

A Erosão e seu Impacto

5

Capítulo

Luís Carlos Hernani
Pedro Luiz de Freitas
Fernando Falco Pruski
Isabella Clerici De Maria
Celso de Castro Filho
John Nicolas Landers

Processos de Degradação das Terras

Terra, conforme FAO, citado por Lepsch et al. (1991), é um segmento da superfície do globo terrestre definido no espaço e reconhecido em função de características e propriedades compreendidas pelos atributos da biosfera, atmosfera, solo, substrato geológico, hidrologia e resultado das atividades humanas futuras e atuais. A redução da qualidade do solo pode ser devido a causas naturais ou induzidas pelo homem. A degradação da terra pode ser entendida como o resultado de qualquer ação que a faça menos utilizável em benefício dos seres humanos (Wasson, 1987). A qualidade do solo é definida por valores relativos à sua capacidade de cumprir uma função específica e, pode ser determinada para diferentes escalas: campo, propriedade agrícola, ecossistema, região (Gregorich & Carter, 1997). Pode-se, assim, entender a degradação do solo como sendo a perda da sua capacidade em desempenhar uma função e o grau da degradação como um indicador chave da sustentabilidade dos ecossistemas.

Os tipos de degradação dos solos podem ser: 1. Erosão hídrica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição. 2. Erosão eólica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição. 3. Química: perda de nutrientes e/ou matéria orgânica; desbalanço de nutrientes; salinização; acidificação; poluição. 4. Física: compactação; selamento, encrostamento; inundação; aeração deficiente, excesso ou falta de água. 5. Biológica: redução da biomassa, redução da biodiversidade.

No contexto da produção agropecuária, a degradação das terras está relacionada às ações que contribuem para o decréscimo da sustentabilidade da produção agrícola no tempo, através da diminuição da

qualidade do solo e de seus atributos físicos, químicos e biológicos. Esse conceito é aplicável para qualquer área na qual princípios básicos de conservação do solo não foram obedecidos quando por ocasião do estabelecimento da atividade agrícola após desmatamento ou outro uso (Castro Filho et al., 2001). A degradação da terra diz respeito também à perda de qualidade e da disponibilidade da água especialmente para consumo humano e, ainda, refere-se ao mesmo tempo à perda definitiva de biodiversidade devido a processos utilizados no manejo inicial ou antropização do solo.

A principal causa da degradação do solo em ambientes tropicais e subtropicais úmidos é a erosão hídrica e as atividades que contribuem para o aumento das perdas de solo. A erosão hídrica é um processo natural que acontece em escala de tempo geológica. As atividades humanas tendem a acelerar esse processo a ponto de tornar visíveis os seus efeitos. Naturalmente, sob condições climáticas adversas, como seca ou excesso de chuvas, os resultados são dramáticos e chamam a atenção. Mesmo ocorrendo em magnitude menores, a degradação das terras é ignorada até que eventos catastróficos ocorram, a exemplo das inundações que seguiram o longo tempo de estiagem que resultou na crise energética no ano 2001, causando elevados prejuízos à sociedade brasileira. Uma área de terras degradadas faz com que as populações sejam forçadas a tentar produzir em terras marginais, não aptas para lavouras ou pastagens, ou avancem em direção a terras mais frágeis (Amazônia e Pantanal, por exemplo), multiplicando desesperadamente a degradação (Castro Filho et al., 2001; Freitas et al., 2001).

A atividade humana sem conhecimento dos recursos naturais – solo, água e biodiversidade, a falta de planejamento em diferentes escalas, o uso de sistemas não adequados de manejo, o desmatamento incorreto,

a exploração do solo acima de sua capacidade (superpastoreio, agricultura extensiva), além do crescimento urbano e industrial desordenados, dão origem a uma seqüência de ações que influem sobre as propriedades e a natureza do solo, tornando-o mais susceptível às forças naturais de degradação (Freitas, 2002; Castro Filho et al., 2001).

Os processos de degradação estão associados a fatores edáficos, climáticos e antrópicos. Embora alguns autores separem a degradação do solo em física, química e biológica, os processos associados a cada um desses aspectos apresentam interações e influenciam-se mutuamente sendo que a alteração de um deles afeta a qualidade do solo e de todo o sistema. A intensidade e a taxa de desenvolvimento desses processos são muito ampliadas pelo uso e manejo inadequados da terra (uso intensivo de grades de discos no preparo do solo, por exemplo), que expõem o solo aos fatores intempéricos induzem a destruição gradativa de seus atributos físicos, químicos e biológicos. A perda da camada superficial do solo é a principal forma de expressão da degradação das terras no Brasil, sendo a erosão hídrica a sua causa maior.

No processo de degradação ambiental, Blum (1998) considerou haver envolvimento de três tipos de energia: a) gravitacional – a que controla grande parte do movimento dos sólidos, líquidos e gases e é determinante para os fenômenos da erosão e sedimentação; b) conservada – presente no material de origem e provenientes das forças internas da Terra (pressão e temperatura); e c) solar – captada e transformada pelos vegetais e cedidas ao solo. Esse autor propôs então que a degradação de um ecossistema seja relacionada à perda de sua energia armazenada. Com base nessa proposição, Kobiyama et al. (1993), conceituaram a degradação como os processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antrópicos, que prejudicam as atividades de um ou mais de seus organismos. Kobiyama et al. (2001), associaram a degradação de um dado ambiente à sua entropia (S) [definida como $dS = dQ/dT$, onde Q é o calor e T é a temperatura] ou à desarmonia dos processos envolvidos, relacionando-a à entropia existente em um ambiente equilibrado. Nesse sentido, quanto maior a entropia, maior é a degradação de uma área. O aumento da entropia pode ser lento, como no caso do processo natural da formação do solo ou da paisagem; ou então rápido, como o que se dá em função da adição de energia no sistema (agrícola, urbano e industrial) através da interferência humana.

De fato, a intervenção humana no ecossistema natural (remoção da cobertura vegetal, por exemplo) tem sido causa de degradação que remonta aos tempos do descobrimento do Brasil. Na Amazônia, os processos de degradação estão muito ligados ao desconheci-

mento do ecossistema e de como manejá-lo para que produza com sustentabilidade; a conservação da matéria orgânica é fundamental no processo de recuperação, assim como o uso de espécies nativas e plantas fixadoras de nitrogênio. Na região do Semi-Árido, as causas de degradação em condições naturais estão relacionadas ao elevado escoamento superficial, condições climáticas adversas (altas temperaturas, evaporação elevada, chuvas erosivas e período seco prolongado), presença de horizontes genéticos endurecidos, mudança textural abrupta (permeabilidade) e presença de sais solúveis; o processo é acelerado pela ação antrópica inadequada. A recuperação se baseia em técnicas de irrigação, drenagem, correção, gessagem, uso de plantas tolerantes, mas é um processo muito lento. No caso da região de mares de morros (no Estado de Minas Gerais, por exemplo), a topografia foi um aspecto facilitador do processo de degradação, iniciado pela remoção da cobertura vegetal nativa; o manejo inadequado sob o ponto de vista de culturas e preparo do solo, contribuiu para a aceleração do depauperamento. Os processos de recuperação são quase sempre lentos, destacando-se a importância do conhecimento dos solos como premissa básica para o adequado manejo e recuperação.

Essa questão, no entanto, preocupa a todos os povos da Terra. Haja vista o estudo desenvolvido pelo ISRIC/UNEP, do qual participou a Embrapa Solos, que mostrou que 15% das terras deste Planeta já foram severamente degradadas por atividades humanas. Entre as formas mais comuns de degradação, destacaram-se a perda da camada superficial (70%), a deformação do terreno (13%), a perda de nutrientes (6.9%) e a salinização (3.9%). Menores intensidades de degradação foram atribuídas à compactação, poluição, erosão eólica, inundação, acidificação e subsidência (ISRIC/UNEP, 1991). Segundo a FAO, a perda da camada superficial é o maior desafio para a sustentabilidade da agricultura, entre outras razões porque a sua recuperação exige um longo período de tempo. A causa maior da perda e deterioração da camada superficial do solo é a erosão hídrica, que por sua vez causa um decréscimo na produtividade dos solos, uma vez que afeta a camada mais favorável ao crescimento das plantas cultivadas, rica em nutrientes, em detrimento de subsolos não férteis. A baixa produtividade resultante, somente pode ser compensada através da adição de nutrientes, elevando os custos de produção (FAO, 1983). Uma vez que o custo de insumos deixa de ser economicamente viável, a terra é convertida para usos menos intensivos ou de menor inversão de recursos ou tecnologia, como, por exemplo, a conversão de lavouras para pastagens extensivas e o abandono de áreas que podem ficar sujeitas a processos que incrementam a degradação.

5.2. A Erosão

A erosão é um processo natural e ocorre mesmo em ecossistemas em equilíbrio. A intervenção humana eleva a taxa de incidência desse processo gerando a “erosão acelerada”. Esta constitui um fenômeno de grande importância em razão da rapidez de seu desencadeamento e por acarretar grandes prejuízos não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas outras atividades econômicas e ao meio ambiente. A magnitude da erosão acelerada se relaciona às características do solo, às condições climáticas e ao uso e manejo dos recursos naturais.

O modelo agrícola predominante no país (baseado em uso de energia fóssil, de agroquímicos, na mecanização intensiva e que tem como principal preocupação a produtividade, em sua dimensão econômica) induz ao manejo inadequado do solo e promove a intensificação de processos erosivos pela exposição do solo ao sol e à chuva, com destruição de seus agregados, formação de camadas compactadas, decréscimo de permeabilidade e infiltração e, em consequência, aumento da erosão.

A evolução dessa questão pode ser exemplificada com o que aconteceu no Estado do Paraná, nos anos 70. O rápido crescimento da agricultura trouxe também o aumento da erosão. Para controlar o problema programas estaduais passaram, então, a incentivar a construção de terraços, geralmente comunitários. No entanto, o problema principal de degradação das terras naquele momento era a compactação do solo causada pelo uso intensivo, por dezenas de anos, de grades aradoras. Embora o tamanho dos terraços tenha aumentado, chegando a barreiras gigantes chamadas “murunduns” bastante eficazes em barrar o escoamento de água sobre a superfície do terreno, não se resolveu definitivamente o problema, porque os terraços não têm efeito sobre a compactação do solo. Apenas quando os produtores se voltaram para técnicas que visavam eliminar a compactação, o processo de erosão diminuiu, permitindo a melhoria da produção e a obtenção de maiores lucros (Castro Filho et al., 2001).

Desde essa época, especialmente nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, ações regionalizadas de manejo integrado em bacias hidrográficas vem sendo gradativamente implantadas com sucesso. Ressaltando-se que tais ações foram bem sucedidas somente quando se verificou o envolvimento efetivo de poder público, setor produtivo e, enfim, da sociedade em geral. O uso de sistemas conservacionistas baseados em Plantio Direto, nos anos noventa, expandiu-se numa escala territorial mais ampla trazendo grandes mudanças no controle dos processos erosivos e na sustentabilidade da atividade agrícola, permitindo antever

perspectivas menos pessimistas ao desenvolvimento do agronegócio brasileiro em sua dimensão ambiental.

Tipos de Erosão

A erosão pode ser causada pela água (hídrica), vento (eólica) ou pela combinação desses agentes. No Brasil a erosão hídrica é a mais importante.

As principais formas de expressão da erosão hídrica nas áreas agrícolas são a laminar, em sulcos e em voçorocas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). A laminar se caracteriza pela remoção de camadas delgadas do solo em toda uma área. Na erosão em sulcos, a enxurrada concentrada atinge volume e velocidade suficientes para formar canais de diferentes dimensões. A associação de grande volume de enxurrada e situações específicas de terreno, relativas tanto à pedologia e quanto à litologia, promovem o deslocamento de grandes massas de solo e a formação de cavidades de grande extensão e profundidade denominadas voçorocas. Existem outras formas de erosão, como solapamentos, deslocamentos ou escorregamentos de massas, que são mais características de áreas declivosas e/ou solos arenosos em condições particulares.

Os processos associados à erosão hídrica

A erosão hídrica é caracterizada por processos que se dão em três fases: desagregação, transporte e deposição. A precipitação que atinge a superfície do solo inicialmente provoca o umedecimento dos agregados, reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da chuva e o impacto das gotas, os agregados são desintegrados em partículas menores. A quantidade de agregados desintegrados cresce com o aumento da energia cinética da precipitação, que é função da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas da chuva. O transporte propriamente dito do solo somente começa a partir do momento em que a intensidade da precipitação excede a taxa de infiltração. Esta por sua vez, tende a decrescer com o tempo, tanto pelo umedecimento do solo como pelo efeito decorrente do selamento superficial. Uma vez estabelecido o escoamento, a enxurrada se move morro abaixo, podendo concentrar-se em pequenas depressões, mas sempre ganhará velocidade à medida que o volume da suspensão e a declividade do terreno aumentarem. Com isto a sua capacidade de gerar atrito e desagregação se amplia à medida que a enxurrada se movimentar. A deposição ocorre quando a carga de sedimentos é maior do que a capacidade de transporte da enxurrada. (Nuernberg, 1998; Pruski, 2000).

O manejo do solo e a erosão

A administração incorreta está entre os principais fatores determinantes de erosão e degradação do solo. Entre as práticas inadequadas, cita-se o desmatamento indiscriminado, o sobreuso da terra além da aptidão recomendada, a ausência de planejamento e práticas conservacionistas e, enfim, o preparo de solo inadequado.

O preparo intensivo do solo com grades de discos tem sido uma das principais causas da degradação das terras nos ambientes subtropicais e tropicais brasileiros. Seus efeitos são sentidos, principalmente, pela redução rápida dos teores de matéria orgânica e as suas conseqüências sobre a perda de capacidade produtiva do solo. A Figura 1 apresenta uma visão global dos efeitos do preparo do solo, notando-se que este é um dos principais fatores desencadeadores da erosão e esta é o ponto central de todo o processo que gera a perda

de qualidade ambiental. Com a contínua inadimplência e empobrecimento da população rural, verifica-se êxodo rural, crescimento de favelas e dos conflitos sociais, induzindo á insustentabilidade do modelo de agrícola.

Efeitos socioeconômicos e ambientais decorrentes da erosão no mundo

Pimental et al., citado por Pruski (2000), estimaram que mais de um terço da camada superficial de áreas agrícolas cultivadas nos Estados Unidos foi perdido nos últimos 200 anos. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estima que as perdas de solo pelas erosões eólica e hídrica sejam, em média, de aproximadamente $14t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, considerando toleráveis taxas entre $9\ e\ 11t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ (USDA, 1994). Lal (1994) salienta que as perdas de solo e nutrientes, asso-

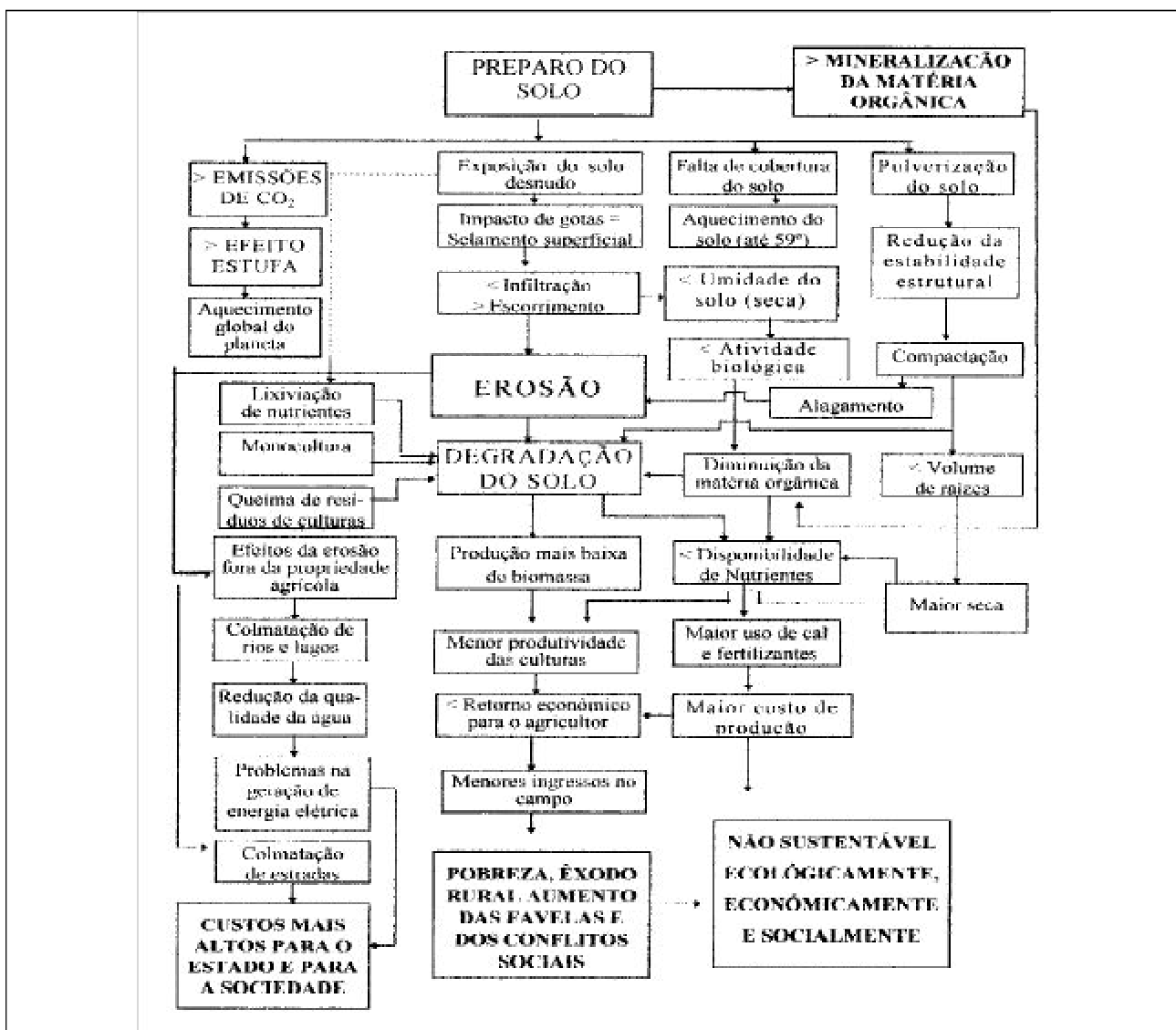


Figura 1. Degradação, perda de produtividade e conseqüências econômicas, sociais e ambientais resultantes do preparo do solo na agricultura tradicional (Adaptado de Derpsch, 1997).

ciadas a outros prejuízos decorrentes do assoreamento de rios, lagos e represas acarretam, somente nos Estados Unidos, prejuízos anuais estimados em US\$6 bilhões. Outras estimativas, como a realizada pelo Comitê sobre Necessidades e Oportunidades de Conservação (COMMITTEE ON CONSERVATION NEEDS AND OPPORTUNITIES, 1986), são ainda mais pessimistas, pois este considera que os danos causados pela erosão do solo nos Estados Unidos são da ordem de US\$ 10 bilhões ao ano.

Williams et al. (1999) salientaram que a maioria das terras agrícolas mundiais apresentava taxas de erosão ainda mais altas que aquelas observadas nas condições norte-americanas. Lal (1994) estimou que as áreas afetadas por erosão acelerada pela influência humana chegam a 12% na América do Norte, 18% na América do Sul, 19% na Oceania, 26% na Europa, 27% na África e 31% na Ásia.

Impactos das mudanças climáticas globais nas perdas de solo e de água

Embora o panorama evidenciado na atualidade já caracterize a situação mundial como bastante preocupante e algumas medidas expressivas, como a inserção e expansão da área cultivada em plantio direto, estejam sendo tomadas no sentido de reduzir as perdas por erosão, diversas projeções indicam agravamento da situação em consequência das mudanças climáticas esperadas para o próximo século (Williams et al., 1996 e Williams, 2000). Esses incrementos nas taxas de ocorrência da erosão são esperados em virtude de uma série de fatores, incluindo, por exemplo, variações na produção de biomassa, na taxa de decomposição de resíduos, na atividade microbiana, na evapotranspiração e no selamento superficial do solo (Williams et al., 1996).

Estima-se que o efeito das mudanças climáticas globais no Meio Oeste dos Estados Unidos promova um acréscimo de 39% nas perdas de solo por volta do ano 2050, mesmo que os produtores rurais façam os necessários ajustes na adubação do solo a fim de manter a produção de biomassa e a produtividade constantes (Williams, 2000). Isso implica que o sistema convencional de manejo do solo embora possa vir a incorporar novas e avançadas tecnologias, como cultivares adaptadas a maiores temperaturas, não permitirá a diminuição ou mesmo a estabilização das perdas de solo nos agrossistemas.

Pruski & Nearing (2001) realizaram um estudo das variações potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo, considerando as mudanças climáticas esperadas durante o século XXI utilizando o HadCM3, que constitui a terceira geração dos Modelos

Climáticos Globais produzida pelo Hadley Center, da Inglaterra. Nesse caso, o escoamento superficial e as perdas de solo foram analisados utilizando o Water Erosion Prediction Project (WEPP) para milho e trigo em oito localidades dos Estados Unidos e para os tipos de solos mais freqüentemente encontrados nessas localidades. As variações estimadas para o período estudado (de 1990 a 2099), em relação àquelas estimadas para 1990, foram de -24,3 a 41,0% para o escoamento superficial e de -13,9 a 101,9% para as perdas de solo. As variações foram, normalmente, maiores para perdas de solo do que para escoamento superficial e, maiores para ambos do que para precipitação. Embora o aumento estimado nos níveis de CO₂ para o século XXI poderá contribuir para o aumento na produtividade das culturas e, conseqüentemente, para a produção de biomassa, por outro lado, o grande aumento esperado na temperatura deverá ter um efeito mais expressivo e tendendo a promover um decréscimo na produtividade, aumentando o escoamento superficial e as perdas de solo. Em Cookeville, onde o aumento esperado na precipitação foi significativo e superior a 90% (condição também esperada em 23,0% das células do HadCM3 localizadas nos Estados Unidos), o aumento no escoamento superficial teve significância maior que 93,5% e as perdas de solo foi maior que 99,5%. Para todas as outras condições em que foram evidenciados aumentos na precipitação (em 57,2% das células do HadCM3 localizadas nos Estados Unidos é esperado o aumento na precipitação) as perdas de solo também aumentaram. Mesmo em diversas condições em que decréscimos na precipitação são esperados, observou-se aumento nas perdas de solo em consequência do expressivo efeito que os acréscimos esperados na temperatura tiveram no decréscimo da produção de biomassa. Este decréscimo na produtividade sugere a necessidade de desenvolvimento de novas variedades, com melhor resposta aos aumentos de temperatura esperados. A tendência, entretanto, é de que estas novas variedades tenham área foliar e produção de biomassa menores, o que aumentará ainda mais as perdas de solo.

A situação atual da erosão do solo no Brasil

A erosão hídrica constitui o principal problema relativo aos recursos naturais no Paraná, e apesar dos esforços já realizados para controlá-la, ainda alcança proporções alarmantes. Resultados de pesquisas indicam haver uma perda de 15 a 20t ha⁻¹ ano⁻¹ de solo em áreas intensivamente mecanizadas (Paraná, 1994). Kronen, citado por Parchen & Bragagnolo (1991), salienta que uma perda média de solo equivalente a 20t ha⁻¹ ano⁻¹ representa, no Paraná, uma perda anual de nutrientes

no valor de US\$ 250 milhões. Derpsch et al (1991) afirmaram que, em 1982, cerca de 12,5 milhões de toneladas de sedimentos foram depositados no reservatório de Itaipu. Destes, cerca de 4,8 milhões de toneladas são originários do Estado do Paraná. O valor total dos nutrientes mais importantes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio) existentes neste volume de solo foi considerado equivalente a US\$ 419 milhões por ano. A análise do teor de sedimentos, assim como de fósforo e nitrogênio na água no reservatório de Itaipu, caracterizou que as concentrações mais altas são encontradas durante o período de preparo do solo e plantio.

Pesquisas realizadas no Rio Grande do Sul mostram que, em termos médios, ocorre uma perda de mais de 40t ha⁻¹ ano⁻¹ de terra em seis milhões de hectares de áreas cultivadas (Schmidt, 1989).

Na agricultura paulista, a erosão é também considerada um grave problema que vem comprometendo os recursos naturais e pondo em risco a rentabilidade das atividades agrícolas (Bertolini & Lombardi Neto, 1993). A perda anual devida à erosão é de aproximadamente 194 milhões de toneladas de terras férteis; destas 48,5 milhões de toneladas chegam aos mananciais em forma de sedimentos transportados, causando assoreamento e poluição. Estima-se, para este Estado, que as perdas de solo decorrentes da erosão correspondam a 10kg para cada kg de soja produzido e a 12kg para 1kg de algodão produzido; sendo que grande parte da área cultivada já perdeu de 10 a 15cm de solo fértil (Bertolini et al., 1993). Utilizando dados de perdas de solo destes autores e as perdas de nutrientes arrastados por erosão obtidos por Castro et al. (1986), Castro (1991) estimou que em todo o território paulista são perdidos anualmente cerca de 650.000t de corretivos e 850.000t de fertilizantes NPK. Estima-se também, que 80% da área cultivada neste Estado esteja sofrendo processo erosivo acima do tolerável.

Marques, citado por Bertoni & Lombardi Neto (1990), em 1949, enfatizava que o Brasil perdia, por erosão laminar, cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente. Atualmente, em razão do uso intenso do solo e da ampliação da fronteira agrícola, as perdas de solo superam este valor e em diversos estados brasileiros a situação é muito grave. Citada por Bahia et al. (1992), a Federação das Associações dos Engenheiros Agrônomos do Brasil, no início da década de 90, relatava que no Brasil eram perdidas, em média, anualmente, 600 milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão e em consequência do mau uso do solo. A estas perdas de solo, associaram-se perdas de nutrientes da ordem de 1,5 bilhão de dólares. Estimativas feitas mais recentemente por profissionais ligados à conservação de solos projetaram prejuízos ainda maiores, da ordem de US\$ 4 bilhões por ano.

Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos à produção agropecuária, causam a poluição dos recursos hídricos. Assim, as perdas por erosão tendem a elevar os custos de produção, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas. A erosão causa também problemas à qualidade e disponibilidade de água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem, elevando os custos de construção de barragens e de dragagem dos cursos e reservatórios d'água, reduzindo o potencial de geração de energia elétrica e causando prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas.

No Brasil tem sido observada com grande frequência a ocorrência de chuvas capazes de provocar sérios prejuízos como quedas de barreiras nas estradas, deslizamentos de encostas nos morros, assoreamento de rios e enchentes, causando mortes e deixando várias famílias desabrigadas. O manejo adequado do solo e da água, buscando reduzir o escoamento superficial por meio do aumento da sua infiltração no solo, e conseqüente reabastecimento do lençol freático, representa uma prática fundamental para melhorar o aproveitamento das chuvas, minimizando os picos de vazão e reduzindo o déficit de água nos períodos de estiagem. O escoamento superficial constitui o principal meio de contaminação dos mananciais de água de superfície, devido ao arraste de sedimentos e produtos químicos. O transporte de produtos químicos pelo escoamento superficial pode ter efeito direto e imediato na deterioração da qualidade da água, ao passo que o transporte de material sólido pode ter um impacto a longo prazo sobre os recursos hídricos (Oliveira, 1999).

Áreas Vulneráveis à Erosão no Brasil

Em razão da ampliação da fronteira agrícola e do uso intensivo do solo, as perdas por erosão tenderam a se ampliar nas últimas décadas e, atualmente, em algumas regiões do país a situação já atingiu avançado estágio de degradação de difícil e custosa recuperação.

O resultado do cruzamento, através do SPRING-INPE, de informações relativas à pressão de uso das terras e a susceptibilidade à erosão dos solos está na Figura 2. Nesta figura, nota-se uma escala de vulnerabilidade ou criticidade onde as áreas mais críticas são as que associam grande pressão de uso a solos com alta suscetibilidade à erosão. Na região Norte, 98% das terras apresentam baixo grau de vulnerabilidade à erosão hídrica devido principalmente à pequena pressão de

uso. Na região Nordeste por causa das condições climáticas as áreas com baixa vulnerabilidade ocupam cerca de 82% do território dessa região. Embora apresente baixo nível de vulnerabilidade em 78% do total da sua área ocupada, a região Centro-Oeste apresenta áreas extremamente críticas relacionadas às bordas do Pantanal e às nascentes de rios importantes para as bacias do rio Amazonas e do Paraguai. A região Sul apresenta 40% de suas terras com elevado grau de vulnerabilidade indicando que solos de maior susceptibilidade à erosão estão sendo fortemente pressionados em seu uso. Em contrapartida, nessa região, desde os anos 80, cresce o uso de sistemas conservacionistas de manejo do solo baseados no Plantio Direto (mais de 70% da área cultivada com culturas anuais) e programas de manejo integrado em bacias hidrográficas, mudando essa criticidade para a perspectiva de uso intensivo como agricultura sustentável.

Em escala regional, fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) podem ser usados individualmente para auxiliar a identificar áreas de riscos à degradação das terras e para encontrar possíveis formas de solucionar tais problemas (Castro Filho et al., 2001). Na Figura 3, tem-se um exemplo utilizando o fator erosividade “R”, que indica a capacidade das chuvas em provocar erosão na bacia do rio Paraná. Nota-se que à medida que se distancia do rio Parana-

ma, tanto em direção ao norte da região avaliada quanto em direção ao sul, a erosividade das chuvas aumenta gradativamente, identificando-se regiões de maior vulnerabilidade na região Centro-Sul do Estado de Goiás e no Sudoeste do Estado do Paraná. Por outro lado, a faixa que envolve aquele rio na direção leste-oeste apresenta os menores índices de erosividade de chuvas.

Em muitos casos, verifica-se que regiões de alta vulnerabilidade à erosão, agravada pelo uso intensivo de solos com alta suscetibilidade à erosão, nem sempre são áreas de alta erosividade de chuva.

Impactos relativos à erosão hídrica no Brasil

Os danos ambientais causados pelo processo da erosão do solo, segundo Marques (1998), podem ser enfocados sob duas formas: os internos (no âmbito da propriedade rural) e os externos à área de produção agrícola ou local de origem. Os custos referentes aos impactos externos são em geral maiores que os internos (normalmente envolvendo apenas a quantificação das perdas de nutrientes pela enxurrada). Entretanto, a valoração econômica dos danos causados pela erosão é bastante complicada, especialmente no Brasil, devido às dificuldades em definir e quantificar as formas e a extensão dos efeitos e impactos dos processos erosi-

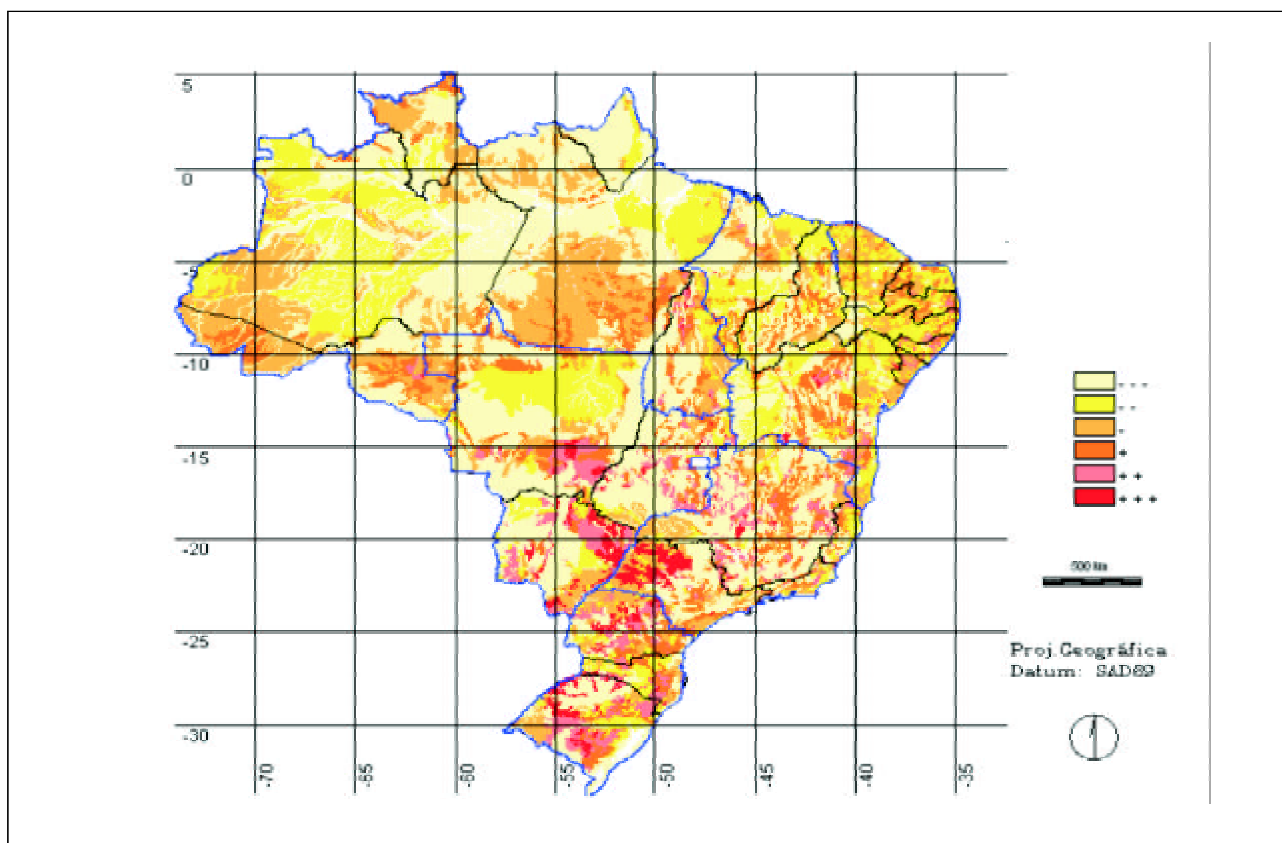


Figura 2. Áreas vulneráveis à erosão resultantes do cruzamento entre a pressão de uso das terras e a susceptibilidade natural dos solos à erosão.

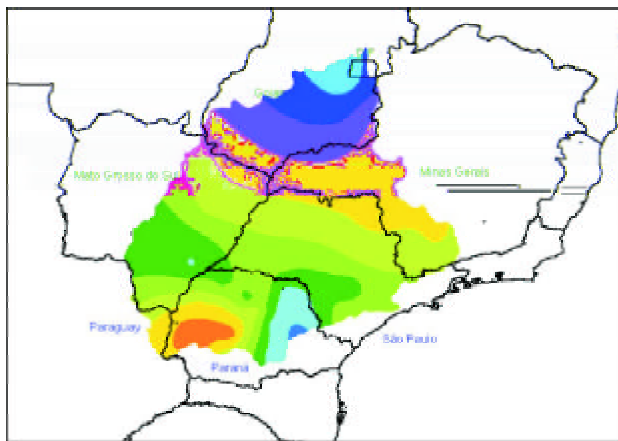


Figura 3. Fator erosividade da chuva (R) na bacia do rio Paraná, com a intensidade aumentando do azul para o verde e deste para o vermelho. (Castro Filho et al., 2001).

vos. Marques (1998) estimou o valor econômico dos danos ambientais baseando-se no conceito de valor de uso e nos métodos de mensuração do custo de reposição e produção sacrificada ou redução na produtividade. No entanto, esse autor ressalta a possibilidade de ter subestimado os impactos totais valorados para a bacia do rio Sapucaí, na divisa entre Minas Gerais e São Paulo, onde desenvolveu seu trabalho, visto que não considerou vários componentes como os valores de opção, de existência e outros.

Embora as estimativas do custo da erosão se baseiem quase sempre na perda de nutrientes, a camada superficial, onde ocorre o crescimento das raízes favorecido pela disponibilização de nutrientes e condições favoráveis de troca de gases e de água, tem um alto valor que deve ser estimado. Quando, por outro lado, efeitos indiretos como a retirada e deposição dos sedimentos em cursos d'água e reservatórios são considerados, o custo global torna-se astronômico, principalmente quando se avalia as perdas, a longo prazo, da capacidade produtiva e do custo de insumos, como combustível e adubos. Nesse caso, definitivamente, nenhuma erosão do solo é economicamente viável ou ao menos tolerável (Castro Filho et al., 2001).

Para estimar as perdas por erosão nas áreas com exploração agropecuária no Brasil, considerou-se, aqui, a área total ocupada com lavouras (anuais e perenes) e pastagens (naturais e plantadas) do censo de 1995/1996 (IBGE, 1996) e, admitiu-se como perda anual média de solo o valor de 15,0t ha⁻¹ para lavouras (valor baseado em sugestão de Bragagnolo & Pan, 2000 e, em De Maria, 1999) e de 0,4t ha⁻¹ para pastagens (valor baseado em citação de Bertoni & Lombardi Neto, 1990). As perdas médias de solo para lavouras estão bem próximas do valor médio obtido com base em dados citados por De Maria (1999), quando destes se excluíram os dados extremos. A média adotada para as pastagens

é justificada muito mais por uma quase ausência de informações sobre quantificação de perdas de solo por erosão em pastagens plantadas e pela inexistência desses valores para pastagens naturais.

Dessa forma, estimou-se em 822,7 milhões de t as perdas totais anuais de solo em áreas de lavouras e pastagens no Brasil, sendo que 751,6 milhões são devido às áreas ocupadas com lavouras e que 71,1 milhões de t provém de terrenos cobertos com pastagens (Tabela 1).

Desse total, 247 milhões de t de sedimentos por ano (ou 30% do total. Admite-se este percentual, mas o montante que chega aos mananciais depende de outros fatores que podem ocorrer numa microbacia, como o tamanho da área, o tipo de solo predominante, o sistema de manejo adotado etc; portanto este percentual pode ser considerado conservador) podem ser, finalmente, depositados em estradas, rios, represas etc, e gerariam efeitos fora das propriedades, acarretando prejuízos socioeconômicos e ambientais certamente de elevada magnitude.

Utilizando dados de perdas de solo determinados para diferentes culturas e em condições experimentais de solo e clima do Estado de São Paulo, e extrapolando tais valores pelas respectivas áreas cultivadas no Brasil, Vergara Filho (1994) estimou as perdas anuais médias de solo em 1,054 bilhões de t, índice superior, portanto, aos relatados aqui.

Estabelecendo-se com base em De Maria (1999), que as perdas de água sejam de 2.519m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para as áreas de lavouras, valor obtido quando se extrapola os valores máximos citados por esse autor; admitindo-se que a perda média relativa às pastagens seja um décimo desse valor e extrapolando-se esses montantes médios para a área ocupada total (IBGE, 1996), obteve-se perdas anuais de água de 126,2 bilhões de m³ em áreas de lavouras e de 44,8 bilhões de m³ em áreas de pastagens, num total de 171 bilhões de m³.

Considera-se que cerca de 30% desse montante não será retido nos terraços e nas áreas de captação das bacias e, portanto, não se infiltrará no solo e nem recomporá lençóis freáticos. Essa água embora possa atingir os mananciais e, sendo armazenada, venha eventualmente a gerar energia, promoverá assoreamentos e poluição desses corpos d'água e incrementos no custo do tratamento para consumo humano. Desta forma, por não suprir adequadamente os lençóis freáticos, as fontes e os rios vão minguando gradativamente, sendo esse um dos fatores que poderiam determinar impactos como a crise energética brasileira ocorrida em 2001.

Com o escoamento superficial, ocorre o transporte de nutrientes e matéria orgânica em suspensão, junto às partículas de solo ou de fertilizantes ainda não dissolvidos, ou em solução, que, além de causa-

Tabela 1. Estimativa de perda anual de solo e de água por erosão hídrica no Brasil em função do tipo de ocupação de solo.

| Tipo de Ocupação | Área Ocupada ⁽³⁾ (ha) | Perda de Solo | | Perda de Água | |
|------------------|----------------------------------|---|----------------------|--|---|
| | | Média | Total | Média ⁽⁴⁾ | Total |
| | | (t ha ⁻¹ ano ⁻¹) | (ano ⁻¹) | (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | (10 ⁶ m ³ ano ⁻¹) |
| Lavouras | 50.104.483 | 15,0 ⁽¹⁾ | 751.567.248 | 2.519 | 126.213 |
| Pastagens | 177.700.471 | 0,4 ⁽²⁾ | 71.080.189 | 252 | 44.781 |
| Total | 227.804.955 | - | 822.647.436 | - | 170.994 |

⁽¹⁾Bragagnolo & Pan, 2000 ⁽²⁾Bertoni & Lombardi Neto, 1990. ⁽³⁾IBGE, 1996. ⁽⁴⁾De Maria (1999)

rem prejuízos à produção agropecuária, causam a poluição dos recursos hídricos. Com base em Hernani et al. (1999) e nos dados acima descritos, estimou-se a perda anual de cálcio em 2,5 milhões de t, de magnésio em 186 mil t, de fósforo em 142 mil t, de potássio em 1,45 milhões de t e de matéria orgânica em 26 milhões de t (Tabela 2.). Admitindo-se perdas médias anuais por erosão hídrica em lavouras de 863 e 86 mil t, respectivamente para nitrogênio e enxofre (valores sugeridos em Malavolta, 1992) e que tais perdas nas áreas de pastagens sejam 50% menores, estimou-se em 2,4 milhões e 239 mil t por ano as perdas totais de nitrogênio e enxofre, respectivamente.

Estimativa dos custos internos à propriedade rural devido à erosão

Para valorar os custos internos às propriedades agrícolas, estimaram-se os custos relativos aos fertilizantes carreados pela erosão tanto em áreas de lavouras como

em pastagens, a partir dos resultados da Tabela 2. A estes foram acrescidos os valores de perda de produtividade e aumento de custos de produção para as culturas de soja, milho e trigo, verificados em sistema tradicional de manejo do solo (monocultura e preparo de solo com várias operações ao ano com grades de discos) em relação ao manejo da propriedade em plantio direto. Estes valores foram com base em produtividade média, extrapolados para a área total estimada cultivada em sistema tradicional com essas culturas. Dados relativos à produção animal não foram considerados.

Verifica-se dessa forma que a erosão gera perdas anuais correspondentes a 15,2 milhões de t de calcário dolomítico (23% de CaO) valorados em R\$563 milhões; 879 mil t de superfosfato triplo que valem R\$483 milhões e 3 milhões de t de cloreto de potássio valorados em R\$1,7 bilhões. A reposição das perdas de nitrogênio e enxofre, geram um custo de cerca de R\$3 bilhões, sendo 4,9 milhões de t de uréia a R\$2,58 bilhões

Tabela 2. Estimativa de perda anual de nutrientes e matéria orgânica (t ha⁻¹ ano⁻¹) por erosão hídrica em sistema convencional de manejo do solo no Brasil em função do tipo de ocupação de solo e total.

| Tipo de Ocupação | Perda de nutrientes e de matéria orgânica | | | | | | | |
|-----------------------|---|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | N ⁽¹⁾ | P ⁽²⁾ | K ⁽²⁾ | Ca ⁽²⁾ | Mg ⁽²⁾ | S ⁽¹⁾ | MO ⁽²⁾ | |
| | Perda Média Anual (t ha ⁻¹) | | | | | | | |
| Lavoura | Solo | 0,01726 | 0,000382 | 0,001794 | 0,015294 | 0,001147 | 0,00172 | 0,476471 |
| | Água | — | 0,001782 | 0,020200 | 0,024477 | 0,001806 | — | — |
| Pastagem | Solo | 0,00863 | 0,0000102 | 0,0000478 | 0,000408 | 0,0000306 | 0,00086 | 0,012706 |
| | Água | — | 0,000178 | 0,002021 | 0,002449 | 0,000181 | — | — |
| Perda Total Anual (t) | | | | | | | | |
| Lavoura | Solo | 863 000 | 19 157,6 | 89 893,34 | 766 303,9 | 57 472,79 | 86 000 | 23873 313 |
| | Água | — | 89 301,79 | 1012 087 | 1226 411 | 90 492,48 | — | — |
| | Total | 863 000 | 108 459,4 | 1101 980 | 1992 715 | 147 965,3 | 86 000 | 23873 313 |
| Pastagem | Solo | 1533 555 | 1 811,848 | 8 501,748 | 72 473,92 | 5 435,544 | 152 822,4 | 2257 841 |
| | Água | — | 31 684,33 | 359 089,1 | 435 131,5 | 32 106,79 | — | — |
| | Total | 1533 555 | 33 496,18 | 367 590,8 | 507 605,4 | 37 542,33 | 152 822,4 | 2257 841 |
| Total | 2396 555 | 141 955,6 | 1469 571 | 2500 320 | 185 507,6 | 238 822,4 | 26131 154 | |

⁽¹⁾ As perdas se referem ao total (solo+água) para lavouras, adaptado de Malavolta (1992); admitiu-se as perdas em pastagem como sendo 50% das relatadas para a lavoura.

⁽²⁾ Estimativas baseadas em Hernani et al. (1999), Bragagnolo & Pan (2000), De Maria (1999) e, Bertoni & Lombardi Neto (1990).

e cerca de 1 bilhão t de sulfato de amônio custando R\$430 milhões (Tabela 3). Portanto para reposição dos macronutrientes perdidos, gera-se um custo de R\$5,73 bilhões por ano. Soma-se a esses valores cerca de R\$871 milhões relativos ao adubo orgânico (cama de frango) necessário à reposição da matéria orgânica ao solo. Neste caso, fez-se abstração da quantidade que se perde (cerca de 50%) no processo de decomposição do material orgânico adicionado ao solo ao fazer essa reposição, da mesma forma que não se considerou as concentrações variáveis de nutrientes presentes neste adubo e no fertilizante superfosfato triplo. Estima-se que a erosão hídrica gere às propriedades, em média, prejuízo relativo às perdas de fertilizante, calcário e adubo orgânico, da ordem de R\$ 6,6 bilhões por ano. Para efeito deste trabalho, considerou-se a relação US\$1,0 = R\$2,5; portanto, os custos relativos aos fertilizantes carregados pela erosão no âmbito das propriedades agrícolas, excetuando-se os valores necessários à sua aplicação, são cerca de US\$2,64 bilhões.

Considerando, com base em Hernani et al. (1997) e em outros autores, que o sistema tradicional de manejo de solo proporciona rendimentos médios em torno de 17% menores do que sistemas mais conservacionistas como o plantio direto, tanto em soja, quanto em milho ou trigo. Estimando a produtividade média em 2.400, 5.400 e 1.480 kg/ha, respectivamente para a soja, o milho e o trigo, e que a área cultivada dessas culturas no sistema tradicional de manejo seja de cerca de 30% do total, de 70% e de 10%, respectivamente, e, multiplicando as diferenças devidas aos rendimentos menores por ha pela área cultivada correspondente e o resultado obtido pelo preço dos produtos na região de Dourados (soja: US\$9,0/sc de soja; US\$3,3/sc de milho; US\$8,2/sc de trigo; em fevereiro de 2002), pode-se estimar os efeitos da erosão sobre a queda da produtividade dessas culturas em cerca de 1,6 milhões de reais ou cerca de 638,6 mil dólares (US\$1,0 = R\$2,5).

Considerando que, comparativamente ao plantio direto, o sistema tradicional gera custos mais elevados de 6,9% em soja, 10% em milho e 5% em trigo (Melo Filho e Lemes, 2000 a, b, c) e extrapolando os

valores relativos a esses percentuais para as áreas estimadas em que o sistema tradicional é usado nessas culturas, tem-se um montante de R\$728 milhões (US\$291,2 mil) por ano relativos a custos mais elevados. Há que ressaltar que esses autores determinaram custos junto a agricultores e que não consideraram haver diferenças entre os dois sistemas de manejo comparados, tanto para produtividade quanto para a necessidade de adubação.

Neste sentido, somando os custos relativos à reposição de corretivos e fertilizantes (calculados para lavouras e para pastagens) aos valores referentes à menor produtividade e aos maiores custos de produção (calculados apenas para as lavouras anuais de soja, milho e trigo), tem-se que a erosão geraria um custo total anual no âmbito da propriedade rural de R\$ 7,33 bilhões, correspondentes a US\$2,93 bilhões.

A depreciação da terra que seria gerada pela erosão não foi aqui estimada. Isto porque ao se estimar os custos de fertilizantes necessários à reposição anual dos nutrientes e matéria orgânica perdidos por erosão, admitiu-se que haveria a recuperação da fertilidade do solo e, portanto, que a depreciação seria minimizada. Ressalta-se que outras perdas devidas à erosão na propriedade ainda podem se dar, mas estas não puderam ser valoradas.

Estimativa dos custos externos à propriedade rural devido à erosão

No Brasil, onde predomina o clima tropical justamente no período de implantação das culturas de verão, é freqüente a ocorrência de chuvas com alto potencial erosivo. Estas precipitações causam deslizamentos de encostas, enchentes, desabrigando centenas de famílias e causando mortes. A deposição de sedimentos diminui a capacidade armazenadora dos reservatórios, causa assoreamento de mananciais, aumenta custos com o tratamento de água potável e gera danos à ictiofauna.

Para estimar os custos externos à propriedade rural devido aos processos erosivos, tomou-se dados obtidos por diferentes autores.

Tabela 3. Estimativa⁽¹⁾ do custo adicional em fertilizantes em função da perda anual de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e adubação orgânica por erosão hídrica no Brasil de acordo com o tipo ocupação de solo e total.

| Tipo de Ocupação | Calcário dolomítico ⁽²⁾ | | Uréia | | Superfosfato triplo | | Cloreto de potássio | | Sulfato de amônio | | Adubo orgânico ⁽³⁾ | |
|------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ | 10 ³ t | 10 ⁶ R\$ |
| Lavouras | 12.123 | 449 | 1.784 | 928 | 672 | 369 | 2.289 | 1.260 | 391 | 155 | 26.526 | 796 |
| Pastagens | 3.088 | 114 | 3.170 | 1.648 | 207 | 114 | 763 | 419 | 695 | 275 | 2.509 | 75 |
| Total | 15.211 | 563 | 4.954 | 2.576 | 879 | 483 | 3.052 | 1.679 | 1.086 | 430 | 29.035 | 871 |

⁽¹⁾Estimativa baseada em Hernani et al. (1999) e preços médios correntes de 2001 em Dourados, MS.

⁽²⁾Calcário Dolomítico, com 23% de CaO.

⁽³⁾ Adubo orgânico: Cama de frango, com 90% de MO.

O incremento do custo do tratamento de água para consumo humano, devido à turbidez gerada pela erosão, foram estimados pelo Banco Mundial para o Estado do Paraná, como sendo de R\$10,67/10.000m³ de água tratada. A mesma estimativa foi feita para o Estado de Santa Catarina por Bassi (1999), indicando um desperdício de 46% no custo de tratamento de água, o que representa um custo adicional de R\$ 6,37/10.000 m³. Nessa oportunidade, tomaram-se por base os dados de Bassi (1999), considerando que 60% da população brasileira é servida com água tratada, ou 102 milhões de pessoas, com um consumo médio diário de 40 l. Além disso, admitiu-se que desse total de pessoas cerca de 58% (aproximadamente 59 milhões de habitantes) vivem em áreas com mananciais superficiais não adequadamente protegidos mediante sistemas conservacionistas de manejo do solo. Neste sentido, estima-se que o consumo médio diário dessa população seja cerca de 2,4 bilhões de m³ ou 861 bilhões de m³/ano, totalizando R\$124,3 milhões (US\$49,7 milhões) de custo adicional por ano (Tabela 4).

O custo de reposição de reservatórios em face da perda anual da sua capacidade de armazenamento foi estimada com base em Carvalho et al. (2000) que reporta uma perda anual de 0,5% da capacidade brasileira de armazenamento de água, ou 2 x 10⁹m³. Essa reposição, segundo esses autores, representa um custo de R\$ 1,75 bilhões ou R\$0,875/m³. Considerando a perda de solo calculada (822 milhões de t), com uma densidade de 1,1t m⁻³, tem-se um volume de 747 milhões de m³ e, considerando ainda que 30% deste montante chegaria aos mananciais, ou seja, 224,1 milhões de m³, tem-se que a erosão estaria gerando um custo de reposição de reservatórios de cerca de R\$196 milhões por ano (Tabela 4). Portanto, o efeito da erosão estaria gerando um custo adicional de reposição de reservatórios de água relativamente pequeno se comparado ao total relatado por Carvalho et al. (2000).

O custo de manutenção de estradas pela ausência de medidas de conservação (terraceamento, planejamento e locação de estradas, sistemas conservacionistas de manejo do solo, etc.) foi baseado nas determinações de Bragagnolo et al. (1997). Estes autores estimaram que na ausência de adequado manejo conservacionista no âmbito de uma bacia hidrográfica, há um incremento de 50% no custo anual de manutenção das estradas, estimado em R\$2.375,00/km/ano (US\$950,00/km/ano). Considerando a existência de 1,27 milhões de km de estradas de terra (fonte: DNER, citado por Landers et al., 2001), estima-se um gasto de R\$1.508 milhões. Dessas estradas, 22% estão em áreas com culturas anuais, portanto, implicando em um custo adicional de R\$332 milhões por parte dos governos municipais e estaduais (Tabela 4). Ressalta-se assim a grande influência de estradas rurais e de áreas

periurbanas - principalmente loteamentos ou ocupações de populações de baixa renda, no impacto provocado pela erosão devido terem sido mal executadas ou estarem com inadequada conservação (Bertolini & Lombardi Neto, 1993).

Um dos custos indiretos das perdas de água por erosão se refere à redução na recarga de aquíferos, importante para a manutenção de reservatórios (Freitas et al., 2001). Estima-se, conforme Tabela 1, que do total da água que as áreas de lavouras e pastagens (171 bilhões de m³) perdem por erosão em todo o Brasil anualmente, cerca de 30% não se infiltra no solo, ou seja, 51,3 bilhões de m³. Landers et al. (2001) adotaram um custo de R\$0,025 por m³ da água da chuva que não recarrega os aquíferos. Com base nesse valor verifica-se, portanto, que a redução na recarga de aquíferos gera um custo adicional de R\$1,28 bilhões por ano (Tabela 4).

O consumo de combustíveis fósseis para os trabalhos de preparo do solo e cultivo mecânico, típicos dos sistemas tradicionais de manejo do solo, é também relevante. O gasto desnecessário de combustíveis apresentado por sistemas tradicionais de manejo de solo, quando comparado a sistemas conservacionistas, tem sido mostrado por vários autores. Custos adicionais de 66% foram indicadas por Derpsch et al. (1991) para o Estado do Paraná. Nos cerrados, Gentil et al. (1993) indicaram aumentos relativos de 64 e 74% respectivamente para propriedades de 500 e 2.000ha. Dados reportados por Landers et al. (2001) indicam um desperdício de 31,0 l ha⁻¹ ano⁻¹ de óleo diesel para as áreas de lavoura (considerando 1 cultura anual/ano, ou 38 milhões de ha). Isto implica em um consumo adicional de 1,18 10⁹ l de óleo diesel, com um valor de R\$1,3 bilhões (R\$1,10/l óleo diesel). Nesse cálculo, não se considerou o desperdício que este montante gera em termos de importação de petróleo e nos efeitos na balança de pagamentos do país.

Por outro lado, o consumo desnecessário de combustível fóssil significa produção desnecessária de gases de efeito estufa. Cálculos baseados em Landers et al. (2001), utilizando a gravidade específica do óleo diesel (0,84t m⁻³) e um conteúdo de carbono com base em peso de 16%, estimou-se uma emissão de 158.600tC (0,99 10⁶t óleo), com valor estimado de R\$ 1,19 milhões (valor unitário de R\$7,50 ou US\$3,00/tC).

Nas áreas irrigadas por aspersão, presente na maioria das áreas sob culturas anuais e culturas perenes como o café, a falta de cobertura do solo aumenta perdas de água por evaporação e por erosão. Stone & Moreira (1998) estimaram, para a cultura de feijão, uma perda por evaporação de 40% da água aplicada, o que implica em menor disponibilidade de água para outros usos (valor de oportunidade do uso de água) e o maior consumo de energia elétrica. Considerando

uma lâmina média anual de 800mm em uma ou duas culturas/ano, aplicada em 1,1 milhões de ha irrigados em todo o país, tem-se um consumo de 8,8 bilhões de m³, implicando em um desperdício de 3,5 bilhões de m³. Admitindo-se que em 2001, 50% da área da área total irrigada foi conduzida em sistema convencional de manejo de solo, então o desperdício é de 1,75 bilhões de m³ por ano. Considerando o custo de bombeamento de R\$0,03/m³, ou, de R\$115,50/ha irrigado, tem-se que esse desperdício implica, para os irrigantes, gasto adicional de R\$52,5 milhões por ano (Tabela 4). A necessidade de maior volume de água representa uma menor disponibilidade para outros usos, incluindo a disponibilidade de água para irrigação de 218 mil ha. Da mesma forma que, a utilização de maior quantidade de energia elétrica implica em menor disponibilidade para outros fins ou maior demanda por energia.

Somando os valores acima, tem-se que os custos externos à propriedade devidos aos processos erosivos somam anualmente cerca de 1,3 bilhões de dólares (Tabela 4). Os resultados assim obtidos estão provavelmente bastante subestimados visto que há uma extensa relação de efeitos externos deletérios provocados pela erosão que aqui não foram considerados.

Considerando os custos internos e os externos à propriedade agrícola, estima-se que a erosão promoveria R\$10,6 bilhões ou US\$ 4,2 bilhões de prejuízos por ano ao país (Tabela 5). Diversos autores relatam que os custos externos são em geral superiores aos custos internos. Marques (1998), por exemplo, em seu estudo realizado na bacia do rio Sapucaí relata que os custos externos foram em torno de duas vezes superiores aos custos internos. Neste caso, entretanto, os custos dentro da propriedade foram cerca de duas vezes superiores aos custos externos. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de a maioria dos autores não considerarem a necessidade da reposição de matéria orgânica ao solo e que o sistema tradicional gera produtividade menor e custo de produção maior que sistemas mais conservacionistas. Além disso, neste caso, no cálculo dos custos externos, uma série de fatores não foi valo-

Tabela 5. Resumo da estimativa de valoração dos impactos anuais da erosão dos solos no Brasil.

| Impactos | Total (10 ⁶ R\$) (10 ⁶ US\$) | |
|------------------------|--|--------------|
| Internos à propriedade | 2,93 | 7,33 |
| Externos à propriedade | 1,31 | 3,29 |
| Total | 4,24 | 10,59 |

(US\$1,0 = R\$2,5)

rada. Cita-se como exemplo, as perdas de outros insumos, pois além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos à produção agropecuária, causam poluição dos recursos hídricos. Essa poluição pode gerar problemas sanitários e aumentos nos custos sociais de saúde.

Embora seja uma estimativa muito preliminar, incompleta e conservadora, os valores aqui indicados são alarmantes. Apenas para se ter um parâmetro comparativo, os custos potenciais que a erosão esta gerando são equivalentes a 2,65 bilhões de cestas básicas por ano (R\$40,00/cesta básica). Nesse sentido, é inaceitável que um país que não tem recursos nem para as coisas mais fundamentais ao ser humano, possa conviver com esse custo ambiental que pode induzir um empobrecimento irreversível da qualidade de vida de todos os seus cidadãos e comprometer a segurança nacional.

Perspectivas para o controle da erosão

Os valores aqui delineados embora sejam resultados de uma estimativa preliminar, são alarmantes e excessivos e ilustram a grandeza de um problema que embora tenha se agravado nas últimas três décadas, é tão antigo quanto o próprio país. E não é possível que no Brasil se continue a negligenciar os recursos naturais como tem sido feito.

A saída é incrementar a adoção de sistemas conservacionistas que permitam minimizar a erosão hí-

Tabela 4. Estimativa dos custos anuais externos à propriedade devidos à erosão dos solos no Brasil.

| Impactos | Total (10 ⁶ R\$) (10 ⁶ US\$) | |
|--|--|---------------|
| Tratamento de água para consumo humano | 124,3 | 49,7 |
| Reposição de reservatórios | 196,0 | 78,4 |
| Manutenção de estradas | 332,0 | 132,8 |
| Recarga de aquíferos | 1280,0 | 512,0 |
| Consumo de combustíveis | 1300,0 | 520,0 |
| Gases de efeito estufa | 1,2 | 0,5 |
| Energia elétrica em áreas irrigadas | 52,5 | 21,0 |
| Total | 3286,0 | 1314,4 |

(US\$1,0 = R\$2,5)

drica (como de resto todas as demais formas de degradação) e suas conseqüências e que, a longo prazo, melhorem o solo, a água e todo o ambiente.

Nos últimos anos a legislação ambiental tem sido ampliada e melhorada e, nas últimas décadas, programas de manejo integrado do solo em microbacias hidrográficas têm tido sucesso em alguns Estados. Haja vista os programas desenvolvidos no Paraná e em Santa Catarina que, tendo sempre a participação e o comprometimento de todos os setores da sociedade direta ou indiretamente envolvidos, resultaram em substanciais melhorias para a qualidade de todo o ambiente nas unidades geográficas onde foram implantados. Com participação efetiva de toda a sociedade, a filosofia desses programas poderá ser extrapolada com sucesso para outras regiões.

Além disso, a adoção do Sistema Plantio Direto (discutido em capítulo subsequente), um sistema de manejo de solo altamente conservacionista, tem crescido vertiginosamente durante a década de 90, atingindo cerca de 15 milhões de ha em todo o Brasil. Esse sistema tem auxiliado ou promovido diretamente, melhorias no solo, na água e na qualidade de vida dos produtores rurais, gerando ainda reflexos positivos na sociedade como um todo. Há que se promover o seu crescimento em todo o país aliado a um processo contínuo de pesquisa visando o seu desenvolvimento especialmente no Cerrado.

Associando-se uma adequada aplicação do moderno conjunto de leis brasileiras relativas ao meio ambiente, ao fortalecimento de programas de educação ambiental, ao fomento à adoção de técnicas de conservação de solo e água e ao comprometimento de produtores rurais e técnicos no desenvolvimento de programas conservacionistas, pode-se gradativamente reverter esse quadro de 500 anos de degradação do solo no Brasil.

Referências Bibliográficas

- BAHIA, V. G.; CURTI, N.; CARMO, D. N. Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 176, n. 16, p. 25-31, 1992.
- BASSI, L. **Impactos sociais, econômicos e ambientais na microbacia hidrográfica do Lajeado São José, Santa Catarina, Brasil**: estudo de caso. Relatório do Projeto Microbacias/BIRD, 1999. 1 v.
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Campinas: CATI, 1993a. v.1: Embasamento técnico do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas. (CATI. Manual Técnico, 38).
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas**. Campinas: CATI, 1993b. 15 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W. E. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.) **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998. p. 1-16.
- BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; THOMAS, J. C. **Solo**: uma experiência em manejo e conservação. Curitiba: N. Bragagnolo, 1997. 102 p.
- BRAGAGNOLO, N.; PAN, W. A Experiência de programas de manejo e conservação dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. In: MUÑOZ, H. R. (Org.) **Interfaces da gestão de recursos hídricos**: desafios da lei de águas de 1997. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p.176-198.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. Ocorrência de reservatórios assoreados no país. In: GUIA de avaliação de assoreamento de reservatórios. ANEEL Dupligráfica Editora, 2000. p.13-18
- CASTRO FILHO, C.; COCHRANE, T. A.; NORTON, L. D., CAVIGLIONE, J. H.; JOHANSSON, L.P. Land degradation assessment: tools and techniques for measuring sediment load. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C – SOIL AND WATER CONSERVATION, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos: SBCS: IUSS, 2002. 1 CD ROM.
- CASTRO, O. M. de. Conservação do solo e qualidade dos sistemas produtivos. **O Agrônomo**, Campinas, v. 43, n. 2-3, 1991.
- CASTRO, O. M. de; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J. A.; DE MARIA, I. C.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. Perdas de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p. 293-297, 1986.
- COMMITTEE ON CONSERVATION NEEDS AND OPPORTUNITIES. **Soil conservation**: assessing the national resource inventory. Washington, D.C.: National Academic, 1986.114 p.
- DE MARIA, J. C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 17-21, 1999.
- DERPSCH, C. H.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); Londrina: IAPAR, 1991. 272 p.
- DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. **O meio Ambiente e o plantio direto**. Goiânia: APDC: FEBRAPDP, 1997. p. 29-48.
- FREITAS, P. L. de. Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 22, n.2, p. 12-17, fev. 2002.
- FREITAS, P. L. de; MANZATTO, C. V.; COUTINHO, H. L. da C. A crise de energia e a degradação dos recursos naturais: solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 7-9, 2001.
- GENTIL, L. V.; GONÇALVES, A. L. D.; DA SILVA, K. B. **Comparação econômica, operacional e agrônoma entre o plantio direto e o convencional no cerrado brasileiro**. Brasília, DF: UnB, 1993. 21 p.
- GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier, 1997. 448 p. (Developments in Soil Science, 25)
- HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.1, p.145-154, 1999.

- HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um latossolo roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, 1997.
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). **Censo Agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro, 1996. 199 p.
- ISRIC/UNEP. **World map of the status of human-induced soil degradation** (by L.R. Oldeman, R.T.A. Hakkeling and W.G.Sombroek). Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), 2nd revised edition. Wageningen, 1991.
- KELLEY, H.W. **Keeping the land alive: soil erosion: its causes and cures**. Rome: FAO, 1983. 79 p. (FAO. Soils Bulletin, 50).
- KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 10-17, 2001.
- KOBIYAMA, M.; USHIWATA, C. T.; BARCIK, C. **Recuperação de áreas degradadas: conceito, um exemplo e uma sugestão**. Rio de Janeiro: Saneamento e Progresso, 1993. p. 95-102
- LAL, R. **Soil erosion: research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994. 340 p.
- LANDERS, J. N.; BARROS, G. S.; ROCHA, M. T.; MANFRINATO, W. A.; WEISS, J. Environmental impacts of zero tillage in Brazil: a first approximation. In: CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE. [Proceedings...] Madrid: FAO-Ecaf, 2001. v. 1, p. 317-326.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.
- MALAVOLTA, E. Fertilizantes, corretivos e produtividade: mitos e fatos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 89-153.
- MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 36, p. 61-79, 1998.
- MELO FILHO, G.; LEMES, M. M. R. **Estimativa do custo de produção de trigo no SPD, safra 2000, em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Pecuária Oeste, 2000a. (Embrapa Pecuária Oeste. Comunicado Técnico, 13)
- MELO FILHO, G.; LEMES, M. M. R. **Estimativa do custo de produção de soja, safra 2000-2001, em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Pecuária Oeste, 2000b. (Embrapa Pecuária Oeste. Comunicado Técnico, 14) .
- MELO FILHO, G.; LEMES, M.M.R. **Estimativa do custo de produção de milho, safra 2000-2001, em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Pecuária Oeste, 2000c. (Embrapa Pecuária Oeste. Comunicado Técnico, 15)
- NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. 160 p.
- OLIVEIRA, L. F. C. **Modelo para transporte de solutos no solo e no escoamento superficial**. 1999. 171 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba: 1994. 306 p.
- PARCHEN, C. A. P., BRAGAGNOLO, N. **Erosão e conservação de solos no Paraná**. Curitiba: EMATER, 1991. 16 p.
- PRUSKI, F. F. Aplicação de modelos físico-matemáticos à engenharia de conservação de água e solo. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.) **Agricultura, sustentabilidade, e o semi-árido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.231-296
- PRUSKI, F. F.; NEARING, M. A. Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations. **Journal of Soil and Water Conservation**, 2001. No prelo
- SCHMIDT, A. V. Terraceamento na região sul. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Anais....** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 23-25.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. A irrigação no plantio direto. **Direto no Cerrado**, Brasília, DF, v. 3, n. 8, 1998.
- USDA. **National resources inventory**. Washington, D.C.: USDA-Soil Conservation Service, 1994. 1 v.
- VERGARA FILHO, O. Estimativa econômica das perdas de solo provocadas pela erosão hídrica no Brasil. **Revista Geográfica Instituto Panamericano de Geografia e História**, n. 120, p. 41-58, 1994.
- WASSON, R. Detection and measurement of land degradation processes. In: LAND degradation: problems and policies. Melbourne: University of Cambridge, 1987. p. 49-69
- WILLIAMS A. **The costs of reducing soil erosion given global climate change: the case of Midwestern U.S. farm households**. 2000. 1v. Ph.D. Dissertation. Department of Agricultural Research, Purdue University.
- WILLIAMS A.; DOERING, O.; HABECK, M.; LOWENBERG-DEBOER, J.; PFEIFER, R.; RANDOLPH, J. C.; SOUTHWORTH, J.; MAZZOCCO, M.; NEARING, M. A. Global climate change: implications of extreme events for soil conservation strategies and crop production in the Midwestern United States. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION, 10., 1999, May 23 -28, 1999. **Proceedings...** West Lafayette. (in press).
- WILLIAMS, J.; NEARING, M. A.; NICKS, A.; SKIDMORE, E.; VALENTINE, C.; KING, K.; SAVABI, R. Using soil erosion models for global change studies. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 381-385, 1996.