

Integração dos sistemas de manejo do solo à ecologia regional e qualidade de vida

Odo Primavesi, E-mail: odo@cnpse.embrapa.br

Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970 - São Carlos, SP

Sustentabilidade. Biodiversidade. Conservação ambiental. Meio ambiente. Indicadores de qualidade ambiental. Água doce limpa. Agricultura conservacionista. Agroecologia. Segurança alimentar. Combate à fome. Qualidade de vida. São palavras de ordem nos dias atuais. Mas, surgem dúvidas: sustentabilidade de quê ou de quem? Para quê? A opção mais lógica e geral seria a da sustentabilidade da espécie humana. Ela representa o topo da teia alimentar, que organiza as relações dos indivíduos na natureza: produtores (vegetais), consumidores e decompositores ou recicladores (Odum, 1959). E para que a espécie humana sobreviva com qualidade de vida necessita manter a teia alimentar o mais diversificada possível, a fim de, por exemplo, aumentar as opções de alimento e garantir o conforto e o saneamento ambientais necessários para sua saúde.

É importante destacar que diversas civilizações humanas, representadas por confinamentos humanos, as cidades, foram eliminadas no passado (Liebmann, 1976), em função:

1. da dificuldade em produzir e suprir a população com alimentos, em consequência da degradação dos solos agrícolas;
2. da dificuldade em suprir a população com água potável, em consequência da destruição do ciclo hidrológico longo, decorrente da degradação de matas e solos da região; e
3. do acúmulo de dejetos e rejeitos, e problemas de saúde resultantes da falta de saneamento básico.

Atualmente verifica-se a intensificação na produção de dejetos e rejeitos sólidos, líquidos, gasosos, radiativos, e dificuldades na reciclagem; a introdução ou acumulação de substâncias tóxicas em solo, água, ar, alimentos; a destruição globalizada da cobertura vegetal permanente e da biodiversidade; a polarização na capacidade econômica de acesso aos itens básicos de vida; a dependência elevada de energia fóssil; e a mudança climática, resultante do aumento dos gases de efeito estufa, dos desmatamentos e da urbanização.

Nos itens elencados por Liebmann, verifica-se a importância direta ou indireta da água e sua potabilidade, e do solo em duas situações. Água e solo!

Segundo a FAO (2003) 70% da água consumida no mundo em desenvolvimento é destinada para fins agrícolas (30% nos países desenvolvidos, onde a indústria consome 59%; UN, 2002), sendo que essa retirada representa de 1 a 51% dos recursos naturais superficiais ocorrentes nos países. A América Latina, em especial o Brasil, constitui a segunda área geográfica no mundo, após a Ásia, com maior quantidade de recursos hídricos superficiais (Rosegrant et al., 2002), podendo constituir o celeiro de alimentos, considerando que países com maior pressão populacional sobre os recursos hídricos, como a China, maior produtora de grãos, poderão vir a desviar a água para a indústria e importar alimentos (Brown, 2003). Porém, a destruição dos recursos naturais, em especial o solo e sua permeabilidade bem como os corpos de água, e o desperdício de água, parecem estar reduzindo esta disponibilidade (Rosegrant et al., 2002). A disponibilização de água para as culturas agrícolas, permite que 18% das áreas agricultáveis sob irrigação produzam 42% do equivalente-grãos no mundo (Christofidis, 2002). Porém, em geral, a irrigação apresenta baixa eficiência devido à perdas e desperdícios (até 60%) de água pelo sistema e pelas condições de degradação dos solos, que não permitem que as culturas respondam adequadamente ao estímulo hídrico, apresentando baixa eficiência de uso de água (Rosegrant et al., 2002; UN, 2002). Agrega-se também a isso, entre outras, o aumento da densidade populacional que requererá maior desvio de água para

abastecimento público (27% nos países em desenvolvimento) e o problema das mudanças climáticas, com o aquecimento global, que deve reduzir em 20% a água disponível, desviada para atender a demanda atmosférica por arrefecimento térmico (Rosegrant et al., 2002). Sabe-se que aproximadamente 80% da água disponível é destinada para retirada de calor da atmosfera (Ometto, 1981). Assim, ocorre um aumento na demanda por água e alimentos ao mesmo tempo em que ocorre redução em sua disponibilidade. Qual a solução, além de otimizar os sistemas de irrigação, e selecionar as culturas que respondam melhor à água ou sejam mais resistentes à seca, com a finalidade de atender a população crescente e melhorar sua qualidade de vida? O que o solo tem a ver com isso?

A natureza nos fornece uma solução clara e sustentável para esse grande problema da água, segurança alimentar e conforto ambiental, e os princípios ecológicos (Odum, 1959) são as leis naturais imutáveis que regem, entre outras, a disponibilidade ou não desses produtos. Um pequeno retrospecto deverá facilitar o entendimento. A partir do desenvolvimento da vida hidropônica nos mares, e o estabelecimento da camada de ozônio, foi possível à natureza colonizar os continentes. Os ambientes naturais primários eram constituídos de rochas, que aqueciam ao impacto da radiação solar, e não permitiam a infiltração da água das chuvas, que num ciclo hidrológico curto, logo retornavam aos oceanos. Não havia solo, nem lençol freático, nem teia alimentar continental: biodiversidade em terra firme. A natureza, então, providenciou a formação de solo, a transformação da rocha impermeável, em substrato permeável, em solo permeável, em “solo esponja” que pudesse reter água, água residente. A teia alimentar iniciou-se graças ao associativismo pioneiro entre algas e fungos, os líquens, que aceleraram o processo de decomposição das rochas para a formação e proteção superficial de solos. Estabeleceram-se os primeiros componentes bióticos, os produtores (Odum, 1959), na vida continental, a partir do litoral. A medida que a espessura da camada de solo permeável ia aumentando, sua temperatura ia sendo reduzida pela cobertura vegetal, e sua permeabilidade mantida por raízes e/ou micélios de fungos ou canais resultantes da atividade dos “engenheiros do solo”, estabelecia-se o lençol freático, resultando em mais água residente, disponível fora dos períodos de chuva. Mais água, mais vegetação. Mais vegetação gerava mais resíduos vegetais, na superfície do solo, que retinham água, e em sua reciclagem forneciam nutrientes para a meso e microbiota do solo e os vegetais: aumentava a capacidade de suporte biológico (CSB) do solo, com maior potencial de produção vegetal. Menos água escoava superficialmente. O ciclo da água aumentava. A água era transpirada e voltava a precipitar por várias vezes, antes de retornar aos canais de drenagem e cursos de água de volta aos oceanos. Na região amazônica pode chegar a 50% a água residente precipitada. Constituía-se o ciclo hidrológico longo. Com o seqüestro de gases de efeito estufa pela vegetação, e a água residente transpirada, a temperatura ambiente iniciou a ter sua amplitude reduzida por maior período de tempo: maior conforto térmico. Com menor temperatura de solo, ocorreu menor volume de massas de ar quente ascendentes, reduzindo a formação e a intensidade de brisas e ventos horizontais, que podem constituir grandes carreadores de água local. Com ambiente solo-ar mais úmido e fresco, permitiu-se o estabelecimento de espécies vegetais mais sensíveis, ocupando os habitats proporcionados pela combinação dos fatores abióticos e os bióticos emergentes. Essa diversidade é maior em ambientes tropicais úmidos (Bryant, 2003), com maior número de interações de fatores abióticos-bióticos, e pelo fato de os microrganismos decompositores possuírem de uma (bactérias) até quatro (fungos) enzimas necessárias para realizar o processo de degradação em cadeia de um tecido vegetal, exigindo maior número de indivíduos para realizar o processo completo em um grande número de tipos de tecidos vegetais ocorrentes. Solo permeável - diversidade vegetal - água residente, tripé indissociável, que a natureza utilizava para desenvolver ambientes naturais primários, inóspitos, em ambientes naturais clímax, mais úmidos e frescos, com elevada biodiversidade e complexa teia alimentar, composta de produtores, de consumidores primários (herbívoros) e

secundários (por exemplo, o ser humano, o topo da teia alimentar) e de decompositores ou recicladores. Esse arranjo de elevada diversidade biológica permitia o controle de populações de consumidores e decompositores, a homeostasia. Havia grande opção de alimento para todos componentes da teia. Tanto da vida associada ao dossel das plantas (por exemplo, os polinizadores, os dispersores de sementes e os inimigos naturais), como àquela associada ao sistema radicular das plantas (como rizóbios e micorrizas) e aos resíduos orgânicos naturais sobre e no solo (como térmitas, minhocas, formigas, nematóides, ácaros, colêmbolos, fungos e bactérias celulolíticas entre outros) (Brigante, 2000; Bryant, 2003; FAO, 2000; Odum, 1959; Primavesi & Primavesi, 1964; Primavesi, 1968; Primavesi, 1980). No solo alguns desses organismos atuam como verdadeiros engenheiros, fragmentando, escavando, misturando, transportando, agregando partículas sólidas (Sá, 1993). Esse mesmo processo de desenvolvimento ambiental a natureza utiliza ao recuperar uma área degradada deixada em pousio, em que predominam as pioneiras leguminosas fixadoras de nitrogênio, geralmente associadas com micorrizas. Ferramenta essa utilizada pelo homem para recuperar áreas degradadas, até mesmo com subsolo exposto (Franco et al., 1992).

Nesse ponto surge um questionamento importante: o solo é constituído somente pelos componentes abióticos ou desses com os bióticos interagindo? No estudo de gênese dos solos aceita-se que o fator biótico exerça função importante na sua formação. O que acontece ao “solo” desprovido de vegetação, e sua proteção pelo dossel e sua manutenção de macroporosidade mantida pelo sistema radicular e a atividade biológica associada ou dependente dos restos vegetais, exposto à ação das chuvas e do sol tropicais? Encrosta, adensa, compacta ou é decapitado. Torna-se “solo pedra” ou mesmo rocha exposta! Não há reposição de água do lençol freático, ou do aquífero com área de recarga impermeabilizada. Desaparece o lençol freático alimentador de nascentes. Desaparecem as nascentes e cursos de água. Volta-se às origens! O chamado desenvolvimento agrícola, com base no extrativismo predador praticado atualmente, resulta na realidade em uma regressão ecológica do ambiente, com redução drástica de sua CSB! Conclui-se que solo não é solo sem se considerar a vegetação diversificada e a água residente disponível. O tripé solo permeável-vegetação diversificada-água residente (SPVDAR) é indissociável. E esse tripé gera um mesoclima mais úmido e fresco. Essa constatação já era utilizada por equipes brasileiras de levantamento de solos, ao associarem os tipos de solo com a vegetação natural, pois existe uma correlação também do tipo de vegetação e seu manejo com o tipo de solo formado. Portanto, solo não é somente o componente mineral com seus atributos físicos e químicos, e eventualmente biológicos, considerando aqui geralmente os microrganismos associados a plantas. Solo só é solo na figura do tripé SPVDAR. Primavesi (1980) destaca que esse fato é mais visível nas regiões tropicais, onde, ao contrário dos solos geralmente frios e rasos de clima temperado que apresentam grande “fertilidade química” e capacidade de retenção de água, bem como lençol freático geralmente mais superficial, os solos são profundos, pobres quimicamente, mais secos e aquecidos, e cuja fertilidade depende da vegetação e seus resíduos, e da biota associada, atuando diretamente na absorção de nutrientes, ou na reciclagem de materiais orgânicos naturais ou na solubilização de minerais: a “fertilidade biológica”. A capacidade de troca de cátions, em nosso meio, depende geralmente de 50 a 90% do teor de material orgânico natural no solo (Raij, 1991). Também a capacidade de retenção de água (Baver et al., 1972), pois não são todos os solos brasileiros que apresentam lençol freático superficial ou um “B-textural” como a “Terra Roxa Estruturada e os Podzólicos” que apresentam a potencial vantagem comparativa, ao disponibilizar mais água para as raízes, com relação aos outros Latossolos e a Areia Quartzosa em períodos de veranico. E esse aumento na capacidade em reter água depende da vegetação e da renovação dos resíduos vegetais na superfície do solo.

Dessa forma, as práticas agrícolas desenvolvidas em clima temperado são questionadas para ambientes tropicais (Primavesi, 1980). Verifica-se freqüentemente que

biólogos e ecólogos não conseguem relacionar resultados de análises químicas, obtidas por métodos de amostragem de terra desenvolvidos para solos agrícolas “limpos” (sem restos de plantas sobre e raízes dentro da terra), com a vegetação natural, que em certos casos de solos arenosos da região amazônica representam 100% da fonte de nutrientes para a vegetação nativa. O mesmo problema inicia a ocorrer em avaliações de fertilidade de solo em sistemas de plantio direto (na palha) (Kurihara et al., 1998), e de pastagens com gramíneas tropicais manejadas de forma intensiva e rotacionada (Primavesi et al., 2001a,b) com grande acúmulo de material orgânico natural e fósforo na camada superficial. E no caso de gramíneas tropicais, sem limitações ao desenvolvimento radicular, estas podem alcançar profundidades em torno de três metros, ciclando nutrientes como nitrato (Primavesi et al., 2001a). Em ambientes naturais os resíduos vegetais (serapilheira) podem representar de 3 a 19 t/ha de matéria seca, e as raízes de 10 a 71 t/ha de matéria seca, numa camada de 30 cm (Golley et al., 1978). Em pastagem de capim-braquiária Miranda & Macedo (1997) encontraram resíduos orgânicos naturais, até 10 cm de profundidade, em torno de 15 a 20 t/ha de matéria seca, contra 17 t/ha sob vegetação natural de cerrado e 5 t/ha em área de plantio de soja. E estes resíduos na terra, servindo de fonte energética para a biota do solo, pode ser um grande interferente no processo de nutrição de plantas, tanto na imobilização como na liberação de nutrientes, mesmo em profundidade, como sugerido pelos dados da dinâmica do nitrato no perfil de solo até 160 cm de profundidade (Primavesi et al., 2001b). Assim, o conceito solo produtivo, com capacidade de suporte biológico adequado e desejável, deve ser mais amplo, e os métodos para avaliar sua qualidade devem ser aperfeiçoados, e realizados de forma integrada no complexo SPVDAR. O componente vegetal, em especial o arbóreo, realiza funções ambientais de moderação mesoclimática, aumentando umidade relativa e atenuando a temperatura do ar, importantes para o sucesso da transformação de energia solar incidente em biomassa diversificada, como também da produção agrícola.

Com as mudanças climáticas, resultantes da emissão intensa de gases de efeito estufa por ação antrópica, destruição globalizada da cobertura vegetal permanente e a urbanização, agregam-se fatores que geram impactos, em geral com balanço negativo, sobre a agricultura e a qualidade de vida humana (Rosegrant et al., 2002; UN, 2003), considerando especificamente as temperaturas mais elevadas e as chuvas mais intensas, mais erosivas, as enchentes, os assoreamentos de corpos de água, os períodos mais prolongados de seca e o aumento no risco de incêndio em ambientes quentes e secos. Porém, o ambiente agrícola, que ocupa mais de 70% do território nacional, com exceção da Amazônia, dos quais 60% são constituídas por pastagens, que em 70% dos casos apresentam algum grau de degradação, constitui a maior fonte de gases de efeito estufa no Brasil. Sejam eles gerados pelas queimadas, pelo revolvimento do solo e oxidação da matéria orgânica, pelo uso de carbonato de cálcio na forma de calcários, ou pelas condições de anaerobismo temporário gerado em solos com drenagem deficiente no período das chuvas ou em áreas de manejo intensivo sob irrigação, em que as perdas de gases passam a ocorrer na forma reduzida como CH₄ (gás que retém 25 vezes mais calor que o CO₂) ou N₂O (250 vezes mais potente que CO₂) (IPCC, 1995; USEPA, 1990), que por sua vez atua também na destruição da camada estratosférica de ozônio (Crutzen, 1970). Em especial onde se pratica uso intenso de materiais orgânicos naturais incorporados ao solo, e adubos verdes ou outros adubos nitrogenados. A essa contribuição antrópica agrícola no país agregam-se dois grandes emissores de metano em função da fermentação anaeróbia de celulose: os arrozais inundados e a criação de ruminantes, em específico de bovinos, que constituem o maior rebanho comercial no mundo (IPCC, 1995), com elevada taxa de emissão de metano por quilograma de peso vivo, gerado em pastagens extensivas degradadas, nos quais os animais permanecem por mais de três anos para atingir o peso mínimo para abate. As primeiras medições de metano ruminal realizadas em condições de campo no Brasil (Pedreira et al., 2002; Primavesi et al., 2003) mostraram

que os valores podem variar de 67 kg/animal/ano a partir de novilhas em pastagem extensiva de capim-braquiária até 147 kg/animal/ano emitidos por vacas leiteiras HPB em capim-tobiatã intensamente adubado. Para dispor de referencial quantitativo do impacto gerado, cálculos baseados em dados de crescimento rápido de eucalipto, que acumula 20 t/ha/ano de matéria seca (Lima, 1987), para seqüestrar o CH₄-equivalente CO₂, resultou que 20 boas vacas leiteiras produzem o equivalente-CO₂ por ano o que um hectare de eucalipto conseguiria incorporar na biomassa anualmente. A intensificação da produção e a redução da idade de abate, com a melhoria das pastagens e a nutrição animal, reduziriam a carga de metano por kg de produto final (Kurihara et al., 1999; McCaughey et al., 1999), e também reduziria a necessidade de expansão de áreas com pastagens extensivas, que apresentam elevado potencial degradação dos solos, em vista da maior lotação animal que poderia ser praticada. Por outro lado a melhoria das condições de permeabilidade e troca de gases da camada superficial dos solos, em especial em sistemas agroflorestais e florestais, poderia constituir um sumidouro de metano, conforme verificado por Fernandes et al. (2002).

Considerando a procura pela sustentabilidade das atividades humanas, nas dimensões econômica, social e ambiental, resta a grande dúvida sobre qual o peso que deve ser dado a cada dimensão, variando de um terço para cada até a maximização do econômico às custas do ambiental e social, como visto atualmente. Pelos resultados obtidos no Programa Paraná Rural, com a condução científica do Instituto Agrônomo do Paraná, no início dos anos noventa, foi verificado que as regiões mais ricas e prósperas, dos levantamentos sócio-econômicos, eram aquelas em que ocorriam as melhores condições de solo e clima, dos levantamentos edafo-climáticos. Nos livros de História Geral do ensino médio encontra-se que os tipos de colonização que tiveram maior sucesso em desenvolver regiões virgens nas Américas (norte dos EUA e sul do Brasil), foram aqueles de povoamento, em que o objetivo principal foi promover a qualidade de vida da família e da comunidade, com a prática da agricultura familiar e de diversificação de produtos e serviços, com práticas de agregação de valor aos produtos gerados, e não o de exploração, que visava produzir extensos monocultivos para fins exclusivos de exportação, realizados com uso de mão-de-obra escrava. Ambos episódios, mais o alerta de Liebmann (1976), mostram que o verdadeiro desenvolvimento de uma região ocorre, e de forma mais sustentável, quando o objetivo primeiro é a qualidade de vida da população, com base na promoção e manutenção da qualidade ambiental, tendo-se como consequência a interação saudável homem-ambiente, e que poderá resultar em retorno econômico sustentável. Como o homem faz parte e depende do ambiente, o objetivo primário para sistemas produtivos sustentáveis deverá ser a recuperação e conservação da CSB do ambiente, seja ele traduzido em capacidade para produzir determinada quantidade de grãos, ou alimentar determinado número de animais (UA) ou de humanos (topo da teia alimentar), por hectare e ano, e com qualidade de vida. Para melhor visualização da CSB compare-se o potencial de produção de solo arenoso na Amazônia, sem a vegetação e o meso clima associado, e aquele em que se considera o tripé SPVDAR, com elevada produção de biomassa por metro quadrado e energia incidente! No primeiro caso, as características químicas da camada superficial gerariam um prognóstico de potencial de produção próximo do zero.

Assim, em vista dos problemas atuais relacionados com a agricultura, que ainda constitui a maior fonte potencial de divisas externas para o país, ao lado do ecoturismo em ambientes naturais remanescentes da fúria destruidora das atividades agrícolas atuais (na Austrália está ocorrendo a desativação de atividades agrícolas intensivas, com salinização de solos, em favor da recuperação de ambientes naturais e o ecoturismo), e considerando as ferramentas que a natureza utiliza para desenvolver a CSB dos ambientes primários ou degradados, e conhecendo-se as necessidades fisiológicas das culturas agrícolas em ambientes tropicais, pode-se desenvolver ou ajustar práticas agrícolas que atendam aos princípios ecológicos, mesmo alterando as estruturas bióticas, mas mantendo o máximo possível as

funções ambientais das estruturas manejadas. Verifica-se que no nível de microbacia hidrográfica, o produtor rural necessita manejar três ambientes, integrados pelos cursos de água: os ambientes naturais exigidos pelo Código Florestal (Brasil, 1965), como a Reserva Legal, a Mata Ciliar, a mata em torno de nascentes e outras áreas de preservação permanente, o ambiente agrícola com lavouras e/ou pastagens e o ambiente urbanizado, com produção de lixo e esgoto. O produtor necessita ser conscientizado de que, sendo a água e o controle do excesso de temperatura os elementos-chave para seu sucesso produtivo e legal, estão em suas mãos as ferramentas para que sua propriedade seja produtora de água limpa, seja por manter o solo permeável e permitir a reposição do lençol freático e o aquífero, seja pelo lançamento de água não mais suja que a captada (ANA, 2002), seja evitando que haja escoamento superficial de águas pluviais com carreamento de partículas sólidas e com conseqüente assoreamento dos corpos de água, ou seja pela manutenção da infra-estrutura ambiental mínima estratégica de árvores (reservas legais ou outras) para atuarem como refúgio de insetos úteis, por exemplo, os polinizadores e inimigos naturais, e como umidificadores e termoreguladores de mesoclima, como quebra-ventos, como bosques de sombra, e que junto com práticas de proteção superficial do solo e estímulo de desenvolvimento radicular em profundidade permitem reduzir a necessidade de irrigação e permitem à lavoura manter as folhas túrgidas e fotossintetizando mesmo nas horas mais quentes do dia.

Atualmente verifica-se o desenvolvimento de práticas de manejo ambiental em propriedades rurais mais adequados aos solos de clima tropical, iniciando pela redução das queimadas (Embrapa, 2000), pela introdução do Sistema Plantio Direto na palha (FIAP, 1981; Sá, 1993; Saturnino & Landers, 1997), passando pela integração lavoura-pecuária (Lara-Cabezas & Freitas, 2000) e o manejo rotacionado de pastagens (Primavesi & Primavesi, 1997; Primavesi et al., 1999), que mesmo de forma intensiva podem trazer impacto ambiental positivo (Boddey et al., 1996), culminando nos sistemas agroflorestais (Elevitch & Wilkinson, 2000; Galvão, 2000) e silvipastoris, e as atividades de reflorestamento (Galvão, 2000), bem como ao manejo integrado de ambientes naturais e agrícolas. Considerando a grande incidência de energia solar e o aquecimento global, o sistema plantio direto na região tropical deveria ser complementado pelo manejo adicional do componente arbóreo, atuando especialmente como quebra-vento, faixas e bosques hidro-termoreguladores e como refúgio de inimigos naturais e polinizadores, além de constituir seqüestrador de carbono. A intensificação da produção, com seu aumento por unidade de área e tempo, utilizando a diversidade, por exemplo, o simples uso de linhas alternadas de variedades de uma mesma espécie com exigências nutricionais ou tolerâncias diferentes a pragas e patógenos, a rotação de culturas, as culturas em faixas, os sistemas agroflorestais e outras, permite a preservação de ambientes naturais com seus atrativos ecoturísticos e potencial fonte de renda, bem como mantendo sua função ecológica de regulação hidro-térmica e/ou de populações. Os ambientes naturais e as áreas reflorestadas de forma estratégica constituem infra-estrutura tão ou mais importante para a produtividade e qualidade ambiental, quanto as vias de acesso e de comunicação, os armazéns ou os sistemas de irrigação.

Com relação à água, componente principal do complexo SPVDAR, necessita-se estar ciente de que a redução em sua disponibilidade não tem como solução principal a irrigação. Vários manejos do complexo SPVDAR são recomendáveis antes de lançar mão da irrigação. Estas práticas são:

- A) Reduzir perdas, por meio de manutenção de cobertura permanente do solo, via reposição contínua de vegetação ou restos culturais abundantes:
 - 1) estabelecendo quebra-ventos arbustivos e arbóreos, pois brisas e ventos podem carrear até o equivalente a 700 mm água/ano, além de afetar as plantas mecanicamente (Grace, 1977; em Quadro 1);

- 2) aumentando a capacidade de retenção de água pelo solo, por meio do aumento do retorno de material orgânico ao solo, como cobertura morta (Biscaia, 1978, em Quadro 2; Benoit & Kirkham, 1963, na Figura 1);
- 3) aumentando a capacidade de armazenamento de água no ecossistema pela biomassa da vegetação permanente estrategicamente localizada, como as reservas legais, as matas ciliares, bosques, etc., independente da exigência legal;
- 4) estabelecendo barreiras mecânicas de escoamento superficial como curvas de nível, terraços, barragens, caixas coletoras de água, na margem das estradas, etc.

Quadro 1. Efeito do vento (3,5 m/s) e umidade do solo sobre o desenvolvimento de *Robinia pseudoacacia*.

Características	-----Umidade do solo-----				Redução de 80 a 40% umidade sem-com vento %
	-----80%-----		-----40%-----		
	sem vento	com vento	sem vento	com vento	
Peso parte aérea, em g	688	368	358	118	83
Peso raízes, em g	111	69	67	23	79
Altura, em cm	25,8	14,4	15,6	4,3	83

Fonte: Satoo (1948; em Grace, 1977)

Quadro 2. Relação de perdas de solo e água, por meio de chuvas simuladas, em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, com 10% de declividade, em diversos tipos de preparo de solo.

Tipo de preparo	-----Perdas-----		-----Valor relativo-----	
	Solo (kg/ha)	Água (%)	Solo (%)	Água (%)
Sem movimentar + cobertura morta	808	10,0	22	105
Aração	1.999	4,0	53	42
Aração + 2 gradagens	3.746	9,5	100	100
2 gradagens	4.294	6,0	115	63
4 gradagens	5.913	5,0	158	53
Sem movimentar	15.118	46,0	404	483
Aração + 4 gradagens	16.041	10,5	428	10

Fonte: Biscaia (1978).

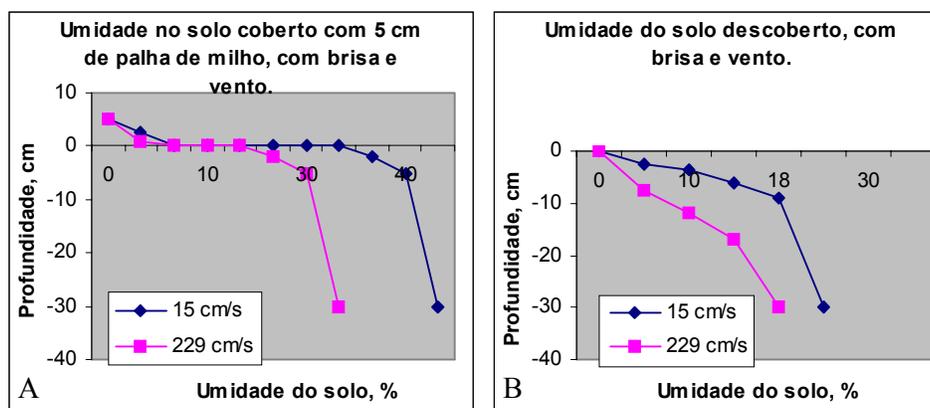


Figura 1. Brisas e ventos alterando umidade do solo coberto e descoberto. Fonte: Benoit & Kirkham (1963).

- B) Melhorar a reposição dos lençóis freáticos e aquíferos nas zonas de área de recarga superficial, por meio da manutenção da permeabilidade do solo, possibilitado pela:
- 1) densa e permanente cobertura vegetal do solo;
 - 2) diversificação de culturas, por meio de consórcio, rotação, intercalação, culturas em faixa, etc.;
 - 3) retorno de material orgânico natural, de preferência mais persistente, ainda não biologicamente estabilizado à superfície do solo, na quantidade mínima de 6 t/ha/ano (Castro, 1993), quando for de gramínea, e mais se for de dicotiledôneas.
- C) Aumentar a eficiência de aproveitamento da água pelas plantas:
- 1) permitindo que suas raízes atinjam maior profundidade, como por meio da introdução de cálcio em profundidade, por meio do uso combinado de calcário e de fontes nitrogenadas sintéticas ou orgânicas, ou do suprimento da cultura com boro, etc.;
 - 2) evitando que suas raízes superficiais não sofram temperatura de solo acima de 33°C, quando praticamente cessa a absorção de água e nutrientes, utilizando cobertura viva e/ou morta, como sugerem os dados de Arnon (1975) (Figura 2);
 - 3) procurar evitar redução do sistema radicular, causando um desequilíbrio parte aérea:raiz, especialmente prejudicial em períodos de veranico, ou no caso de culturas muito sensíveis como olerícolas; em condições tropicais, com solos mais pobres e com menores condições de armazenar nutrientes o sistema radicular deve ocupar maior volume de solo para atender as exigências da planta. Nesse caso deve-se evitar ou eliminar fatores restritivos: a) físicos, como os adensamentos e compactações, b) químicos, como a salinidade, por doses elevadas pontuais de adubo sintético ou orgânico hidrossolúvel, ou a deficiência múltipla de nutrientes e toxidez de alumínio, ou o uso de certos herbicidas de contato ou sistêmicos, e c) biológicos, por parasitas ou patógenos radiculares;
 - 4) selecionando variedades mais adequadas para as condições ambientais criadas, pois ocorrem diferenças na temperatura e na umidade do solo, ao nível de colo das plantas, entre os sistemas de plantio convencional e o plantio direto;
 - 5) nutrindo-as mais adequadamente, se possível de acordo com as exigências varietais das espécies comerciais, podendo assim gerar mais matéria seca por litro de água transpirada, devido ao seu metabolismo mais eficiente no uso de água, em especial em regiões com restrição de água disponível.

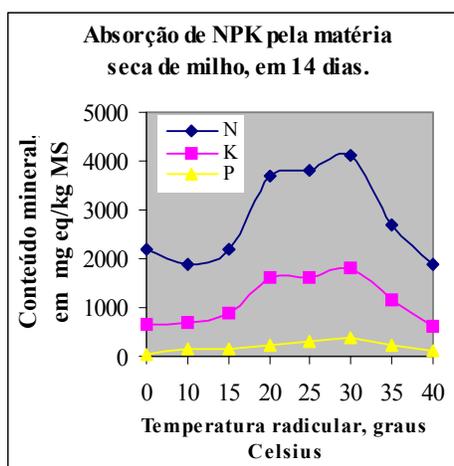


Figura 2. Temperatura do solo e absorção de nutrientes. Fonte: Grobbelaar (1963, em Arnon, 1975).

D) Proteger a superfície do solo contra aquecimento exagerado, alcançada pela produção de biomassa abundante, sendo que a adubação mineral e/ou orgânica exerce papel importante, conforme sugerem os dados de Leopoldo & Conceição (1975) (Quadro 3).

Quadro 3. Efeito de diferentes tensões de umidade do solo, com e sem cobertura morta, na produção de alho.

Tensão de umidade (em atmosferas)	-----Produção (em kg/ha)-----		Diferença %
	sem cobertura morta	com cobertura morta	
0,5	11.909	14.556	22,2
1,0	10.029	13.973	39,3
2,0	8.181	9.872	20,7
15,0	3.255	7.483	129,9
Redução para, em %	27,3	51,4	

Obs: 15 atmosferas = ponto de murcha permanente. Fonte: Leopoldo & Conceição (1975).

E) Aumentar a entrada de água pluvial no sistema de produção, o que poderia ser alcançado com o estabelecimento de bosques estrategicamente localizados, aproveitando as reservas legais e matas ciliares. Estes bosques agiriam como termostatos ambientais, pois podem reduzir a temperatura ambiental em até 10°C, por meio da transpiração de água subsuperficial e subterrânea, a qual as culturas anuais normalmente não alcançam, para a atmosfera, permitindo assim reduzir a demanda evapotranspirativa das culturas anuais, com a elevação da umidade relativa do ar, bem como permitiriam a descarga mais fácil de água das nuvens (chuvas convectivas mais leves e frequentes). Estes bosques poderiam também fornecer sombra para o gado ou a própria cultura principal (quando necessário). Realizado isso, certamente a necessidade da irrigação será minimizada, pois aumenta-se a produção de água residente disponível e o uso eficiente pelas plantas, bem como serão reduzidas suas perdas, o que também favorecerá sobremaneira o produtor rural frente à legislação florestal (Lei nº 4.771 de 1965, alterada pela Lei nº 8.171 de 1991), de proteção, produção e qualidade dos recursos hídricos (Lei nº 9.433 de 1997) e de conservação dos solos e de sua fertilidade (Lei nº 6.255 de 1975 e Decreto nº 77.775 de 1976).

O manejo do solo também afeta sobremaneira a qualidade da água, sendo por sedimentos, sendo por minerais, que por um lado representam perda de sua fertilidade e por outro significam assoreamento de corpos de água que, às vezes, deveriam servir como fontes de abastecimento de sistemas de irrigação, ou provocam enchentes, ou promovem a eutroficação (Charbonneau et al., 1979) dos corpos de água por fosfato e nitrato. Com a legislação atual das águas (ANA, 2002), necessita-se tomar mais cuidado com a qualidade da água que sai da propriedade, que é produzida na propriedade, sendo que dados recentes em nosso meio verificaram ser insuficiente o estabelecimento de faixas de proteção ciliar dos corpos de água, em especial para fósforo e nitrato (Primavesi et al., 2002). Especialistas da área chegaram à conclusão que a melhor solução para fosfato seria a aplicação específica por local, de acordo com a disponibilidade no solo e a capacidade de retenção (McDowell et al., 2002a,b; Sharpley et al., 2001) levando a um tipo de agricultura de precisão. Para nitrato também foi verificado que, em solos profundos, em que o lençol freático estiver abaixo de 160 cm, a contaminação por nitrato é reduzida aplicando-se o nitrogênio em doses ajustadas para a capacidade de ciclagem da cultura (Primavesi et al., 2001b).

Um ponto importante a ser ressaltado, ainda, é o cuidado para permitir uma boa troca de gases no nível de raízes, com suprimento adequado de oxigênio, sendo que essa é obtida com uma macroporosidade na faixa de 10 a 25% (Primavesi et al., 1988) livre de água, sem encrostamentos, sem adensamentos e sem compactações, condições agravadas em sistemas irrigados ou em períodos chuvosos. Uma molécula de glicose produzida na atividade fotossintética, quando respirada em condições aeróbias pode gerar em torno de 686 Kcal de energia, em pH 7, para reações de síntese de tecido vegetal, e em condições de anaerobismo pode cair para até 25 Kcal de energia disponível (Conn & Stumpf, 1975). Planta com pouca energia disponível não abre estômatos, podendo apresentar estado de murcha com solo encharcado.

Portanto, os sistemas de produção atuais, que almejam produtividade e competitividade, não o alcançarão somente com novas tecnologias de ponta e insumos, quando a CSB do ambiente for baixa, e o complexo SPVDAR estiver em elevado grau de degradação ou incipiente. As tecnologias e insumos podem intensificar processos ecológicos mas nunca substituí-los, em especial nas regiões tropicais. O atendimento aos fundamentos ecológicos de manejo ambiental permitirão, ao mesmo tempo em que se produza água limpa e alimentos mais eficientemente, uma qualidade de vida humana melhor do ponto de vista de conforto ambiental. A eficiência dos sistemas de produção deverá ser avaliada, além da produtividade, pela eficiência de uso de água das plantas, pela eficiência em se conservar o solo, evitando assoreamentos e produção de água suja saindo do estabelecimento rural, com ausência de sinais de erosão na propriedade, pela eficiência em manter um balanço de emissão/seqüestro de gases de efeito estufa próximo de zero, e pela eficiência ou redução no uso de energia externa, em especial da fóssil, pois enquanto essa for predominante, não se pode considerar o sistema sustentável (Brown, 1998).

LITERATURA CITADA

- ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Berna: Intern.Potash Inst., 1975. 452p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Política Nacional dos Recursos Hídricos. In: www.ana.gov.br (acessado em novembro de 2002).
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil physics. 4ª edição. New York: John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- BISCAIA, R.C.M. Perdas de solo em diferentes tipos de preparo para a sucessão trigo-soja, sob chuvas naturais. In: ENCONTRO NAC. PESQ. CONSERVAÇÃO SOLO, 2, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo: Embrapa, 1978. p.237-246.
- BODDEY, R. M.; RAO, I. M. & THOMAS, R. J. Nutrient cycling and environmental impact of *Brachiaria* pastures. In: WILES, J. W.; MAASS, B. L. & VALLE, C. B. do, ed., *Brachiaria: biology, agronomy and improvement*. Cali: CIAT, 1996. p.72-86. (CIAT Publications, 259)
- BRASIL. Lei no. 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 16 set. 1965, p.9529, retificado em 28 set. 1965. p.9914. (ver também em: <http://www.mma.gov.br> e www.agricultura.gov.br)

- BRIGANTE, J. A substituição do sistema natural por sistema de pastagens e seus efeitos sobre as comunidades microbiológicas e de macrofauna invertebrada, em um latossolo tropical. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – PPG Ecologia e Recursos Naturais, 2000. 102p. (Tese de Doutorado).
- BROWN, M. T. Environmental accounting: emergy perspectives on sustainability. In PROGRAMA COOPERATIVO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROPECUARIO DEL CONO SUR. Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola. Valoración económica en el uso de los recursos naturales y el medio ambiente. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. p.47-70. (Diálogo - IICA/PROCISUR, 51).
- BROWN, L.R. Lençóis freáticos em declínio na China poderão brevemente causar elevação mundial nos preços de alimentos. In: www.wwiuma.org.br/alerta03.html (acessado em março de 2003)
- BRYANT, P. J. Biodiversity and Conservation: a hypertext book. In: <http://darwin.bio.uci.edu/~sustain/bio65/Titlepage.htm> (acessado em fevereiro de 2003)
- CASTRO, O. M. Sistemas conservacionistas no Brasil: a experiência no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993. Resumos. vol 1. Goiânia: SBCS, 1993. p.77-78.
- CHARBONNEAU, J. P.; CORAJAUD, C.; DAGET, J.; DAJOZ, R.; DUSSART, M.; FRIEDEL, H.; KEILLING, J.; LAPOIX, F.; MOLINIER, R.; OIZON, R.; PELLAS, P.; RAMADE, F.; RODES, M.; SIMONNET, D. & VADROT, C. M. Enciclopédia de ecologia. São Paulo: EPU-EDUSP, 1979. 479p.
- CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. Revista Item, 54(2): 46-55, 2002.
- CONN, E. C. & STUMPF, P. K. Introdução à bioquímica. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1975. 447p.
- CRUTZEN, P. J. The influence of nitrogen oxide on the atmospheric ozone content. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Reading-UK, 96: 320-325, 1970.
- ELEVITCH, C. R. & WILKINSON, K. M. Agroforestry guides for Pacific Islands. Halualoa, Hawaii: Permanent Agriculture Resources, 2000. 239p. (ver também: <http://www.agroforestry.net>)
- EMBRAPA. Alternativas para a prática de queimadas na agricultura: recomendações tecnológicas. Brasília: Embrapa - DPD/ACS, 2000. 63p.
- FAO. Soil Biodiversity Portal. In: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbiod.htm>, Montanez, 2000. (acessado em outubro de 2002).
- FAO. Review of global agricultural water use per country: Irrigation water withdrawal. In: http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/water_use/index6.stm (acessado em fevereiro de 2003)

- FERNANDES, E. C. M.; WANDELLI, I.; MCCAFERRY, K. A. & RINDONN, M. A. Carbon and nutrient stocks and trace gas fluxes in agroforestry systems on degraded pastureland in the Central Amazon. In: II CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DO LBA, Manaus, 2002. Livro de Resumos. (Publicações Científicas) Manaus: CPTEC, 2002. p.314 (In: <http://lba.cptec.inpe.br/lba/> ; acessado em janeiro 2003)
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F.; SILVA, E. M. R. & FARIA, S. M. Revegetação de solos degradados. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 1992. 11p. (Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo, Comunicado Técnico, 9)
- FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina: FIAP, 1981. 244p. (Circular IAPAR, 23).
- GALVÃO, A. P. M., org. Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 351p.
- GRACE, J. Plant response to wind. London: Academic Press, 1977. 204p.
- KURIHARA, C. H.; FABRÍCIO, A. C. & HERNANI, L. C. Coleta de amostras de solo e planta. In: SALTON, J. C.; ERNANI, L. C.; FONTES, C. Z., org., Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: SPI, 1998. p.144-150.
- KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R. A. & MC.CRABB, G. J. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. British Journal of Nutrition, Wallingford, 81(3): 227-234, 1999.
- GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I. & DUEVER, M. J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978. 256p.
- IPCC. Climate Change 1994: radiative forcing of climate change and a evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge: University Press, 1995. 339p. (ver também em www.ipcc.ch/).
- LARA CABEZAS, W. A. R. & FREITAS, P. L., eds. Plantio direto na integração lavoura-pecuária. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 282p.
- LEOPOLDO, P.R. & CONCEIÇÃO, F.A.D. Efeitos de diferentes tensões de umidade do solo, com e sem cobertura morta, na produção de alho (*Allium sativum* cv. Lavina). Rev. Olericultura, 15: 441, 1975.
- LIEBMANN, H. Terra, um planeta inabitável? São Paulo: Melhoramentos, 1976. 181p.
- LIMA, W. P. O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais. São Paulo: Artpress, 1987. 100 p.

- McCAUGHEY, W. P.; WITTENBERG, K. & CORRIGAN, D. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Science*, Ottawa, 79(2): 221-226, 1999.
- MCDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A.; BROOKES, P. & POULTON, P. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution. *Soil Science*, 166(2): 137-149, 2001a.
- MCDOWELL, R. W. & SHARPLEY, A. N. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. *J. of Environmental Quality*, 30(2): 508-520, 2001b.
- MIRANDA, C. H. B. & MACEDO, M. C. M. Resíduos orgânicos em um Latossolo dos cerrados sob vegetação natural e diferentes cultivos. In: Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmicas, 2., 1997. Anais. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 1997. p.143.
- ODUM, E. P. Fundamentos da ecologia. 2ª.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1959. 595p.
- OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Ed.Agronômica Ceres, 1981. 425p.
- PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.; LIMA, M. A.; JOHNSON, K. & WESTBERG, H. Medição a campo de metano ruminal emitido por bovinos leiteiros em ambiente tropical. 2 – Resultados iniciais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife-PE. Anais.. Recife: Univ.Fed.Rural Pernambuco; SBZ, 2002. CDRom, Anais de Resumos, Área Forragicultura: 3p.
- PRIMAVESI, A., coord. Progressos em Biodinâmica e Produtividade do Solo. Santa Maria: Univ.Fed.Santa Maria, 1968. 553p.
- PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1980. 541p.
- PRIMAVESI, A. & PRIMAVESI, A. M. A biocenose do solo na produção vegetal. Santa Maria: Univ.Fed.Santa Maria, 1964. (Série a Moderna Agricultura Intensiva, 1)
- PRIMAVESI, O. & PRIMAVESI, A.C.P.A. Recuperação de pastagens degradadas, sob manejo intensivo, sem revolvimento de solo, e seu monitoramento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS - SINRAD, 3, Ouro Preto-MG, 1997. Anais. Viçosa: UFV/SOBRAGE, 1997. p.150-155.
- PRIMAVESI, O., MELLO, F.A.F.de & LIBARDI, P.L. Porosidade de aeração de solos ideal para a máxima produção de grãos de feijoeiro, em casa de vegetação. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 45(2): 381-396, 1988.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C. & CAMARGO, A.C.de. Competição intra e interespecífica de forrageiras, em sistemas intensivos de produção de bovinos: cuidados para a sustentabilidade. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 74 (1, jun): 55-68, 1999.

- PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; CAMARGO, A. C.; ROCHA FILHO, J.; JORGE, L. A. C.; LIGO, M. A. V. & VIEIRA, S. R. Qualidade ambiental em sistema intensivo de produção de bovinos de leite, na microbacia do ribeirão Canchim: indicadores, manejo e problemas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001a, 70p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Boletim de Pesquisa, 7).
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M. J. A.; SILVA, A. G. & FREITAS, A. R. Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastercross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001b. 42p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica, 30).
- PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R.; PRIMAVESI, A. C. & OLIVEIRA, H. T. Water quality of the Canchim's creek watershed, in São Carlos, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, 45(2): 209-217, 2002.
- PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T. & BARBOSA, P. F. Emissão de metano por fermentação ruminal de bovinos. Pesq. agropec. bras., Brasília, 2003 (no prelo).
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1991, 343p.
- ROSEGRANT, M.W.; CAI, X. & CLINE, S.A. Global water outlook to 2025: averting an impending crisis. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 2002. (In: www.ifpri.org/pubs/fpr/fprwater2025.pdf; acessado em março de 2003)
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.
- SATURNINO, H. M. & LANDERS, J. N., ed. O meio ambiente e o plantio direto. Brasília: Embrapa-SPI, 1997. 116p.
- SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W. & KLEINMAN, P. J. A. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. Plant and Soil, 237: 287-307, 2001.
- UNITED NATIONS. World water development report: water for people, water for life. Paris: UNESCO Publishing/Berghahn Books, 2003. 576p. (Executive Summary. In: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>; acessado em março 2003)
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Greenhouse gas emissions from agricultural systems. PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, 1990, Washington, DC. Summary Report. v.1. Washington, DC: USEPA, 1990. (ver também em <http://www.epa.gov/ebtpages/air.html>)