

12.1.5. Erosão

12.1.5.1. Aspectos Gerais

A questão da erosão necessariamente deve ser avaliada sob pontos de vista distintos no que diz respeito à sua forma de manifestação, em razão da diferença da natureza de seus fatores predisponentes, que determinam tipos de erosão diferenciados.

Em razão disto, tem-se a erosão superficial, comumente conhecida como laminar e/ou em sulcos, que se desenvolve quase que exclusivamente na superfície dos terrenos; e a erosão em profundidade, conhecida como voçorocamento e ravinamento profundo.

A manifestação da erosão em profundidade, do tipo voçorocas, é praticamente ausente na área estudada. Certamente este fato se deve à não ocorrência de alguns fatores indutores deste processo erosivo e a uma baixa potencialidade natural das terras a este tipo de erosão. Algumas situações localizadas, como ao longo de estradas podem ser verificadas, mas se devem a conseqüências de ações mecânicas vigorosas, como corte de estradas e obras de arte. Por tais razões, o mapa de vulnerabilidade natural à erosão, apresentado nesta oportunidade, não identificou áreas de alto potencial para este tipo de erosão, limitando-se apenas a contemplar a erosão do tipo superficial.

No caso da erosão superficial, as agressões se dão quase que exclusivamente na superfície dos solos e o desenvolvimento dos processos erosivos está condicionado por fatores como características dos solos (erodibilidade), agressividade das chuvas (erosividade), tipos de relevo (que determinam os tipos de escoamento), cobertura vegetal e tipos de uso e manejo do solo. Portanto, a combinação desses fatores determina a maior ou menor predisposição de uma área à erosão superficial. A erosão em profundidade, por sua vez, é determinada pela combinação dos fatores: tipos de solos, características das chuvas, tipos de relevo, dinâmica hídrica superficial e subsuperficial e principalmente as características do sub-solo (natureza do substrato geológico ou profundidade do mesmo).

Neste trabalho procurou-se, com dados provenientes dos mapas de solos, dados sobre erosividade das chuvas do estado do Paraná e informações sobre a natureza do substrato litológico, proceder à elaboração de um mapa de Susceptibilidade à Erosão das Terras na escala 1:50.000 (MA136.00.43-DE.05).

12.1.5.2. Metodologia e Dados Utilizados

Como já comentado anteriormente, para tipos de erosão diferentes, há diferenças na natureza de seus fatores predisponentes. Por esta razão, o presente trabalho enfocou de maneira diferenciada os dois principais tipos de erosão. Por se considerar a área no seu todo com propensão natural a incidência da erosão concentrada (voçorocas e ravinas) relativamente baixa, elaborou-se apenas um mapa indicativo de áreas de vulnerabilidade diferente à erosão superficial (laminar e sulcos).

a) Erosão Superficial

Para efeito de determinação da perda de solos, ou seja, do desgaste de suas camadas pelo carreamento das partículas pelas águas das chuvas, quando sob utilização agropecuária, foi desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH em 1958 a “Equação Universal de Perdas do Solo” (USLE), que prevê a perda de solos sob determinado tipo de uso e manejo agrícola e possibilita a escolha das práticas conservacionistas mais viáveis técnica e economicamente, para determinada área, mantendo-se as perdas de solos a níveis “toleráveis”.

A referida equação, também conhecida como “USLE” é representada por $A = R.K.L.S.C.P$, onde:

A = Perda média anual de solos em $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$

R = Fator erosividade das chuvas em $MJ.ha^{-1}.mm^{-1}$

K = Fator erodibilidade dos solos em $Mg.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$

LS = Fatores declive e comprimento de rampa

C = Fator práticas conservacionistas

P = Fator tipo de cultura

Para efeito de escolha das práticas conservacionistas mais adequadas para cada situação, a equação tem mostrado inegável sucesso em várias partes do mundo. Entretanto é limitada a determinados tipos de erosão e para pequenas propriedades, não se adequando para avaliações da fragilidade dos ambientes no seu todo. Assim como a USLE, outras equações foram desenvolvidas em outras partes do mundo, algumas constituindo apenas adaptações desta. Todas, entretanto, com os mesmos princípios.

Embora não desenvolvida para este fim, esta Equação tem sido utilizada como pano de fundo para estudos qualitativos da vulnerabilidade natural dos ambientes, refletida na predisposição natural das terras à erosão superficial, visto que contempla todos os fatores predisponentes deste tipo de processo erosivo. Alguns de seus fatores tem natureza duradoura, como as características de relevo, clima e dos solos e refletem a estrutura física dos ambientes, enquanto outros têm natureza temporária e estão ligados às diversas formas de intervenção humana, o que dificulta a sua utilização para efeito de cartografia. Algumas instituições brasileiras que trabalham com geociências, como a Fundação IBGE, têm empregado esta equação para possibilitar a elaboração de mapas de Susceptibilidade à Erosão de Terras.

A exemplo da Fundação IBGE, o presente trabalho procurou, com base nos fatores da “USLE” de natureza mais duradoura, caracterizar e hierarquizar os diversos ambientes das áreas de estudo de acordo com sua maior ou menor susceptibilidade à erosão superficial, condicionada principalmente pela interação dos seus fatores determinantes de natureza física que, em outras palavras, representa a sua propensão natural.

Recentemente, RIOS (2.000) demonstrou a praticidade da elaboração de mapas qualitativos de potencial erosivo, através de dados contidos em mapas de solos e/ou de outros componentes ambientais.

Em síntese, os fatores da Equação (USLE) de natureza duradoura (solos, relevo e clima) foram organizados em categorias distintas com relação à forma com que atuam os processos erosivos. Com base em informações de literatura, os fatores solos e relevo foram agrupados em quatro categorias distintas, enquanto, o fator climático determinado pelas características das chuvas, foi considerado em categoria única devido, principalmente: à pequena variação dos valores de erosividade determinados indiretamente para a área, como mostrado adiante; à escassez de dados pluviométricos (determinados com pluviógrafos); e também à dificuldade de se espacializar em mapa as áreas de influência de cada estação pluviométrica considerada.

Portanto, usaram-se basicamente as informações sobre as características dos solos em contraposição as características do relevo para estabelecer as categorias de susceptibilidade natural à erosão superficial das terras da área. A seguir é analisada sucintamente a forma de interferência dos diversos fatores da equação e os parâmetros utilizados.

- Análise e Tratamento dos Parâmetros da Equação

- *Relevo (fator LS da Equação)*

A topografia do terreno é definida pela declividade e pelo comprimento dos lancetes, que na USLE é representada pelo fator LS, que exerce influência sobre a erosão de diversas formas.

O tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre e essa velocidade é uma resultante do comprimento do lancete e do grau de declive do terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

Num terreno plano não existe escoamento superficial e tampouco velocidade de escoamento. À medida que se aumenta o declive, aumenta-se o fluxo superficial e conseqüentemente, a sua velocidade (ALMEIDA, 1981).

No presente trabalho, caracterizaram-se as classes de relevo utilizando-se os fatores declividade e comprimento de rampa, a partir do Mapa de Isodeclividade. Tais classes constituem parte integrante das unidades de mapeamento, sendo as seguintes: **plano** (declives de 0 a 3%); **suave ondulado** (declives de 3 a 8%); **ondulado** (declives de 8 a 20%), **forte ondulado** (declives de 20 a 45 %) e **escarpado** (declives maiores que 45%).

- *Solos (Fator K da Equação - Erodibilidade)*

A erodibilidade (K) é o fator que melhor aglutina e representa as principais propriedades do solo que interferem no processo erosivo. Refere-se à sua habilidade potencial de resistência a erosão.

FREIRE & PESSOTTI (1978) definiram a erodibilidade do solo como a propriedade que representa quantitativamente sua susceptibilidade à erosão, refletida no fato de que diferentes solos perdem quantidades variáveis de material quando os demais fatores são mantidos constantes.

De acordo com WISCHMEIER & SMITH (1978) as propriedades do solo que influenciam a sua erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água, a resistência às forças de dispersão pelo salpico e ao transporte pelas chuvas e enxurradas.

De acordo com RESENDE, 1985, a erodibilidade é dependente de vários fatores que são: textura, estrutura, matéria orgânica, permeabilidade, declive, comprimento de rampa e forma de encosta.

A erodibilidade do solo pode ser determinada por métodos diretos nos quais as perdas de solos são avaliadas em parcelas experimentais, com o uso de chuvas naturais ou simuladores, e por métodos indiretos e empíricos onde as características são definidas pela avaliação de parâmetros físicos dos solos através do uso de fórmulas ou equações desenvolvidas para estes fins (DEL' ARCO *et al.*, 1989).

O método mais conhecido, mundialmente, é o de WISCHMEIER *et al.*, 1971, que se baseia na utilização dos teores de silte + areia fina, argila, matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo. Ele é expresso pela seguinte equação:

$$K = 2,1M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) / 100$$

Onde : K= erodibilidade; M = % de silte + % de areia muito fina (100 - % argila); a = matéria orgânica; b = código da estrutura e c = código da classe de permeabilidade

No presente trabalho, os solos foram agrupados em apenas duas classes de erodibilidade distinta, com base em resultados quantitativos experimentais constantes na literatura especializada e também com base na análise de suas características intrínsecas conforme também o fez a Fundação IBGE (DEL'ARCO *et al.*, 1992).

Assim, foram definidas para a AID, as seguintes classes de erodibilidade dos solos:

- ✓ **Moderada a forte** – Nesta classe constam solos relativamente profundos, porém com algum tipo de impedimento físico restringindo a permeabilidade interna, tais como horizonte B textural ou B nítico, argilosos ou muito argilosos, descontinuidade litológica, ou gradiente textural elevado. Em geral apresentam valores intermediários de erodibilidade calculada (Quadro 12.1.5/01). Tem como principais representantes os ARGISSOLOS, os NITOSSOLOS e os CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS.
- ✓ **Forte** - Nesta classe constam solos de pequena profundidade, associada a elevados teores de silte e ocorrência de outros elementos restritivos à drenagem, como presença de contato lítico a pequena profundidade. Em geral apresentam valores altos de erodibilidade calculada (Quadro 12.1.5/01). Os principais representantes são os CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS.

QUADRO 12.1.5/01 - VALORES MÉDIOS DA ERODIBILIDADE (K) E DA RELAÇÃO DE EROSIÃO (RE), POR ORDENS DE SOLO, SEGUNDO MÉTODO NOMOGRÁFICO DE WISCHMEIER *ET AL.* (1971) E LOMBARDI NETO & BERTONI (1975), RESPECTIVAMENTE

Grupos de Solos	Classe Textural	Valor de K*		Valor de RE	
		Horizontes		Horizontes	
		A	B/C	A	B/C
Solos com B latossólico	Muito argilosa	0.019	0.005	0	0.021
	Argilosa	0.031	0.004	0.027	0.023
	Média	0.015	0.007	0.064	0.084
Solos com B textural	Argilosa	0.083	0.023	0.086	0.040
	Média	0.027	0.011	0.176	0.309
	Média/argilosa	0.053	0.027	0.179	0.212
	Arenosa/média	0.020	0.016	0.428	0.225
Solos com B incipiente	Média	0.013	0.057	0.172	0.355
Solos pouco desenvolvidos (profundos)	Muito argilosa	0.150	0.022	0.034	0.064
	Argilosa	0.258	0.014	0.473	0.123
	Média	0.045	0.010	0.251	0.157
	Arenosa	0.001	0.005	0.037	0.181
Solos pouco desenvolvidos (rasos)	Argilosa	0.018	-	0.051	-
	Média	0.021	-	0.145	-

OBS.: (*) No Sistema Métrico Internacional: Mg.h.MJ-1.mm-1
 Fonte: DEL'ARCO *et al.* (1992).

- **Chuvas (Fator R da Equação – Erosividade)**

Dentre os elementos que compõem o clima, destaca-se a chuva como sendo um dos que mais afetam a erosão. As características desta, de maior importância, são: duração, frequência e intensidade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985).

Para o caso da erosão agrícola (laminar), em particular, a intensidade da chuva (definida como sendo a quantidade de chuva dividida pelo seu tempo de duração) reveste-se da maior importância nos estudos de perda de solo (ALMEIDA, 1981).

WISCHMEIER & SMITH (1958) concluíram que o parâmetro de chuva que mais se correlaciona com as perdas de solos é o valor da energia cinética, multiplicado pela intensidade máxima daquela em 30 minutos.

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) no sistema métrico, o índice de erosão e a energia cinética são representados por:

$$EI_{30} = E_c \times I_{30} \times 10^{-3}$$

EI_{30} = Índice de erosão em tonelada metro / hectare – milímetro / hora

E_c = energia cinética da chuva

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em milímetro / hora

$$E_c = 12,14 + 8,88 \log I$$

I = intensidade da chuva em milímetros / hora

A soma dos valores de EI de cada chuva, isoladamente em certos períodos, proporcionaria uma avaliação numérica da erosividade da chuva (R) dentro daquele período.

A determinação deste fator apresenta alguns problemas visto que, para se realizar os cálculos acima, é necessário a disponibilização de dados de chuva determinados em pluviógrafos, o que não se consegue para a região.

RUFINO, R.L. *et al* (1986) geraram o mapa de erosividade do Paraná, no qual consta que a região de estudo encontra-se entre as isoerodentes 6000 e 5.500 MJ. mm. ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Considerando –se que o menor valor para o Estado do Paraná é 5.500 e o maior de 12.000 MJ. mm. ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, pode-se entender que, embora a região não possua déficit hídrico, as chuvas não são erosivas. Entretanto, considerando-se que o mapa citado foi realizado em pequena escala, abrangendo todo o estado do Paraná, observa-se em campo, que as chuvas apresentam alto potencial erosivo, em virtude, principalmente, da sua intensidade.

- *Tipos de Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas (Fatores C e P da Equação)*

Como já mencionado, esses fatores não foram levados em consideração na definição das classes de susceptibilidade, em razão de sua natureza efêmera e portanto de difícil cartografia. Há que se ressaltar, entretanto, que não se verifica grande diversificação com relação aos fatores acima, em razão principalmente da natureza da própria área.

b) Erosão Concentrada (voçorocas e ravinas)

Para efeito de avaliação da predisposição natural das terras à erosão concentrada, utilizou-se também informações provenientes do mapa de solos, das características das chuvas e do substrato geológico, conforme os critérios descritos a seguir.

Solos – Com relação à incidência da erosão concentrada (erosão que atua desde a superfície até grandes profundidades), paradoxalmente algumas características que são atenuantes para a erosão de superfície, atuam de maneira inversa para a erosão concentrada. Este tipo de erosão encontra melhores condições de se desenvolver em solos profundos e muito profundos, homogêneos e com facilidade de desagregação de suas partículas constituintes, ou seja, solos com estrutura em grãos simples (solos arenosos) ou do tipo granular com desenvolvimento forte, que não são comuns nesta área. Portanto, pode-se considerar os solos como pertinentes à categoria de baixa vulnerabilidade:

- ✓ **Baixa** – Os demais solos da área. Em geral solos rasos ou de mediana profundidade (contato lítico muito próximo à superfície) e solos com horizonte B textural ou B câmbico.

Substrato geológico – Com base em características como coesão entre as partículas constituintes, principalmente as diversas unidades litoestratigráficas ocorrentes na área foram agrupadas também em uma única categoria de predisposição à erosão, conforme abaixo:

- ✓ **Baixa** - Nesta categoria estão incluídas todas as unidades litoestratigráficas que têm predominantemente em sua litologia, rochas com alto grau de coesão entre as suas partículas constituintes.

Característica das chuvas – Assim como no caso da erosão superficial, o fator erosividade não foi considerado para estabelecimento das classes de vulnerabilidade, pelas mesmas razões.

c) Potencial a Erosão

- Erosão Superficial (laminar e sulcos)

Para definição das classes de susceptibilidade à erosão superficial, procedeu-se à análise da interação dos fatores erodibilidade dos solos e características do relevo, conforme o Quadro 12.1.5/02.

QUADRO 12.1.5/02 – INTERAÇÃO DOS FATORES ERODIBILIDADE DOS SOLOS E TIPOS DE RELEVO

ERODIBILIDADE	ONDULADO	FORTE ONDULADO/ ESCARPADO/MONTANHOSO
Moderada a forte	Moderada a forte (MoF)	Forte (F)
Forte	*	Muito forte (MF)

* - Combinação inexistente na área de estudo

Fonte: CNEC, 2001

- Classes de Susceptibilidade à Erosão Superficial:

Foram definidas 3 classes de susceptibilidade para a AID, a seguir caracterizadas:

- ✓ **Moderada a forte (MoF)** – Corresponde a áreas de solos caracterizados como de moderada a forte erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo ondulado. Está representada na área por solos das unidades PVd1 e NVef, conforme o mapa de solos.
 - ✓ **Forte (F)** – Corresponde a áreas de solos caracterizados como de moderada a forte erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo forte ondulado. Está representada na área por solos das unidades PVd2, PVAd1, PVAd2, PVAe1 e Mto, conforme o mapa de solos.
 - ✓ **Muito forte (MF)** – Corresponde a áreas de solos caracterizados como de forte e/ou moderada a forte erodibilidade, ocorrendo em áreas de relevo montanhoso e/ou escarpado. Está representada na área por solos das unidades PVAd3, PVAd4, PVAe2, CXbd1, CXbd2 e RLe, conforme mapa de solos.
- Erosão Concentrada (voçorocas e ravinas)

Com base na interação dos dados de solos dominantes, substrato geológico e erosividade das chuvas, considerou-se esta área bastante homogênea no tocante à sua vulnerabilidade natural a este tipo de erosão, ou seja, com diferenças pouco significativas, insuficientes para sua distinção neste nível de abordagem, portanto com uniformidade no seu grau de predisposição, ressaltando seu comportamento fraco em toda a AID.

- Considerações finais

O Mapa de Suscetibilidade à Erosão localiza espacialmente na AID as classes definidas. Observa-se (Quadro 12.1.5/03) que 93% da área é caracterizada por uma suscetibilidade à erosão forte a muito forte, com relevo bastante acidentado. Esses solos são em geral de pequena espessura e bastante erodíveis. Os restantes 7% pertencem a uma zona de relevo mais suave, de solos mais espessos.

Observa-se também que as maiores parcelas a serem inundadas caracterizam-se por apresentarem suscetibilidade à erosão forte a muito forte.

QUADRO 12.1.5/03 ÁREAS OCUPADAS PELAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NA AID E ADA

Classes de Erosão	Área total da Unidade de Mapeamento (ha) ¹	% em relação à área total mapeada (sem rios)	Parcela a ser inundada (ha)	% em relação à área da Unidade de Mapeamento	% em relação à área afetada
MoF	6.058,46	5,67	----	----	----
F	65.133,34	60,96	4.196,30	6,44	81,01
MF	35.658,26	33,37	983,70	2,75	18,99
TOTAL¹	106.850,06	100	5.180,00	----	100

1- As áreas totais apresentadas não contabilizam a área da calha dos rios.