



Área: 4) TRN - Tecnologias para Proteção dos Recursos Naturais

Estimativas de perdas de solo para sub-bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro

Thomaz Correa e Castro da Costa
Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG 424, km 45
CEP. 35701-970, Sete Lagoas, MG
Tel: 31-37791049
Email: thomaz@cnpms.embrapa.br

José Francisco Lumbreras
Email: jflum@cnps.embrapa.br
Maria José Zaroni
Email: zaroni@cnps.embrapa.br
Uebi Jorge Naime
Email: uebi@cnps.embrapa.br
Embrapa Solos
R. Jardim Botânico, 1.024
CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ
Tel: 21-22744999

Saulo Pedrinha Guimarães
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Departamento de Geologia
Email: saulopg@superig.com.br

Mariella Camargo Uzeda
Instituto Bioatlântica
R. Goethe, 54, Botafogo
CEP: 22281-020 Rio de Janeiro, RJ
Tel: 21-25353940
Email: mariella@bioatlantica.org.br

Resumo: O Estado do Rio de Janeiro apresenta uma diversidade de ambientes, baixadas litorâneas, Serras, Mar de Morros, e grandes vales, onde é possível encontrar usos da terra que variam da agricultura em larga escala (cana de açúcar), pecuária extensiva, pequenos pólos agrícolas, até grandes fragmentos conservados da mata atlântica. Para obter um diagnóstico da vulnerabilidade do ambiente que considere as características ambientais do terreno associadas a outros fatores ambientais e ao uso da terra, escolheu-se a Equação Universal de Perda de Solo. Este é um modelo usual para estimativa de erosão laminar, indicadora de vulnerabilidade do terreno, e que foi aplicada para todo o Estado do Rio de Janeiro. Para um melhor enfoque territorial relacionado à conservação ambiental as estimativas foram sumarizadas por sub-bacias hidrográficas. Verificou-se que 64% das terras apresentam perdas muito baixas, com valores inferiores a 10 ton/ha.ano; e aproximadamente 2% apresentam perdas extremamente elevadas, acima de 200 ton/ha.ano, e cerca de 21% das sub-bacias hidrográficas apresentam perdas médias muito baixas, com valores menores que 10 ton/ha.ano, e menos de 1% apresentam perdas muito altas, entre 100 e 131 ton/ha.ano.

Palavras-chave: EUPS, erosividade, erodibilidade, LS

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo é um processo natural que possui um grande poder de remoção, transporte e deposição de sedimentos. É potencializada pelos impactos antropogênicos, resultando no empobrecimento do solo e originando terras improdutivas, que, em muitos casos, são de difícil recuperação, além de conseqüências negativas aos recursos hídricos.

Os fatores que influenciam os processos erosivos são: a erosividade, medida pela intensidade e energia cinética da chuva; a erodibilidade, determinada pelas características físicas, químicas e morfológicas do solo; a cobertura vegetal, pela sua maior ou menor proteção do solo; os declives e comprimentos das encostas, as práticas de conservação e o manejo do solo (Alvares & Pimenta, 1998).

Com a identificação destes fatores, estimativas de perdas do solo por erosão laminar podem ser obtidas por uma equação empírica, desenvolvida com base em experimentação de campo por pesquisadores do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), denominada "Equação Universal de Perda de Solo" - EUPS ou Universal Soil Loss Equation - USLE (Wischmeier & Smith, 1978).

A EUPS foi desenvolvida para estimar a produção anual de sedimentos por meio dos parâmetros naturais de clima, de solo, de relevo e de uso e manejo. Porém, ela foi desenvolvida para pequenos talhões compatíveis com o uso agrícola resultando na quantificação da perda de solos por erosão laminar nessas áreas.

Os resultados desta equação possibilitam o planejamento de uma ação antrópica conservacionista considerando níveis de tolerância de perdas de solos, e promovendo, desta maneira, a sustentabilidade das áreas produtivas.

A aplicação da EUPS em escala regional pressupõe algumas imprecisões, pois foi calibrada por uma grande quantidade de dados, mas obtidos em experimentos de campo controlados, desconsiderando contribuições a montante. Desta forma, ocorrem processos de erosão ao longo de uma vertente como deslocamentos e acumulação de sedimentos, que não são modelados pela equação. A quantificação das perdas de solo por erosão laminar acaba por ser mais propensa a ser interpretada como uma avaliação qualitativa dessas perdas (Stein et al., 1987).

Estimativas da EUPS em larga escala são possíveis com técnicas de geoprocessamento, e aplicadas no gerenciamento das ações mitigadoras do processo erosivo. Segundo Chaves (1996), a EUPS tem sido empregada para expressar a descarga de sedimentos produzida em bacias.

Assim este trabalho se propôs a estimar perdas de solo em uma escala regional, para o Estado do Rio de Janeiro. As estimativas de perda de solo foram sumarizadas por sub-bacias hidrográficas, com a finalidade de compará-las entre si.

MATERIAL E MÉTODOS

A base de informação (fatores R, K, L-S e C) para aplicar a EUPS no Estado do Rio de Janeiro foi obtida por dados secundários (Tab. 1).

Tabela 1. Dados de entrada da Equação Universal de Perda de solo.

Fator	Origem	Observações
R - erosividade anual	18 estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e 59 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), referentes ao período de 1973 a 2000 (Agência..., 2003; Alfonsi et al. 2003).	77 Estações Pluviométricas reduzidas para 75 estações devido a duplicidade de localização em duas estações.
K - erodibilidade	Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro (Carvalho Filho et al. 2003a; 2003b).	Escala 1:250.000, composta por 161 unidades de mapeamento de solo.
L - Comprimento de rampa S - Classe de declividade	DEM/SRTM (NASA, 2005)	Resolução 90x90m, compatível com a escala 1:100.000 e curvas de nível espaçadas de 40 metros
C - uso e cobertura do solo	Mapa de Uso e Cobertura da solo (Fundação..., 2000).	Escala 1:250.000, integrada por 27 classes.

Erosividade da Chuva (fator R)

Para estimar o fator R, foi aplicada a equação 1 recomendada por Lombardi para as condições do Estado do Rio de Janeiro, usada no município fluminense de Paty do Alferes por Carvalho Júnior (1985). Foram utilizados os dados médios de precipitação mensal e anual da série histórica de 1973 a 2000, oriundas de 18 estações pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia e 59 estações pluviométricas da Agência... (2003), organizadas em Afonsi et al. (2003).

$$R_m = EI_{30} = 89,823 \times (r/P)^{0,759} \quad (\text{equação 1})$$

Onde

$R_m = EI_{30}$ = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/ha.h;

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm,

Para se obter a erosividade (fator R), soma-se a erosividade calculada por mês (R_m). Com a totalização do fator R por estação, foi gerada uma interpolação por *kriging* ordinário para obter sua espacialização, no software GSTAT (Pebesma, 1998) incorporado pelo software IDRISI Kilimanjaro (Eastman, 2003).

Erodibilidade do Solo (fator K)

A definição do fator K para as 161 unidades de mapeamento de solo para o Estado do Rio de Janeiro, sendo 458 classes distribuídas em 4 níveis categóricos, foi realizada por meio de levantamento bibliográfico de valores de K para classes ocorrentes ou similares às presentes no Estado do Rio de Janeiro (Bertoni & Lombardi Neto 1985; Galdino, 2003; Longhi e Meneses, 2005; Moreira Sá, 2004; Pimenta 2005a; Silva, 2004; Vasquez-Fernandez, 1996). Estes valores foram sistematizados e *outliers* foram eliminados. A etapa seguinte foi o enquadramento em graus de erodibilidade das classes de solo, com sua posterior conversão para valores de K padronizados. Este procedimento utilizou a tabela 2.

Tabela 2. Graus de Limitação devidos à erodibilidade.

Graus de Limitação	Fator K: erodibilidade (ton.h/MJ.mm)
0: nulo	≤ 0.010
1: ligeiro	$0.010 \leq K < 0.020$
2: moderado	$0.020 \leq K < 0.030$
3: forte	$0.030 \leq K < 0.040$
4: muito forte	$K \geq 0.040$

Fonte: Adaptado de Giboshi (1999).

Como exemplo, foram pesquisados os valores de $K = 0.008, 0.028$ e 0.033 para a classe Argissolo Vermelho Eutrófico. O valor 0.008 foi eliminado e a classe obteve o grau moderado a forte, recebendo o K padronizado de 0.030 .

A próxima etapa correspondeu ao cálculo do fator K para as 161 unidades de mapeamento de solo, considerando as diferentes proporções de ocorrência das classes. No mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro, as classes de solos são agrupadas em unidades de mapeamento pedológico, identificadas até o 4º nível categórico, ou seja, para cada unidade podem existir até quatro classes de solos, de forma que as proporções de ocorrência destas classes estão discriminadas no mapeamento pedológico.

Assim, em cada unidade de mapeamento, executa-se uma ponderação entre os fatores K de cada classe de solo por sua proporção na unidade, obtendo-se a média ponderada para cada unidade de mapeamento. (Tab. 3).

Tabela 3. Média ponderada de K para a unidade de mapeamento PAX3.

Unidade	Classes de solo	Proporção (%)	Fator K
PAX3	Argissolo Amarelo coeso	40	0.030
	Argissolo Amarelo distrófico	30	0.025
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	30	0.025
	Total	100	0.027

Topografia - Comprimento de Rampa e Declividade (fatores L e S)

Os fatores L e S foram obtidos internamente pelo módulo RUSLE do Idrisi Kilimanjaro (Eastman, 2003), utilizando o DEM/SRTM corrigido para o Estado do Rio de Janeiro (Costa et al., 2005). O valor do comprimento de rampa (L), é dado pela equação 2:

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (\text{equação 2})$$

Sendo 22.13 , o comprimento da parcela experimental em metros (Wishmeier & Smith, 1978); e

λ = projeção horizontal do comprimento de rampa; e

m = variável comprimento-declividade, definido pela equação 3 (Renard et al., 1997):

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (\text{equação 3})$$

Onde β é a razão da erosão em sulcos, ou pequenos canais, causada pelo fluxo da água, pela erosão na região entre sulcos, causada principalmente pelo impacto da chuva. Em solos onde a susceptibilidade a erosão em sulcos e entre sulcos é moderada, β é dado pela equação 4 (McCool et al., 1989, citado por Eastman, 2003):

$$\beta = (\text{sen } \theta / 0.0896) / [3 \times (\text{sen } \theta) 0.8 + 0.56] \quad (\text{equação 4})$$

sendo θ a declividade.

Um fator de ajuste para β é aplicado conforme limiares estabelecidos para o fator C, do uso e cobertura do solo: (I) se o solo for exposto ($C=1$), β será multiplicado por 2; (II) se a cobertura no solo for do tipo (C) ≤ 0.004 , β será dividido por 2.

O cálculo do fator S (steepness, classes de declive, ou declividade máxima na direção da rampa), é dado pelas equações 5 ou 6 (McCool et al., 1987, citado por Eastman, 2003) conforme o limiar de declividade:

$$S = 10.8 \times \text{sen } \theta + 0.03 \text{ para } \theta < 9\% \quad (\text{equação 5})$$

$$S = 16.8 \times \text{sen } \theta - 0.50 \text{ para } \theta \geq 9\% \quad (\text{equação 6})$$

Uso e Manejo (fator C)

O fator C para cada classe de uso da terra foi definido por meio de pesquisa bibliográfica (Bertoni & Lombardi Neto, 1985; Brito, 1998; Paranhas Filho et al., 2003; Bueno, 2004; Santos et al., 2005; Galdino, 2003; Moreira Sá, 2004; Pimenta, 2005b), considerando valores médios de classes similares ou iguais às ocorrentes no Estado do Rio de Janeiro, especializadas no Mapa de Uso e Cobertura do Solo (Fundação..., 2000).

Práticas Conservacionistas (fator P)

O fator P foi uniformemente definido como 1 (valor máximo do parâmetro), que indica a não existência de práticas conservacionistas, ou seja, a condição mais crítica no processo de erosão.

Procedimentos Cartográficos

Os mapas de Erosividade da chuva (fator R), Erodibilidade do solo (fator K), Uso e Manejo (fator C) e o topográfico (fatores L e S) foram convertidos do Sistema Lat/Long para o Sistema UTM, zonas 23 e 24, para o cálculo de perda de solo por área.

Devido ao limite de geração de 32.000 polígonos (áreas homogêneas de L e S) no processamento a partir do DEM/SRTM, os dados do Estado do Rio de Janeiro com as dimensões originais de 6001 colunas x 4801 linhas foram subdivididos em partes de 200 colunas x 150 linhas, resultando em 960 compartimentos indexados pela coluna e linha iniciais, procedimento este realizado por zona utm. Este procedimento foi realizado com o auxílio de macros.

Para cada parte foi executado o cálculo de perda de solo no módulo RUSLE. Os parâmetros definidos foram: intervalos para declividade de 8%, e para aspecto de 45⁰, menor comprimento de rampa 122 metros, e menor área homogênea de 8.100 m² (área do pixel). O mosaico das partes calculadas, que recompôs a perda de solo para todo o Estado do Rio, foi pós processado por filtro de moda, janela 5x5, para eliminar bordas de largura de 1 pixel entre partes no mosaico e as zonas 23 e 24 UTM.

Para o cálculo de perda de solo média por sub-bacia, os resultados de perda de solo (ton/há/ano) foram truncados em 700 ton/há/ano, valor máximo considerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade da chuva (fator R) é uma informação que possui certas restrições devido à complexidade climática do Estado e quantidade de estações, além do que a malha de estações pluviométricas não apresenta distribuição representativa de todos os ambientes climáticos.

O fator R (EI_Anual), calculado para as estações pluviométricas utilizando a equação aplicada em Paty de Alferes (Carvalho Júnior, 1985), foi comparado com a precipitação anual (Fig. 1), verificando-se a esperada correlação entre erosividade e pluviosidade (Silva & Dias, 2003).

A variação de erosividade entre as estações pluviométricas ficou entre 4008 e 11.655 MJ.mm/ha.h.ano, concentrando-se os maiores valores acima de 10.000 MJ.mm/ha.h.ano, nas Serras do Mar e da Mantiqueira, e os menores valores no litoral norte Fluminense, Região dos Lagos e na parte leste da Baía de Sepetiba.

Uma verificação importante é a variação anual da erosividade para um local específico. Foram verificadas variações anuais de erosividade entre 4.831 e 10.283 MJ.mm/ha.h.ano no período de 1982 a 2000 para Fortaleza (CE) (Silva e Dias, 2003), e variações de 3.510 a 10.989 MJ.mm/ha.h.ano, no período de 1978 a 2001, para o Município de Pedrinha Paulista (SP) (Moreti et al., 2003). Desta forma verifica-se que o cálculo da erosividade média para um determinado período com base nos valores de precipitação da série histórica desconsidera a dispersão.

Cabe destacar também a presença de períodos secos marcantes que ocorrem em algumas áreas vizinhas ao litoral, nas regiões do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, Noroeste e Norte fluminense, verificando-se em muitos locais 4 a 6 meses com precipitações pluviométricas mensais inferiores a 60 mm. Esta estacionalidade pluviométrica resulta em maior exposição do solo, em geral utilizado com pastagens mal manejadas, por vezes submetidas a queimadas, e refletem em condições mais favoráveis aos processos erosivos por ocasião do início do período de chuvas.

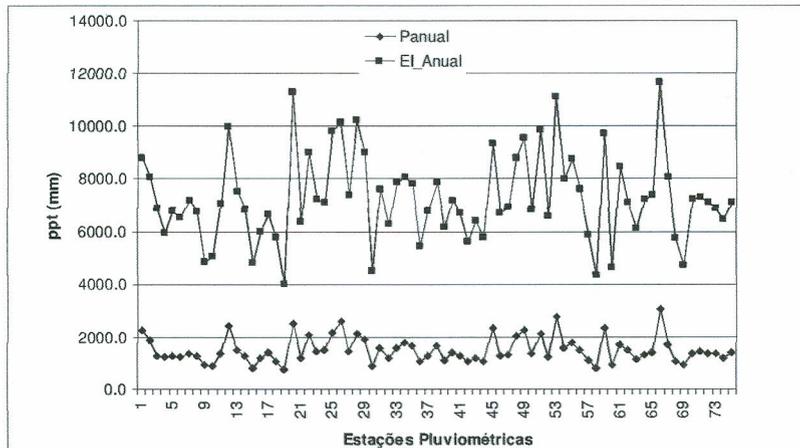


Figura 1. Médias anuais de precipitação e índice de erosividade - EI, para 75 estações Meteorológicas do Estado do Rio de Janeiro para o período de 1973 a 2000 (Agência..., 2003).

Na figura 2 é apresentado o fator R interpolado para o Estado do Rio de Janeiro. Os círculos representam a erosividade calculada por estação pluviométrica.

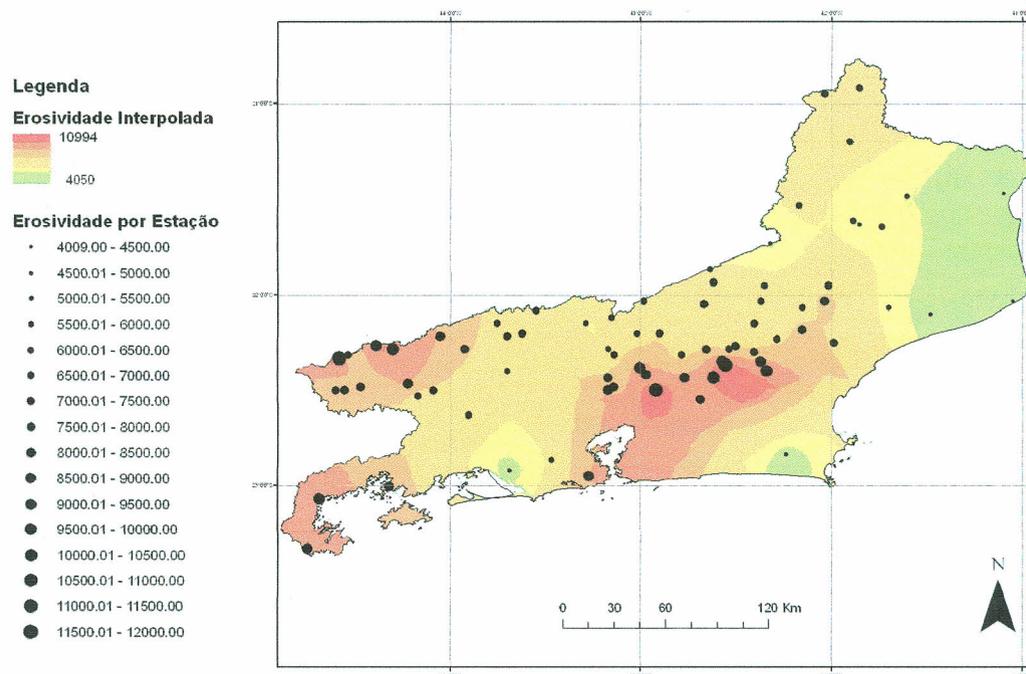


Figura 2. Índice de erosividade anual (EI) em MJ.mm/ha.h.ano, para o Estado do Rio de Janeiro (valores por estação pluviométrica e interpolados).

Com relação a erodibilidade do solo, o Estado do Rio de Janeiro apresenta grande variedade de classes taxonômicas, assim como presença de solos de elevada erodibilidade (Carvalho Filho et al., 2003a, 2003b; Lumbreras, 2003). Na figura 3 é apresentado o mapa de solos do Estado do Rio (Carvalho Filho et al., 2003a; 2003b), e o respectivo fator K na figura 4.

Os solos considerados de acentuada erodibilidade e de maior expressão geográfica são:

- Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos, com presença marcante nas regiões serranas (Serra dos Órgãos, da Bocaina e da Mantiqueira) e morros e colinas dissecadas situados na parte oriental da Região do Lagos;
- Planossolos Háplicos e Planossolos Hidromórficos, predominantemente localizados nas planícies litorâneas, entre Itaguaí e Armação dos Búzios;
- Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, de grande ocorrência no Estado, e frequentes nas regiões do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, Região Noroeste e parte ocidental do Norte Fluminense; e
- os terrenos de Dunas, situados na faixa litorânea e de pouca expressão em área.

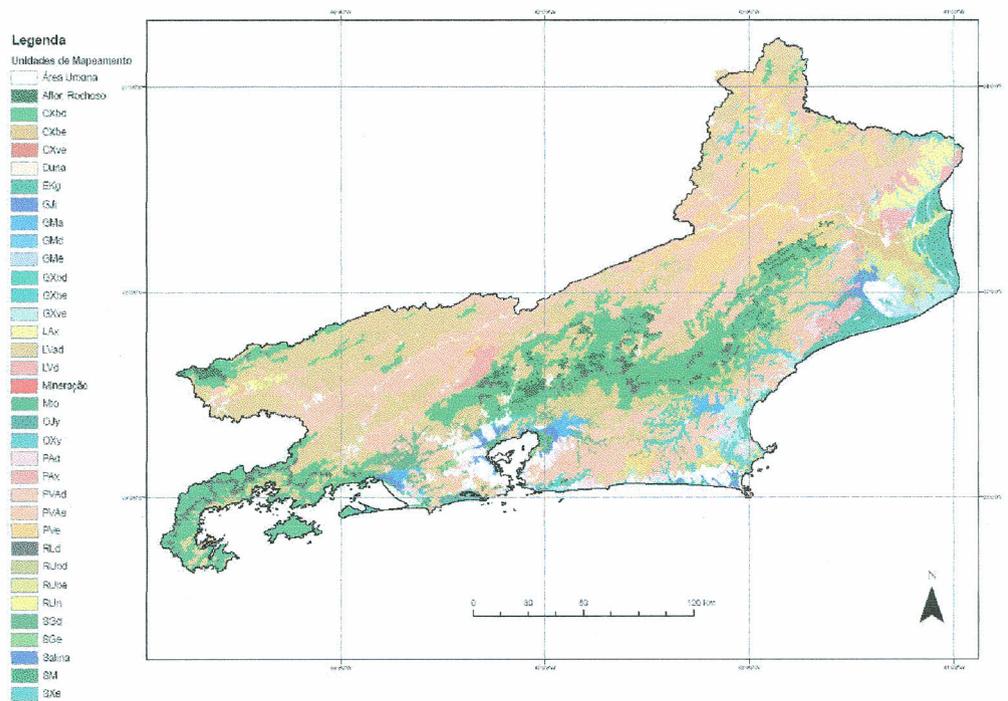


Figura 3. Unidades de mapeamento de solo para o Estado do Rio de Janeiro (Carvalho Filho et al., 2003a; 2003b).

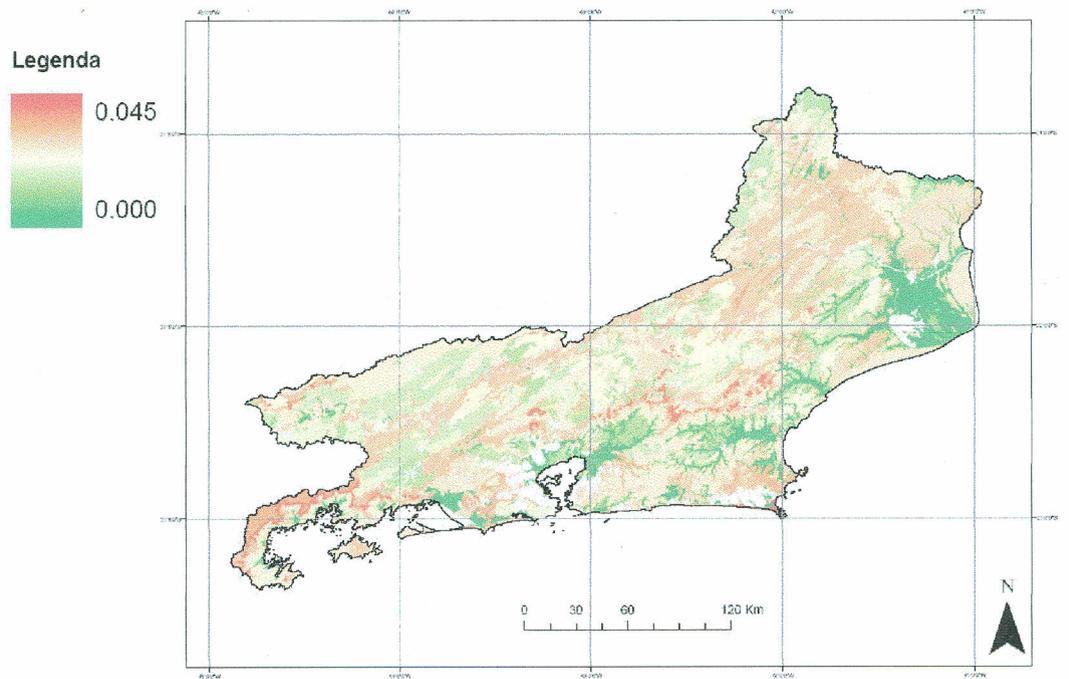


Figura 4. Fator K - erodibilidade do solo, em ton.h/MJ.mm, para o Estado do Rio de Janeiro.

A topografia (fatores L e S) foi representada através do DEM/SRTM.

O relevo do Estado é muito variado. Destacam-se a Serra do Mar e da Mantiqueira, alcançando altitudes superiores a 2000 metros, verifica-se amplo ambiente colinoso de mar de morros nas regiões do Médio Vale do rio Paraíba do Sul e Noroeste Fluminense, e extensa planície litorânea intercalada pelos maciços costeiros.

As feições topográficas para os parâmetros L e S são restritas a resolução de célula de 90x90 metros do DEM/SRTM, que alcança precisão cartográfica até a escala 1:100.000 (Santos et al., 2005).

Na figura 5 é apresentada a relação dos fatores L e S com a declividade %, e na figura 6 é mostrada as classes de declividade para o Estado do Rio de Janeiro.

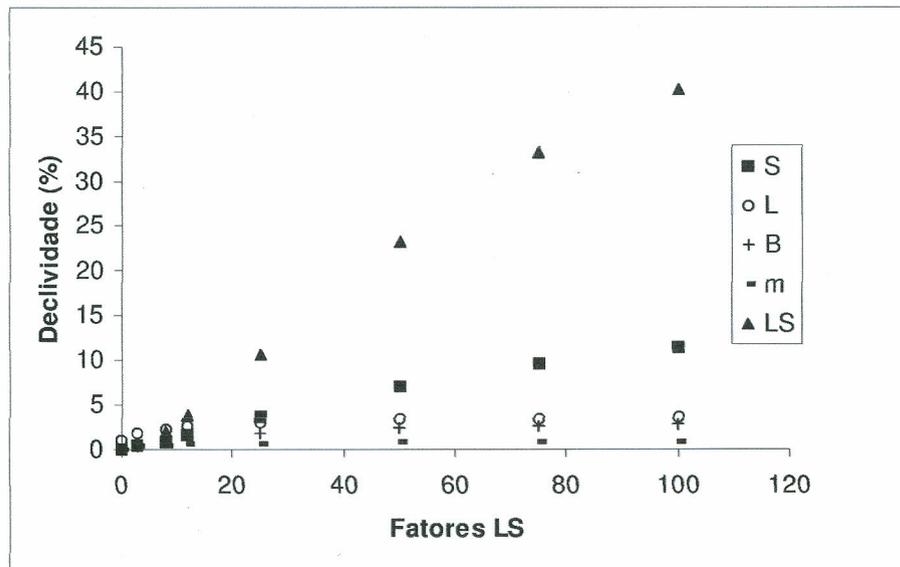


Figura 5. Relação entre a declividade e os parâmetros de cálculo do comprimento de rampa (L) e classes de declividade (S), sendo: m a variável comprimento-declividade; e B a razão da erosão em sulcos, ou pequenos canais, causada pelo fluxo da água pela erosão na região entre sulcos, causada principalmente pelo impacto da chuva.

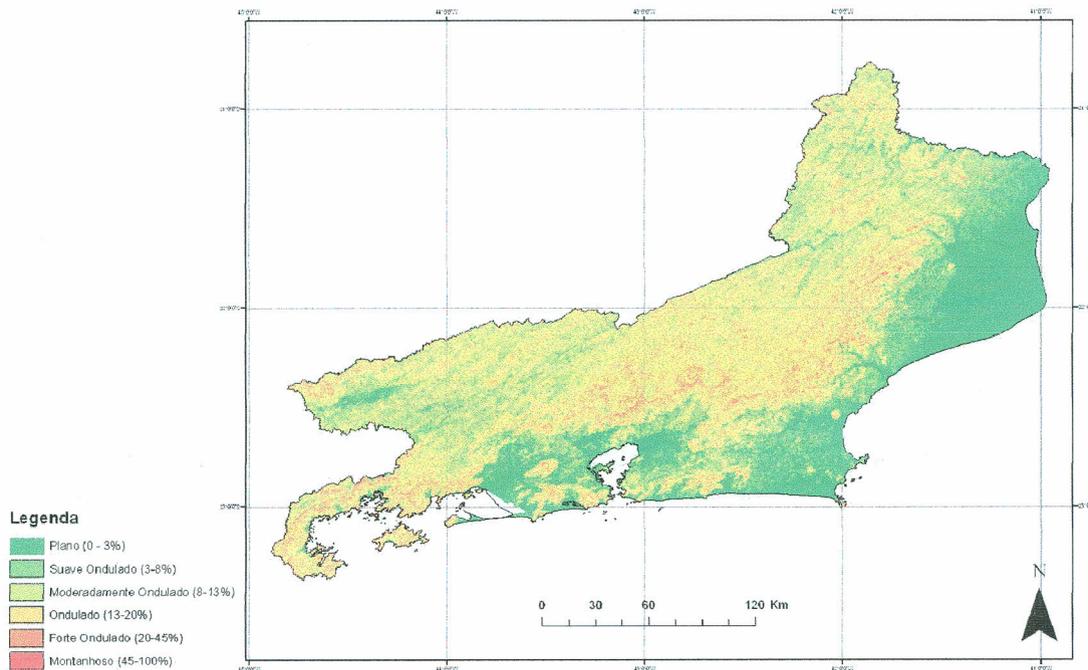


Figura 6. Graus de limitação do relevo para susceptibilidade à erosão definidos por classes de declividade (em %).

O uso e manejo (fator C) foi avaliado confrontando-se valores de fator C citados na literatura, segundo as diversas utilizações da terra, com o mapeamento do uso e cobertura do solo do Estado (Fundação..., 2000), mostrado na figura 7.

Em termos de uso e cobertura do solo verifica-se que cerca de 50% da área do Estado é ocupada com pastagens, 29% do território apresentam-se recobertos por remanescentes florestais da Mata Atlântica (Fundação..., 2003), em diferentes fases sucessionais, enquanto as áreas agrícolas ocupam cerca de 6% (IBGE, 2003), destacando-se a cultura da cana-de-açúcar no Norte Fluminense.

Conforme mostrado por Lumbreras et al. (2003) os Domínios Geoambientais do Estado, discriminados em Dantas et al. (2003), que apresentam os maiores percentuais de desmatamento são o Norte-Noroeste Fluminense, a Faixa Litorânea e o Médio Vale do rio Paraíba do Sul, com 9,64%, 11,34% e 20,49% de remanescentes florestais, respectivamente. Os Domínios Geoambientais que apresentam os menores percentuais de desmatamento compreendem a Serra da Bocaina-Litoral Sul Fluminense, Serra da Mantiqueira e Serra dos Órgãos, com 80,75%, 72,02% e 61,40% de remanescentes florestais, respectivamente.

Aspectos importantes de manejo do solo e práticas conservacionistas não puderam ser contemplados no presente trabalho devido às restrições da escala de trabalho e de informações básicas existentes. Como exemplos de práticas agrícolas inadequadas que ocorrem no Estado, verifica-se o cultivo em áreas acidentadas, muitas vezes com aração e/ou plantio morro abaixo, manejo inadequado de pastagens, em especial nos locais de relevo acidentado, e uso indiscriminado de queimadas. Na figura 8 é mostrado o fator C para o Estado.

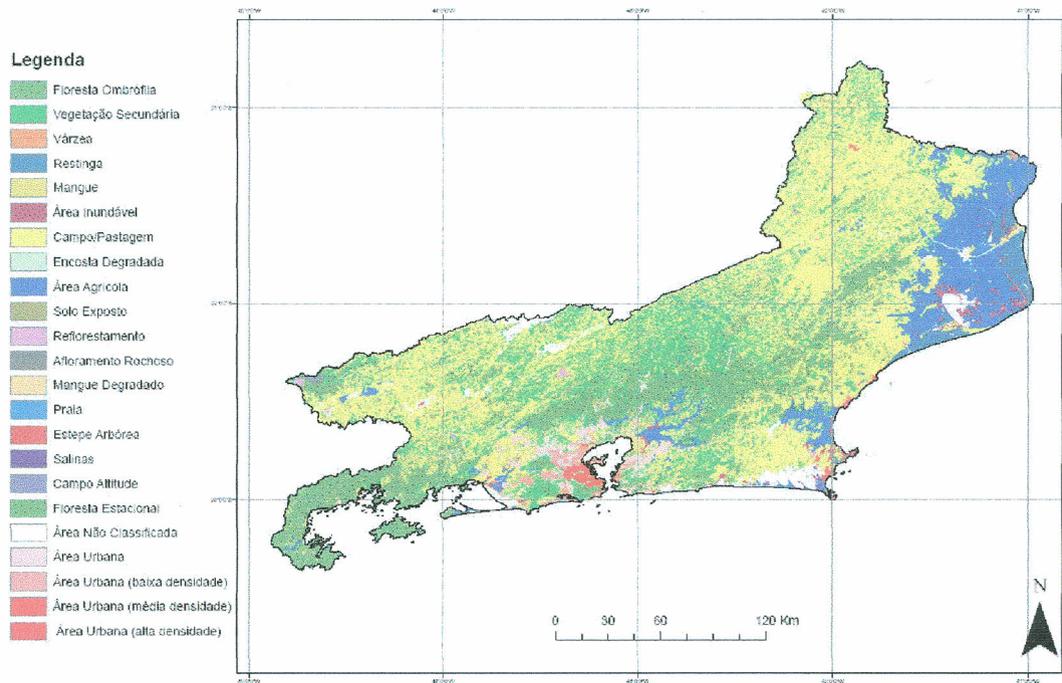


Figura 7. Uso e Cobertura do Solo (Fundação..., 2000).

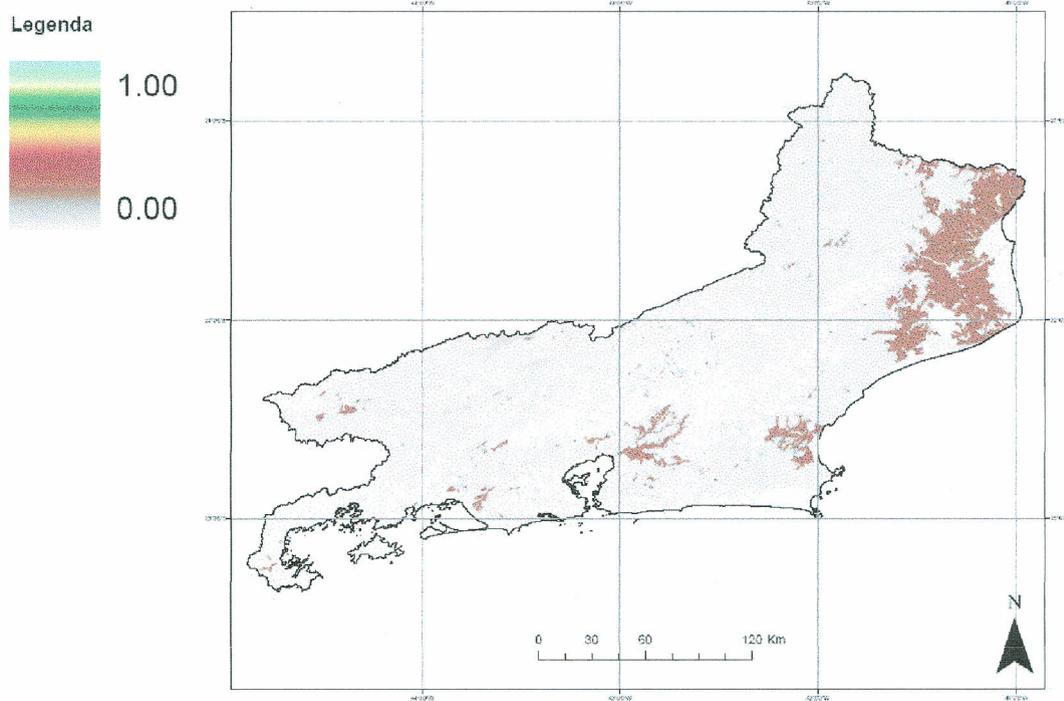


Figura 8. Fator C de Uso e Manejo para o Estado do Rio de Janeiro.

A informação predominante está setorizada em tipologias vegetais: nas locais com estepe arbórea, floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila densa, verifica-se a cor branca e valores abaixo da 3ª casa decimal (0.0007 ou menos); pastagens com valores de 0.0288, nas áreas

acinzentadas; áreas agrícolas com valores de 0.2558, nas áreas de cor marrom. Solo exposto ocorre em pontos isolados, não sendo perceptíveis na figura 8.

Na figura 9 é mostrada a estimativa de perda de solo. 64% das terras apresentam perdas muito baixas, com valores inferiores a 10 ton/ha.ano, em parte proporcionada pela atenuação da cobertura vegetal de remanescentes florestais nas áreas de relevo acidentado, predominantes na Serra do Mar e Mantiqueira, onde ocorrem solos de elevada erodibilidade (Lumbreras et al., 2003). Cerca de 19% das terras tem perdas baixas e médias, com valores entre 10 e 50 ton/ha.ano; 8% das terras apresentam perdas de solo altas, com valores entre 50 e 100 ton/ha.ano; 7% das terras apresentam perdas de solo muito altas, com valores entre 100 e 200 ton/ha.ano; e aproximadamente 2% apresentam perdas extremamente elevadas, acima de 200 ton/ha.ano.

Os locais que apresentam as maiores perdas de solo ocorrem no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, na região Noroeste, na parte ocidental do Norte Fluminense e nos maciços costeiros situados na faixa litorânea, nos locais onde ocorre a combinação de solos de elevada erodibilidade em relevo declivoso com cobertura vegetal pouco protetora do solo.

Em contrapartida, embora as regiões das Serras da Bocaina-Litoral Sul, Serra dos Órgãos e Serra da Mantiqueira apresentem solos de elevada erodibilidade e relevo muito acidentado, a estimativa de perda de solos é atenuada devido à proteção aos processos erosivos pela elevada incidência de remanescentes florestais.

Santos et al. (1999), na bacia do rio Ivaí, noroeste do Estado do Paraná, categorizou as perdas de solo acima de 50 ton/ha.ano como o limite máximo, sendo consideradas muito altas. Pedro & Lorandi (2004), avaliando o potencial natural de erosão em uma área periurbana de São Carlos (SP), estimaram perdas de solo concentradas entre 0 e 120 ton/ha.ano, considerando um limite máximo de classe de 700 ton/ha.ano.

Paranhas Filho et al. (2003) fazendo uma análise temporal de perdas de solo por erosão laminar para a Bacia do rio Taquarizinho no Mato Grosso do Sul, obtiveram valores de perdas de 4,44 ton/ha.ano em 1966; 5,53 ton/ha.ano em 1985 e 8,65 ton/ha.ano em 1996, estando a média abaixo de 15 ton/ha.ano, e raras ocorrências acima de 200 ton/ha.ano. Na Bacia do Alto Taquari, no Mato Grosso, ocorreram perdas médias da ordem de 70 ton/ha.ano, com 7,79% da área com perdas acima de 200 ton/ha.ano (Galdino et al. 2003).

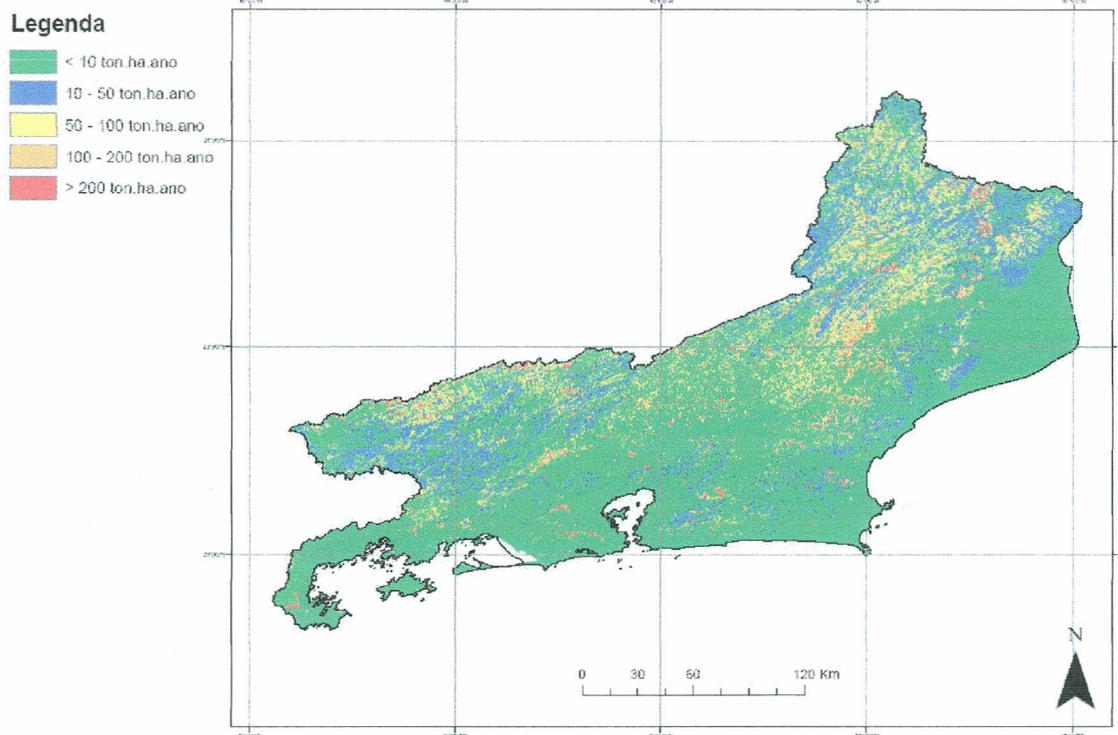


Figura 9. Mapa de perdas de solo em ton/ha.ano para o Estado do Rio de Janeiro.

A estimativa da perda de solo por sub-bacia é apresentada na figura 10. Cerca de 21% das sub-bacias hidrográficas apresentam perdas muito baixas, com valores menores que 10 ton/ha.ano, e 16% das MBH tem perdas baixas, com valores entre 10 e 20 ton/ha.ano; 43% das MBH apresentam perdas de solo médias, com valores entre 20 e 50 ton/ha.ano; 19% mostram valores altos, entre 50 e 100 ton/ha.ano; e menos de 1% apresentam perdas muito altas, entre 100 e 131 ton/ha.ano.

Por se tratar de valores médios, estimativas elevadas de perda de solo localizadas em áreas pouco extensas (Fig. 9) não são evidenciadas quando avaliadas em termos de sub-bacia, devido à atenuação pela média de perda de solo. No entanto, este tipo de enfoque permite que se compare as sub-bacias hidrográficas do Estado em termos de perda de solo.

As sub-bacias que apresentam as maiores perdas de solo encontram-se no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, Noroeste, parte ocidental do Norte Fluminense e contra forte da Serra do Mar.

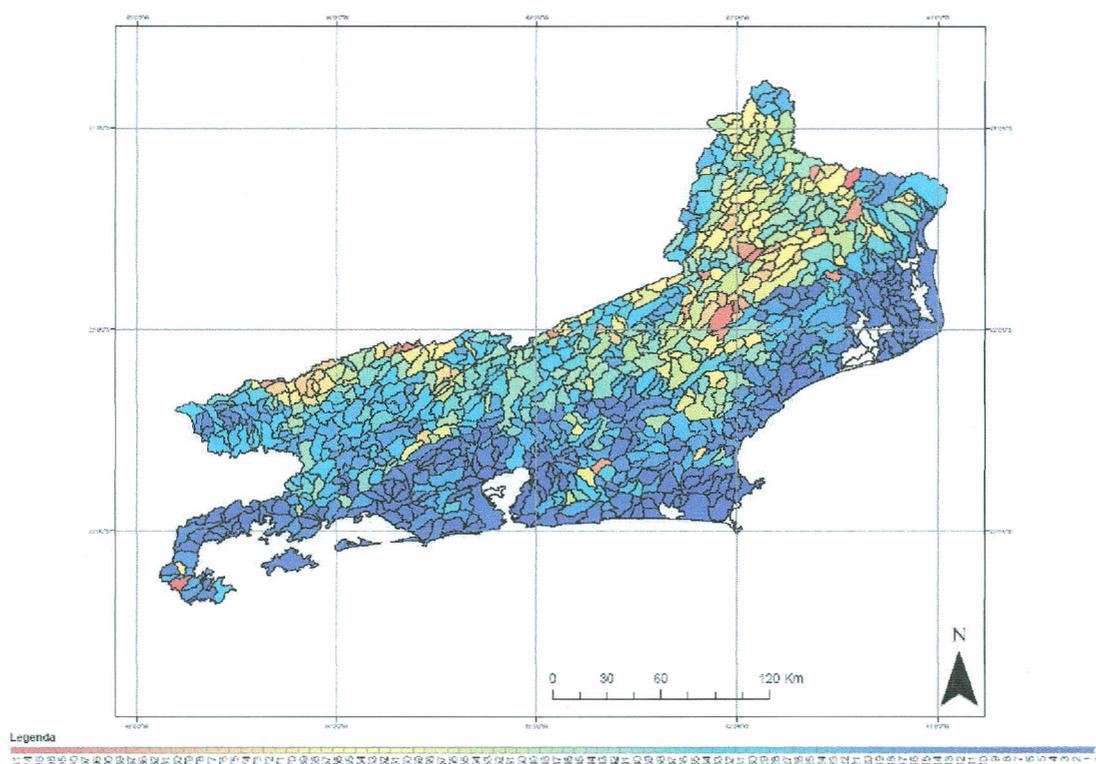


Figura 10. Mapa de perdas de solo para as sub-bacias do Estado do Rio de Janeiro, em ton/ha.ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia de determinação de perdas de solo (EUPS) para o Estado do Rio de Janeiro, utilizando uma base secundária de dados, e atendendo a escala 1:250.000, teve a finalidade de disponibilizar para validação os diferentes graus de degradação de solo encontrados para toda a região do Estado. Busca-se, com este trabalho, não uma aferição precisa de perda de solo por parcela, tendo em vista a escala dos dados considerados, cuja maior resolução tem uniformidade de área definida por uma parcela 90 x 90 m, mas sim a indicação qualitativa das sub-bacias de regiões mais vulneráveis, que podem ser elencadas para intervenção se categorizadas como relevantes do ponto de vista da conservação, ou da importância agropecuária para a economia Fluminense.

Este trabalho também dá uma indicação de áreas que devem merecer especial atenção por serem muito vulneráveis aos processos erosivos, mas não apresentam atualmente estimativas de valores elevados de perda de solo. Compreendem áreas de relevo acidentado e que apresentam solos de elevada erodibilidade, mas sob a cobertura vegetal de remanescentes florestais, considerados protetores do solo.

Ressalta-se que o método quantifica a perda de solo por erosão laminar, não considerando outros processos erosivos como movimentos de massa, ravinas e voçorocas, originados tanto pela vulnerabilidade natural das terras aos processos erosivos quanto pela atividade antrópica atual e pretérita, que favorecem a concentração de águas nas vertentes e/ou reduzem a cobertura do solo, tais como obras de engenharia e práticas agrícolas inadequadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte das atividades da Embrapa no Projeto “Estratégias e Ações para Conservação da Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro”, Agradecemos Aos parceiros e colaboradores, Fundação CIDE, Instituto Bioatlântica, SOS Mata Atlântica, Instituto Biomás, IBGE e SERLA pelo fornecimento de dados e ao Critical Ecosystem Partnerships Fund (CEPF), Conservação Internacional (CI) e Rede para Conservação da Mata Atlântica, pelos recursos para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 14 abr. de 2005.
- ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; CORAL, G.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A.; LOPES, T. S. de S.; MARRA, E.; BEZERRA, H. S.; HISSA, R. H.; FIGUEIREDO, A. F. de; SILVA, G. G. da; SUCHAROV, E. C.; ALVES, J.; MARTORANO, L. G.; BOUHID ANDRÉ, R. G.; BASTOS ANDRADE, W. E. de. Zoneamento Climático da Cultura do Café (*Coffea arabica*) no Estado do Rio de Janeiro. Campinas: IAC: UNICAMP; Brasília: Embrapa Cerrados; Niterói: Pesagro-Rio; Rio de Janeiro: SIMERJ: Embrapa Solos; 2003. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/cafe/RJ_menu.html. Acesso em: 14 abr. de 2005.
- ALVARES, M. T. P.; PIMENTA, M. T. Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas IV Congresso da água. Março 1998. Outubro 1998 Site: http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html Acesso em 19/09/2005
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba, SP: Ícone, 1985. 392p.
- BRITO, J. L. S.; LIMA, S. C.; SHIKI, S.; MOREIRA, M. R. Uso do Geoprocessamento na estimativa da perda de solos por erosão laminar em Irai de Minas-MG Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 501-512.
- BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo *Acta Scientiarum. Agronomy* Maringá, v. 26, no. 1, p. 1-5, 2004
- CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. dos; et al. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Rio de Janeiro, RJ), 2003a. Contém texto e mapa color., escala 1:250.000. (Embrapa Solos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 32). No prelo.
- CARVALHO Filho, A. de; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. dos; CALDERANO Filho, B.; CALDERANO, S. B.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de; CHAFFIN, C. E. Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003b. 1 mapa, color. Escala 1:250.000. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>. Acesso em: 14 abr. de 2005.
- CARVALHO JUNIOR, W. de. *Modelos de planejamento agrícola conservacionista com suporte de geoprocessamento: estudo de caso, municípios de Paty de Alferes e Miguel Pereira – RJ*. 1985. 104p. Dissertação (Mestrado em geoprocessamento) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, 1985.
- CHAVES, H. M. L. *Modelagem matemática da erosão hídrica: Passado, presente e futuro*. In: *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG: Editores: ALVAREZ V, V. H; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UFV. 1996. p.730-750.
- COSTA, T. C. C.; SANTOS, P. R. A.; GUIMARÃES, S.P. Extração de variáveis topográficas do modelo digital de elevação SRTM para o Estado do Rio de Janeiro. Embrapa Solos. *Documento* n. xxx 2005 (no prelo).
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A. I. de M.; SILVA, C. R. da; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J. F.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de. Diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. 1 CD-ROM. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000.
- Eastman, J. R. IDRISI Source Code 1987-2003. Worcester: Clark University, 1987-2003. 1 v.
- FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO (CIDE). *Índice de qualidade dos municípios - verde (IQM - Verde)*. Rio de Janeiro: CIDE, 2000. CD-ROM.
- FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO (CIDE). *Índice de qualidade dos municípios - verde (IQM - Verde II)*. 2 ed. ampl. rev. Rio de Janeiro: CIDE, 2003. CD-ROM.

- GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; POTT, A.; MELO, E. C.; ALMEIDA JÚNIOR, N. Perdas de Solo na Bacia do Alto Taquari – Corumbá: Embrapa Pantanal. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* n. 44, 2003. 40p.
- GIBOSHI, M. L. Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra. Fac. De Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Produção Agropecuária).
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 abr. de 2005.
- LONGHI, A. L. B.; MENESES, P. R. O uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o zoneamento de Florestas Nacionais. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2245-2250.
- LUMBRETERAS, J. F.; NAIME, U. J.; CARVALHO FILHO, A. de; et al. Zoneamento agroecológico do estado do Rio de Janeiro - ano 2003. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Rio de Janeiro, RJ), 2003. Contém texto e mapa color., escala 1:250.000. (Embrapa Solos. *Boletim de Pesquisa*, 33).
- MOREIRA SÁ, A.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A. J. J.; MARQUES, G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.7, p.691-699, jul. 2004.
- MORETI, D.; MANNIGEL A. R.; CARVALHO M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 137-145, 2003.
- NASA homepage <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> Acesso em 01 de março de 2005.
- OLIVEIRA J R. R. C. de; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14. n.2. 1990. p.235-239.
- PARANHAS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI A.; LASTORIA G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho-MS. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 52, p. 49-59, 2003.
- PEBESMA, E. J. Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. Copyright 1992,1998 ©
- PEDRO, F. G.; LORANDI, R.; Potencial Natural de Erosão na Área Periurbana de São Carlos-SP. *Revista Brasileira de Cartografia*. n°56/01, 2004. Pesquisas Espaciais. São José do Campos (SP), pp. 33.
- PIMENTA M. T. Caracterização da Erodibilidade dos Solos a Sul do Rio Tejo. INAG/DSRH. Julho 1998 [Caracterização da erodibilidade dos solos a sul do rio Tejo.pdf] Site: http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html Acesso em 19/09/2005a
- PIMENTA M. T. Diretrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. INAG/DSRH Site:http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/desertificacaofichas.html Acesso em 19/09/2005b
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) – *Agricultural handbook*, 703.. Washington, USDA-ARS, 1997. 384p.
- SANTOS, I.; KRÜGER, C. M.; LEVIS, M.; GARCIA, K. S. AVALIAÇÃO DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ.; XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos Site: http://ftp.lactec.com.br/publicacoes/1999/02_1999.pdf Acesso em 19/09/2005
- SANTOS, P. R. A.; GABOARD, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia, GO. [Anais...] São José dos Campos: INPE, 2005. (CD ROM) p. 4473-4480.
- SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator *r* no período de 1962 a 2000 (1) *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:347-354, 2003.
- SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG / GO / DF) *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34 (3): 147-159, 2004.
- STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. In:
- VASQUEZ-FERNANDES, G. A.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M. Determinação de Sequências Culturais em Microbacia Hidrográfica para Caracterização do Fator C da EUPS, Utilizando Fotografia Aérea *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 63-67.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, D.C.: USDA, 1978. 57 p. (USDA. *Agricultural Handbook*, 537).