



**SOLOS  
FRÁGEIS**

**CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E  
SUSTENTABILIDADE**

**Selma Simões de Castro**

**Luis Carlos Hernani**

**Editores Técnicos**



**Embrapa**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# SOLOS FRÁGEIS: CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE

*Selma Simões de Castro  
Luís Carlos Hernani  
Editores Técnicos*

*Embrapa  
Brasília, DF  
2015*

## Capítulo 6

# Potencial natural de erosão e geotecnologias para a classificação de capacidade de uso dos solos

Luís Carlos Hernani; Cesar da Silva Chagas;  
Alexandre Ortega Gonçalves; Adoildo da Silva Melo

---

### Introdução

O significativo desenvolvimento tecnológico agrícola no Brasil tem incrementado continuamente a produção e a produtividade de alimentos, fibras e bioenergia. No entanto, a ocupação, o uso e o manejo dos recursos naturais mais frágeis têm gerado, ao longo do tempo, diferentes níveis de deterioração ambiental.

Em agrossistemas onde os atributos dos recursos naturais apresentam diferentes níveis de limitação ao uso, a gestão não racional do solo, da água e da biodiversidade pode promover, em poucos anos, degradação e queda na produtividade agrícola e impactos negativos ambientais. Entre as formas de degradação, a erosão dos solos pela água é uma das principais ameaças, com impactos negativos sobre o ecossistema em geral, a produção agrícola, a qualidade da água e o estoque de carbono (PANAGOS et al., 2015).

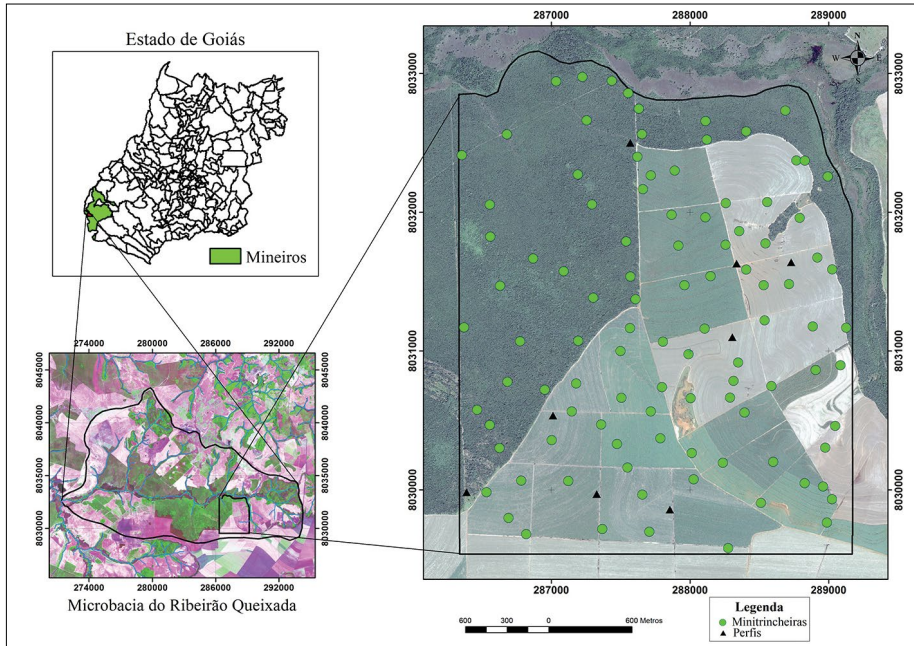
Solos Frágeis são os que apresentam características intrínsecas e/ou ocupam posição na paisagem que lhes conferem baixa resiliência e elevada suscetibilidade à degradação física, química e biológica quando submetidos à ação antrópica. Esses solos precisam, portanto, de especial atenção por parte dos agentes agrícolas, usuários e técnicos por exigirem extremo cuidado e estratégias especiais para o seu uso e manejo sustentável.

O geoprocessamento tem sido importante no auxílio da caracterização de recursos naturais ao facilitar e agilizar as técnicas de mapeamento. Essa ferramenta também tem sido utilizada para estudos de classificação da aptidão de terras a partir de mapeamentos em escalas de menor detalhe. Em escalas maiores para definição e espacialização da capacidade de uso de terras ao nível de propriedades agrícolas, tem sido usado o cruzamento do mapa de solos com a declividade (LEPSCH et al., 2015). No entanto, considera-se que o Potencial Natural de Erosão (PNE) é um fator que pode definir maior rigidez ao processo de classificação da capacidade de uso em pequenas bacias hidrográficas e em propriedades agrícolas onde o levantamento de dados se deu em escala de detalhe. A razão disso é que, para o cálculo do PNE, além da declividade, também se leva em consideração a erodibilidade do solo, a erosividade e o comprimento de rampa.

Este trabalho tem por objetivo comparar o uso do Potencial Natural de Erosão (PNE) ao método convencional como critério de levantamento de informações em escala de mapeamento detalhada e definição de classes de capacidade de uso de solos em áreas ambientalmente frágeis.

## Área de estudo

Para desenvolvimento da pesquisa, foi selecionada, em 2011, uma área da Fazenda Araucária, no município de Mineiros, GO, com aproximadamente 965 ha. Essa área, que é parte da microbacia do Ribeirão Queixada, afluente do Rio Araguaia, encontra-se a 810 m de altitude, entre as coordenadas UTM 8029536 e 8033161mN e 286331 e 289169mE, zona 22S (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da área de estudo na Fazenda Araucária, em Mineiros, GO, com indicação dos pontos de coleta das amostras de solos.

Fonte: Martins e Chagas (2015).

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical Aw, chuvoso (quente e úmido, com verão úmido e inverno seco), com temperatura média anual de 18 a 32° C e precipitação pluvial média anual em torno de 1700 mm, sendo que o período chuvoso se estende de novembro a maio, ocasião em que são registradas mais de 80% do total das chuvas do ano. Veranicos ocorrem em plena estação chuvosa, geralmente nos meses de janeiro a março, normalmente com duração de cerca de 10 a 15 dias, podendo, eventualmente, prolongar-se por um tempo maior (CARNEIRO et al., 2009).

A região apresenta relevo variando de plano a suave ondulado, onde são encontrados predominantemente Neossolos Quartzarênicos, derivados de Arenitos da Formação Botucatu e Latossolos Amarelos, Vermelho-Amarelos e Vermelhos, todos desenvolvidos de Coberturas Detrito-Lateríticas do Terciário (PROJETO RADAMBRASIL, 1983).

## Base de dados de solos

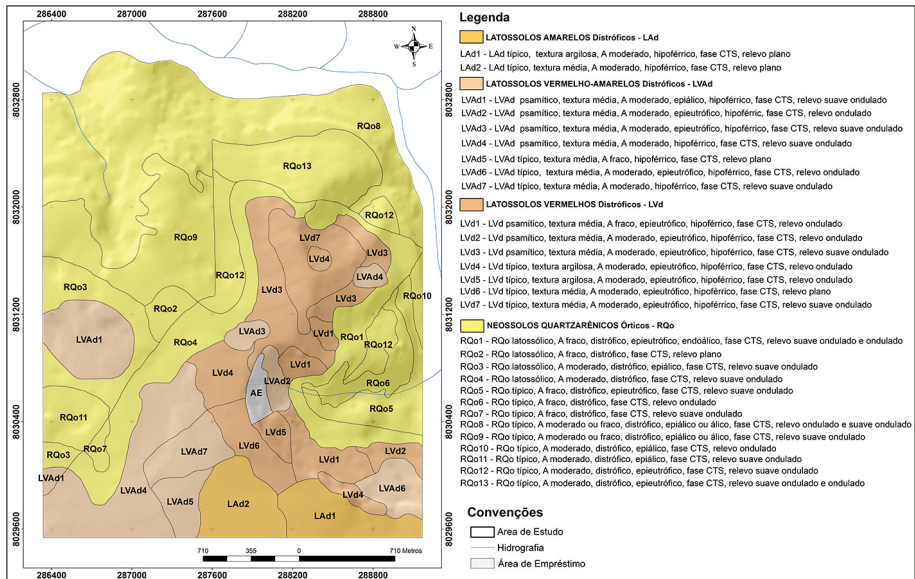
Inicialmente, foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE) da área, com resolução espacial de 5 m, com base nas curvas de nível e equidistância vertical de 1 m, obtidas a partir da restituição planialtimétrica de imagens do sensor Ikonos. Nesse procedimento, foi utilizada a opção *Topo to Raster* do programa ArcGIS Desktop 10.1 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2010). Esse MDE, sem depressões espúrias, foi utilizado para derivar os atributos topográficos: elevação, declividade, curvatura e sombreamento do relevo, conforme Chagas (2006).

Em seguida, esses atributos foram utilizados para auxiliar na determinação dos locais para a coleta das amostras de solos através do programa *conditioned Latin Hypercube Sampling* - cLHS (MINASNY; MCBRATNEY, 2006). Esse método, além de ser uma técnica de redução de variância, também pode ser usado como uma técnica de seleção amostral, na qual menos amostras são necessárias para se obter uma distribuição mais representativa das características ambientais da área estudada (SALIBY, 1997). Nessa técnica, o número de sorteios é diretamente proporcional à probabilidade de cada faixa (MINASNY; MCBRATNEY, 2002). Dessa maneira, as informações inseridas no cLHS foram a elevação, a declividade e a curvatura do terreno. Além destas, foi considerado também o uso e a cobertura do solo por meio do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI), obtido a partir de uma imagem do sensor ETM+ do LANDSAT 5, do ano de 2011.

A fase seguinte consistiu da descrição e coleta das amostras de solos nos 100 locais selecionados pela técnica do cLHS (Figura 1). O total de pontos estipulados (100) foi dividido aleatoriamente em amostras de calibração (75) e amostras de validação (25), nas quais os solos foram coletados em minitrincheiras nas profundidades 0-20 cm e 60-80 cm. Adicionalmente, para caracterizar e classificar os diferentes solos identificados na área, também foram descritos morfologicamente e coletados oito perfis completos, de acordo com Santos et al. (2005). Todas as amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório da Embrapa Solos, onde foram destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm e secas ao ar para a obtenção da chamada Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) e a quantificação volumétrica das frações calhaus (2 - 20 cm)

e cascalhos (2 - 20 mm), e, posteriormente, submetidas às análises, seguindo procedimentos constantes em CLAESSEN (1997). Foram determinados: composição granulométrica da terra fina, Argila Dispersa em Água (ADA), grau de floculação, relação silte/argila, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e porosidade; pH em H<sub>2</sub>O e em KCl 1N, bases trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), soma de bases (valor S), percentagem de saturação por bases (valor V), acidez extraível, alumínio (Al<sup>3+</sup>) trocável, capacidade de troca de cátions (valor T), percentagem de saturação por alumínio (m%), fósforo assimilável, carbono orgânico, nitrogênio total (Kjeldahl), ataque sulfúrico (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO).

Com base nas descrições morfológicas e nos resultados das análises químicas e físicas de amostras dos perfis e minitrincheiras, foi elaborado o levantamento de solos da área na escala 1:10.000, com o uso de geoprocessamento (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de solos na escala 1:10.000, de parte da Fazenda Araucária, em Mineiros, GO.

Fonte: Martins e Chagas (2015).

## Classificação da capacidade de uso do solo

Para a determinação das classes de capacidade de uso do solo, foram utilizados dois procedimentos:

1) uso da base de dados sobre o levantamento detalhado de solos do projeto “Novos paradigmas no conhecimento de solos frágeis para a produção agrícola sustentável do Brasil – Fragissolo” e de geotecnologias para estimar o Potencial Natural de Erosão (PNE); e

2) uso do método tradicional com adaptações.

O PNE, que do modelo da RUSLE considera apenas os parâmetros do meio físico para estimar perdas de solo em áreas sem qualquer intervenção antrópica, foi estimado com base na Equação 1:

$$PNE = K \cdot R \cdot LS \quad (1)$$

Onde:

- PNE = Potencial Natural de Erosão, em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;
- K= fator erodibilidade do solo, em  $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;
- R= fator erosividade, dado em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; e
- LS = fator comprimento de rampa e declividade, adimensional.

O fator K foi obtido a partir dos resultados analíticos de amostras da profundidade 0-20 cm do solo, coletadas em 100 pontos georreferenciados e em oito perfis com descrição completa da área de estudo (Figura 1), utilizando a Equação 2, proposta por Denardin (1990):

$$K = 7,48 \cdot 10^{-6} \times M + 4,48059 \cdot 10^{-3} \times P - 6,3117 \cdot 10^{-2} \times DMP + 1,039567 \cdot 10^{-2} \times R \quad (2)$$

Onde:

- K = erodibilidade do solo;
- M =  $\{(\text{areia fina} + \text{silte}) \times [(\text{areia fina} + \text{silte}) + \text{areia grossa}]\}$ , em %;



• P = inferido a partir da permeabilidade média obtida em campo para cada perfil (8), adotando-se os valores dos códigos definidos, conforme Tabela 1;

•  $DMP = [(0,65 \times \text{areia grossa}) + (0,15 \times \text{areia fina}) + (0,0117 \times \text{silte}) + (0,00024 \times \text{argila})] / 100$ ; e

•  $R = [\text{areia grossa} \times (\text{teor de MOS}/100)]$ .

A permeabilidade do perfil solo (P) foi baseada em valores médios (duas repetições) obtidos para a Taxa de Infiltração Básica (TIB), avaliada com anéis concêntricos, no entorno dos perfis descritos. Para a definição de códigos e classes de Permeabilidade (P), foram utilizados os dados da Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes de permeabilidade do solo (Ksat)

Permeabilidade	Classe	Limite (mm h <sup>-1</sup> )
1	Muito Baixa	<5,0
2	Baixa	5,0-20,0
3	Baixa a Moderada	20,0-63,5
4	Moderada a Alta	63,5-127,0
5	Alta	127,0-254,0
6	Muito Alta	≥ 254,0

Fonte: adaptado de Beutler et al. (2001) e Soil Survey Staff (1975).

Após a determinação dos valores de K para cada um dos pontos amostrais, foi realizada a espacialização deste parâmetro para toda a área em estudo. Nesse procedimento, foi utilizada a cokrigagem (CK). Para tanto, do total de amostras consideradas (108), 83 foram utilizadas para a calibração do modelo e 25 para a validação.

A CK é um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da krigagem quando, para cada local amostrado, obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor (LANDIM et al., 2002). Assim, segundo Carvalho Junior et al. (2014), a CK permite a predição de uma variável Z (fator K) a partir de um conjunto de dados conhecidos através da correlação com outra(s) variável(is).

A CK foi implementada no R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e o desempenho do modelo, calculado a partir das amostras de validação, foi obtido pelo cálculo da correlação entre os valores observados e os valores estimados através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

O fator R foi estimado com base em Foster et al. (1978) e Wischmeier e Smith (1978), utilizando a somatória da média mensal do índice de erosividade  $EI_{30}$ , mediante a Equação 3.

$$R = \sum_1^{12} EI_{30} \quad (3)$$

Onde:

- R = erosividade, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; e
- $EI_{30}$  = média mensal do índice de erosividade de chuvas, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, determinado com base na Equação 4.

$$EI_{30} = 67,355 \times (r^2/p) \times e^{0,85} \quad (4)$$

Onde:

- r = precipitação média mensal (mm);
- p = precipitação média anual (mm).

Os dados de precipitação são da fonte Hidroweb/ANA para o Município de Mineiros, GO e para o período 1969-2006.

O fator LS foi determinado a partir do modelo digital de elevação da área com 5 m de resolução espacial, utilizando o método proposto por Moore et al. (1991) no *software* SAGA GIS.

O mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE) da área de estudo foi gerado com base na equação 1 através de uma álgebra de mapas, utilizando o módulo *Raster Calculator* do ArcGIS Desktop 10.1 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2010). O mapa final do PNE da área foi reclassificado e, posteriormente, relacionado às classes de capacidade de uso. Para isso, utilizou-se a proposição estabelecida conforme a Tabela 2. Tal proposição resultou de adaptações baseadas em Bertoni e Lombardi Neto

(1999), Corrêa e Ferreira Pinto (2012) e Nascimento (1998), sendo que as classes de PNE e as de capacidade de uso do solo foram ajustadas visando estabelecer critérios mais rígidos para a classificação da capacidade de uso.

De modo a permitir uma comparação com o procedimento baseado no PNE, também foi realizado o levantamento de dados a campo para a classificação da capacidade de uso dos solos da área de estudo. Foram utilizadas observações visuais de campo sobre fatores da fórmula mínima (profundidade efetiva, textura, permeabilidade, erosão aparente e declividade) mediante adaptação de procedimentos propostos por Lepsch et al. (1991).

**Tabela 2.** Correspondência entre Classes de PNE e Classes de Capacidade de Uso do Solo.

<b>PNE (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	0-5	5-10	10-100	100- 200	200- 600	600- 1000	>1000
<b>Capacidade de Uso</b>	I	II	III	IV	VI	VII	VIII

Obs.: a classe de PNE 0-5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em declive 0-3% define a classe de Capacidade de Uso V.

Para definir correlações entre a capacidade de uso e os atributos observáveis a campo, foram adotadas adaptações baseadas em Fujihara (2002) e Ribeiro e Campos (1999). A área de estudo apresenta variabilidade mínima quanto à profundidade efetiva (solos com > 100 cm de profundidade) e quanto à textura dos perfis (Latosolos de textura média e argilosa e Neossolos Quartzarênicos). Para a permeabilidade, foram utilizadas apenas as classes de ocorrência na área – Moderada, Boa e Excessiva –, correspondendo, respectivamente, às classes de capacidade de uso II, I e II. Para a erosão, foram adotadas as correspondências: Não Aparente – I, Ligeira – II, Ligeira a Moderada – III, Moderada – IV, Moderada a Severa – VI, Severa – VII e Extremamente Severa – VIII. Nesse caso, para a ponderação da definição da classe de capacidade, o uso atual da terra da área de estudo também foi considerado.

## Capacidade de uso dos solos e sua relação com o potencial natural de erosão

### Fatores K, R e LS

O fator K foi influenciado pela textura, pela permeabilidade de perfis (Ksat) e pelo uso e manejo dos solos. Em apenas um desses perfis foi verificada textura argilosa; nos demais, a textura variou de média a muito arenosa. Os resultados do Ksat obtidos para os perfis representativos encontram-se na Tabela 3. A TIB variou de muito baixa ( $4,5 \text{ mm h}^{-1}$ ) no perfil P77 (LVA Distrófico Típico, textura média) a muito alta ( $1.097,1 \text{ mm h}^{-1}$ ) no perfil P82 (RQ Órtico Típico). Esses resultados foram bastante influenciados pelo tipo de uso da terra, com os perfis localizados na mata (P78 e P82) apresentando valores muito elevados, condizentes com o tipo de solo e a textura. Os valores inferiores da TIB verificados nos demais perfis estão relacionados, possivelmente, com a compactação do solo nas áreas de cana-de-açúcar, causada pelo uso intenso de mecanização, e que foi constatada durante a coleta das amostras no campo.

A erodibilidade calculada nos pontos amostrais variou de 0,040 no perfil P08 (Latossolo Vermelho Distrófico Típico, de textura média) a 0,189 t ha h  $\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , no perfil P69 (Neossolo Quartzarênico Órtico Típico). A média geral foi de 0,083, com desvio padrão de 0,023 e coeficiente de variação igual a 27,5%.

Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos de Farinasso et al. (2006), que, na região do Alto Parnaíba (PI/MA), obtiveram valores de 0,014 a 0,048 t ha h  $\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para Latossolos Vermelhos Distróficos. Estes resultados foram superiores aos encontrados por Lombardi Neto e Bertoni (1975) para horizontes superficiais de Latossolos do Estado de São Paulo, que variaram entre 0,011 e 0,022; também foram superiores aos de Fujihara (2002), que obteve 0,0175 para Latossolos, e aos de Demarchi (2012), que obteve 0,034 para um Latossolo Vermelho Distrófico. E foram muito superiores aos de Hernani et al. (1997) e Carvalho e Hernani (2001), que obtiveram, respectivamente, 0,0045 e 0,0037 t ha h  $\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, com declive de 3%, em Dourados (MS).

No caso dos Neossolos, os resultados foram superiores aos de Demarchi (2012), que obteve  $0,018 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para um Neossolo Litólico Eutrófico do Município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP; Farinasso et al. (2006) e Corrêa (2011), que trabalharam com Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe), obtiveram, respectivamente,  $0,036$  e  $0,053 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

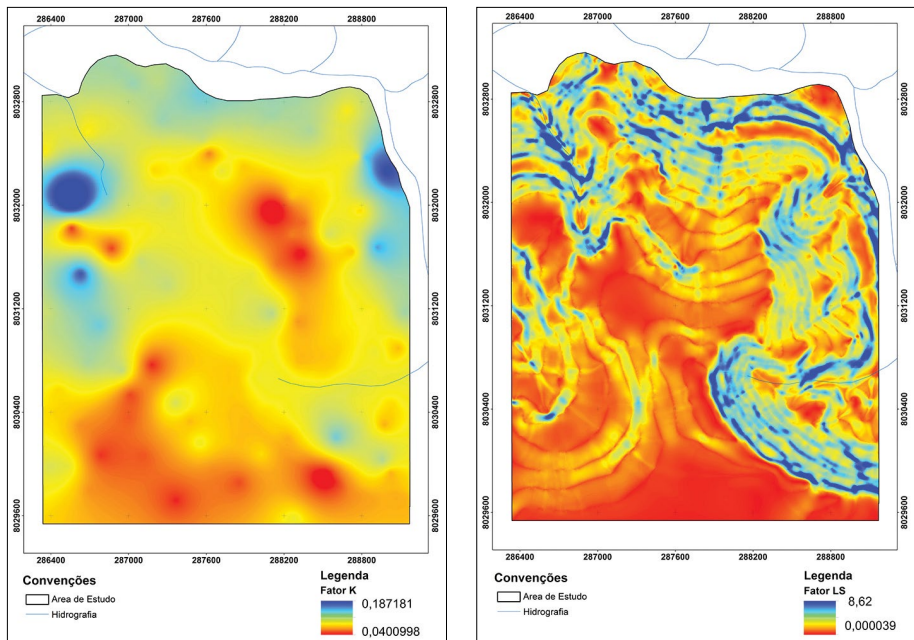
**Tabela 3.** Taxa de Infiltração Básica (TIB), valores e classes de Permeabilidade (fator P da Equação 2), obtida no entorno dos oito perfis representativos dos solos da área de estudo.

Perfil	Solos	Uso	TIB (mm h <sup>-1</sup> )	Valores de P	Classe de P
P76	LAd típico, textura média	Cana	7,5	2	Baixa
P77	LVAd típico, textura média	Cana	4,5	1	Muito Baixa
P78	LVAd psamítico, textura média	Mata	683,0	6	Muito Alta
P79	LVd típico, textura argilosa	Cana	9,0	2	Baixa
P80	LVd típico, textura média	Cana	33,5	3	Baixa a Moderada
P81	LVd psamítico, textura média	Cana	181,5	5	Alta
P82	RQo típico	Mata	1097,1	6	Muito Alta
P83	RQo latossólico	Cana	35,5	3	Baixa a Moderada

LA = Latossolo Amarelo; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo; LV = Latossolo Vermelho;  
RQ = Neossolo Quartzarênico; d = distrófico; o = órtico.

Esses resultados evidenciam a expressiva erodibilidade dos solos da área, que está associada à natureza bastante arenosa dos solos e à permeabilidade reduzida nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Santana et al. (2007), estudando a erodibilidade dos solos da Alta Bacia do Rio Araguaia, verificaram que aproximadamente 75% da área total da bacia está enquadrada nas classes de erodibilidade moderada (30%) e alta (45%).

O mapa do fator K gerado pela cokrigagem é apresentado na Figura 3. O desempenho dessa previsão, medida a partir da utilização do conjunto de amostras de validação independente através do coeficiente de determinação  $R^2$ , mostrou-se bastante satisfatório, com  $R^2$  de 0,63.



**Figura 3.** Espacialização dos fatores K e LS para a área de estudo.

Conforme já mencionado, os valores do fator K obtidos variaram, nos perfis utilizados, de 0,040 a 0,189 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, enquanto que os valores preditos variaram entre 0,040 a 0,187 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Dessa maneira, a cokrigagem produziu valores de distribuição espacial bastante próximos dos valores originais dos perfis (Figura 3). Os valores mais elevados são encontrados na parte norte da área, associados a solos de textura arenosa (Neossolos

Quartzarênicos), onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado. Por sua vez, os menores valores estão associados com os Latossolos de textura média ou argilosa. Esses resultados são bastante coerentes com as características dos solos da área.

Os Neossolos Quartzarênicos e os Latossolos de textura média apresentam elevada permeabilidade, baixíssima agregação e baixos teores de matéria orgânica, o que os torna pouco coesos e altamente suscetíveis à erosão, principalmente quando ocorrem em condições de relevo ondulado, baixa cobertura vegetal (áreas com cana-de-açúcar em estágio inicial ou pós-colheita com queima) e sob clima com chuvas intensas e de alta erosividade (SCOPEL; SILVA, 2001). De acordo com Santana et al. (2007), essas condições são plenamente encontradas na região onde o estudo foi realizado.

A erosividade anual média obtida para a área em avaliação foi de 8.527 MJ ha mm<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Conforme Santana et al. (2007), a erosividade anual média para a Alta Bacia do Rio Araguaia, onde a área do presente estudo está inserida, varia entre 7.812,33 e 9.654,68, com média de 8.803,85 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que caracteriza erosividade forte ou muito alta. Resultados semelhantes, de 8.353,0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, foram obtidos por Silva et al. (1997) para a região de Goiânia, GO, e por Cabral et al. (2005b), que encontraram média de 8.342 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a região englobada pela carta topográfica de Morrinhos, GO. Em estudo realizado no Quênia, em condições tropicais com média anual de chuva de 1.500 mm, Angima et al. (2003) também encontraram valores semelhantes aos do presente estudo.

O mapa do fator LS, apresentado na Figura 3, mostra que, na área de estudo, esse índice variou de 0,000039 a 8,62, com valor médio de 0,645 e desvio padrão de 0,537, sendo que 97,8% dos pontos georreferenciados apresentam valores inferiores a 2. Os valores mais elevados ocorrem nas porções norte e leste da área, associados com relevo que varia de suave ondulado a ondulado (6 a 12%) e, em sua maioria, com solos da classe dos Neossolos Quartzarênicos.

Os resultados obtidos por Cabral et al. (2005a) para a bacia hidrográfica do Reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG) mostram que 76,68% da área possui fator LS entre 0 e 2, sendo que 23,32% estão inseridos em áreas potencialmente críticas quando correlacionadas com o fator erodibilidade.

## Potencial Natural de Erosão (PNE) e Classes de capacidade de uso

O valor médio para o PNE obtido na área de estudo foi de 458,05 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, mas os valores desse parâmetro variaram entre 5 a >1000 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em 33,3% da área, esse valor variou de 200 a 600; em 26,0%, ficou entre 600 e 1000; e, em 10% da área de estudo, foi maior do que 1000 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4.** Classes de PNE, de capacidade de uso e respectivas áreas.

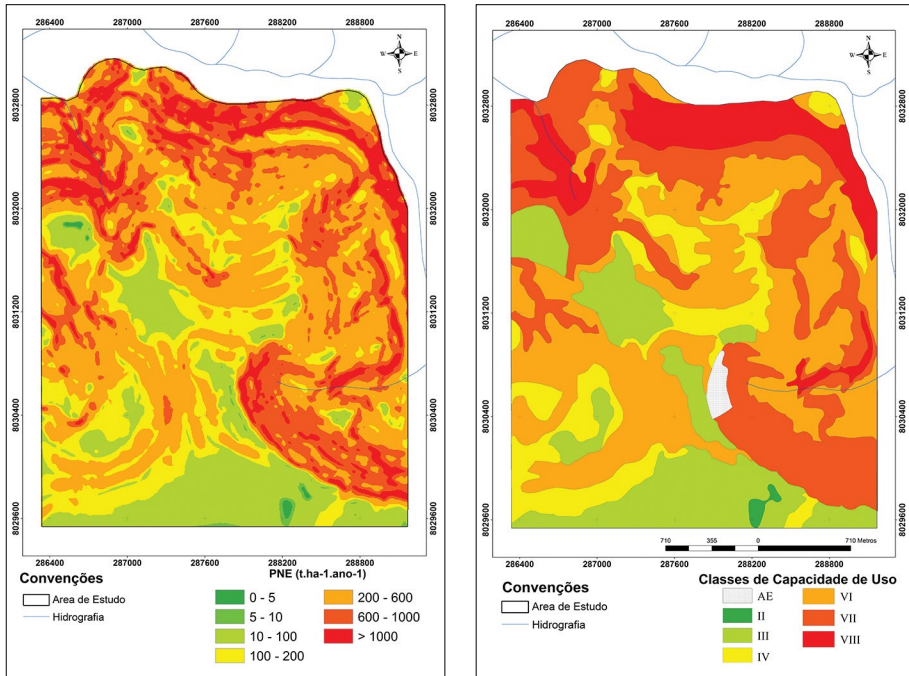
PNE (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Capacidade de Uso	Área (ha)	Área (%)
0-5	I	0,00	0,00
5-10	II	3,23	0,34
10-100	III	159,54	16,87
100-200	IV	119,38	12,62
200-600	VI	314,76	33,29
600-1000	VII	247,47	26,17
>1000	VIII	94,80	10,03
Área de Empréstimo	-	6,44	0,68
Total	-	945,62	100,00

Os resultados da ocorrência das classes de capacidade de uso obtidos com base no PNE estão na Tabela 4 e o mapa encontra-se na Figura 4. Com base nesse critério, verifica-se que não há terras próprias para cultivos intensivos que não necessitem de práticas intensivas de conservação de solo para seu uso (classe I) na área de estudo. Do mesmo modo, apenas 17,2% da área pode ser cultivada com lavouras, sob certos cuidados e critérios, sendo que, dessas, 16,9% são da classe III, ou seja, terras apropriadas para cultivo de lavouras, mas que exigem a adoção de práticas intensivas de conservação de solo. Nessas áreas ocorrem Latossolos com relevo plano a suave ondulado. A maior parte (776,4 ha, ou 82,1%) da área de estudo foi classificada nas classes de capacidade de uso IV, VI, VII e VIII.

Por essa metodologia, as terras com limitações severas, geralmente inadequadas para cultivos e de uso limitado para pastagens e florestas cultivadas (classe VI), foram as de maior ocorrência na área de estudo (314,8 ha; 33,3%). Além disso, esse método definiu que 94,8 ha (10% da área) apresentam limitações tais que seu uso deve se restringir apenas à proteção da flora e fauna silvestres (classe VIII). Nessas áreas, são encontrados Latossolos Psamíticos e Neossolos



Quartzarênicos, estes últimos ocupando o terço inferior das vertentes. A distribuição das classes de capacidade de uso obtidas a partir das classes de PNE, portanto, se correlaciona positivamente com os níveis de erodibilidade e PNE dos solos e com as feições do meio físico existentes na área de estudo (Figura 4).



**Figura 4.** Mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE) e Mapa da Distribuição Espacial das Classes de Capacidade de Uso do Solo da área de estudo com base no PNE.

### Classes de capacidade de uso do solo – método convencional

A área de estudo apresenta pouca variabilidade quanto à profundidade efetiva (todos os solos têm profundidade > 100 cm) e quanto à textura dos perfis (Latosolos de textura média e argilosa e Neossolos Quartzarênicos arenosos a muito arenosos).

Se a declividade fosse utilizada como base para a classificação da capacidade de uso da área em estudo, indicaria que cerca de 97% do total da área seria de

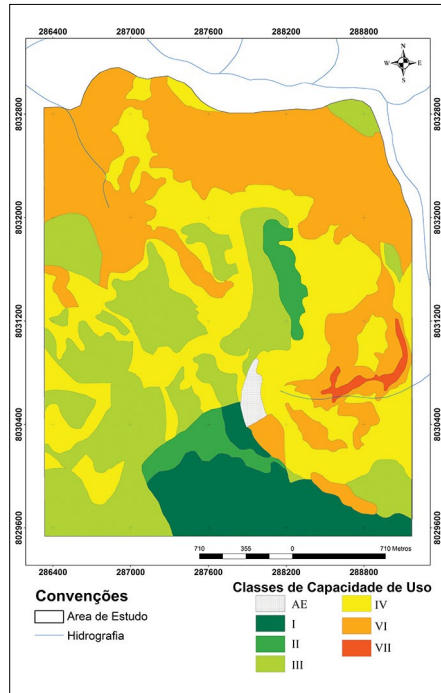
classes de capacidade de uso menos restritivas: 24,7% na classe I, 31,6% classe II e 41,1% classe III. Em que pesem limitações crescentes definidas para essas classes, a maior parte da área de estudo, nesse caso, poderia ser explorada com qualquer tipo de uso agrícola. Risco semelhante pode ter ocorrido com Atanásio (2004), que obteve a carta de classes de capacidade de uso para a Microbacia do Ribeirão São João em Tietê (SP) mediante o cruzamento dos dados contidos nos planos de informação de solos e de declividade.

Quando se considerou os demais fatores da fórmula mínima e observações visuais de campo, próprios do método convencional, os resultados foram os descritos na Tabela 5 e os apresentados no mapa da Figura 5. Verifica-se que 37,6% das terras da área de estudo foram classificadas como próprias para culturas anuais, sendo que 9% da área de estudo (cerca de 89 ha) foi classificada como classe I (terras próprias para cultivos intensivos sem necessidade de práticas de conservação de solo), e 24,4% (230,7 ha) seriam terras recomendadas para culturas com práticas intensivas de conservação de solo (classe III). Cerca de 29% da área de estudo pertenceria à classe IV, com terras próprias para culturas anuais ocasionais, cultivos perenes limitados e culturas em rotação com pastagens, florestas e proteção da fauna e flora silvestre. Cerca de 32% apresentariam limitações severas, sendo inadequadas para cultivos, e restrições severas para uso com pastagens e florestas (classe VI). Ressalta-se, ainda, que apenas 0,7% da extensão da área seria da classe VII e que não haveria terras da classe VIII.

**Tabela 5.** Classes de Capacidade de Uso definidas pela metodologia convencional (uso dos fatores da fórmula mínima, com adaptações).

Classes de Capacidade de Uso	Área (ha)	%
I	88,91	9,40
II	35,62	3,77
III	230,68	24,39
IV	277,57	29,35
VI	299,68	31,69
VII	6,72	0,71
VIII	0,00	0,00
Área de Empréstimo	6,44	0,68
Total	945,62	100,00

Esses resultados são menos consistentes com o padrão de tolerância à erosão do que ocorrem na significativa maioria dos solos da área de estudo, quando comparados ao uso do PNE para definição das classes de capacidade de uso.



**Figura 5.** Mapa da distribuição espacial das classes de capacidade de uso do solo da área de estudo obtido com base na metodologia convencional adaptada.

As classes de capacidade de uso definidas pelo PNE, determinado com base em um número razoável de pontos amostrais de campo (1 ponto cada 9,0 ha) e no levantamento detalhado de solos (escala 1:10.000), levam em consideração todos os fatores de observação visual de campo que compõem a fórmula mínima utilizada atualmente nos trabalhos convencionais de avaliação das classes de capacidade de uso do solo, além de acrescentar informações fundamentais ao posterior uso e manejo das terras.

Há que ressaltar, conforme Lepsch et al. (2015), que a determinação da capacidade da terra constitui poderosa ferramenta para o planejamento de uso, pois encerra uma coleção lógica e sistemática de dados de uso direto pelo planejador. Mas, por si só, esse procedimento não fornece todos os elementos necessários ao planejamento das atividades agrícolas a serem desenvolvidas, pois ainda há que se considerar as esferas econômicas, políticas e sociais envolvidas.

Ao analisar os resultados definidos para as classes de capacidade de uso obtidos com base no PNE em relação aos determinados com base no método convencional, verifica-se que o primeiro critério gera resultados finais com maior congruência com as feições e atributos do meio físico do que o segundo, pois distribui melhor as classes de capacidade de uso e indica de forma mais objetiva as limitações ao uso das terras, cujos dados são obtidos com alto nível de detalhe e intensidade de observações no campo. Dessa forma, quando se tem esse nível de detalhamento na obtenção de dados, o método baseado no PNE se caracteriza como uma ferramenta mais poderosa, fornecendo informações mais criteriosas que auxiliam na tomada de decisão quanto à forma de exploração das terras e, assim, pode auxiliar a minimizar os processos de degradação de solo, água e outros recursos naturais.

Considerando que a condição ambiental natural tem de ser conservada o máximo possível visando proporcionar à futura geração humana condições ambientais semelhantes às existentes atualmente, parece razoável induzir que o método usado neste trabalho – baseado no PNE como indicador de classes de capacidade de uso do solo e em procedimentos geotecnológicos – se adéqua muito bem a tais propósitos, gerando melhor qualidade de classificação de terras quanto à sua capacidade de uso.

## Considerações finais

A erodibilidade (fator K) da área de estudo foi, em média,  $0,083 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , evidenciando a elevada susceptibilidade à erosão hídrica dos solos dessa área; o fator R foi  $8.292,45 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , o que indica a forte erosividade à qual a região é exposta; e o fator LS, com média de 0,645, expressa o relevo suavizado da área em estudo. Consequentemente, o potencial natural de erosão

médio obtido foi de 458,05 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, mas valores entre 200 e 1000 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> foram muito frequentes, definindo um elevado potencial natural de perda de solo por erosão hídrica.

Pela metodologia baseada no potencial natural de erosão dos solos, 82% da área de estudo foi enquadrada nas classes de capacidade de uso IV, VI, VII e VIII, enquanto a metodologia convencional enquadrou a maior parte da área (61%) nas classes IV e VI, mostrando que a classificação da capacidade de uso de terras com base no potencial natural de erosão de solos foi mais coerente e consistente com as condições do meio físico do que o resultado obtido com a utilização da metodologia convencional.

Quando se tem informações de campo em escala detalhada, o método baseado no PNE se caracteriza como uma ferramenta mais poderosa, fornecendo informações mais criteriosas que auxiliam a tomada de decisão quanto à definição de classes de capacidade de uso, tipos de práticas conservacionistas e formas de exploração das terras.

O uso de geotecnologias para delineamento de classes de capacidade de uso de terras como base para planejamento conservacionista no âmbito de pequenas bacias hidrográficas e ou empreendimentos agrícolas é racional e promissor.

## Referências

ANGIMA, S. D.; STOTT, D. E.; O'NEILL, M. K.; ONG, C. K.; WEESIES, G. A. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, p. 295-308, 2003.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola**: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 193 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999. 355 p.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. **GeoFocus**, v. 5, p. 1-18, 2005a.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. **Revista RA'E GA**, Curitiba, v. 10, p. 107-116, 2005b.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, M. P.; HERNANI, L. C. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 137-146, 2001.

CARVALHO JUNIOR, W.; LAGACHERIE, P.; CHAGAS, C. S.; CALDERANO FILHO, B.; BHERING, S. B. A regional-scale assessment of digital mapping of soil attributes in a tropical hillslope environment. **Geoderma**, v. 232, p. 479-486, 2014.

CHAGAS, C. da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica de domínio de mar de morros**. 2006. 239 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

CORRÊA, E. A. **Caracterização da cobertura vegetal na Equação Universal de Perda de Solos (fator C) por meio de geotecnologias**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CORRÊA, E. A.; FERREIRA PINTO, S. A. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande (Ipeuna-SP). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 4, p. 1356-1367, 2012. Edição especial.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP**.

2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop**. Version 10. Redlands, CA, 2010.

FARINASSO, M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006. Disponível em: <[http://ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS\\_RBG\\_Ano\\_7\\_n\\_2\\_2006/RBG\\_Ano\\_7\\_n\\_2\\_2006\\_73\\_85.pdf](http://ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_7_n_2_2006/RBG_Ano_7_n_2_2006_73_85.pdf)>. Acesso em: 6 ago. 2015.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste Paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES Jr., M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 667-676, 1997.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. Rio Claro, SP: Unesp, 2002. 18 p. (Texto didático, 9). Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 1 out. 2015.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LEPSCH, I. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975. 12 p. (Boletim técnico, 27).

MARTINS, A. L. da S.; CHAGAS, C. da S. Identificação e mapeamento de solos frágeis no Município de Mineiros, GO. In: CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (Ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. pt. 1, cap. 2, p. 51-72.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Uncertainty analysis for pedotransfer functions. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 417–430, 2002.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computer and Geoscience**, v. 32, p. 1378-1388, 2006.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Bacia do rio João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar**. 1998. 176 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; POESEN, J.; BALLABIO, C. LUGATO, E.; MEUSBURGER, K.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, v.54, p. 438-447, 2015.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE.22 - Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1983. 768 p. (Levantamento de recursos minerais, 31).

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.r-project.org/isbn-3-900051-07-0>>. Acesso em: 8 maio 2013.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Capacidade de uso da terra no alto Rio Pardo, Botucatu, SP, através do Sistema de Informação Geográfica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 48-60, 1999.

SALIBY, E. Descriptive Sampling: an improvement over Latin hypercube sampling. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1997, Atlanta. **Proceedings...** New York: Institute of Electrical and electronics Engineers, 1997. p. 230-233.



SANTANA, M. P.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 103-121, 2007.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. Erodibilidade no Estado de Goiás. **Uniciência**, Anápolis, v. 8, n. 1/2, p. 123-132, 2001.

SILVA, M. L. N.; DE FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, p. 977-985, 1997.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Washington, DC: USDA, 1975. 930 p. (Agriculture handbook, 436). Disponível em: <[ftp://ftp-fc.sc.gov.usda.gov/NSSC/Soil\\_Taxonomy/keys/1975tax.pdf](ftp://ftp-fc.sc.gov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/keys/1975tax.pdf)>. Acesso em: 6 ago. 2015.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture handbook, 537).