

PCS502 – Conservação do Solo e da Água

Notas de aula

Prof. Marx Leandro Naves Silva

INTRODUÇÃO

O manejo de sistemas agrícolas, considerando a preservação ambiental, aparece no início deste século como a emergência de um processo de mudança de paradigma, a fim de se prevenir a degradação dos recursos naturais. Tal ação exige maior capacitação, por parte de toda a sociedade, de modo urgente e estratégico. Neste contexto, o desenvolvimento sustentável, que apresenta uma formulação mínima proposta pelas Nações Unidas, como um estilo de desenvolvimento capaz de garantir as necessidades das atuais gerações sem comprometer as futuras, envolve conceitos que têm sido bastante discutidos, englobando contribuições de vários setores da sociedade, sendo bastante relevante o estudo e aplicação destes conceitos em termos práticos e operacionais.

O sistema solo é definido sob uma perspectiva ambiental como uma unidade ecológica funcional da superfície da Terra, que inclui sedimentos e rochas permeáveis e águas subterrâneas. O solo apresenta neste enfoque várias funções, tais como produção de biomassa, fibras e proteína, proteção ambiental, filtragem e transformação, banco genético, suporte infra-estrutural de superfícies rurais, urbanas e industriais, tráfego, depósito de resíduos, fonte de matéria prima e ainda patrimônio cultural.

Estas funções, quando mal manejadas, deixam o solo sujeito a degradação, que podem ou não apresentar caráter irreversível. As consequências diretas desses degradações são a redução da produtividade das culturas e problemas ambientais como erosão, assoreamento de cursos de água, falta de água, desertificação e poluição do ecossistema. E nas consequências desencadeiam reações que, em última análise, culminarão na geração de condições de empobrecimento, fome e desemprego. A perda da sustentabilidade do ecossistema pode provocar, entre outros efeitos, o êxodo rural, com o agravamento de problemas sociais no meio urbano. Desse modo, o uso sustentado do solo passa a ser uma questão de sobrevivência das populações. Portanto objetivou-se com este tópico discutir alguns aspectos de conservação e planejamento de uso do solo relevantes para o manejo ambiental sustentável de sistemas agrícolas.

CONCEITOS DE GESTÃO E MANEJO AMBIENTAL

Gestão e manejo ambiental, representam um conjunto de medidas e procedimentos que visam reduzir e controlar os impactos introduzidos ao ambiente, tornando simples o entendimento da estreita relação entre a prática e a sustentabilidade. Pela gestão e manejo ambiental busca-se qualidade de vida, o que a priori não poderia coexistir com condições de miséria e fome em uma população. A gestão e manejo ambiental são, portanto, um meio para que se aumente a qualidade de vida do ambiente, não sendo difícil de entender que neste contexto devem também ser satisfeitas as necessidades básicas de sobrevivência dos seres humanos.

Uma série de conceitos de gestão e manejo ambiental tem sido desenvolvida, sendo que a idéia central está associada ao uso equilibrado dos recursos dos ecossistemas. A definição de indicadores da qualidade do solo constitui importante instrumento para avaliação da sustentabilidade do sistema como um todo. Esses indicadores, no entanto, devem ser compreendidos dentro de um contexto multidisciplinar, uma vez que, além dos aspectos físicos, químicos e biológicos, também estão inseridos os aspectos econômicos e sociais.

A medida prática de implementação do conceito de gestão e manejo ambiental deve considerar a série de normas propostas pela ISO 14.000, uma versão ambiental da ISO 9.000, que trata da gestão da qualidade através de normas destinadas a repercutir em todos os aspectos das atividades das empresas. No caso em questão, relativas à conservação e planejamento de uso do solo. Essas empresas, que muitas vezes exploram recursos naturais, como o solo e a água, devem adaptar-se às novas normas aplicando princípios de gestão e manejo ambiental em consonância com o desenvolvimento sustentável. A tendência nos dias atuais é que sejam assegurados níveis de qualidade ambiental na exploração de recursos naturais e na extração de matérias primas utilizadas nos produtos oferecidos aos consumidores. Isso pode representar forte agente de pressão sobre fornecedores, produtores e governos.

Os países de regiões tropicais provavelmente enfrentarão as maiores dificuldades para certificar seus produtos, visando competitividade no mercado internacional, com a globalização da economia. Esses países, estão vulneráveis ao protecionismos e restrições impostas por países desenvolvidos, por possuírem os ecossistemas mais preservados e com maior biodiversidade do mundo. Entre outros, pode-se citar o uso desenfreado de pesticidas e a ocupação dos grandes ecossistemas com lavouras, que quando mal manejadas, contribuem para a poluição, a aceleração do processo erosivo, a desertificação e a redução da área de ecossistemas típicos, citando-se como exemplo, as veredas e o cerrado.

Este quadro aponta para a necessidade do país investir na gestão e manejo ambiental dos sistemas agrícolas para a garantia da certificação de seus produtos

e serviços, de acordo com as normas vigentes internacionais, adquirindo condições que garantam a competitividade de produtos e serviços no mercado globalizado.

Formação do solo e erosão

Prof. Marx Leandro Naves Silva

Conceito de solo

Solo é uma mistura organizada de minerais, material orgânico, organismos vivos, ar e água que serve de suporte físico e fonte de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas. As proporções entre esses componentes determinam os diferentes atributos que são responsáveis pelas diferenças entre solo. O solo apresenta uma distribuição quase contínua de pólo a pólo.

Formação do solo

Uma combinação de eventos físicos, químicos e biológicos está envolvida na formação do solo. A formação do solo é decorrentes da ação combinada de cinco fatores genética formadores do solo, a saber: Material de origem; Relevo; Organismos vivos (homem); Clima e Tempo.

A formação do solo inicia-se pela instalação de líquens à superfície da rocha. Esses organismos buscam nutrientes, a exemplo do potássio, indispensável à sobrevivência, e dá em troca o hidrogênio, por meio de substâncias orgânicas. Neste caso, uma pequena camada alterada e solta surge na superfície da rocha, que representa um ambiente propício à germinação e desenvolvimento de plantas. O processo de alteração não para. A rocha se transforma em profundidade, as plantas se desenvolvem em maior número, a camada recém-transformada é capaz de armazenar água que promove a dissolução de minerais, tudo isso levando a que uma camada cada vez mais espessa de solo se forme sobre a rocha. As diferenças em cor, estrutura, textura, etc., são aproximadamente paralelas à superfície e são chamadas horizontes do solo. Todo esse processo de formação do solo é extremamente lento e exige séculos ou milênios de trabalho da natureza, enquanto a perda de solo pela erosão acelerada pode ocorrer em poucos anos, meses ou mesmo dias. Dependendo do manejo em que o solo é submetido ele pode se tornar sustentável ou insustentável para um uso específico (Figura 1).

O solo formado apresenta aproximadamente 50% de sólidos e 50% de poros que podem conter água. Parte da fração sólida apresenta matéria orgânica, cuja quantidade diminui em profundidade. A parte mineral é constituída de partículas de areia, silte e argila. A parte orgânica é composta por material proveniente de restos de plantas e organismos em diferentes graus de decomposição. As fases do solo encontram-se misturadas e formam unidades que chamamos de agregados constituindo a estrutura do solo.

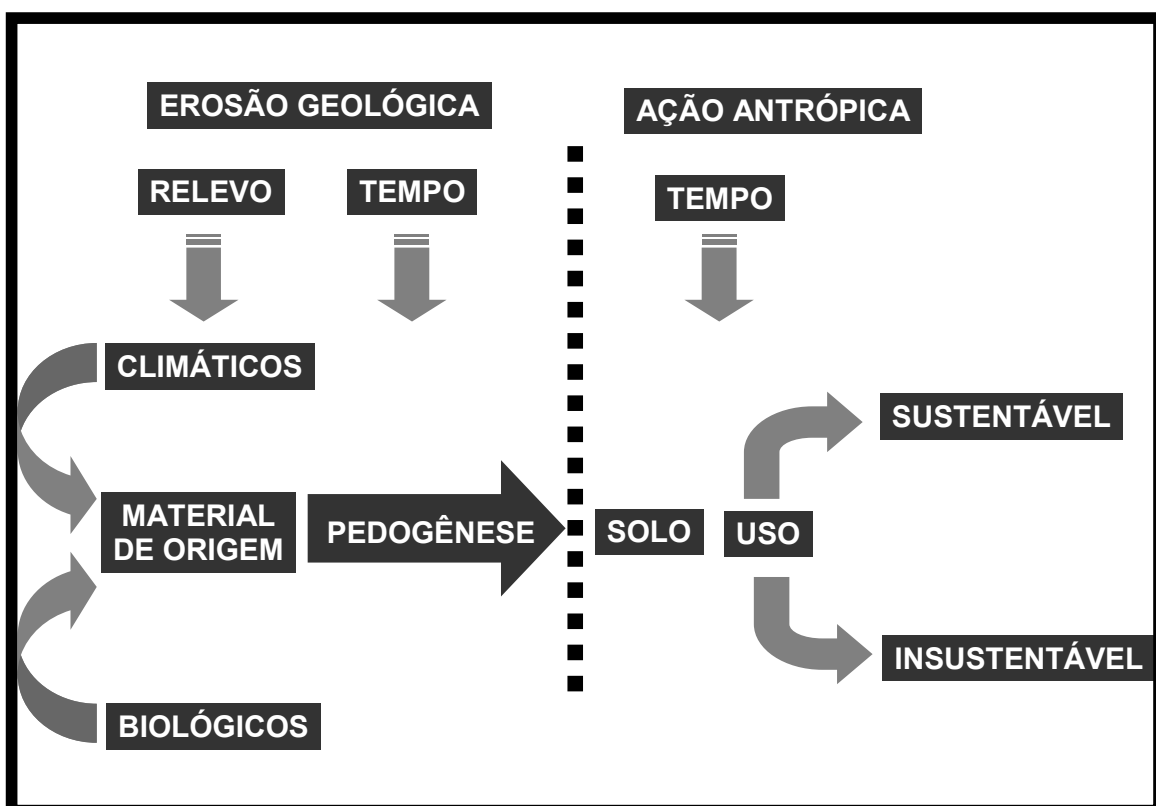


Figura 1. Fatores formadores do solo, erosão geológica, ação antrópica e sustentabilidade dos sistemas de manejo do solo.

Aspectos pedológicos e erosão do solo

Relação pedogênese e erosão

Na superfície terrestre, mesmo sob uma vegetação exuberante, há erosão e pedogênese. Nos lugares mais acidentados, a erosão, mesmo natural, é muito

acentuada, mas a pedogênese também o é, pois há minerais facilmente intemperizáveis bem próximos à superfície, onde há uma intensa atividade biológica. Já que a erosão natural é muita acelerada nestes ambientes, apenas uma pedogênese igualmente acelerada é que poderia manter alguma cobertura de solo nestas áreas mais íngremes (Resende 1985).

Numa área de solos com declives mais suaves, após uma taxa de pedogênese muito acentuada, eventualmente todos os minerais facilmente intemperizáveis desaparecem, e aí se tem um solo profundo com uma taxa de pedogênese muito baixa, mas também com muito pouca erosão (Figura 2) (Resende 1985).

A inclinação da curva de pedogênese, ou da erosão, versus tempo mostra que, no terreno inclinado, tanto erosão quanto pedogênese tendem a ser acentuadas. A taxa de pedogênese só pode ser acentuada quando o solo é relativamente raso. Nos solos pouco profundos, a pedogênese deve, necessariamente, ser acentuada (Resende 1985).

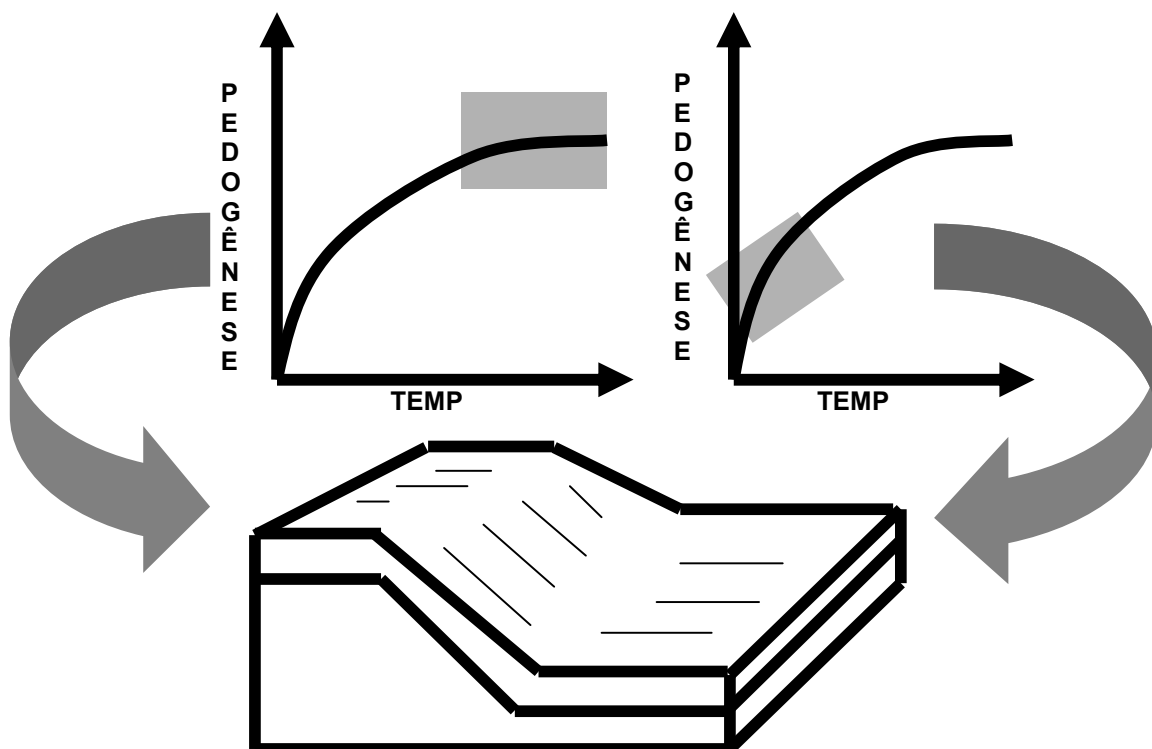


Figura 2. Taxa pedogenese e erosão (Resende 1985)

Profundidade dos solos e atributos associados

A profundidade do solo depende do balanço entre a velocidade com que a rocha se transforma em solo (pedogênese) e a com que as camadas são removidas pela água que escorre pela superfície (erosão).

Para a mesma inclinação do terreno o solo vai ser mais profundo onde o bioclima é mais ativo (precipitação maior, temperatura mais elevadas, vegetação mais exuberante) e/ou rocha menos resistente.

A profundidade do “solum”, isto é, dos horizontes A mais B, pode ser um indicador de maior ou menor estabilidade relativa à erosão.

Os Latossolos têm geralmente profundidade maior do que todos os outros solos estão nas posições mais estáveis da paisagem (relevo plano), enquanto os Litólicos (Neossolos), quase sempre associados aos afloramentos de rocha, ocupam posições muito instáveis (relevo acidentado) e são rasos, possuindo no geral uma fina camada de solo (horizonte A) sobre a rocha.

Os solos com B textural (Luvisolos, Argissolos, Nitossolos e Alissolos) constituem um grupo muito heterogêneo, mas com espessura, em geral, intermediária entre Latossolo e Cambissolo. Ao contrário dos solos vistos até agora, os solos com B textural se caracterizam por uma grande diferença no teor de argila, que aumenta com a profundidade. O horizonte superficial é menos argiloso do que o horizonte B, subsuperficial. Isso sempre significa uma mudança na permeabilidade e tem grande implicação na erosão.

Os Cambissolos ocorrem principalmente em áreas mais acidentadas, associadas geograficamente com os Latossolos. Por estes aspectos, os Cambissolos tendem a se erodir com mais facilidade e, sendo rasos, o horizonte C é exposto com certa facilidade podendo haver afloramento de rochas e o aparecimento de voçorocas, dependendo da natureza e espessura do horizonte C. Existem Cambissolos ocorrendo em relevo plano. Neste caso o potencial de erosão é pequeno devido ao fator relevo, mas no conjunto os outros atributos são altamente favoráveis as erosões: baixa permeabilidade, teores elevados de silte, tendência ao encrostamento.

Os solos Hidromórficos (Organossolos, Gleissolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos) ocupam, geralmente, as partes depressionais da paisagem e, como tal, não estão, normalmente, muitos sujeitos à erosão. Há, no entanto, a presença de solos Hidromórficos (Planossolos, Plintossolos e Vertissolos) de surgente, apresentando inclusive declives acentuados que podem estar sujeitos a processos erosivos intensos. Os solos Hidromórficos Gleizados (Gleissolos), de coloração cinza ou esbranquiçada, possuem permeabilidade muito baixa e pode sofrer um grande processo erosivo laminar e mesmo em sulcos, quando localizados em declives pouco mais elevados. Ao longo dos canais de drenagem é comum também a ocorrência de escorregamento de encostas. Nesse caso foram criadas pelo desnível, entre o fundo do canal e a superfície do terreno, condições energéticas que podem dar origem ao processo da erosão.

Os solos aluviais (Neossolos) estão localizados na depressão, entretanto em uma posição um pouco menos protegida. Nestas condições os solos aluviais podem apresentar alguma declividade crítica, criando-se condições para o desenvolvimento da erosão. Além disso, as quedas de barrancos dos rios podem ocorrer com certa frequência, contribuindo sobremaneira para a erosão global das terras de uma região. As relações entre a espessura do perfil e o relevo, e suas implicações na disponibilidade de água e erosão estão na Tabela 1.

Tabela 1. Relações entre a espessura do perfil e o relevo, e suas implicações na disponibilidade de água e erosão.

Horizontes (A,B e C)	Relevo	Implicações		
		Drenagem		Erosão
		Densidade	Perenidade	
Profundos	Acidentado	Alta	Alta	Alta
	Plano	Baixa	Alta	Baixa
Rasos	Acidentado	Baixa	Baixa	Alta
	Plano	Baixa	Baixa	Alta
A + B + C profundos, Solum (A+B) raso	Acidentado	Alta	Alta	Alta

A maior abundância de água de superfície (córregos, ribeirões, etc) ocorre quando o relevo é acidentado e o solo profundo. O fato de ser indicado, como mais favorável à erosão a combinação de relevo acidentado e solo raso, preciso de uma ressalva: quando o solo é muito raso a erosão tende a ser limitada pela falta de material a ser transportado (a rocha não é erodível), e não formam grandes voçorocas, já que a rocha fresca encontra-se próximo à superfície, impedindo o aprofundamento dos sulcos de erosão. No entanto, a erosão laminar é muito pronunciada.

Os solos mais propícios à erosão em sulcos seriam, portanto aqueles mais profundos, em particular os que tenham horizonte B com estrutura granular muito bem expressa. No entanto, já que o horizonte C é o mais erodível dos materiais, o solo que apresenta um “solum” (horizontes A + B) raso sobre um horizonte C profundo é o mais susceptível ao estabelecimento de grandes processos erosivos.

A profundidade do “solum” (A + B) pode variar ao longo da encosta. Admitindo-se que o horizonte C seja bastante profundo em todos os casos, percebe-se que nas paisagens (A) e (B) a erosão pode começar com facilidade nas partes inferiores da encosta, pois aí o “solum” é mais raso. Na paisagem (D), a erosão tende a começar nas partes íngremes intermediárias e na paisagem (C) a erosão é dificultado.

Forma da encosta

A forma da encosta é outro atributo de paisagem importante em relação ao processo erosivo. A remoção de sedimentos e água é diferente, quer seja a encosta côncava, linear ou convexa. A pedoforma convexa, a meia laranja, é a mais comum na paisagem brasileira. É aparentemente a forma de equilíbrio. Isto é, a única que possibilita a retirada de solo por igual, em toda a extensão, possibilitando a, manutenção da mesma forma ao longo do processo de rejuvenescimento.

A pedoforma côncava por outro lado é formada em condições de ineficiente remoção de sedimentos na base das encostas. É mais típica de regiões muito

secas, onde a água é insuficiente para remoção dos sedimentos ou mesmo em condições de maior umidade, mas onde há acúmulo de sedimentos na base pela insuficiente remoção. Algumas propriedades das pedoformas côncava e convexa estão na Figura 3.

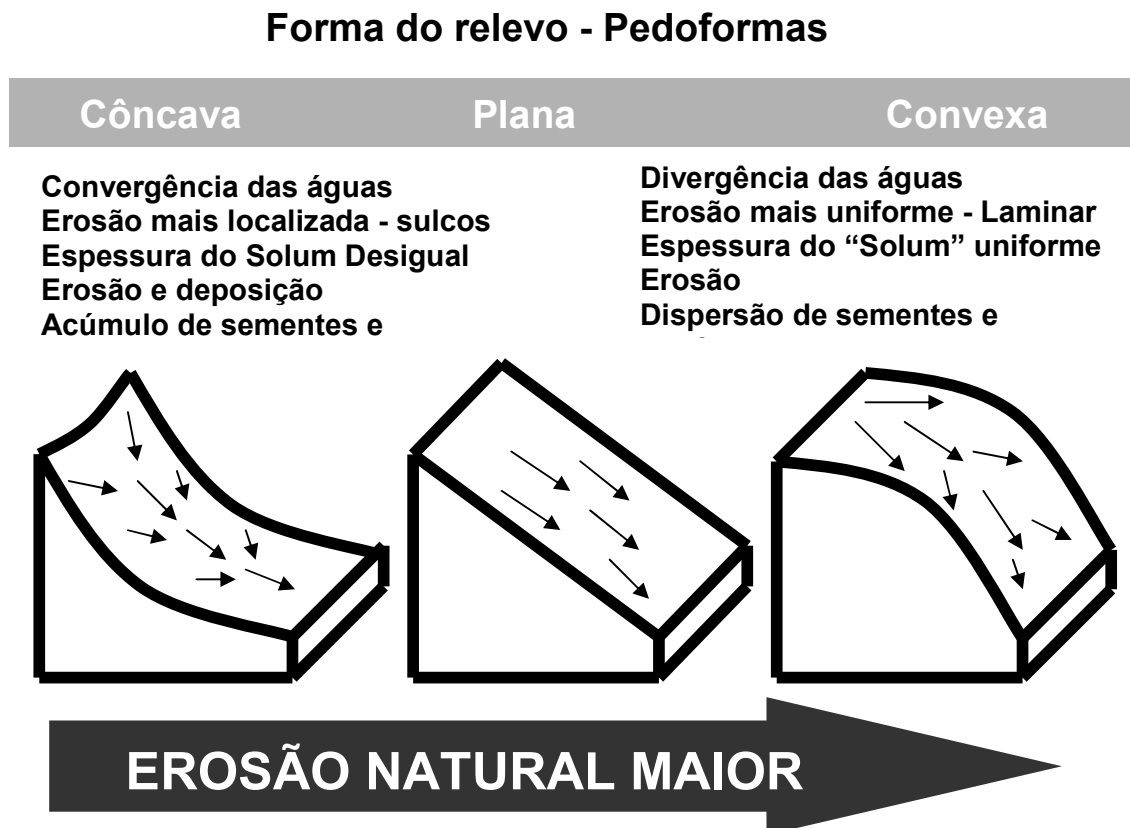


Figura 3. Pedoforma e erosão hídrica (Adaptado de Resende, 1985)

Fertilidade natural do solo

O grau de fertilidade na camada superficial de um determinado solo em diversas posições de uma topossequência, e na seguinte ordem: base vegetada > topo vegetado > encosta vegetada > encosta sem vegetação. Evidentemente, a base é depositária parcial das partículas carreadas, Po e efeito da erosão, do topo e principalmente da encosta, justamente as mais ricas em nutrientes. Os baixos teores de nutrientes na posição da encosta, tanto sem vegetação como vegetada,

dão bem uma idéia da magnitude da erosão laminar ocorrida no local, anulando o efeito de reciclagem. O reduzido teor de carbono fornece uma estimativa da espessura da camada de solo carregada.

LITERATURA CONSULTADA:

Resende, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos.
Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.28, p.3-18, 1985.

PRINCIPAIS FORMAS DE EROÇÃO HÍDRICA

Prof. Marx Leandro Naves Silva

Prof. José Maria de Lima

Erosão hídrica

A energia das gotas de chuva, que promove o deslocamento de partículas do solo, é agente primário da erosão, particularmente em solos descobertos. As partículas podem ser lançadas a mais de 0,5 m de altura e 1,5 m de distância da sua posição original. A quantidade de energia imposta pelas gotas supera aquele da enxurrada, desconsiderando-se a turbulência da enxurrada. Dependendo da resistência do solo, a erosão se manifesta de diferentes formas. Segundo Lombardi Neto & Bertoni (1990) as formas de erosão hídrica são classificadas em erosão pelo impacto da chuva, laminar, sulcos voçorocas, deslocamentos e escorregamentos de massas de solo, pedestal, pináculo, túnel e da fertilidade do solo.

Erosão pelo impacto da gota de chuva – salpicamento

Esta forma de erosão resulta do impacto da gota sobre a superfície do solo e atua diretamente sobre agregados fracionando-os em partículas e agregados menores. Grande quantidade de sedimentos é atirada ao ar, chegando a promover perdas de 50 a 90 vezes maior do que as causadas pela enxurrada (Schwab et al., 1993). O efeito de uma gota que atinge a superfície do solo pode ser visto na Figura 1. A relação entre erosão, momento da chuva e a energia é determinada pela massa das gotas, a distribuição de tamanho, a forma, a velocidade e a direção das gotas. A relação entre intensidade de chuva e a energia pode ser expressa, de acordo com Wischmeier & Smith, (1958), por:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I$$

onde E : energia cinética em MJ (ha-mm)⁻¹,

I : intensidade da chuva mm h⁻¹

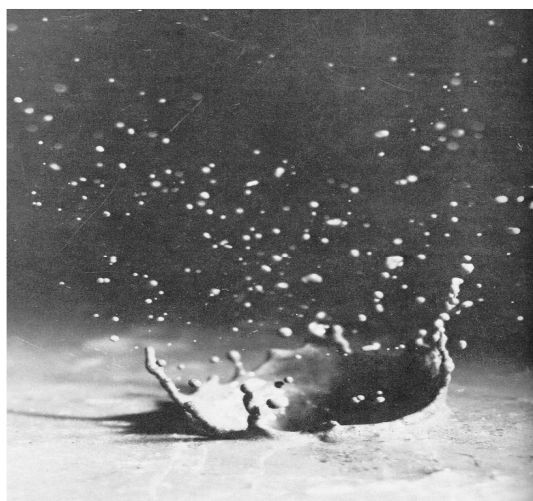


FIGURA 1. Gota de chuva atingindo a superfície de solo úmido. (Fonte: Lal & Elliot, 1994).

Alguns fatores afetam a direção e a distância do salpicamento de sedimentos pelas gotas. Em terrenos declivosos, os sedimentos são lançados mais distantes no sentido do declive, comparativamente ao sentido oposto, não somente devido à distância percorrida, mas também pelo ângulo de impacto da gota com a superfície. Tal relação é ilustrada na Figura 2.

Velocidade de vento, cobertura vegetal e rugosidade da superfície do terreno também são fatores que afetam a relação gota/salpicamento de sedimentos. A cobertura vegetal é a forma mais eficiente de proteção contra esta forma de erosão.

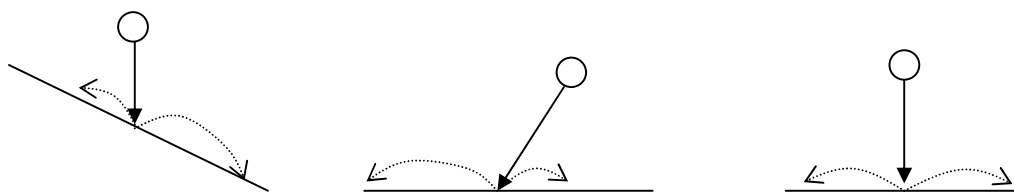


FIGURA 2. Ilustração do efeito da direção do impacto das gotas na distância de salpicamento de sedimentos.

Erosão laminar

A erosão em lençol, superficial, ou laminar, caracteriza-se por desgastar uniformemente a superfície do solo em finas camadas, resultante do fluxo superficial da água. Estudos empregando técnicas de microfotografia indicam que

esta forma de erosão raramente ocorre. Na verdade, ocorre a formação de pequenos sulcos. A constante troca de posição destes microscópicos sulcos dão a falsa impressão de que a erosão está desgastando uniformemente a superfície do terreno. A combinação de erosão por salpicamento e erosão em lençol resulta na erosão entre-sulcos.

Esta forma de erosão é, muitas vezes, imperceptível em seu estágio inicial. Entretanto, em estágios avançados, o solo apresenta cores mais claras, a enxurrada apresenta sedimentos em suspensão, há decréscimo no rendimento das colheitas e, finalmente, há o afloramento das raízes das plantas perenes. Esta forma de erosão pode chegar a atingir o horizonte C dos solos. Para efeito de classificação do grau de comprometimento do solo, faz-se uma comparação do solo erodido com uma situação do mesmo solo em condições preservadas (sem a ocorrência da erosão) como, por exemplo, uma área de cultivo comparada a uma área de preservação adjacente.

A erosão laminar é a remoção de uma camada aparentemente uniforme da parte superficial do solo pela ação da enxurrada não concentrada. Embora sendo das mais importantes, é a mais difícil de ser identificada e avaliada nas condições gerais dos solos brasileiros, em termos da profundidade da camada que já foi removida por esta forma de erosão. No campo, em algumas regiões são observados nos topos e/ou no terço superior das elevações, sítios de erosão laminares associados ao encrostamento, sendo conhecidos popularmente como “pelados”, onde a vegetação é rarefeita ou quase ausente. Estes processos geralmente estão associados ao manejo incorreto do solo agrícola e das pastagens, que contribui para a redução da capacidade de suporte das pastagens e da produtividade das culturas. Em muitos casos, mesmo com a correção do manejo, estas condições refletem-se negativamente na produtividade da nova cultura.

Nos diagnósticos de campo, sempre que possível, deve-se verificar, para referência, um perfil de solo em uma área preservada, sem uso ou interferência antrópica, de cada solo avaliado. No caso de não encontrar um solo intacto para referência, deverá ser adotada uma profundidade hipotética de 15 a 20 cm para o

horizonte A (situação de equilíbrio). As classes de erosão laminar observada no campo são as seguintes (Lepsch, 1991):

Ligeira: quando já aparente, mas com menos de 25% do horizonte A removido ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A intacto, com mais de 15 cm do solo remanescente no horizonte A;

Moderada: com 25 a 75 % do horizonte A removido ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo intacto, com 5 a 15 cm do solo remanescente no horizonte A;

Severa: com mais de 75 % do horizonte A removido e, possivelmente, com o topo do horizonte B já aflorando ou quando não for possível identificar a profundidade natural do horizonte A intacto, com menos de 5 cm do solo remanescente do horizonte A;

Muito severa: com todo o solo do horizonte A já removido e com o horizonte B bastante erodido, já havendo, em alguns casos, sido removido em proporções entre 25 a 75% da profundidade original;

Extremamente severa: com o horizonte B, em sua maior parte, já removido, e com o topo do horizonte C aflorando, encontrando-se o solo praticamente decapitado e degradado devido ao manejo incorreto.

Erosão em sulcos

A erosão em sulcos, em canais ou em ravinas caracteriza-se pela presença de sulcos sinuosos que se localizam ao longo dos declives em consequência das correntes de água (enxurrada) que escorrem sobre o terreno por ocasião das chuvas intensas (ou de chuvas cuja intensidade supera a capacidade de infiltração

de água no solo). Muitas vezes, a erosão laminar evolui para a erosão em sulcos, embora nem sempre seja o início desta forma de erosão.

Muitos fatores podem determinar o estabelecimento da erosão em sulcos. Deve-se, no entanto, salientar que a aração acompanhando o declive do terreno é um poderoso aliado da erosão em sulcos.

Além de desgastar e empobrecer o solo, como qualquer outra forma de erosão, a erosão em sulcos em estágio avançado representa um grave impedimento ao preparo do solo e aos cultivos, devido às dificuldades impostas ao tráfego de máquinas.

Estudos desenvolvidos por Oliveira (2006) em estradas florestais no Vale do Rio Doce (MG), constatou-se que a amplitude média de perdas de solo nas diversas seções das estradas por erosão em sulcos, considerando as faixas de declive, variaram de $8,65 \text{ Mg seção}^{-1}$ a $21,17 \text{ Mg seção}^{-1}$, para as faixas de 0% a 4%, e superior a 12%, respectivamente.

A erosão em sulcos representa a suscetibilidade do solo ao sulcamento pelo fluxo superficial concentrado. Matematicamente, é o coeficiente de proporcionalidade entre a tensão cisalhante do fluxo e a tensão crítica de cisalhamento do solo.

Os tipos de erosão em sulcos e voçorocas são, normalmente, mais facilmente reconhecíveis em seus diferentes graus de intensidade, e podem ser claramente identificados no campo através de observações in loco verificando-se a extensão das escavações deixadas no solo, através da profundidade e freqüência dos sulcos, como segue (Lepsch 1991):

Quanto à freqüência: Ocasionais: área com sulcos distanciados mais de 30 m; Freqüentes: área com sulcos a menos de 30 m de distância entre si, mas ocupando área inferior a 75%; Muito Freqüentes: área com sulcos a menos de 30 m de distância entre si, mas ocupando área superior a 75%.

Quanto à profundidade: Sulcos superficiais: podem ser cruzados por máquinas agrícolas, e se desfazem com o preparo do solo; Sulcos rasos: podem ser cruzados por máquinas agrícolas, mas não se desfazem com o preparo do solo; Sulcos profundos: que não podem ser cruzados por máquinas agrícolas e

que ainda não atingiram o horizonte C; Sulcos muito profundos: não podem ser cruzados por máquinas agrícolas e que já atingiram o horizonte C, sendo neste caso denominadas voçorocas.

Erosão por desabamento ou deslocamento de massa

Essa forma de erosão pela água é muito comum nos terrenos arenosos. Os solos menos estruturados são particularmente sujeitos à erosão por desabamento. Geralmente se processa nos sulcos deixados pela enxurrada que são, geralmente, tortuosos. A corrente de água atrita fortemente com as margens sinuosas, provocando os desmoronamentos. Com o decorrer do tempo, os sulcos podem evoluir para voçorocas.

A essa forma de erosão são atribuídos os desmoronamentos de aterros de estradas e os bruscos desabamentos, resultantes da erosão subterrânea, que formam grandes galerias e culminam com desabamentos, muitos deles em áreas urbanas. Algumas voçorocas podem ter origem nessa forma de erosão. Áreas de aterro mal estabilizadas estão particularmente sujeitas a essa forma de erosão.

Estudos desenvolvidos por Oliveira (2006) em estradas florestais no Vale do Rio Doce (MG), a erosão por desabamento ou deslocamento de massa nas encostas e taludes, observou-se uma perda média foi de 46,71 Mg talude⁻¹, segundo outros estudos enquadra-se como moderado.

Erosão em queda

A erosão em queda é relativamente, de pequena importância agrícola. Essa forma de erosão se manifesta, principalmente, em canais escoadouros, quando a água se precipita de um barranco, formando uma pequena queda d'água. Essa queda provoca o solapamento da base do barranco, ocasionando desmoronamentos periódicos que determinam a formação de um sulco que progride no sentido contrário do sentido da corrente da água. Essa forma de erosão tem maior importância em barrancos de voçorocas e beiradas de estradas por também serem locais de ocorrência de queda d'água.

Erosão em pedestal

Trata-se da formação de pequenos pedestais em locais protegidos por pequenas pedras, agregados resistentes, ou pedaços de material vegetal. Neste caso, há a remoção de sedimentos ao redor desses “escudos”, principalmente por salpicamento de partículas, em solos de pouca ou nenhuma estruturação, ou mesmo, horizonte C exposto.

Voçorocas

Canais ou gargantas profundas causadas pela água. As voçorocas representam uma evolução da erosão em sulcos, onde não são tomadas medidas para remediação das mesmas.

O termo voçoroca provém do tupi-guarani e significa terra rasgada. São vales de erosão onde a remoção de material é tão rápida que não permite o desenvolvimento da vegetação. A erosão, em voçorocas, começa por qualquer pequena depressão do terreno, para onde afluem às águas da enxurrada que, em função de seu volume e velocidade, possuem grande força erosiva. É a forma mais avançada da erosão hídrica, ocasionada por grande fluxo concentrado de enxurrada.

O termo ravina se aplica a processos erosivos de origem geomorfológica, constituindo a rede natural de drenagem das águas e voçoroca se aplica a processos erosivos acelerados. Considera-se que a voçoroca é um sulco de tal tamanho que impede o cultivo e o uso do solo para qualquer finalidade, não podendo ser eliminada através de práticas normais de manejo. Em muitos casos a sua recuperação total torna-se inviável devido a aspectos técnicos e econômicos.

Outras causas do surgimento de voçorocas são a mineração desordenada, a falta de manutenção em cortes de estradas e o surgimento de pequenas ravinas na parte baixa de encostas que evoluem, encosta acima e lateralmente, por desbarrancamentos. Alguns solos são notadamente mais susceptíveis a esta forma de erosão, principalmente aqueles cujo horizonte B e/ou C são friáveis. Por

outro lado, solos com horizonte B argílico são, comparativamente, mais resistentes a esta forma de erosão. Algumas regiões se destacam pela ocorrência de voçorocas, como Morro do Ferro (distrito de Oliveira, MG), Cachoeira do Campo, MG Nazareno, MG. Nestes casos, associações de latossolos nas partes mais elevadas das encostas com cambissolos nas partes mais baixas têm sido apontadas como agravante no surgimento de voçorocas. A Figura 3 é mostrada a ocorrência e distribuição de voçorocas na região de Lavras, MG.

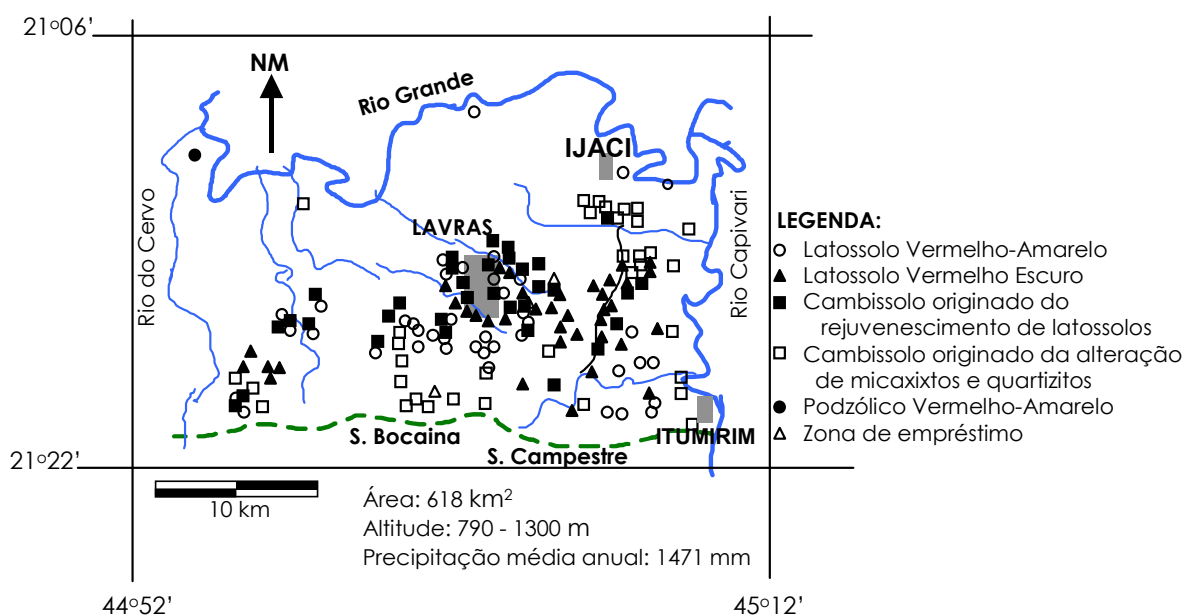


FIGURA 3. Esquema representativo da distribuição de voçorocas e respectiva classe de solo na região de Lavras, MG (Extraído de Silva et al., 1993).

Segundo estudos de Ferreira (2005), estima-se que 60% da origem e evolução das voçorocas ocorrentes no município de Nazareno (MG) estão relacionadas principalmente com as estradas rurais antigas. Todas as voçorocas recebem impactos antrópicos diretos que ocorrem nas suas bacias de contribuição, bordas e interiores, contribuindo para o processo erosivo, além de dificultar sua recuperação natural.

A voçoroca é a expressão mais flagrante da erosão, gerando grandes prejuízos, através da perda tanto de solos, quanto de investimentos públicos em obras de infra-estrutura. De modo geral é difícil estabelecer, com certo rigor, o início do fenômeno: as voçorocas têm sempre início em zonas desprotegidas de vegetação.

A suscetibilidade do solo à ocorrência de erosão hídrica do tipo voçoroca está intimamente ligada à profundidade do solo e à proximidade do horizonte C em relação à superfície do solo. Este horizonte é menos coeso e com maior erodibilidade, sendo rapidamente atingido. As voçorocas iniciam seu desenvolvimento pela formação de canais de drenagem superficiais, que, desmoronando, fornecem material incoerente facilmente arrastável. Em seguida, as paredes recuam encosta acima por solapamento, e se ramificam devido à concentração digitalizada da drenagem superficial. A intensidade com que a erosão progride depende da resistência do solo, da energia cinética da enxurrada e das condições topográficas. No caso de haver surgência de água no interior da voçoroca, o solo do terço inferior do talude torna-se saturado e incoerente, sendo facilmente removido, provocando o desabamento da encosta ocasionando a evolução acelerada da voçoroca.

Classificação das voçorocas

As voçorocas são, normalmente, mais facilmente reconhecíveis em seus diferentes graus de intensidade e podem ser claramente identificadas no campo através de observações in loco verificando-se a forma, tamanho, profundidade e tamanho da bacia de contribuição, como segue:

Quanto à forma ela pode ser classificada em: circular, anfiteatro, digitada, retilínea e reniforme.

Quanto ao tamanho:

muito pequena: < 0,5 ha;

pequena: 0,5 a 2,0 ha;

média: 2,0 a 5,0 ha; grande: 5,0 a 20,0 ha; muito grande: > 20,0 ha.

Quanto à profundidade:

pouco profunda: < 2,0 m;

profunda: 2,0 a 10,0 m;

muito profunda: 10,0 a 20,0 m;

extremamente profunda: > 20,0 m.

Quanto à bacia de contribuição:

pequena: < 10 ha;

média: 10 a 50 ha;

grande: > 50 ha.

Estabilização de voçorocas

O termo voçoroca (ou boçoroca) tem origem na língua Tupi Guarani que significa “fenda cavada pelas enxurradas”. Esse termo é, portanto, apropriado para designar a causa do problema que é o escoamento superficial e concentrado da água ao longo de uma encosta. Entretanto, mesmo aquele observador mais desatento percebe que as voçorocas parecem ser mais abundantes em umas regiões do que em outras. Esse fato leva a conclusão de que outros fatores, além da enxurrada, estão envolvidos no processo. A maior ou menor facilidade de estabilização dessa forma de erosão depende dos mesmos fatores envolvidos no processo de formação das voçorocas. A dificuldade de estabilização é maior naquelas áreas com solos mais susceptíveis. O processo de estabilização deve ser iniciado pelo desvio ou interrupção da água que entra na área da voçoroca através de enxurradas. A quantidade de água é uma função do comprimento da

área a montante da voçoroca. Devem ser implantadas práticas para a redução da enxurrada nessas áreas, de forma a se prevenir que enxurradas continuem entrando na voçoroca. Após o desvio da água, deve-se suavizar os taludes (barrancos) no interior da voçoroca, notadamente aqueles cuja massa de solo tenha facilidade para desabar. Após esse procedimento, inicia-se a implantação de paliçadas, que se constituem de peças de madeira ou bambu gigante dispostas a intervalos regulares no fundo da voçoroca, de forma a reter os sedimentos que certamente ainda estarão sendo transportados pelo escoamento de água gerado dentro da voçoroca. A etapa seguinte será a vegetação de fundo e encostas dentro da voçoroca. Espécies arbóreas de crescimento rápido, com boa adaptação regional, e bambu, são recomendados para essa etapa. Árvores frutíferas também poderão ser plantadas. Em todos os casos, as covas, adubação das covas e a irrigação, são etapas necessárias para o estabelecimento de vegetação.

Na formação da paliçada empregamos estacas de bambu gigante de cerca de 1,5m são cortados e os gomos furados e cheios com água. Em seguida os buracos nos gomos são fechados e o pedaço de bambu é fincado um ao lado do outro para a formação da paliçada. A água propicia o desenvolvimento inicial do bambu. Com o passar do tempo as paliçadas se transformam em moitas de bambu. Espécies de bambu com menor diâmetro de colmo podem ser plantadas nas encostas das voçorocas. Em Morro do Ferro, distrito de Oliveira-MG são empregadas paliçadas para obstrução da enxurrada e retenção de sedimentos no interior de voçorocas e as encostas são vegetadas com bambu mais fino.

É comum em voçorocas o surgimento de água corrente no fundo. Nesse caso, é aconselhável a construção de um ou mais drenos, no sentido do fluxo da água, para disciplinar esse fluxo e torná-lo mais perene, antes das práticas de estabilização apresentadas anteriormente. Esses drenos são valas de cerca de 40cm de largura por cerca de 50cm de profundidade (quando possível) onde são deitadas varas de bambu até cerca de 10-15cm da superfície da vala. Cobre-se a vala com terra. Os espaços entre as varas de bambu servirão de dreno para a água. Pedras também poderão ser empregadas para enchimento das valas. No

Quadro 1 observa-se a listagem das principais práticas conservacionistas para o controle, estabilização e recuperação de áreas erodidas no estágio de voçorocas.

Quadro 1. Práticas vegetativas, edáficas e mecânicas para o controle de e estabilização de voçorocas.

VEGETATIVAS	EDÁFICAS	MECÂNICAS
● REGENERAÇÃO	● QUEIMADAS	● ISOLAMENTO
● REVEGETAÇÃO	● FERTLIZAÇÃO	● PALIÇADA
● MANTA	● AGREGANTES	● BACIAS DE CAPTAÇÃO
● BORDADURA	● ESTIMULANTES	● VERTEDOIRO
● SEMENTEIRA	● ADUBAÇÃO	● TERRAÇO
● PALHADA	● HIDROSEMEADURA	● CANAIS
	● FAUNA	● TALUDE
	● MICROORGANISMO	● GABIÃO
		● DISSIPADORES
		● ATERROS
		● MANTA SINTÉTICA

Erosão pelo Vento (Eólica)

A erosão eólica consiste no transporte das partículas do solo pela ação do vento, em suspensão, por rolamento de partículas ou aos saltos. Partículas menores de 0,1mm de diâmetro são normalmente transportadas em suspensão. Partículas do tamanho da areia (0,5 – 2mm) são transportadas por rolamento a superfície. Partículas intermediárias são transportadas ora em suspensão, ora por rolamento (saltos).

Essa forma de erosão é de grande importância em regiões onde sopram ventos predominantemente a velocidades superiores a 15 km/h, a 30 cm da superfície. Ventos com velocidade inferior a esta são considerados não erosivos para solos minerais. No Brasil, a erosão eólica está restrita a áreas planas no litoral, do planalto central e no sul. A região de Alegrete, RS está entre as áreas

com grande incidência de erosão eólica.

Em várias regiões da África, parte das terras tem perdido a vegetação devido à seca, superpastoreio e uso de práticas inadequadas nos cultivos. Isto tem resultado em extensas áreas com erosão eólica. A região das Planícies dos Estados Unidos já passou por quatro sérios períodos de erosão eólica desde a ocupação, no século XVII. Em áreas de baixa pluviosidade (< 300 mm de chuva por ano), os solos não apresentam umidade suficiente para suportar as culturas. Em várias dessas áreas, os agricultores plantam as culturas esperando por chuva. Quando as chuvas não vêm, eles aram novamente a terra, preparando para outro plantio. Daí, o solo solto e seco fica exposto, favorecendo a erosão eólica.

Algumas práticas de conservação do solo e tipos de manejo da terra ajudam na prevenção contra a erosão. A adoção dessas, isoladamente ou em conjunto, depende do estudo da viabilidade e eficiência das mesmas, o que é definido pela cultura, tipo de solo, topografia e poder aquisitivo do agricultor.

Controle da Erosão Eólica

Quebra-ventos: Todas as práticas apresentadas anteriormente são importantes formas de se reduzir a erosão hídrica. A erosão eólica pode ser reduzida se o solo for protegido contra o vento. A melhor forma de proteção é a colocação ou manutenção de faixas de vegetação de porte mais alto a espaços regulares com a função de diminuir a velocidade do vento.

As práticas de preparo do solo para plantio e o próprio plantio deixam o solo exposto ao vento. Os quebra-ventos reduzem a velocidade dos ventos, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de solo transportado. Em alguns casos, fileiras de árvores são plantadas; em outros, a alternância de faixas da cultura de porte baixo e alto, e diferentes densidades de plantio, ajudam a controlar essa forma de erosão.

Referencias

- FERREIRA, V.M. Voçorocas no município de Nazareno, MG: Origem, uso da Terra e atributos do solo. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.
- LAL, R. & ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: Lal, R. (ed). Soil erosion research methods (2 ed). Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 1994. 340p.
- LEPSCH, I. F. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- OLIVEIRA, F.P. de erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. 2006. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3ª Ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.
- SCHWAB, G.O., FANGMEIER, D.D., ELLIOT, W.J. & FREVERT, R.K. Soil and water conservation engineering. John Wiley & Sons, Inc. New York. (4 ed). 1993. 507p.
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, p.459-464, 1993.
- WISCHMEIER, W.A. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relation ship to soil loss. Transaction American Geophafic Union v.39, n.2, p.285-91, 1958.