O desmatamento, a erosão do solo e a necessidade sempre crescente tanto de madeira como de combustível, como também de produção alimentar sustentável nas terras altas, têm fomentado os defensores da agrossilvicultura a estudar uma grande quantidade de combinações cultivo/árvore, animal/árvore e cultivo/animal/árvore, tanto nos sistemas nativos como nos de configuração recente. A agricultura itinerante é a forma mais antiga de agrossilvicultura, do mesmo modo que as terras de pousio cobertas são uma forma melhorada de agricultura itinerante. No final do século XIX, os britânicos introduziram uma técnica de reflorestamento conhecida como *taungya*, na qual o alimento é produzido entre as árvores recém-plantadas, até o momento em que suas copas sejam suficientemente densas para impedir os cultivos. Talvez o melhor sistema para aperfeiçoar a agricultura seja a produção contínua e simultânea de árvores e alimentos: a *agrossilvicultura integral*.

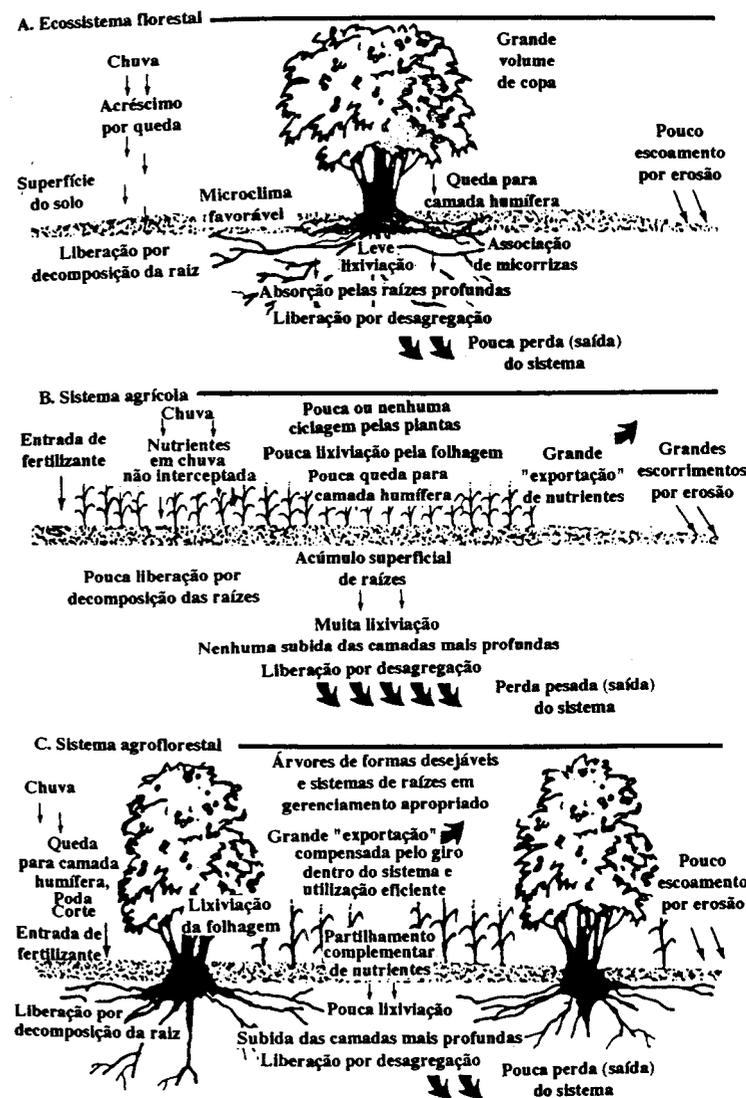
As árvores têm muitos papéis na agrossilvicultura. Além de fornecerem produtos de utilidade como lenha, pólen, frutas, sementes comestíveis e forragem, elas também minimizam a drenagem de nutrientes causada pela lixiviação ou erosão, devolvem os nutrientes que saíram do ecossistema e melhoram outros serviços ambientais impor-

tantes. Plantadas como *cercas vivas*, as árvores podem impedir o pastoreio animal nas terras de cultivo. Também servem como quebra-ventos ou para sombrear os pastos e cultivos, ajudando a melhorar o microclima, de modo que os animais e as plantas tenham melhores possibilidades de sobrevivência. As árvores com grande raiz pivotante para ancoragem e ampla rede de raízes laterais seguram o solo e evitam a erosão. As raízes pivotantes extraem nutrientes minerais das camadas mais profundas do solo. As árvores fixadoras de nitrogênio produzem nitratos que podem ser reciclados das folhas decompostas para os cultivos juntamente com os nutrientes bombeados. Subentende-se que as árvores utilizadas em agrossilvicultura devam realizar essas funções sem danificar a vegetação dos estratos inferiores ou competir com elas, e que precisam ter copas relativamente ralas para permitir que as plantas que estão no estrato mais próximo ao solo consigam a maior quantidade de luz possível (Figura 4, pág. 33). Para muitos sistemas agroflorestais que combinam árvores e cultivos, são ideais algumas espécies leguminosas como *Leucaena*, *Acacia* e *Gliricidia*. Nas situações em que a fixação é menos importante, as árvores frutíferas, o cafeeiro, o cacaueteiro e o coqueiro podem responder melhor às necessidades ecológicas e econômicas locais.

A agrossilvicultura pode ser especialmente importante para revitalizar a agricultura de terras altas. Geralmente, a pressão populacional e a necessidade de terras têm feito com que se intensifique a agricultura em terrenos ondulados (quase sempre aplicando-se inadequadamente os métodos apropriados às terras baixas), o que causa rápido desflorestamento, erosão dos solos e perda de produtividade. Muitas dessas terras degeneraram em campos praticamente inutilizáveis. Mesmo que os terraços reduzam a erosão e ajudem na conservação da água, fazê-los é um trabalho esgotante e lento. Se a erosão é rápida, o tempo de trabalho necessário para prevenir grandes perdas de solo pode ser excessivamente longo. A agrossilvicultura oferece uma alternativa econômica. Pode-se plantar as árvores em faixas de duas ou mais filas ao lado do declive, alternando-se com faixas de cultivos como o milho. Se as árvores são plantadas de maneira suficientemente densa, as faixas atuam como proteção do solo, segurando a terra que desliza morro abaixo (Figura 5, pág. 34). Com árvores de rápido crescimento, os terraços podem estabelecer-se em não mais do que três anos, mesmo que sua densidade impeça a produção de lenha ou madeira e as árvores tenham que ser podadas regularmente para que os cultivos não recebam sombra em excesso.

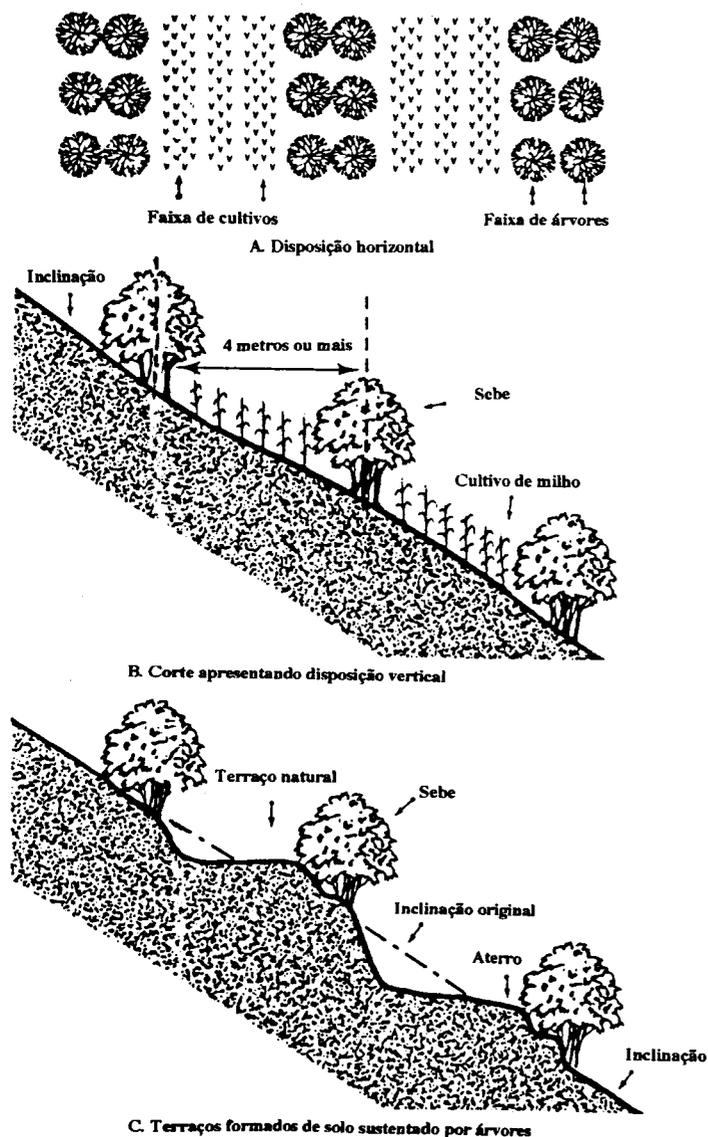
Na maioria dos casos, a agrossilvicultura cumpre muitos objetivos. Se são utilizadas árvores leguminosas, suas folhas e ramos podem ser aproveitados como cobertura morta para fornecer nitrogênio aos cultivos.

Figura 4. Representação esquemática das relações dos nutrientes e das vantagens dos sistemas agroflorestais (C) em comparação com sistemas de desenvolvimento florestal (A) e agrícola (B)



Fonte: P.K.R. Nair, "Some Considerations on Soil Productivity Under Agroforestry Land-Use Systems". Apresentado no 12º Congresso Internacional de Ciência do Solo, Nova Delhi, Índia, fevereiro de 1982.

Figura 5. Cultivo em faixas com árvores para formar terraços naturais



Fonte: Napoleon T. Vergara, ed., *New Directions in Agroforestry: The Potential of Tropical Legume Trees* (Honolulu, Hawaii: Environment and Policy Institute, East-West Center, 1982).

Em experimentos realizados no International Institute of Tropical Agriculture, na Nigéria, ramos de *Leucaena* incorporados ao solo forneceram mais de 200 kg/ha de nitrogênio em dois anos, o que implicou rendimentos de 2.800 kg/ha de milho (considerados *aceitáveis* pelos pesquisadores do Instituto). O milho e as árvores foram *cultivados em corredores* (plantação em faixas alternadas) o que permitiu a fertilização como também a eliminação das plantas invasoras nas fileiras, retendo-se os benefícios do cultivo intercalado. Além disso, as árvores cresceram tão rapidamente que o desenvolvimento das invasoras foi nulo, houve prevenção da erosão e (em um terreno sob pouso coberto) a fertilidade se recuperou rapidamente.

Na África semi-árida, as árvores podem ajudar a reincorporar terras à agricultura. A leguminosa nativa *Acacia albida* é um componente valioso no sistema de cultivos mistos que incluem, também, o milheto, o sorgo e o gado. Em terras sudanesas onde a *Acacia* foi conservada, o milheto pôde produzir continuamente por 15 a 20 anos enquanto que em solos sem essa árvore a cultura produz de três a cinco anos. No Senegal, um pesquisador assinala que quando o sistema cultivo/gado/árvore permanece em equilíbrio, a terra pode sustentar de 50 a 60 pessoas por hectare (várias vezes a média da região) com cultivo contínuo e sem perder a produtividade do solo. A *Acacia albida* perde suas folhas durante a estação chuvosa, quando os cultivos estão crescendo, liberando nitrogênio e matéria orgânica no solo e permitindo que a luz chegue ao cultivo. Como resultado, a qualidade do solo é melhorada e o rendimento dos cultivos se eleva consideravelmente (Tabela 3, pág. 36). Na estação seca, a árvore produz folhas e vagens, provendo de forragem e sombra o gado, cujo esterco melhora ainda mais o solo.

Tabela 3. Efeitos da *Acacia albida* nas características do solo e na produção agrícola na África

A. Nutrientes devolvidos anualmente ao solo superficial	
Elemento	Quantidade (kg/ha)
Nitrogênio	186
Fósforo	4
Potássio	76
Cálcio	222
Magnésio	39
B. Aumentos na qualidade do solo e produção sob copas de <i>Acacia</i>	
Item	Aumento percentual
Total de nitrogênio no solo	33-110
Matéria orgânica	40-269
Capacidade de intercâmbio de cátions	50-120
Produção de milheto	37-104
Produção de sorgo	105

Fonte: Michael McGuahey, "Impact of Forestry Initiatives in the Sahel" (Washington, D.C.: Chemonics International, 1986).

A integração de cultivos e árvores tem sido um elemento chave no programa de assistência para a África, patrocinado pelo CARE e pela Agência para o Desenvolvimento Internacional dos Estados Unidos. No Chad, o CARE ajudou a plantar *Acacia* em mais de 6.000 ha de terras agrícolas. Apesar da guerra civil e das condições climáticas desfavoráveis, mais de 80% das árvores plantadas entre 1975 e 1978 sobreviveram até 1985. Outras espécies de árvores foram plantadas como cercas vivas e fontes de madeira, protegendo chácaras e poteiros do pastoreio animal e propiciando aos camponeses sombra, pólen e combustível. O CARE também ajudou os agricultores do vale Majjia a combater a desertificação causada pela erosão do solo, colocando quebra-ventos de nim. Outro benefício dessas defesas arbóreas é que o rendimento em grãos por quilograma de água utilizada é mais de 40% superior ao obtido em áreas abertas. A maioria dos agricultores ligados ao programa conseguiu aumentar os rendimentos dos cultivos e a produção de matéria seca foi cerca de 30% maior nas áreas protegidas.

A agrossilvicultura tem um papel fundamental no projeto de desenvolvimento e reincorporação de terras agrícolas em Nyabisindu, Rwanda, onde a agricultura itinerante é intensiva e a extração de lenha e o pastoreio erodiram rapidamente o solo nas encostas totalmente nuas dos morros. A tentativa de se introduzir uma agricultura no estilo ocidental falhou porque os insumos necessários são muito caros e, principalmente, porque o abastecimento é interrompido com muita frequência. Para ajudar a resolver os problemas desses agricultores, os pesquisadores voltaram-se para os métodos baseados na habilidade e nos recursos locais e orientados para a reciclagem de nutrientes. Muitos camponeses de Rwanda já utilizavam a cobertura morta e alguma agricultura em terrenos elevados, enquanto que os camponeses das vizinhas terras altas do oeste africano desenvolvem uma agricultura auto-sustentável que mantém uma grande população em solos igualmente pobres, graças à incorporação de árvores e cultivos intercalados em forma multiestratificada, ao gado alimentado em estábulos com culturas forrageiras, ao uso de fertilizantes orgânicos (esterco, composto e adubo verde), à grande diversidade de espécies e ao controle da erosão através da cobertura morta e de semeaduras em curva de nível.

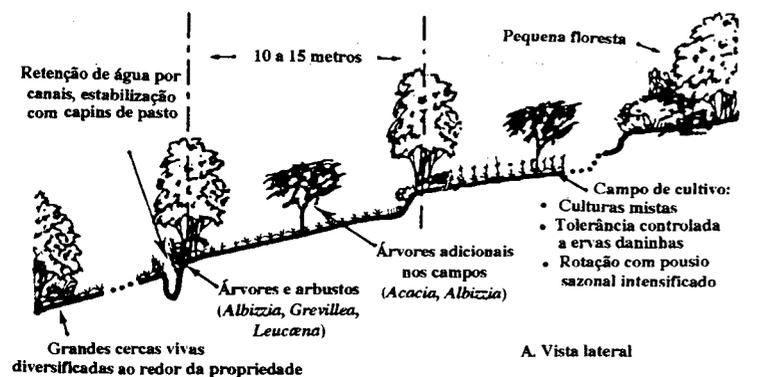
Em Nyabisindu, desenvolveu-se um complexo sistema combinando animais, árvores e cultivos com base no conhecimento da comunidade e aplicando-se um critério ecológico para o planejamento de novos métodos. Árvores e sebes foram utilizadas na formação de faixas para o controle da erosão produzindo frutas, madeira e forragem, ao mesmo tempo em que protegem o solo e melhoravam os microclimas. Foram plantados pinheiros, eucaliptos, *Leucaena* e outras espécies nas partes mais altas, onde a

agricultura não era possível. Nas terras de cultivo, fez-se um amplo uso de culturas perenes para estabilizar ainda mais o solo. Foram estabelecidos diversos consórcios de culturas, tanto para aproveitar as vantagens ecológicas das policulturas como para reduzir os riscos de perdas por pragas, condições climáticas ou variações do mercado. A fertilização orgânica com esterco, cobertura morta e composto serviu para reciclar dejetos, aumentar a quantidade de húmus e reduzir a lixiviação e os problemas de pragas do solo. Os animais estabulados se alimentaram das culturas forrageiras e com folhas provenientes das sebes e das faixas de controle da erosão. Quando houve necessidade de fertilizantes minerais, foram utilizadas rochas provenientes de fontes locais, que continham os elementos necessários.

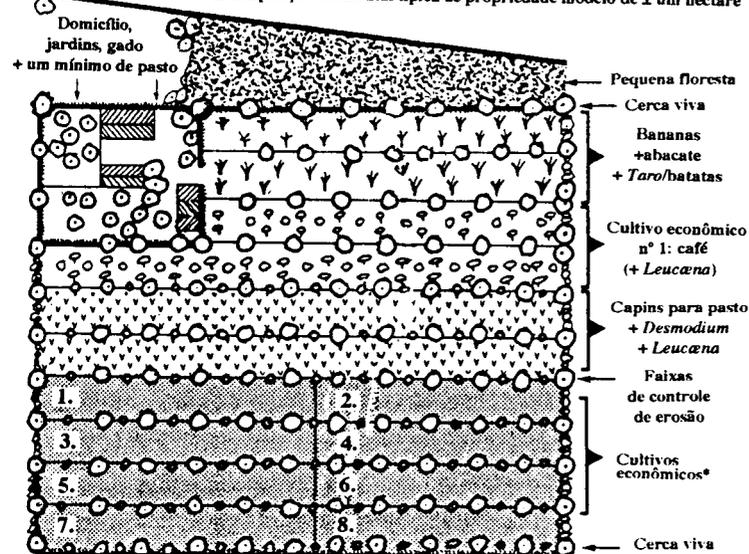
Um aspecto fundamental para o êxito do programa é um viveiro que produz anualmente cerca de 5 milhões de árvores. Tanto as árvores frutíferas, nas terras agrícolas, como as de sombra ao longo dos caminhos e as das pequenas florestas no alto dos cerros, são parte do reflorestamento da região. O cultivo intercalado com árvores nas propriedades é feito com culturas de venda rápida como banana, café, abacate, e/ou de subsistência como feijão, milho, mandioca, soja e batata-doce. A forragem inclui sorgo, feijão e outras leguminosas para a alimentação animal (Figura 6, pág. 38). Os resultados nas parcelas de experimentação indicam que uma família típica de agricultores, utilizando o sistema misto árvore-cultivo, pode produzir de 25 a 50% a mais de lenha do que necessitam. Dados experimentais mostraram, também, que esse sistema fornece 54% a mais de calorias, 31% a mais de proteínas e 62% a mais de carboidratos do que as monoculturas.

Em Nyabisindu, o gado estabulado é parte importante do agroecossistema, pois fornece esterco para a adubação e carne para uma melhor nutrição. Uma estratégia de recuperação das terras altas nas Filipinas utiliza cabras estabuladas como parte de um sistema de produção que inclui uma leguminosa para forragem, pastos nativos e árvores de *Leucaena* e *Gliricidia*. Em outras áreas, a agrossilvicultura integra árvores, pastos permanentes e animais de pastoreio. Na África Ocidental, raças locais de ovelhas anãs e cabras poderiam converter-se em importante fonte de proteína, se fosse possível manter-se uma alimentação adequada e superarem-se os problemas de doenças. Se bem manejadas, as pastagens poderiam ser a melhor utilização para as terras marginais não-agricultáveis. O uso de leguminosas nessas terras poderia elevar a sua produtividade. Os cinturões de árvores localizados entre as pastagens podem fornecer sombra, alimento para o gado, madeira para construção e lenha, ao mesmo tempo em que protege os animais e a pastagem contra o vento, o frio e a falta de água. O gado poderia, ainda, se alimentar da forragem produzida pelas árvores plantadas em faixas ou em terços em combinação com outras plantas alimentícias.

Figura 6. Exemplo de propriedade modelo em Nyabisindu, Ruanda



B. Disposição horizontal típica de propriedade modelo de ± um hectare



Possibilidades de rotação*

1. Fev.: Pousio de mucuna e girassol; Out.: Feijão e milho
2. Fev.: Soja e sorgo; Out.: soja e milho
3. Fev.: Mandioca e mucuna safra 4°; Out.: Mandioca e mucuna safra 2°
4. Fev.: Mandioca e mucuna safra 4°; Out.: mandioca e mucuna safra 4°
5. Fev.: Soja e sorgo; Out.: Soja e milho
6. Fev.: Pousio com mucuna e girassol; Out.: feijão e milho
7. Fev.: Batata-doce e soja; Out. Soja e milho
8. Fev.: Soja e milho; Out.: Feijão e milho

Fonte: Friedrich Behmel e Irmfried Neumann, "An Example for Agro-Forestry in Tropical Mountain Areas". Apresentado no seminário Agro-Forestry in The African Humid Tropics. Ibadan, Nigéria, 1981.

Na Amazônia equatorial, uma ovelha da floresta tropical é utilizada para intensificar a produção dos pousios que formam parte do sistema itinerante. Os agricultores itinerantes são incentivados a plantar, em curvas de nível, *Inga edules*, uma árvore leguminosa de raiz pivotante produtora de lenha, junto com a mandioca. Depois de colhida a mandioca, planta-se entre as árvores *Desmodium*, leguminosa que cresce com facilidade e que cobre vigorosamente o solo das margens dos rios e das escarpas, fixando-o e controlando a erosão. As ovelhas de pastoreio aceitam bem o *Desmodium* como alimento e devolvem material fecal ao solo, estimulando a simbiose entre leguminosas e bactérias fixadoras de nitrogênio. Ao contrário do gado vacum, essas ovelhas causam pouca compactação e erosão nos solos, além de produzirem até três vezes mais carne por hectare. A combinação árvore/cobertura do solo/ovelhas fornece, portanto, lenha e proteínas aos agricultores, ao mesmo tempo em que preserva e melhora o solo durante o pousio.

A agrossilvicultura é uma ciência aplicada moderna, ainda em seus primeiros níveis de desenvolvimento. Seus princípios básicos estão sendo razoavelmente bem-trabalhados, mas poucos estudos de caso tiveram o tempo necessário para que se pudesse realizar uma análise em profundidade. Como mostra o projeto Nyabisindu, o consórcio de árvores e cultivos nem sempre é apropriado, especialmente em terrenos mais altos. Em algumas terras baixas, a agricultura permanente, com pouca ou nenhuma integração com árvores, pode ser factível e, de preferência, face a certas necessidades de produção, a agrossilvicultura pode ser importante para a transição da agricultura itinerante para a permanente e para a recuperação de terras degradadas. Ademais, essa disciplina está correndo o risco de identificar-se estreitamente com plantações em grande escala de espécies não-nativas em áreas de desenvolvimento. Na verdade, muito poucas espécies nativas foram estudadas apropriadamente para serem utilizadas em programas agroflorestais, mesmo que algumas árvores nativas tenham demonstrado ser mais adequadas às necessidades locais. No Sahel, por exemplo, a acácia localmente adaptada cresce melhor que as espécies introduzidas, como o eucalipto, quando plantadas em locais semelhantes. Por mais promissora que pareça ser, a *Leucaena*, não é adequada a todos os tipos de solos, sistemas agrícolas e condições climáticas. Além disso, alguns experimentos recentes mostram que suas folhas são tóxicas para as plantas de arroz. É certo que deve-se ter muito cuidado em selecionar árvores que se adaptem às condições locais e em preservar a diversidade das espécies arbóreas. Apesar dessas possíveis limitações, o potencial da agrossilvicultura para satisfazer uma multiplicidade de necessidades econômicas e ecológicas de desenvolvimento agrícola tem sido claramente demonstrado.

Princípios agroecológicos em desenvolvimento

A regra principal da agroecologia é que não há substituto para o conhecimento detalhado de um determinado terreno que está sendo planejado ou manejado. Princípios, teorias e, inclusive, aparentes “leis” devem submeter-se à realidade. O que os ecólogos oferecem à agricultura não é um conjunto de respostas fáceis, mas um conjunto de perguntas difíceis.

Entender o comportamento do sistema como um todo em qualquer análise ecológica de um sistema agrícola é tão importante como examinar a estrutura e dinâmica das partes. A análise interdisciplinar de agroecosistemas, desenvolvida por Gordon Conway, do Imperial College of London, identificou quatro propriedades essenciais do sistema: produtividade (nível de produção), estabilidade (constância ou persistência da produção no tempo), sustentabilidade (capacidade para recuperar-se das perturbações e condições desfavoráveis) e equidade (igualdade na distribuição de benefícios entre grupos de ingresso ou classes sociais). A experiência na condução de estudos para a planificação da pesquisa, especialmente na Ásia, tem demonstrado que essas propriedades englobam muitos elementos importantes da estrutura e do funcionamento do sistema em nível regional, ainda que nem todos estejam incluídos. De acordo com o antropólogo A. Terry Rambo, do East-West Center do Hawaii, a dependência ou a autonomia de um agroecossistema em relação a outros pode ser um fator chave para o seu entendimento. A fertilidade das terras agrícolas baixas em muitas partes do mundo, por exemplo, em geral depende fortemente dos nutrientes provenientes da lixiviação das terras altas. Dessa forma, um ecossistema pode ser capaz de manter sua produção somente se outro se degrada. Tal dependência pode minar, também, ambos os sistemas, como acontece no caso em que as terras altas se degradam tanto que não podem reter água no solo e, portanto, os sistemas de irrigação das terras baixas sofrem com as inundações e aluviões. Na terminologia de Rambo, o inverso da dependência é a compatibilidade: os efeitos de um agroecossistema em outro sistema biológico ou social. Se, por exemplo, os produtos químicos de um programa de controle de pragas contaminam a água de beber, o agroecossistema é incompatível com o sistema de saúde das pessoas supostamente beneficiadas com o efetivo controle sanitário.

Outra propriedade dos agroecossistemas que pode ser considerada importante é a eficiência energética. Em lugares onde a energia se origina de combustíveis fósseis, é possível calcular-se os custos e benefícios

monetários diretos provenientes da eficiência do planejamento dos sistemas. Em troca, se é utilizado principalmente o trabalho humano ou a força animal, os custos e benefícios da sua eficiência podem ser melhor calculados em termos de usos alternativos para o tempo ocupado por animais e pelo homem. Mas julgar um sistema produtivo somente em relação à eficiência energética pode ser um erro. Os agricultores buscam otimizar alguns aspectos, em geral competitivos, de sua operação, e a eficiência energética (produzir mais calorias por caloria gasta) pode ser menos importante que produzir suficiente proteína. Ainda que as pessoas absorvam menos energia solar quando comem carne do que quando comem diretamente vegetais, algumas terras marginais podem responder melhor às necessidades humanas produzindo forragem e gado bem manejado do que sendo plantadas com culturas alimentares.

Um objetivo claro na busca do uso eficiente da energia na agricultura deveria ser encontrar as formas de substituir a energia pela estrutura na manutenção do sistema. A copas multiestratificadas podem captar maior quantidade de luz solar, produzindo maiores quantidades de biomassa e, portanto, reduzindo a necessidade de insumos intensivos em energia, como os fertilizantes. A incorporação de animais ao sistema de produção pode significar que mais material vegetal seja convertido em alimento utilizável. Esse pode ser o valor real da alta diversidade que tanto caracteriza a experimentação ecológica, posto que a diversidade também divide os riscos econômicos e ecológicos, já que o desenvolvimento de um cultivo pode, às vezes, compensar as perdas de outro.

Considerações econômicas e ecológicas geralmente convergem para estratégias de desenvolvimento da agricultura sustentável. Considere-se o uso de fertilizantes. A agricultura é altamente dependente da sincronização adequada das práticas de manejo. Em Rwanda, que não tem litoral, por exemplo, a instabilidade política dos países vizinhos pode interromper o abastecimento de fertilizantes e pesticidas comerciais. As más condições das estradas, em todo o mundo, a falta de veículos, a comercialização dos produtos químicos através do mercado negro podem, também, arruinar o abastecimento de insumos básicos na agricultura. Por outro lado, como disse uma autoridade da USAID, custa mais transportar o fertilizante de um porto africano ao interior do país, onde é necessário, do que enviá-lo dos Estados Unidos até a África. Em Rwanda, uma tonelada de fertilizante vendida no mercado mundial a US\$ 200,00 pode custar US\$ 600,00 depois de incorporado ao seu preço os custos de transporte a partir de certas regiões do Quênia. Se esses insumos não estão disponíveis no momento que são necessários para o solo ou para os cultivos, toda a colheita pode se perder. As considerações ecológicas, por

si só, favoreceriam o uso máximo das fontes biológicas de nutrientes e dos mecanismos biológicos de controle de pragas, mas o custo e a irregularidade do abastecimento dos insumos externos dão à alternativa biológica também uma base econômica. De maneira similar, a maior diversidade no agroecossistema pode cumprir as funções ecológicas de incrementar a produtividade de biomassa e a dispersão do risco, assim como melhorar a dieta ao converter-se em fonte de uma diversidade maior de vitaminas e minerais, acrescentando-se a isso o fato de fornecer aos agricultores mais produtos para serem vendidos em diferentes épocas do ano.

A aplicação dos princípios ecológicos à agricultura tem a ver com diferentes aspectos políticos, principalmente no que se refere à melhor forma de implementar sistemas agrícolas sustentáveis e às conseqüências de implementá-los. Os programas de maior sucesso baseiam-se nas práticas camponesas locais, na participação ativa dos agricultores na tomada de decisões durante a pesquisa e a implementação, na ênfase aos recursos locais em lugar dos insumos externos e no forte interesse dos agricultores quanto aos resultados do programa. Se a agricultura sustentável vai converter-se em realidade, deverão ser tomadas decisões políticas tais como a posse e o uso da terra, a estrutura de mercado, os subsídios, as estruturas e as prioridades da pesquisa e da extensão rural, a autonomia política local e a distribuição e os preços dos alimentos. A forma como os legisladores enfrentam essas e outras preocupações determinará, em grande parte, se os sistemas agrícolas sustentáveis podem ser planejados e colocados em prática.

AS-PTA Nacional

Rua Bento Lisboa, 58 — 3º andar
22221-011 — Rio de Janeiro — RJ
Tel.: (021) 285-5857

Fax 55 21 265-8876 — Nodo Alternex AX:PTA

AS-PTA Regional Sul

Rua do Comércio, 34 Fundos
98700-000 — Ijuí — RS
Tel/Fax.: (055) 332-4740

AS-PTA Rede Paraná

Praça Zacarias, 36/603
80020-080 — Curitiba — PR
Tel.: (041) 223-2140
Fax: (041) 222-3411

AS-PTA Regional Leste

Rua Major Barbosa, 187
30240-370 — Belo Horizonte — MG
Tel.: (031) 467-7470

AS-PTA Regional Nordeste

Av. Conde da Boa Vista, 1.295/107
50060-003 — Recife — PE
Tel: (081) 231-6587

