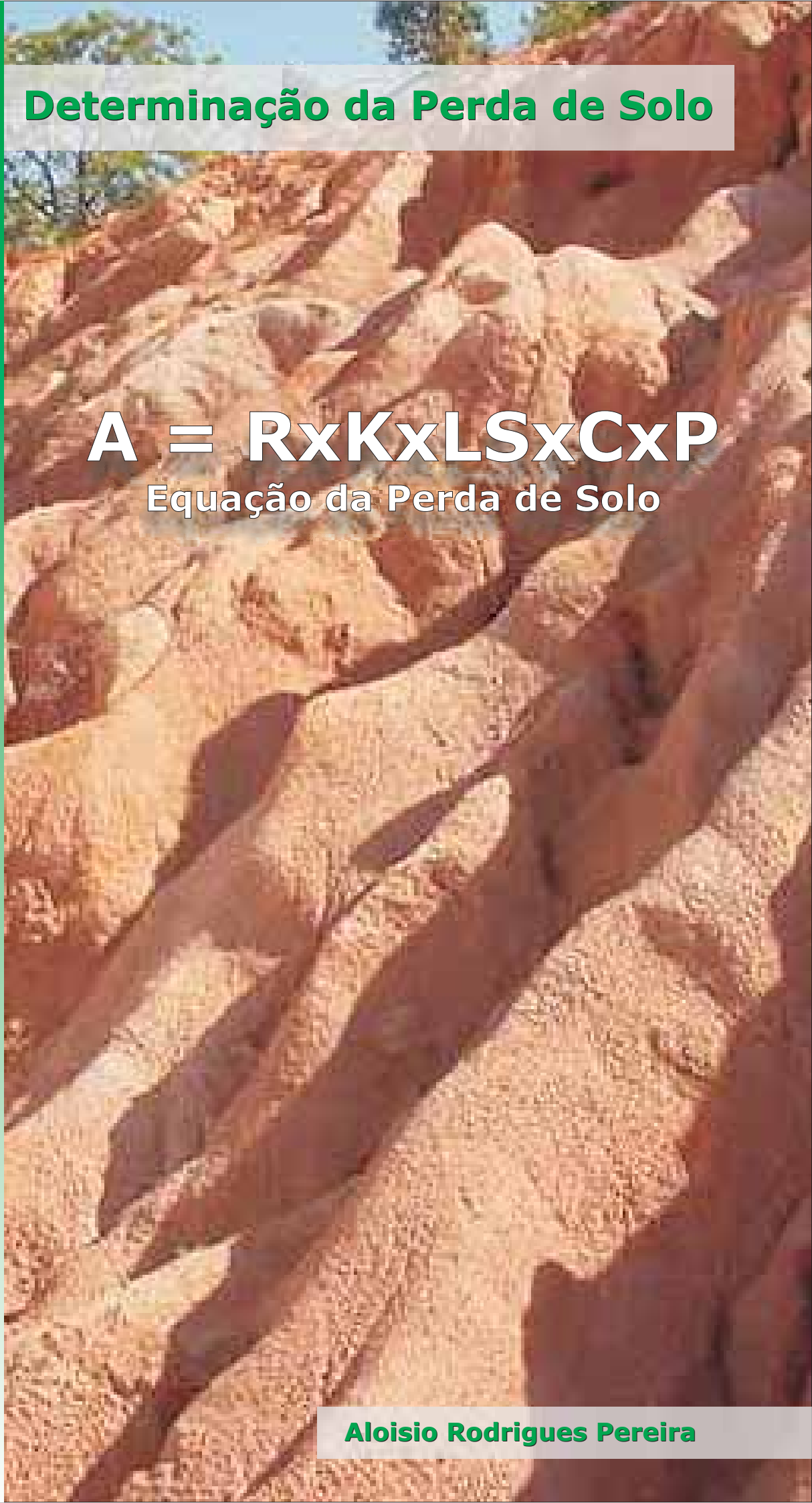
Ano 01- n.º001- Março 2006

BOLETIM TÉCNICO

Determinação da Perda de Solo



A = RxKxLSxCxP

Equação da Perda de Solo

Aloisio Rodrigues Pereira

deflor Bioengenharia

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE SOLO

Aloisio Rodrigues Pereira*

RESUMO

É importante a Determinação da Perda de Solos para se obter o parâmetro para se decidir qual tipo de proteção deverá ser utilizado no local, visando ao controle da erosão e dos sedimentos. Isso não tem ocorrido, e a escolha dos produtos e das técnicas é feita empiricamente, contribuindo para elevar os custos das proteções e para não se obter o sucesso esperado.

Este boletim apresenta todos os fatores para se calcular a perda de solo, com dados e tabelas, além de exemplo com os passos para determinação, com embasamento técnico, da perda de solo.

São apresentados comentários sobre cada fator, enfatizando sua função, seus efeitos nos processos erosivos e suas implicações no manejo.

1 – INTRODUÇÃO

As perdas de solo ocorrem, principalmente, pela ação da água e do vento em razão de diferenças de relevo existentes em regiões do globo terrestre e pela atuação do homem, que vem alterando a superfície terrestre com a construção de grandes empreendimentos, provocando processos erosivos ou erosões.

A erosão é um processo pelo qual ocorre o desprendimento, o transporte e a deposição de partículas de solo ou sedimentos, que acabam causando grandes impactos ambientais, atingindo os cursos d'água e provocando assoreamento.

Nosso objetivo, neste trabalho, é determinar as perdas de solo mediante a equação universal de perdas de solo, que poderá servir para a escolha dos métodos, das técnicas e dos produtos a serem aplicados em áreas degradadas e erosões.

No caso de regiões tropicais em que, de maneira geral, os solos são muito erodíveis e nos locais que apresentam clima seco, chuvas intensas ocasionais e topografia acidentada, certamente ocorrem grandes perdas de solo.

De toda erosão produzida no mundo, 25% a 33% dos sedimentos transportados atingem os oceanos e o restante se deposita nas áreas inundáveis, cursos d'água, lagos e reservatórios hidráulicos. (DIAZ, 2001)

A erosão é, sem dúvida, a variável mais importante na contaminação da água, por isso há necessidade de realizar seu controle de maneira adequada, para impedir a contaminação do recurso mais precioso do planeta – a água.

* Engenheiro Ambiental; Engenheiro Civil e Engenheiro Florestal; Doutor em Solos e Diretor da DEFLOR Bioengenharia
Rua Major Lopes, 852 São Pedro Belo Horizonte, MG Brasil E-mail: deflor@deflor.com.br

BOLETIM TÉCNICO.pmd 1 27/11/2006, 14:43

2 – COMO DETERMINAR A PERDA DE SOLO

Para a determinação da perda de solo em áreas agrícolas, campos e áreas impactadas, foram desenvolvidas equações baseadas em diversos fatores que afetam os processos erosivos.

Essas equações têm sido utilizadas como forma de avaliar o potencial de erodibilidade de determinada área.

De todos os métodos empíricos desenvolvidos no mundo, o mais conhecido é a equação universal de perda de solo desenvolvida por Smith e Wischmeier (1958).

O modelo paramétrico permite avaliar as perdas de solo, incluindo a erosão laminar e em sulcos, em decorrência do clima, do índice de erodibilidade do solo, da topografia, das práticas de manejo do solo e de conservação e proteção do solo, mediante a seguinte equação:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

- **A** = Perda anual de solo: dado em t.ha-1.ano-1
- **R** = fator de precipitação e *run-off*: é afetado pela energia potencial, pela intensidade, quantidade de chuva e pelo *run-off*.
- **K** = fator de erodibilidade do solo: é afetado pela textura do solo, pela matéria orgânica, pela estrutura e pela permeabilidade.
- **LS** = fator topográfico: é afetado pela inclinação, pelo comprimento e pela forma do talude (côncavo ou convexo).
- **C** = fator de manejo de culturas: é afetado pela superfície de recobrimento, pelo dossel, pela biomassa, pelo uso de solo e pelo tipo de cobertura vegetal.
- **P** = fator de práticas de proteção e manejo do solo: é afetado pela rotação de culturas, pelo tipo de proteção do solo, pelas barreiras, pelo *mulch* para recobrir o solo, pelas biomantas, pelos terraços e pelas técnicas de proteção do solo.

Os conhecimentos técnicos são importantes para determinar os fatores, adotar e interpretar os dados existentes, para que os resultados obtidos sejam os mais seguros possíveis. Os fatores podem ser obtidos por meio de fórmulas empíricas, de dados experimentais já existentes, de gráficos-padrão ou de dados no próprio local. Dados internacionais sobre as perdas de solo estimam uma perda anual de solo no mundo da ordem de 80 bilhões de toneladas/ano (SMITH 1958).

De acordo com Walker (2004), a perda anual de solo nos Estados Unidos é de cerca de 2 bilhões de toneladas/ano, sendo que o custo para a recuperação do *top-soil* é da ordem de US$ 80,000/ha e, ainda, a recuperação definitiva do *top-soil* leva de 30 a 100 anos.

A Tabela 1 ilustra os limites potenciais de perda de solo em razão do nível da erosão, que se baseia em análise técnica para considerar qual o nível de erosão encontrado. Entretanto, analisando-se pelo aspecto da engenharia, em que são necessários padronização e cálculos, o nível será o mesmo, independentemente do ponto de vista técnico.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 2 27/11/2006, 14:43

TABELA 1

Limites potenciais de perda do solo em razão do nível da erosão

Classe	Nível da erosão	Potencial de perda de solo (tonelada/ha.ano)
1	Muito baixo	< 6
2	Baixo	6-11
3	Moderado	11-22
4	Alto	22-33
5	Severo	> 33

WALL, 1997

Um aspecto muito importante na proteção do solo para minimizar as perdas é o tipo de ocupação, que poderá aumentar as perdas de solo em várias vezes quando comparado com a floresta natural, que apresenta menor taxa de erodibilidade, conforme pode ser verificado na Tabela 2.

TABELA 2

Tipo de ocupação do solo para minimizar as perdas

Uso e ocupação do solo	Fator multiplicador
Floresta	1
Pradarias	10
Produção agrícola	200
Floresta logo após o corte	500
Superfície minerada	2.000
Construções (obras, rodovias, etc.)	2.000

WALKER, 2004

A cobertura vegetal contribui para atenuar a taxa de erosão do solo, mas o fator mais importante é a cobertura do solo, que o protege totalmente, mantém a umidade, favorece a infiltração desejável e reduz o *run-off*. Dessa forma, não adianta haver 100% de cobertura vegetal e 0% de cobertura do solo, pois, ainda assim, ocorrerá perda de solo da ordem de 0,2. No caso inverso, havendo 100% de cobertura do solo e 0% de cobertura vegetal, a perda será de aproximadamente 0,05, mostrando a importância da cobertura do solo. Essa cobertura pode existir de forma natural, pela serapilheira (*litter*), ou de forma artificial, com geotêxteis, geomantas e biomantas antierosivas, que têm o mesmo papel da serapilheira, funcionando como elemento fundamental no controle de sedimentos e erosão do solo, como evidenciado no Gráfico 1.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 3 27/11/2006, 14:43

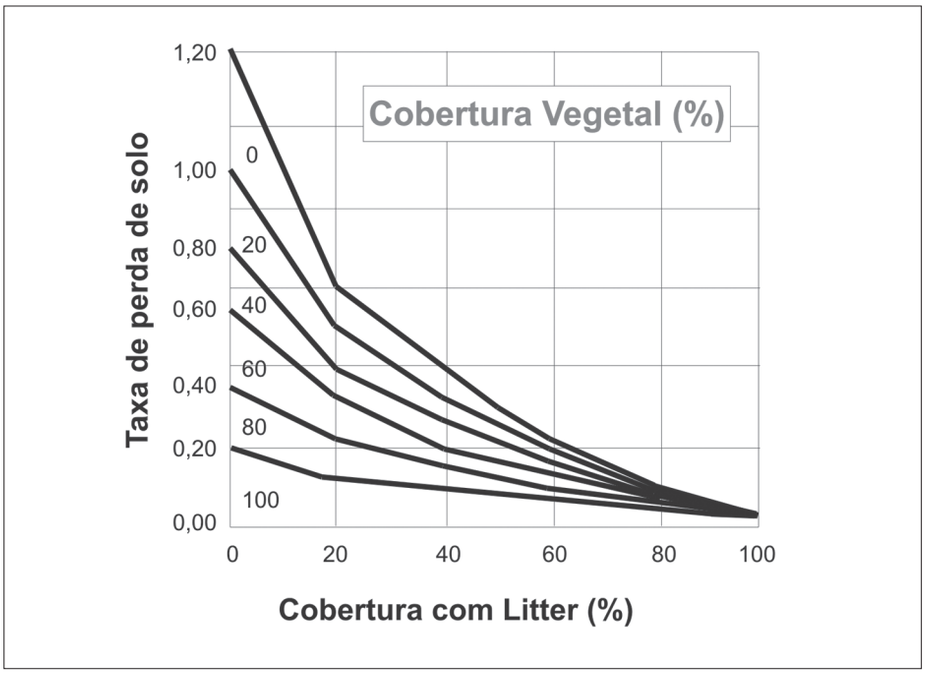


GRÁFICO 1 – Tipo de recobrimento do solo x perda de solo

3 – CÁLCULO DOS FATORES

A seguir serão discutidos os fatores que constituem a Equação da Perda do Solo e como determiná-los. São apresentadas fórmulas empíricas e gráfico para facilitar o entendimento, o cálculo e a interpretação.

A Equação da Perda do Solo apresenta sua fórmula multiplicativa, ou seja, fatores que se apresentam elevados contribuem para aumentar significativamente a perda do solo, ocorrendo o mesmo com fatores pequenos. Portanto, a perda de solo é diretamente proporcional à grandeza de cada fator.

3.1 – Fator Climático

É o fator climático que avalia a precipitação e o *run-off*. Ele é afetado pela energia potencial, pela intensidade, pela quantidade de chuva e pelo *run-off*. A energia potencial da chuva pode ser calculada como:

$$E = 210,2 + 89.\log(I)$$

Onde:

- **E** = energia potencial da chuva (Joules.m².cm^{-1})
- **I** = Intensidade da chuva em um período (cm.hora^{-1})

BOLETIM TÉCNICO.pmd 4 27/11/2006, 14:44

O índice de erosão pluvial é calculado como:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} (210{,}2 + 89 \log I_j)(I_j . T_j).I_{30}}{100}$$

Onde:

- **R** = índice de erosão pluvial
- **Ji** = período de tempo em horas
- **I30** = máxima intensidade de chuva (mm)
- **T** = intervalos homogêneos de chuva forte
- **n** = número de intervalos

O fator R corresponde a um ano e é o somatório dos valores de R de cada uma das chuvas registradas no período estudado. Para se obter um valor representativo e confiável de R, é necessário calcular um ciclo de pelo menos 10 anos.

Existe uma equação para calcular o fator R que é mais simples e o resultado final é semelhante ao da fórmula anterior, enfatizando neste caso apenas a maior pluviosidade. Ele pode ser calculado pela fórmula:

$$R = 0{,}417 \times p^{2,17}$$

Onde:

- **R** = índice de erosão pluvial
- **p** = maior precipitação num período de 2 anos durante 6 horas (em mm)

Neste caso, podem ser utilizados mapas de precipitação que contenham intensidades e quantidades de chuva. Na ilustração em questão, utilizamos o mapa de precipitação do Estado de Minas Gerais, Brasil, conforme Figura 1, mas para trabalhos específicos o técnico deverá utilizar dados de estações meteorológicas, com um tempo de recorrência de pelo menos 20 anos.

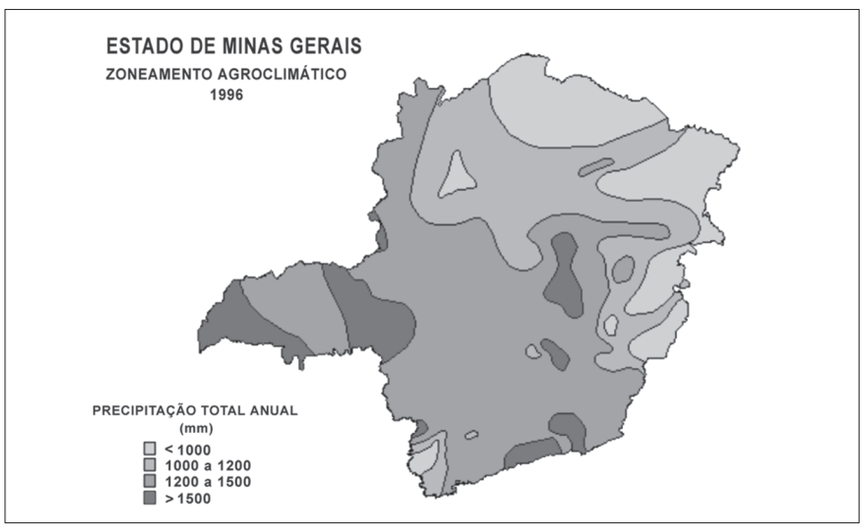


FIGURA 1 – Índice pluviométrico do Estado de Minas Gerais

BOLETIM TÉCNICO.pmd 5 27/11/2006, 14:44

No Quadro 1 são apresentadas as variáveis que afetam o fator R

QUADRO 1

Variáveis que afetam o fator R

Variável	Descrição e função	Efeito da erosão	Implicações para o manejo
Energia da chuva	– O volume da queda d'água e o escoamento da água produzido durante a chuva.	– No caso de chuva leve e duradoura ou curta e intensa, o autovolume pode ter o mesmo impacto. – Pequenos volumes durante curtos períodos e largos intervalos entre as chuvas possuem baixo potencial erosivo. – Quando combinados com outros fatores (condições do solo altamente erodível), até mesmo chuvas com baixa intensidade, podem produzir erosões.	Sistemas de manejo que fornecem adequada cobertura durante os períodos críticos podem reduzir as perdas do solo. Ex: durante a primavera (solos saturados, baixa cobertura do solo) e o verão (chuvas com alta capacidade erosiva).
Intensidade da chuva	– Volume da queda d' água por unidade de tempo (ex: cm/h).	– Quanto maior a intensidade, maior o potencial para a separação e o carreamento de sedimentos.	
Distribuição anual de precipitação que gera erosão	– Volume da queda d' água e escoamento que ocorre durante as várias estações/meses do ano.	– Geralmente, as chuvas com maiores potenciais de erodibilidade ocorrem no verão.	
Precipitação no inverno	– Precipitação total de chuva e neve.	– Quanto mais alta é a precipitação, mais alto é o potencial para o derretimento da neve e seu escoamento. – As chuvas de final de inverno/ início da primavera em solo semicongelado resultam em aumento do nível de escoamento.	– Solos desnudos, fofos e expostos, especialmente em taludes de grande inclinação.
Derretimento da neve	– Em solos congelados, o escoamento é imediato, as superfícies ficam temporariamente ensopadas e é alto o potencial de desenvolvimento de fluxos concentrados. – Em solos parcialmente congelados, a superfície se torna saturada e o escoamento é laminar ou em fluxos concentrados.	– Em algumas áreas, mais de 50% da erosão é atribuída ao derretimento em áreas de alto índice de neve e ao baixo crescimento em estações de chuva – Esse efeito é causado pelo volume de chuva no solo congelado.	– A aplicação de fertilizantes em solos congelados ou semicongelados aumenta o derretimento e o risco de nutrientes serem removidos pelo escoamento superficial. – Alto risco de danos fora da área (contaminação de canais de água por fertilizantes ou sedimentos).

BOLETIM TÉCNICO.pmd 6 27/11/2006, 14:44

3.2 – Fator de Erodibilidade

Existem dois métodos que podem ser utilizados para determinar o fator K (erodibilidade do solo). O primeiro é a equação de Wischmeier e Smith (1978), que é baseada nas informações de:

- Porcentagem de areia, silte e areia muito fina
- Porcentagem de matéria orgânica
- Estrutura do solo
- Permeabilidade

O segundo método é o nomograma:

- Para obter o fator k baseado em todos os parâmetros
- Para aproximar o fator k baseado no tamanho das partículas e matéria orgânica

Para cada tipo de solo é avaliada a relação entre a perda e o número de unidades do índice de erosão pluvial correspondente, em condições de cultivo permanente. Com o conjunto de valores obtidos, calcula-se o fator K para cada solo e, então, se estabelece uma equação de regressão em função das variáveis representativas das propriedades físicas do solo.

A regressão é expressa pela seguinte equação:

Fator K: pode ser determinado por meio de gráficos e calculado por meio de fórmulas de regressão:

$$100K = 10^{-4} \times 2{,}71M^{1{,}14}(12-a)\% + 4{,}20(b-2)\% + 3{,}23(c-3)\%$$

Onde:

- K = fator de erodibilidade
- M = textura do solo, onde:

M = [100 - % argila] . [% (silte + areia fina)]

a = percentual de matéria orgânica no solo

b = estrutura do solo, adotar:

1 = grãos muito finos (Ø<1mm)
2 = grãos finos (1mm<Ø<2mm)
3 = grãos médios (2mm<Ø<10mm)
4 = grãos grosseiros (Ø>10mm)

c = permeabilidade do solo, adotar:

1 = muito rápida
2 = moderadamente rápida
3 = moderada
4 = moderadamente lenta
5 = lenta
6 = muito lenta

BOLETIM TÉCNICO.pmd 7 27/11/2006, 14:44

O outro método para determinar o fator k é por meio do nomograma (Figura 2).

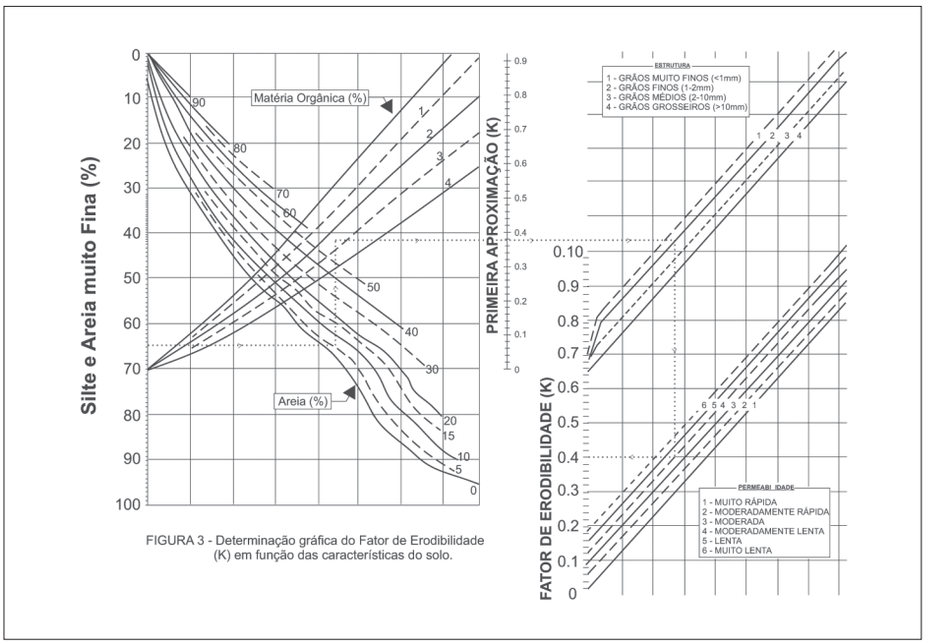


FIGURA 2 – Nomograma da erodibilidade do solo.

Os valores de textura do solo e da matéria orgânica se referem à camada superficial do solo (*top-soil*), de 15 a 20 cm de profundidade, e os solos permeáveis em todo o perfil.

Os valores mais elevados obtidos de fatores k superiores a 0,9 correspondem a solos em que a fração silte e a areia muito fina representam a amostra total, sendo nulo o percentual de matéria orgânica.

No Quadro 2, a seguir, são apresentadas as variáveis que afetam o fator K

BOLETIM TÉCNICO.pmd 8 27/11/2006, 14:44

QUADRO 2

Variáveis que afetam o fator K

	Descrição e função	Efeito da erosão	Implicações para o manejo
TEXTURA DO SOLO	– Tamanho e distribuição das partículas disponíveis do solo. – Particulas menores, uma vez desprendidas do solo, são facilmente transportadas. – A textura do solo influencia no volume e na velocidade de escoamento.	– A erodibilidade aumenta com a presença de silte e de areia muito fina (partículas facilmente desagregáveis, que prontamente formam crostas que diminuem a infiltração e aumentam o escoamento.	– Tipo de limite do solo • Usos agrícolas. • Produções agrícolas a serem cultivadas. • Sistemas de manejo.
MATÉRIA ORGÂNICA	– Quantidade de húmus presente. – O material orgânico ajuda a manter as partículas unidas. – Afeta a capacidade de retenção de água do solo, influencia a infiltração e o volume de escoamento.	– Solo com alto nivel de matéria orgânica possui maior resistência à erosão e possibilita maior infiltração da água. – Pouca matéria orgânica = baixa resistência à erosão.	– A manutenção do nível adequado de matéria orgânica (mediante o gerenciamento de resíduo e/ou adubos) reduz o risco de erosão, aumenta a fertilidade (que, por sua vez, pode aumentar a camada superficial de cobertura, aumentando a proteção do solo...).
ESTRUTURA	– Acerto de partículas de solo e agregados. – Proporciona uma indicação da força de atração entre as partículas para resistirem à erosão.	– Solos que não se quebram facilmente ainda permitem a infiltração e têm maior resistência à erosão.	– Manutenção do nível de estabilização da área, reduzindo as erosões.
PERMEABILIDADE	– Afeta a quantidade de água que irá infiltrar-se no solo, contrariamente ao fluxo, que desce da talude ou ao reservatório na superfície.	– Melhor infiltração = diminuição do escoamento superficial, diminuição da erosão (ex: areias médias e grassas).	– Práticas que lidam com o desenvolvimento de camadas impermeáveis, consolidadas ou com sulcos de aragem aumentam o risco de erosão.
ESTACIONALIDADE	– Características do solo que podem variar de acordo com a estação e afetar a erodibilidade, o que inclui volume de água, densidade, estrutura, permeabilidade, atividades biológicas e drenagem.	– Os solos tendem a ser mais susceptíveis na primavera (especialmente durante o período de condições severas – saturação, solos menos densos sobre solos congelados com menor permeabilidade).	– Melhor cobertura (serrapilheira e/ou resíduo) e superfícies regulares na primavera podem ajudar na estabilização do solo, reduzindo a erosão.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 9 27/11/2006, 14:44

3.3 – Fator de Topográfico

A topografia da área afeta diretamente o desprendimento de partículas, bem como o carreamento de sedimentos, que estão diretamente correlacionados com o comprimento e a inclinação da encosta ou da área. A forma da paisagem com concavidades e convexidades também afeta a perda de solo.

O fator L avalia o comprimento do talude, sendo definido pela equação:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^{m}$$

Onde:

- λ = comprimento do talude/encosta (m)
- **m** = declividade (m/m)

É interessante salientar que o comprimento é definido como a distância que vai desde a origem do escorrimento superficial até o início da deposição de sedimentos.

O fator S avalia a inclinação do talude ou encosta e é dado em porcentagem, ou seja, metros de desnível por metros de comprimento. Esse fator é definido pela equação:

$$S = \frac{(0,43 + 0,35s + 0,043s^2)}{6,613}$$

Onde:

- **s** = declividade do talude ou encosta (%)

Os fatores L e S geralmente devem ser agrupados, e a denominação apropriada é fator topográfico LS, que representa o relevo, o comprimento e a inclinação.

Wischmeier (1982) trabalhou com dados experimentais para representar o fator topográfico LS por meio das equações:

1) Para inclinação menor que 9%, a equação é:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^{0,3} \times \left(\frac{0,043s^2 + 0,30s + 0,43}{6,613}\right)$$

BOLETIM TÉCNICO.pmd 10 27/11/2006, 14:44

1) Para inclinação maior que 9%, a equação é:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^{0,3} \times \left(\frac{s}{9}\right)^{1,3}$$

Onde:

- λ = comprimento do talude (m)
- **s** = inclinação do talude em porcentagem

É importante salientar que essas equações são estritamente aplicáveis no caso de taludes e encostas com declividade uniforme e com o mesmo tipo de solo e vegetação em todo o seu comprimento.

No caso de haver variações no solo, na declividade, na forma (côncava ou convexa) e no revestimento vegetal, cálculos diferenciados para cada situação ou fatores de correção devem ser utilizados.

A determinação dos valores de ë e s, representam os parâmetros de comprimento e declividade, respectivamente. No caso de avaliar médias ou pequenas bacias hidrográficas, em que outros fatores possam ter homogeneidade, essas variáveis podem apresentar grandes variações, causando erros.

No caso de áreas e bacias pequenas (HORTON, 1976), considera-se que o valor de ë pode ser estimado como a metade do inverso da densidade de drenagem, cuja expressão é:

$$\lambda = 0,5 \cdot \left(\frac{A}{L}\right)$$

Onde:

- **A** = área da bacia hidrográfica em km²
- **L** = comprimento da bacia hidrográfica em km

O Quadro 3 mostra o fator LS para diferentes inclinações e comprimento de taludes e encostas, lembrando sempre que a avaliação e a decisão final dos cálculos deve ser cuidadosamente analisada por técnico especialista em erosão que, certamente, utilizará seu conhecimento na repetição dos cálculos ou acréscimo de variáveis, bem como coeficientes de segurança que julgar necessários.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 11 27/11/2006, 14:44

No Quadro 3, são apresentados os efeitos do fator LS variável em erosões.

QUADRO 3

Efeito do fator LS variável em erosões

Variável	Descrição e função	Efeito da erosão	Implicações para o manejo
Inclinação	– O talude é medido pelo ângulo de inclinação ou porcentagem da inclinação em relação ao ângulo.	– Escoamento – velocidade, quantidade que aumenta com o aumento da inclinação do talude. – Perda de solo – aumenta com maior rapidez que o escoamento com a inclinação. – Relação entre inclinação e escoamento, perda de solo influenciada por tipo de cultura, rugosidade da superfície, saturação do solo. (Esses efeitos não repercutem no calculo do LS).	Cobertura e práticas que promovem a infiltração e diminuem o escoamento superficial (rugosidade da superfície, boa cobertura) podem diminuir o efeito da inclinação na erosão.
Extensão	– Medida do ponto onde a superfície se inicia: a) o escoamento superficial se concentra em um canal, ou b) a inclinação do talude diminui e ocorre a deposição de sedimentos erodidos.	– Escoamento superficial – a erosão aumenta com o aumento do comprimento do talude. – O maior acúmulo do escoamento superficial em taludes mais compridos aumenta a desagregação de partículas, potencial de transporte. – O escoamento superficial, normalmente, concentra-se a menos de 120 m, e sempre se concentra a menos de 300 m.	– Taludes cujo comprimento tem grande impacto na erosão, geralmente, possuem valores de C mais altos. – Taludes cujo comprimento possui pequeno impacto no potencial erosivo, geralmente, possuem maior número de partículas resistentes à erosão.
Tipo	– Talude uniforme, côncavo ou convexo.	Taludes côncavos – Geralmente terão um grau mais baixo de erosão do que taludes uniformes com o mesmo gradiente. – O gradiente (capacidade de transporte, potencial de erosão) diminui a partir do topo do talude. Taludes convexos – Geralmente terão um grau mais alto do que taludes uniformes – o gradiente aumenta à medida que se distancia do topo do talude.	A cobertura com biomantas evita a formação de sulcos erosivos e posteriores erosões.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 12 27/11/2006, 14:44

3.4 – Fator Cobertura Vegetal e Recobrimento do Solo

A cobertura vegetal da superfície do terreno varia de acordo com a espécie, a densidade de plantio ou da vegetação, a altura da vegetação, a área foliar e tipologia florestal, e podem afetar diretamente a erodibilidade de um solo.

No caso de culturas agrícolas, desde que cultivadas em curvas de nível, terraços ou mediante outras técnicas que venham conservar o solo, são sempre positivas, uma vez que as culturas, em sua maioria, são plantadas em épocas de maior precipitação, contribuindo, assim, para a proteção do solo e a redução do índice de erodibilidade.

Após a execução de trabalhos de terraplenagem, decapeamento do solo, limpeza de áreas ou desmatamento, o solo se apresenta desnudo, sendo necessária a proteção imediata para evitar a erosão laminar e o carreamento de sedimentos para os cursos d'água.

A cobertura do solo é um fator importante para a proteção do solo e para a atenuação das perdas. O tipo de cobertura determina a proteção do solo. O fator C é determinado em razão do tipo de cobertura e do percentual de recobrimento, como pode ser verificado na Tabela 3. A eficiência da cobertura vegetal inicia-se a partir de 70%.

TABELA 3

Fator LS para diferentes inclinações e comprimento de taludes em locais de grande degradação, em fase de construção (sem uso de proteção do solo)

Inclinação do talude (%)	Comprimento do talude (m)											
	2	5	10	15	25	50	75	100	150	200	250	300
0.2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.5	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12
1	0.07	0.09	0.11	0.14	0.14	0.17	0.19	0.20	0.23	0.24	0.26	0.27
2	0.10	0.14	0.18	0.26	0.26	0.34	0.40	0.44	0.52	0.58	0.64	0.69
3	0.11	0.17	0.24	0.37	0.37	0.52	0.63	0.72	0.87	1.00	1.11	1.22
4	0.13	0.21	0.30	0.49	0.49	0.70	0.87	1.02	1.26	1.47	1.65	1.82
5	0.14	0.24	0.36	0.61	0.61	0.91	1.14	1.35	1.70	2.00	2.28	2.53
6	0.16	0.27	0.42	0.72	0.72	1.10	1.41	1.67	2.14	2.54	2.91	3.25
8	0.19	0.34	0.53	0.96	0.96	1.50	1.96	2.36	3.07	3.70	4.28	4.82
10	0.21	0.40	0.64	1.19	1.19	1.92	2.53	3.08	4.06	4.94	5.75	6.52
12	0.27	0.52	0.85	1.63	1.63	2.66	3.54	4.33	5.77	7.07	8.28	9.42
14	0.32	0.62	1.02	1.98	1.98	3.28	4.40	5.42	/.2/	8.95	10.52	12.01
16	0.36	0./1	1.19	2.34	2.34	3.90	5.26	6.51	8./9	10.8/	12.81	14.66
20	0.45	0.90	1.52	3.05	3.05	5.17	7.03	8.75	11.92	14.84	17.58	20.20
25	0.54	1.11	1.91	3.90	3.90	6.70	9.19	11.50	15.78	19.75	23.51	27.10
30	0.64	1.32	2.29	4.73	4.73	8.20	11.32	14.22	19.62	24.62	29.43	34.02
40	0.81	1.70	2.99	6.29	6.29	11.04	15.35	19.38	26.94	34.03	40.79	47.30
50	0.96	2.04	3.62	7.70	7.70	13.62	19.02	24.11	33.67	42.64	51.29	59.60
60	1.09	2.35	4.17	8.94	8.94	15.92	22.30	28.33	39.70	50.43	60.72	70.66

BOLETIM TÉCNICO.pmd 13 27/11/2006, 14:44

A cobertura do solo, ou recobrimento da superfície, também constitui um fator C. Existem diversas tabelas que apresentam o tipo de recobrimento com a respectiva eficiência e o fator C já determinado para aplicação direta na equação da perda de solo (Tabelas 3 e 4).

TABELA 4

Fator C para diferentes tipos de cobertura do solo e índices de recobrimento vegetal

Tipo de Cobertura do Solo	Fator C (% de Recobrimento)				
	0	25	50	75	100
Sem cobertura/solo desnudo	1,00	–	–	–	–
Culturas agrícolas	–	0,500	0,250	0,100	0,050
Pastagem e ervas-daninhas	–	0,450	0,200	0,090	0,010
Arbustos	–	0,400	0,180	0,090	0,005
Árvores/reflorestamento	–	0,350	0,150	0,0080	0,003
Floresta densa	–	0,280	0,100	0,050	0,001

WALKER, 2004

TABELA 5

Tipos de recobrimento do solo e respectivos valores do fator C para áreas impactadas e degradadas

Tipo	Eficiência (%)	Fator C
Sem recobrimento do solo	0	1,00
Hidrossemeadura à base de 3t/ha de mulching	15	0,85
Hidrossemeadura à base de 6t/ha	30	0,70
Grama em placas estaqueadas	45	0,55
Strawmulch à base de 5t/ha	60	0,40
Biomantas anterosivas de palha	70	0,30
Biomantas anterosivas de fibra de coco	85	0,15
Biomantas anterosivas tridimencionais	95	0,05

PEREIRA, 1999

Embora a cobertura vegetal seja um grande fator de proteção do solo, não significa que grande percentual de cobertura vegetal tenha total eficiência na proteção do solo. Isso porque pode ocorrer que, embora o recobrimento vegetal seja de 100%, o solo esteja desprotegido, sem serapilheira, e neste caso haverá desprendimento e carreamento de sedimentos, ocorrendo perda de solo. Isso mostra que a boa performance de todos os fatores é essencial na proteção do solo. No Quadro 4 são apresentadas as variáveis que afetam o fator C.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 14 27/11/2006, 14:44

QUADRO 4

Variáveis que afetam o fator C

Variável	Descrição e função	Efeito da erosão	Implicações para o manejo
Produção agrícola	– Folhas e galhos da vegetação na cobertura acima da superfície intercep-tam as gotas de chuva antes que atinjam o solo. – Algumas das gotas com forças erosivas são dissipadas. – A infiltração é facilitada.	– As gotas de chuva que caem da cobertura vegetal não possuem a mesma força erosiva das gotas de chuva não interceptadas. – Quanto maior a extensão da cobertura, melhor a proteção contra a erosão. – A efetividade muda de acordo com a estação (ex: melhor proteção com maior cobertura vegetal; pior proteção com a remoção dela). – A perda da cobertura terá impacto sobre outras variáveis (ex: a queda de folhas aumenta os resíduos de cobertura de superfície).	– A força erosiva da chuva é reduzida com a presença de cobertura que tenha uma área mais alta, especialmente durante os períodos de picos de chuva (ex: primavera, início do verão).
Cobertura de superfície	-Inclui: resíduos de produções presentes anteriormente e atuais, vegetação presente, fragmentos de rochas, criptogramas (musgo, liquens, etc.) na superfície do solo. Interceptação das gotas ao nível do chão. – *Encourages pond* tanque.	– Quanto mais alto a proporção da área de superfície coberta por resíduos, maior o controle de erosão. – Redução da capacidade de desagregação, escoamento e transporte. – A efetividade diminui à medida que os resíduos se decompõem (em razão da chuva e da temperatura do ar). – Resíduos incorporados por quebra de recobrimento mais rápidos que os mesmos na superfície.	– Sistema de recobrimento correto (ex: redução, *mulch*, sulco, zona) leva o sistema de cobertura da superfície do solo a ajudar no controle de erosão. – Recobrimento cauda impacto (em razão do uso implementado, velocidade, textura do solo durante as condições de operação).
Biomassa presente no solo	– Inclui toda matéria vegetal do solo (ex: raízes vivas e mortas, resíduos queimados e cobertura). – A água flui mais facilmente no solo, seguindo por canais, macroporos criados pelas raízes, resíduos, talos, etc. – Porosidade, infiltração no solo; a superfície é aumentada. – Resíduos ajudam a aumentar capacidade de reter a água da sub-superfície e a da superfície.	– O aumento de biomassa geralmente indica melhor resistência à erosão. – Escoamento, diminuição da capacidade de transporte. – Facilita a infiltração. – Mantém a umidade do solo, facilitando o desenvolvimento dos vegetais. – A biomassa superficial é benéfica na proteção contra erosões.	– A produção agrícola redistribui a biomassa através de aragem e mata as raízes existentes. – As praticas agrícolas muito profundas são agressivas e freqüentes, além de enterrar os resíduos suficientemente para anular os benefícios do controle da erosão.
Lavoura – Recobrimento do solo	– O tipo, o tempo e a freqüência de operações de recobrimento primária e secundária afetam as propriedades físicas do solo, como: porosidade (natureza, extensão dos espaços dos poros afetados pelo recobrimento), rugosidade, estrutura, compactação, microfotografia a macro e micro fauna do solo.	– Efeitos das propriedades físicas do solo: infiltração, superfície de estocagem da água, velocidade de escoamento e desagregação de partículas. – Rugosidades de superfícies promovem melhor infiltração. – Boa estrutura do solo (ex: de fina a média, forte, blocos agregados granulares a subgranulares) facilitam a infiltração e são mais estáveis à água. – Matéria orgânica liga as partículas do solo para se agregarem (aumento do número recobrimento diminui o tamanho de agregados – ex: perda de matéria orgânica acontece pelo aumento da mineralização). – Recobrimento excessivo, especialmente em condições úmidas, pode compactar o solo e diminuir a porosidade, infiltração.	– Práticas bem programadas, que mantêm a boa estrutura do solo, minimizam a compactação e encrostamento da superfície, retêm resíduos e matéria orgânica, conduzem a germinação de cobertura e sua emergência (que por sua vez proporciona melhor proteção contra erosão). – O decréscimo do nível de resíduo com sistemas de recobrimento mais agressivos aumenta o número de passes.
Rugosidade da superfície	– Microfotografia de superfície. – Poços de água nas depressões, dando tempo para a superfície infiltrar a água. – Escoamento é mais lento e *trapped*, reduzindo seu potencial erosivo. – Indicador indireto de torrão de terra, potencial para a vedação da superfície.	– Na erodibilidade das gotas de chuva, o escoamento é reduzido. – A rugosidade (e a efetividade) é reduzida à medida que o solo passa por processos de recobrimento; as depressões são preenchidas por sedimentos. – A taxa de rugosidade diminui em razão da quantidade anual de chuva após as operações de recobrimento.	– O recobrimento produz o aumento de rugosidade em solos finos, menor rugosidade em solos coesos e com textura mais grossa. – O *oughness* aumenta à medida que aumenta a biomassa.
Prioridade do uso da terra	– Os efeitos residuais dos principais sistemas de uso da terra incluem: quantidade de solo consolidado, biomassa, atividades biológicas, qualidade do solo.	– Os efeitos benéficos de sistemas de manejo em que o solo permanece inalterado por, pelo menos, um ano (ex: forragem, pastagem natural, florestas), mesmo após uma mudança do uso da terra, são benéficos.	– Solos com altas adições de matéria orgânica e distúrbios mínimos terão propriedades físicas que facilitam a infiltração, a estocagem de superfície e minimizam o escoamento superficial.
Distribuição de chuvas com capacidade erosiva através das estações	– O potencial de erosão do solo varia geograficamente, dependendo da distribuição de chuvas através da estação de crescimento e do resto do ano. – A melhor proteção contra erosão (cobertura vegetal) em algumas partes do ano, quando a proporção de chuvas é mais alta, pode reduzir a erosão do solo.	– Geralmente, chuvas com maior potencial erosivo (maior energia e/ou intensidade) caem durante o verão. O escoamento superficial pode ser alto na primavera. Uma boa cobertura de superfície nessa época reduz a erosão. Reciprocamente, se há cobertura do dossel e o gerenciamento de resíduos é mínimo em épocas de chuvas intensas e longas, o fator C pode aumentar e a proporção de erosão pode cair.	– O sistema de manejo que reconhece e direciona os períodos de picos erosivos facilita a redução de erosão.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 15 27/11/2006, 14:44

3.5 – Fator de Manejo de Culturas e Conservação do Solo

Esse fator é também denominado de práticas de manejo e conservação do solo. Pesquisadores têm considerado que muitas variáveis independentes de práticas de cultivo e proteção do solo, portanto, já estão incluídas no fator P às práticas normais e essenciais nos cultivos agrícolas, como rotação de culturas, preparo do solo, fertilizações, sendo considerados trabalhos obrigatórios.

O fator P, que é o de práticas de manejo e conservação do solo, varia segundo a inclinação, os níveis de proteção e as práticas de manejo.

Para áreas agrícolas, como no caso de cultivos em terraços, cultivo em nível ou cultivo em faixas, o fator P varia também em razão da inclinação, como pode ser verificado na Tabela 6.

Para calcular a perda de solo em terrenos com cultivo em terraços, deve-se utilizar o valor de P correspondente ao cultivo em curvas de nível, com o valor de L correspondente ao intervalo entre terraços ou curvas de nível.

TABELA 6

Fator P de práticas de cultivo

Inclinação (%)	Tipo de cultivo		
	Nível	Faixas	Terraços
2	0,60	0,30	0,12
5	0,50	0,25	0,10
10	0,60	0,30	0,12
15	0,70	0,35	0,14
20	0,80	0,40	0,16
30	0,90	0,45	0,18

DIAZ, 2001

No Quadro 5 são apresentadas as variáveis que afetam o fator P.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 16 27/11/2006, 14:44

QUADRO 5

Variáveis que afetam o fator P

Variável (prática)	Descrição e função	Efeito da erosão	Implicações para o manejo
Corte de talude para agricultura (extensão de P: 0.75 – 1.0)	**Descrição** – Cultivo, plantio feito ao longo do talude. **Função** – Lavoura, faixas de produção agrícola apresentam estrias que agem como pequenos danos através do talude. – Estrias redirecionam o escoamento superficial, modificam o fluxo-padrão, reduzindo a capacidade erosiva do escoamento superficial.	Redução da erosão até 25% – Proteção quase total contra chuvas com moderada intensidade. – Pouca ou quase nenhuma proteção contra chuvas severas (escoamento superficial intenso). – Efetividade influenciada pelo comprimento do talude, propriedades do solo, manejo da produção, tipos de lavouras, quedas d' água, derretimento da neve. – São requeridos canais estáveis para transportar o excesso do escoamento de áreas de depressão do talude sem causar sulcos ou ravinas. – Faixas de gramíneas, como Vetiver, são efetivas na redução ou até mesmo na prevenção de sedimentos no canal de drenagem. – Canais difusos ou aumento do fluxo de água, que reduzem a velocidade de escoamento, diminuem sua capacidade erosiva e permite a deposição de sedimento com faixas.	– Lavouras na parte de cima e de baixo do talude promovem o escoamento superficial, desenvolvendo erosões, sulcos ou ravinas. – Lavouras opostas taludes geram barreiras no escoamento, aumentam a infiltração, diminuem o escoamento e a erosão. – Solos com superfícies rugosas proporcionam melhor proteção que superfícies macias (a perda do solo decresce à medida que a elevação aumenta). – Troncos de árvores crescidos próximos (forragens, sementes) atuam como estrias. Exemplo de pesos de estrias: Alto: deixado por arado, lavoura. Baixo: deixado após sulcos de sementes.
Perfil da agricultura (extensão de P: 0.50 – 0.90)	**Descrição** – Cultivo: o plantio é feito seguindo as curvas topográficas do talude **Função** – As estrias criadas ao longo das curvas de nível possuem gradiente zero. – Fluxo d' água uniforme nas estrias ao longo do talude inteiro.	Redução da erosão de 10% a 50% – Proteção quase total de chuvas de baixa a moderada intensidade, maior efetividade do que em taludes de corte para agricultura. – Pouca ou nenhuma proteção contra chuvas severas. – Maior efetividade em taludes de 3% a 8%. – Maior efetividade em ridges > 15 cm. – Se as ridges não forem rasas, a água vai escoar ao longo dela para o ponto mais baixo, podendo criar sulcos ou ravinas nesses pontos. – Requer canais estáveis (biomantas permanentes) em taludes maiores que 8%. – Combinação das práticas requeridas de P, ou mudanças nas práticas de C.	
Faixa de produção (extensão de P: 0.25 – 0.90)	**Descrição** – A produção agrícola se desenvolve em arranjos em faixas ou linhas (através do talude ou no contorno). – Faixas alternadas de vegetação rasteira (grama ou forração) com faixas de produção agrícola também através do talude ou em seu contorno. – A rotação de culturas entre as faixas em ordem sistemática, gramíneas ou leguminosas cobrem uma porção do talude todo o ano. **Função** – Difusão e redução do escoamento superficial, aumento da infiltração nas faixas vegetadas. – Erosão do solo pelas faixas de produção agrícola anuais filtradas em alguns metros das faixas de grama do pé do talude.	Redução de erosão de 10% a 75% – Redução de erosão nas faixas vegetadas com gramíneas ou leguminosas. – A deposição ocorre em um ponto mais alto que a crisa da faixa de grama (a infiltração aumenta e a capacidade de transporte diminui). – Mais efetivo do que somente o contorno. – O fator de faixas de proteção considera a movimentação do solo tirado do campo, mas não todo o movimento e toda a redistribuição.	– Faixas de mais alto retorno econômico ou produção de cereal em combinação com gramíneas ou leguminosas resistentes à erosão podem limitar a movimentação do solo. – A largura das faixas depende aa inclinação e do comprimento do talude, da capacidade de infiltração e de outras propriedades do solo, do manejo da produção e das características da precipitação local. – Taludes com maior inclinação e mais compridos devem incorporar faixas mais amplas com forração com faixas mais estreitas de produção.
Terraceamento	**Descrição** – Leiras largas no solo construídas através do talude com intervalos regulares. **Função** – Dividir talude em porções mais curtas. – Quebra de descida d' água, coletores, conversor a velocidades não erosivas. – Barreira de sedimentos, depositados no campo ou nas barreiras.	Redução da erosão de 10% a 90% – Redução da erosão laminar e sulcos erosivos nas bermas. – Gera deposição nas bermas se o gradiente for menor que 1%. – Perdas de solo em níveis uniformes variam exponencialmente com a inclinação (a perda de solo aumenta com o aumento do grau). – O fator P considera os benefícios da deposição localizada (próximo à origem) e a quantidade de solo depositado.	– Relativamente caro, mudanças permanentes na microfotagrafia do talude.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 17 27/11/2006, 14:44

De posse de todos os fatores, basta proceder aos cálculos. A partir daí, determina-se qual a prática que deverá ser adotada para atenuar a perda de solo.

A seguir apresentamos um exercício para demonstração.

EXERCÍCIO

A Universidade FUMEC deseja saber qual será a estimativa de perda de solo durante o primeiro ano de construção das novas instalações em Nova Lima, MG, de acordo com as seguintes informações:

- área total a ser trabalhada: 3,00 ha = 30.000 m²;
- o solo não será protegido durante a construção, portanto, estará desnudo e sujeito a degradação;
- o solo exposto será horizonte B, de textura arenosiltosa (65% de silte e areia fina e 5% de areia), tendo o teor de matéria orgânica de 2,8%;
- a estrutura do solo é granular fina (Ø1-2 mm) e de permeabilidade moderadamente lenta;
- a precipitação é de 1.500 mm/ano, considerando que nos últimos dois anos ocorreu uma chuva de 100 mm/30 horas;
- a inclinação média do talude/encosta é de 30% e o comprimento é de 200 m.

SOLUÇÃO

Para calcular a perda total de solo, usaremos a equação universal da perda de solo:

$$\mathbf{A = R \times K \times LS \times C \times P}$$

Para isso, é preciso determinar todos os fatores:

1 Determinação do Fator R:

É calculado pela fórmula: $R = 0{,}417.p^{2,17}$;

Dados: 100 mm/30h, logo em 6 horas = 20 mm, que é o valor de P.

Então:

$R = 0{,}417.20^{2,17} =$ **R = 277,57**

2 Determinação do Fator K:

Pode ser determinado por tabelas ou calculado por meio da fórmula.

Pela Figura 3, K = 0,400

BOLETIM TÉCNICO.pmd 18 27/11/2006, 14:44

Pela fórmula:

$$100K = 10^{-4} \times 2{,}7M^{1{,}14} \times (12\text{-}a)\% + 4{,}20(b\text{-}2)\% + 3{,}23(c\text{-}3)\% =$$

$$100K = 10^{-4} \times 2{,}7(4.550^{1{,}14}) \times (9{,}20 + 0{,}00 + 3{,}23) = 0{,}497$$

3 Determinação do Fator LS:

Pode ser determinado por tabela ou calculado por fórmula:

– pela Tabela 1, LS = 24,65

– pela fórmula,

$$L = (l/22{,}1)^{m} = (200/22{,}1)^{0{,}5} = 3{,}00$$

$$S = (0{,}43 + 0{,}35s + 0{,}043s^{2})/6{,}613 = 7{,}50$$

Logo:

$$L \times S = 3{,}00 \times 7{,}50 = \ LS = 22{,}51$$

4 Determinação do Fator C:

Determinado pela Tabela 5, mas neste caso ocorre o Fator C = 1,00, pois o solo é desnudo (sem recobrimento vegetal).

5 Determinação do Fator P:

Determinado pela Tabela 6, mas neste caso ocorre o Fator P = 1,00, pois o solo não é protegido por nenhuma prática de proteção do solo.

Como todos os fatores foram determinados, agora podemos entrar na equação de perda de solo:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P =$$

$$A = 277{,}57 \times 0{,}40 \times 22{,}51 \times 1{,}00 \times 1{,}00 = 2.499t.ha^{-1}.ano^{-1} =$$

$$A = 2.499t.ha^{-1}.ano^{-1} \times 3\ ha = 7.497t.ano^{-1}$$

$A = 7.497t.ano^{-1}$ ou $2.499t.ha^{-1}.ano^{-1}$, valor muito alto, necessitando de práticas de proteção do solo urgentemente.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 19 27/11/2006, 14:44

4 – BIBLIOGRAFIA

DIAZ, J. S. *Control de erosion em zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, 2001. 555 p.

PEREIRA, A. R. Determinação de perda de solo. *In*: SIMPÓSIO DE EROSÃO, *Anais...* Belo Horizonte: Sociedade Mineira de Engenheiros (SME), 1999. 27 p.

SMITH, D. D. Soil erosion prediction. *In*: SOIL conservation manual. USDA, 1958. 65 p.

SMITH, D. D.; WISCHMEIER, W. H. *Predicting manual rainfall erosion losses*. US Department of Agriculture. Handbook 252, 1958. 72 p.

WALKER, D. *Professional development course training manual*. Philadelphia, Pennsylvania: International Erosion Control Association (IECA), 2004. 78 p.

WALL, G. J. Seazonal soil erodibility variation in southwestern Ontário. *Can. J. Soil Sci,* v. 68, p. 417-424, 1997.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. *A Guide to Conservation Planning*, US Department of Agriculture, Handbook, n. 537, 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W. H. Soil nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil and Water Cons.*, n. 26, p. 189-193, 1982.

BOLETIM TÉCNICO.pmd 20 27/11/2006, 14:44

deflor
Bioengenharia

Rua Major Lopes, 852 - São Pedro - 30.330-050 - Belo Horizonte, MG - Brasil
Tel.: 55 (31) 3284-5688 FAX: 55 (31) 3284-5688 E-MAIL: deflor@deflor.com.br