

**Modelagem da erosão aplicada  
ao planejamento conservacionista  
do solo em pastagens de  
Pindamonhangaba, SP**



ISSN 1806-3322

Dezembro, 2014

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Monitoramento por Satélite  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 28***

### **Modelagem da erosão aplicada ao planejamento conservacionista do solo em pastagens de Pindamonhangaba, SP**

Sergio Galdino  
Luciana Spinelli de Araujo  
Gustavo Bayma Siqueira da Silva  
Sandra Furlan Nogueira  
Karla Conceição Pereira

Embrapa Monitoramento por Satélite  
Campinas, SP  
2014

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Soldado Passarinho, 303 - Fazenda Chapadão  
CEP 13070-115 Campinas, SP  
Fone: (19) 3211-6200  
Fax: (19) 3211-6222  
www.embrapa.br

**Comitê de Publicações da Embrapa Monitoramento por Satélite**

Presidente: Cristina Criscuolo  
Secretária-Executiva: Bibiana Teixeira de Almeida  
Membros: Daniel Gomes dos Santos Wendriner Loebmann,  
Fabio Enrique Torresan, Janice Freitas Leivas, Ricardo Guimarães Andrade,  
Shirley Soares da Silva e Vera Viana dos Santos Brandão

Supervisão editorial: Cristina Criscuolo  
Revisão de texto: Bibiana Teixeira de Almeida  
Normalização bibliográfica: Vera Viana dos Santos Brandão  
Edição eletrônica: Shirley Soares da Silva  
Foto(s) da capa: Sergio Galdino

**1ª edição**

1ª impressão (2014): publicação on-line

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Nome da Unidade catalogadora**

Galdino, Sergio.

Modelagem da erosão aplicada ao planejamento conservacionista do solo em pastagens de Pindamonhangaba, SP / Sergio Galdino, Luciana Spinelli de Araújo, Gustavo Bayma Siqueira da Silva, Sandra Furlan Nogueira, Karla Conceição Pereira. - Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2014.

24 p. : il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28 / Embrapa Monitoramento por Satélite, ISSN 1806-3322).

1. Perda de solo. 2. Sensoriamento remoto. 3. Sistema de informação geográfica. I. Galdino, Sergio. II. Araújo, Luciana Spinelli de. III. Silva, Gustavo Bayma Siqueira da. IV. Nogueira, Sandra Furlan. V. Pereira, Karla Conceição. VI. Título. VII. Série.

CDD 631.450981

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2014

## Sumário

Resumo .....	6
Abstract .....	7
Introdução .....	8
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	15
Conclusões .....	22
Referências .....	22

# Modelagem da erosão aplicada ao planejamento conservacionista do solo em Pastagens de Pindamonhangaba (SP)

*Sergio Galdino<sup>1</sup>*

*Luciana Spinelli de Araujo<sup>2</sup>*

*Gustavo Bayma Siqueira da Silva<sup>3</sup>*

*Sandra Furlan Nogueira<sup>4</sup>*

*Karla Conceição Pereira<sup>5</sup>*

## Resumo

A degradação das pastagens é um dos maiores problemas enfrentados pela pecuária brasileira, e constitui atualmente uma questão prioritária do governo federal. A partir da estimativa geoespacializada da perda de solo atual e para encontrar alternativas de uso das terras em áreas de pastagens localizadas no Município de Pindamonhangaba, SP, foi avaliado o efeito do manejo e de práticas conservacionistas do solo sobre a erosão hídrica. Para a obtenção da perda de solo, foram considerados: erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, efeito do comprimento e grau de declive das encostas, uso do solo e manejo da cobertura vegetal, e implementação ou não de terraceamento. Também foi avaliado o efeito da transformação de áreas declivosas em áreas de mata. A estimativa da perda média de solo em áreas de pastagens no ano de 2012 foi de 6,37 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Foi observada em 86,9% dessas áreas uma perda de solo abaixo do tolerável. As análises de valores médios e da tolerância de perda de solo para a situação atual foram comparadas aos diferentes tipos de manejo das pastagens, com ou sem uso de práticas conservacionistas do solo, e evidenciam, de forma contundente, a importância da recuperação de áreas de pastagens para a redução do risco de erosão hídrica do solo.

Palavras-chave: Perda de solo, RUSLE, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, USLE.

<sup>1</sup> Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, sergio.galdino@embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheira Florestal, Doutora em Ecologia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, luciana.spinelli@embrapa.br

<sup>3</sup> Geógrafo, Mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, gustavo.bayma@embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, sandra.nogueira@embrapa.br

<sup>5</sup> Agrônoma, Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia da Agronegócio, Pindamonhangaba-SP, kpereira@apta.sp.gov.br

# Erosion modeling applied to soil conservation planning in pastures at Pindamonhangaba, SP, Brazil

## Abstract

*Pasture degradation is one of the biggest problems faced by Brazilian cattle production, and has become a top priority for the Brazilian federal government. From geospatialized estimates of current soil loss, and in order to find alternatives for land use in pasture areas located at the municipality of Pindamonhangaba, SP, Brazil, we evaluated the effect of soil conservation practices on water erosion. To obtain soil loss data, we considered: rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness effects, soil and plant management and the implementation or not of terracing methods. We also evaluated the process of transforming sloping areas in forest areas. The average soil loss estimates for 2012 in pasture areas was 6.37 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. A soil loss below a tolerable level was observed in 86.9% of that area. Analysis of mean values and soil loss tolerance for the current situation were compared with different types of pasture management schemes – with or without soil conservation practices –, and strongly demonstrate the importance of restoring pasture areas to reduce the risk of water erosion.*

*Index terms: Soil loss, remote sensing, geographic information systems, USLE, RUSLE.*

## Introdução

Os modelos de simulação, assim como os modelos matemáticos de predição de erosão, são ferramentas úteis na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejo mais indicadas para diferentes cenários (CHAVES, 1996). Originalmente, a maioria desses modelos foi concebida para estimar a perda de solo em uma encosta. Com o advento dos sistemas de informações geográficas (SIGs), esses modelos passaram a ser aplicados a superfícies contínuas mais extensas, tais como bacias hidrográficas (GALDINO, 2012; SILVA, 2004).

A degradação das pastagens representa um dos grandes problemas da pecuária brasileira. Macedo (2000) estimou que 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas do Brasil Central, as quais respondiam por 55% da produção nacional de carne, apresentavam algum estágio de degradação. Esse problema é reforçado por estudos mais recentes, tais como o de Galdino et al. (2013), que, ao avaliar áreas de pastagens cultivadas em Neossolos Quartzarênicos órticos na bacia hidrográfica do Alto Taquari, MS/MT, estimaram que dois terços das pastagens estavam degradadas. A degradação das pastagens compromete a sustentabilidade da produção animal e pode ser explicada como um processo dinâmico de degeneração ou de queda relativa da produtividade. Entre os fatores mais importantes relacionados à degradação das pastagens destacam-se o manejo animal inadequado e a falta de reposição de nutrientes no solo. A lotação animal excessiva, sem os ajustes para uma adequada capacidade de suporte, e a ausência de adubação de manutenção do solo têm sido os principais aceleradores do processo de degradação das pastagens (MACEDO, 2000).

Na descrição das fases de degradação das pastagens proposta por Macedo (2000), a erosão do solo constitui a fase mais crítica. Na prática, a erosão acelerada está presente em todas as fases e tende a aumentar com a diminuição da cobertura do solo, seja pela pastagem ou pelas invasoras e pelos resíduos sobre a superfície do solo (GALDINO, 2012). Assim, para minimizar a erosão, é fundamental o manejo correto das áreas de pastagens e a adoção de práticas conservacionistas.

Dados do Censo Agropecuário de 1995 (IBGE, 1998) mostram que nessa época somente 30% das propriedades rurais brasileiras utilizavam práticas de adubação, química ou orgânica, e de correção do solo. Esse censo também evidenciou que

apenas 14,5% das propriedades rurais investiam em práticas de conservação do solo, que 10,6% utilizavam o cultivo em curva de nível e que apenas 3,4% adotavam o terraceamento (IBGE, 1998).

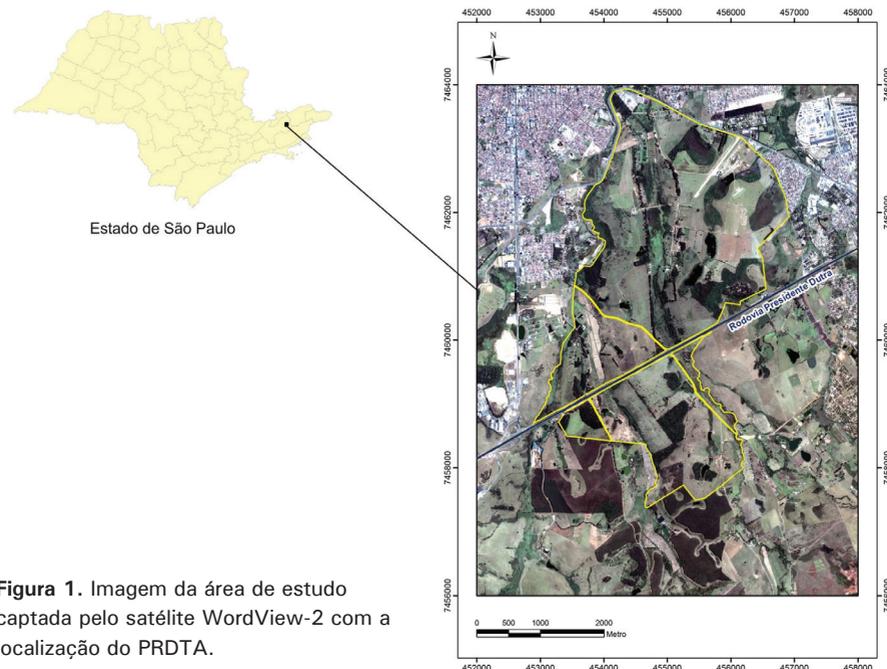
A recuperação das pastagens degradadas é atualmente uma das prioridades do governo federal. Nessa linha, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) instituiu o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura, conhecido por Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que prevê a destinação de investimentos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2012) a projetos de recuperação de pastagens degradadas (ABC Recuperação).

A partir da estimativa geoespacial da perda de solo atual e de alternativas futuras de uso da terra em áreas de pastagens localizadas no Município de Pindamonhangaba, SP, este trabalho tem como objetivo estimar o efeito do manejo e de práticas conservacionistas do solo sobre o controle da erosão hídrica em pastagens.

## Material e Métodos

A área de estudo compreendeu as pastagens localizadas na sede do Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTA) do Vale do Paraíba em Pindamonhangaba, SP, e no seu entorno. A precipitação média anual nessa área é de 1.250 mm, e 80% dessa precipitação ocorre nos meses de outubro a março. Cerca de 97% da área apresenta declividades inferiores a 20%. As áreas com relevo ondulado (declividades entre 8% e 20%) predominam e ocupam 36,2% da área de estudo.

A imagem WorldView-2 de 17 de setembro de 2012 em composição colorida com as bandas vermelho (R), verde (G) e azul (B) (RGB) e com a localização da PRDTA pode ser visualizada na Figura 1. O WorldView-2 dispõe de uma banda pancromática (450 nm — 800 nm) com resolução espacial de 0,5 m e de oito bandas multiespectrais com resolução de 2,0 m: azul costal (400 nm — 450 nm), azul (450 nm — 510 nm), verde (510 nm — 580 nm), amarelo (585 nm — 625 nm), vermelho (630 nm — 690 nm), vermelho-límitrofe (705 nm — 745 nm), infravermelho próximo 1 (770 nm — 895 nm) e infravermelho próximo 2 (860 nm — 1040 nm). A área de estudo está localizada entre as coordenadas 452.000 m e 458.000 m (Oeste) e 7.456.000 m e 7.464.000 m (Sul) na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23 Sul, datum WGS84.



**Figura 1.** Imagem da área de estudo captada pelo satélite WordView-2 com a localização do PRDTA.

No levantamento do uso das terras da área de estudo foram utilizadas informações do projeto de pesquisa Apta/NRP 3499 – Diagnóstico e adequação ambiental de área rural com ênfase no uso e ocupação do solo e no índice de qualidade dos recursos hídricos, Pindamonhangaba, SP. Essas informações foram complementadas pela classificação visual da imagem WorldView-2 em composição colorida RGB com 0,5 m de resolução espacial, obtida pela fusão da banda pancromática com as bandas multiespectrais do vermelho, do verde e do azul. A classificação visual foi apoiada por informações de uso das terras obtidas durante campanhas de campo.

Os parâmetros necessários para a estimativa da perda de solo foram obtidos a partir da adaptação da *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) para uso no Brasil, conhecida por Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999) e da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (em inglês: *Revised Universal Soil Loss Equation*, RUSLE) (RENARD et al., 1997).

A USLE é um dos modelos de predição da erosão hídrica do solo mais conhecidos e utilizados até os dias de hoje. Foi desenvolvido a partir de 1950 por Wischmeier e Smith (1978). Renard et al. (1997) realizaram uma grande revisão do modelo USLE e que originou a RUSLE. Embora a estrutura da

equação seja a mesma da USLE e da EUPS, as formas de determinação dos fatores do modelo mudaram expressivamente. Vários conceitos de modelagem da erosão, baseados na descrição do processo físico, foram incorporados à RUSLE para melhorar as predições de erosão (RENARD et al., 1997). USLE, EUPS e RUSLE são modelos matemáticos simples, expressos pela Equação 1.

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

Em que:

$A$  = Perda de solo calculada por unidade de área por tempo, em  $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

$R$  = Fator “erosividade das chuvas”, em  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

$K$  = Fator “erodibilidade do solo”, em  $Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

$L$  = Fator “comprimento da vertente”, adimensional;

$S$  = Fator “declividade da vertente”, adimensional;

$C$  = Fator “uso e manejo do solo”, adimensional;

$P$  = Fator “práticas conservacionistas do solo”, adimensional.

Para a estimativa do fator  $R$  pela USLE e RUSLE são necessários registros de intensidade e duração das chuvas. Entretanto no Brasil existe grande carência de pluviógrafos. Assim, para a estimativa da erosividade das chuvas na área de estudo foi utilizada a metodologia desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), recomendada pela EUPS (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Essa metodologia é muito utilizada no Brasil (GALDINO 2012; GALDINO et al., 2014; MATA et al., 2010; SILVA, 2003), visto que utiliza apenas valores mensais e anuais de volume de chuva. Esses dados podem ser obtidos prontamente por meio do site Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA). Para a estimativa do fator  $R$  foram seguidos os procedimentos de Galdino et al. (2014), utilizados para a estimativa da erosividade das chuvas na bacia do Alto Paraguai/Pantanal. Inicialmente foram selecionadas estações pluviométricas da região da Apta com pelo menos 22 anos de dados completos. A partir das médias mensais e anuais, foi estimada a erosividade de cada posto pelo método de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Em seguida, foi feita a interpolação dos valores do fator  $R$  no ambiente do programa ArcGIS (ESRI, 2005) pelo método do inverso do quadrado da distância, visando a espacialização dos valores de  $R$ . Ainda no ArcGIS, foram calculados polígonos de Thiessen a partir das coordenadas geográficas dos postos pluviométricos e foram delimitadas áreas de influência para cada posto. Finalmente foi calculado o valor médio de erosividade anual, ou o fator  $R$ , por polígono. O arquivo final em formato raster apresentou resolução de 0,5 m por 0,5 m.

O mapa da erodibilidade dos solos (fator K) foi gerado a partir da digitalização de classes de solos do mapa pedológico, escala 1:500.000, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (OLIVEIRA et al., 1999), e de valores de erodibilidade de solo do Estado de São Paulo (MANNINGEL et al., 2002). A distribuição dessas classes de solos com os respectivos valores de K pode ser visualizada na Figura 2.

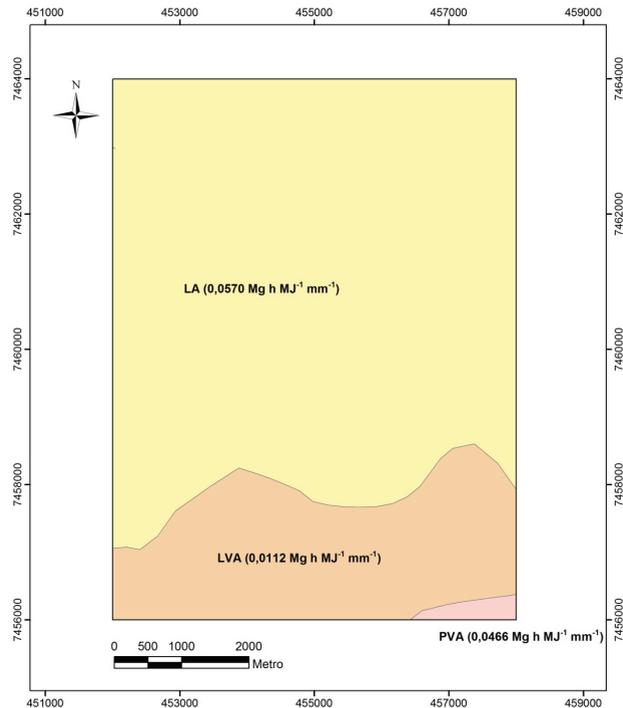


Figura 2. Mapa de distribuição das classes de solos.

Foram identificadas três classes de solos: o Latossolo Amarelo (LA), o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). A principal classe de solo detectada foi o Latossolo Amarelo (76,4%). O Latossolo Vermelho-Amarelo ocorreu em 22,7% e o Argissolo Vermelho-Amarelo, em apenas 0,9% da área.

Para a estimativa dos fatores “comprimento de rampa” e “grau de declive”, respectivamente os fatores  $L$  e  $S$  da USLE/RUSLE, foi gerado inicialmente um modelo digital de elevação (MDE). O MDE foi obtido a partir de arquivos vetoriais (*shapefiles*) contendo as curvas de nível, os pontos cotados, a rede de

drenagem e os lagos, extraídos da digitalização das cartas planialtimétricas em escala 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC). Esses arquivos foram interpolados pela ferramenta *Topo To Raster* do software ArcGIS (ESRI, 2005), que gerou o MDE com grade de 2 m x 2 m. A Figura 3 ilustra detalhes de parte do MDE obtido e dos *shapefiles* utilizados na sua obtenção.

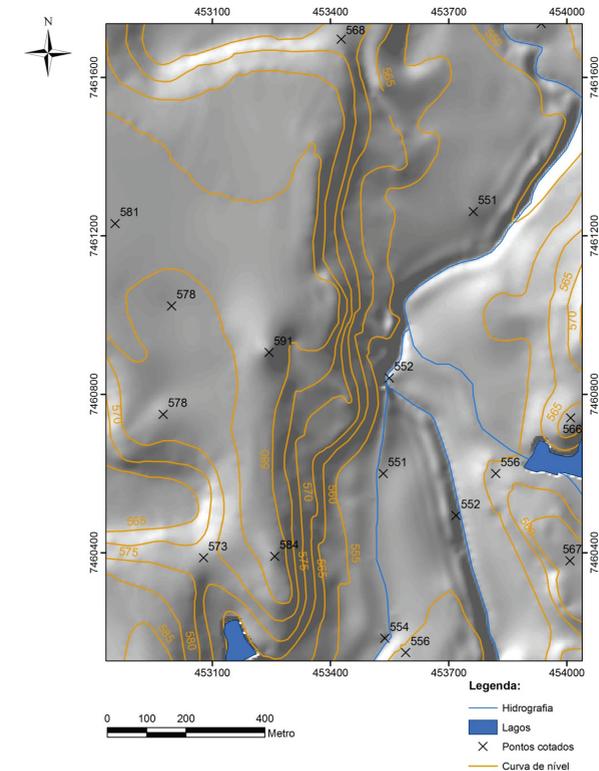


Figura 3. Detalhe do MDE gerado com curvas de nível, pontos cotados, rede de drenagem e lagos extraídos de cartas do IGC digitalizadas.

A partir do MDE foi gerado o produto dos fatores  $L$  e  $S$ , também denominado de fator topográfico, utilizando o software Usle2D. O software Usle2D emprega o algoritmo de Desmet e Govers (1996), que utiliza o conceito de área de contribuição e requer a geração de um mapa de fluxo acumulado. Para cada célula da grade do MDE são calculadas a declividade, a direção de fluxo e a quantidade de fluxo acumulada a montante daquele pixel, o que possibilita o cálculo do fator

topográfico para vertentes complexas. Os arquivos de entrada (*input*) solicitados pelo software são o MDE e uma máscara. Para limitar o comprimento de rampa e evitar, assim, uma superestimativa do *LS*, o MDE e a máscara abrangeram toda a área de estudo acrescida de um *buffer* de 100 m externo ao seu limite. Na geração da máscara foram incorporadas a rede de drenagem, a malha viária e a área urbana. Essas camadas assumiram o valor zero, enquanto o restante da máscara apresentou valor unitário. No cálculo do fator topográfico foi empregado o algoritmo de McCool et al. (1987), recomendado para a RUSLE.

Os valores do fator C usados foram os propostos por Vásquez-Fernandez et al. (1996): 0,0080 para pastagem não degradada, 0,0300 para pastagem degradada e 0,0001 para mata (arvoredo). O critério utilizado para diferenciar pastagem degradada de não degradada foi o risco de erosão hídrica. Segundo Galdino (2012), pastagens com mais de 20% de solo exposto estão mais sujeitas à erosão hídrica, independentemente da porcentagem de invasoras. A diferenciação entre essas duas classes de pastagens foi realizada de forma visual a partir da imagem WordView-2 e de campanhas de campo.

A partir do MDE e utilizando o ArcGIS, também foi gerado o mapa de declividade da área em porcentagem. Essa informação é fundamental para identificar terrenos passíveis ou não de terraceamento. De acordo com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral do Estado de São Paulo (Cati), encostas com declividade acima de 16% apresentam limitações para uso de terraço em nível (BERTOLINI et al., 1994).

O valor de *P* para áreas terraceadas foi de 0,5 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999), enquanto para áreas não terraceadas o valor foi unitário, considerando que não foram avaliadas outras práticas conservacionistas. O uso da imagem WordView-2 com resolução espacial de 0,5 m possibilitou identificar visualmente áreas terraceadas, que foram comprovadas em campanha de campo.

A tolerância de perda de solo (*T*) é a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão porém mantendo o solo com elevado nível de produtividade por longo período de tempo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Os valores de *T* normalmente variam de solo para solo. A comparação entre os valores estimados de perda de solo com valores de *T* possibilita identificar áreas de risco de erosão e subsidiar o adequado uso e manejo do solo. Manningel et al. (2002) recomendaram os seguintes valores de tolerância de perda de solo para o Estado de São Paulo: 12,45 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Latossolo Amarelo; 11,53 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Latossolo Vermelho-Amarelo; e 9,06 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para Argissolo Vermelho-Amarelo.

As perdas de solo nas áreas recobertas por pastagens foram estimadas pelo produto dos arquivos em formato *raster* dos fatores *R*, *K*, *LS*, *C* e *P*, para a condição atual e para três alternativas de manejo, uso e prática conservacionista. As alternativas de uso das terras foram:

- 1) Pastagens mal manejadas (degradadas) sem implementação de terraços, ou seja, para a alternativa mais crítica de uso das terras pela pecuária;
- 2) Pastagens bem manejadas e com implementação de terraços nas áreas com declividade igual ou inferior a 16%;
- 3) Pastagens bem manejadas e com implementação de terraços nas áreas com declividade igual ou inferior a 16% e destinação das áreas com declividade superior a 16% ao adensamento de vegetação nativa (mata).

Para avaliar o impacto do manejo das pastagens, da implementação ou não de prática conservacionista (terraceamento) e do uso alternativo (mata), foram comparadas as perdas médias de solo e quantificadas as áreas com perda de solo acima do tolerável para as quatro condições consideradas.

## Resultados e Discussão

O levantamento do uso das terras na área de estudo evidenciou que em setembro de 2012 a pecuária bovina (pastagens) recobria 2.214 ha, que correspondem a 46,12% da área de estudo. Por compreender parte da área urbana de Pindamonhangaba, cerca de 25% da área é constituída por malha viária e edificações urbanas e rurais. A vegetação adensada com espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (mata) recobria 11,28% da área de estudo e o reflorestamento por eucalipto (*Eucalyptus sp.*) ocorria em 6,19% da superfície. Por ser uma região com alta densidade de drenagem, açudes, represas e áreas inundáveis recobriam 8,23% da superfície. As áreas com lavouras de culturas anuais ou perenes, pouco expressivas, foram mapeadas em pouco mais de 2% da área de estudo.

A erosividade das chuvas (fator *R*) nas áreas de pastagens variou de 6.254 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 6.329 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com valor médio de 6.326 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e desvio padrão de 12,8 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Essa reduzida variação do Fator *R* é um indicio que a erosividade estimada está próxima da realidade. Comparativamente a distribuição da erosividade das chuvas no Estado de São Paulo (VIEIRA; LOMBARDI NETO, 1995), os valores obtidos estão um pouco abaixo da média estadual, estimada em 6.632 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A erodibilidade dos solos (fator  $K$ ) foi considerada como  $0,0570 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Latossolo Amarelo,  $0,0112 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Latossolo Vermelho-Amarelo e  $0,0466 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Argissolo Vermelho-Amarelo. O valor médio do fator  $K$  para as áreas de pastagens foi de  $0,0444 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  e o desvio padrão de  $0,0203 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . A maioria das pastagens (71,63%) era cultivada em Latossolo Amarelo, 27,21% em Latossolo Vermelho-Amarelo e apenas 1,16% das pastagens eram plantadas em Argissolo Vermelho-Amarelo.

O fator topográfico (produto dos fatores  $L$  e  $S$  da RUSLE) nas áreas de pastagens variou de 0 a 2.859, com valor médio de 2,67 e desvio padrão de 8,26. A Figura 4 ilustra a distribuição do fator topográfico nas áreas de pastagens. O relevo predominante nas áreas de pastagens foi o ondulado (8% a 20% de declividade), que ocorreu em 44,83% da superfície. O relevo suave ondulado (3% a 8%) e o plano (0% a 3%) também ocorreram com frequência, e recobriram, respectivamente, 32,08% e 19,35% das áreas de pastagens.

A distribuição atual (2012) do fator “uso e manejo do solo” (fator  $C$ ) e do fator “práticas conservacionistas do solo” (fator  $P$ ) para as áreas de pastagens podem ser visualizadas na Figura 5.

Pastagens classificadas como não degradadas ( $C = 0,0080$ ) ocupavam cerca de 93% da área mapeada como “pastagem”. Comparativamente a outras áreas de pastagens cultivadas no Brasil (GALDINO et al., 2013; MACEDO, 2000), as pastagens avaliadas neste estudo oferecem menor risco de erosão hídrica do solo.

O uso do terraceamento ( $P = 0,5$ ) para minimizar as perdas de solo é pouco frequente, ocorrendo apenas em cerca de 4% das áreas de pastagens.

As perdas de solo nas áreas de pastagens no ano de 2012 variaram entre 0 e  $8.251 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com média de  $6,37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e desvio padrão de  $23,52 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A distribuição dessas perdas de solo, de acordo com a classificação proposta pela FAO (1980), pode ser visualizada na Figura 6, na qual a maioria (82,54%) das áreas recobertas por pastagens apresenta nenhum ou ligeiro nível de perda de solo ( $0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Perda de solo moderada ( $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a  $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) ocorreu em 16,54% das pastagens. Em apenas 0,96% das áreas de pastagens a perda de solo foi considerada alta ( $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) ou muito alta (acima de  $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

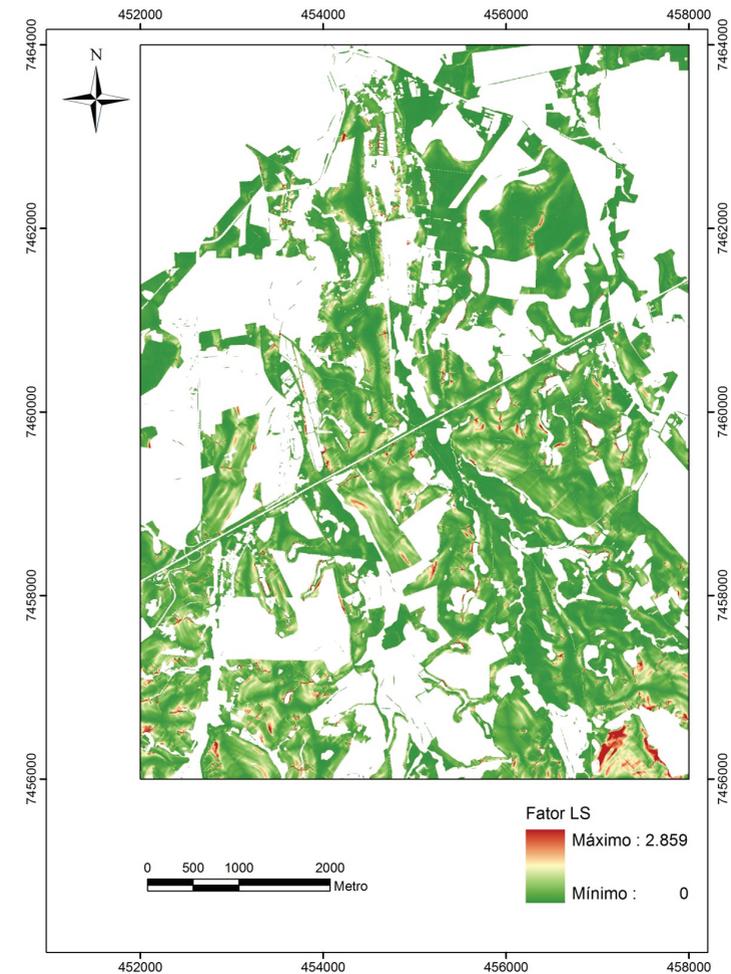


Figura 4. Mapa da distribuição do fator topográfico (LS) da RUSLE nas áreas de pastagens.

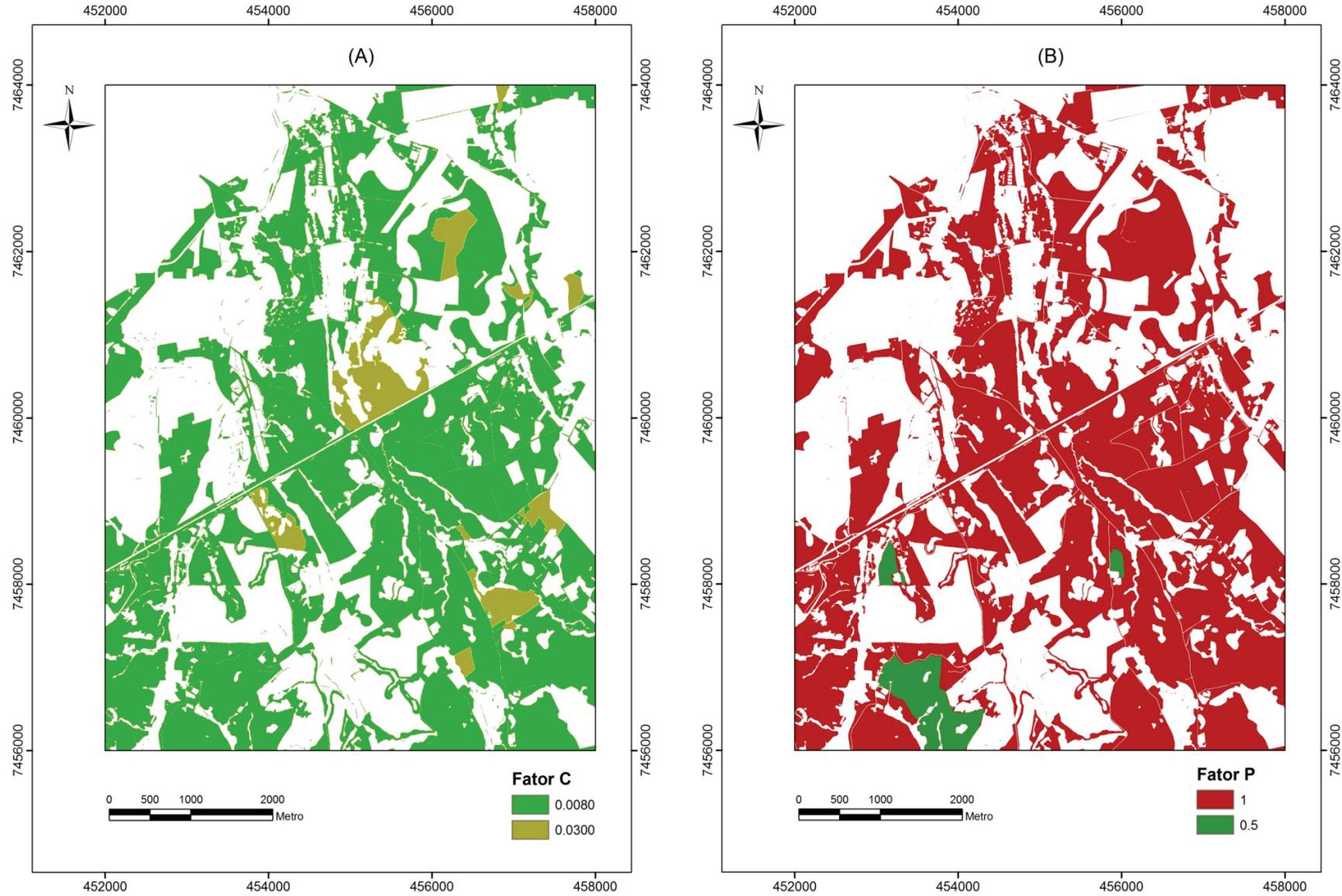


Figura 5. Mapa da distribuição atual dos fatores “uso e manejo do solo” (A) e “práticas conservacionistas do solo” (B) nas áreas de pastagens.

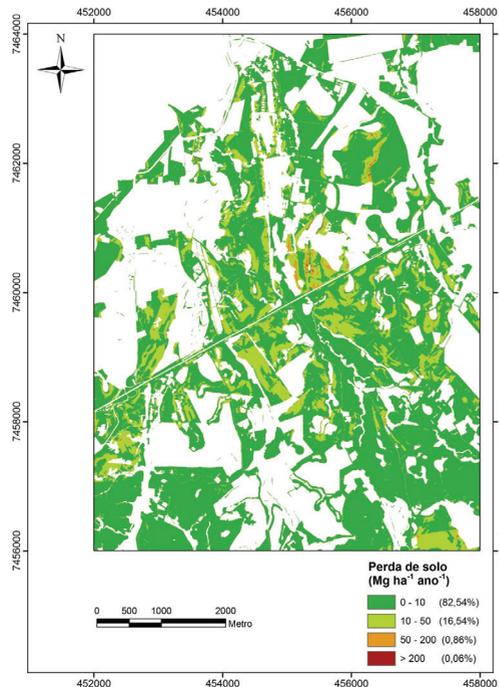


Figura 6. Mapa da distribuição atual da perda de solo nas áreas de pastagens.

Simulando para a área de estudo uma condição crítica na qual as pastagens, na sua totalidade, estariam mal manejadas (degradadas) e sem implementação de terraços, a perda média de solo aumentaria para 20,87 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que corresponde a um incremento de 227,6% na taxa de erosão em relação à perda de solo atual. Por outro lado, se as pastagens em toda a área fossem bem manejadas e terraços fossem implementados, exceto em áreas com declividades superiores a 16%, a perda média de solo reduzir-se-ia para 3,59 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que representa

uma redução de 43,6% em relação à perda de solo atual. Finalmente, para uma alternativa semelhante à anterior, porém na qual as áreas com declividades superiores a 16% seriam destinadas ao adensamento de vegetação nativa (mata), a perda média de solo passaria a ser de 2 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma diminuição de 68,6% na taxa de erosão atual.

O impacto do manejo das pastagens, da implementação ou não de prática conservacionista (terraçamento) e de uso alternativo (mata) também foi avaliado quanto à perda de solo tolerável (Figura 7).

A análise da perda de solo tolerável para diferentes condições de manejo das pastagens e de práticas conservacionistas do solo (Figura 7) demonstrou, de forma contundente, a importância da recuperação de áreas de pastagens quanto ao risco de erosão do solo.

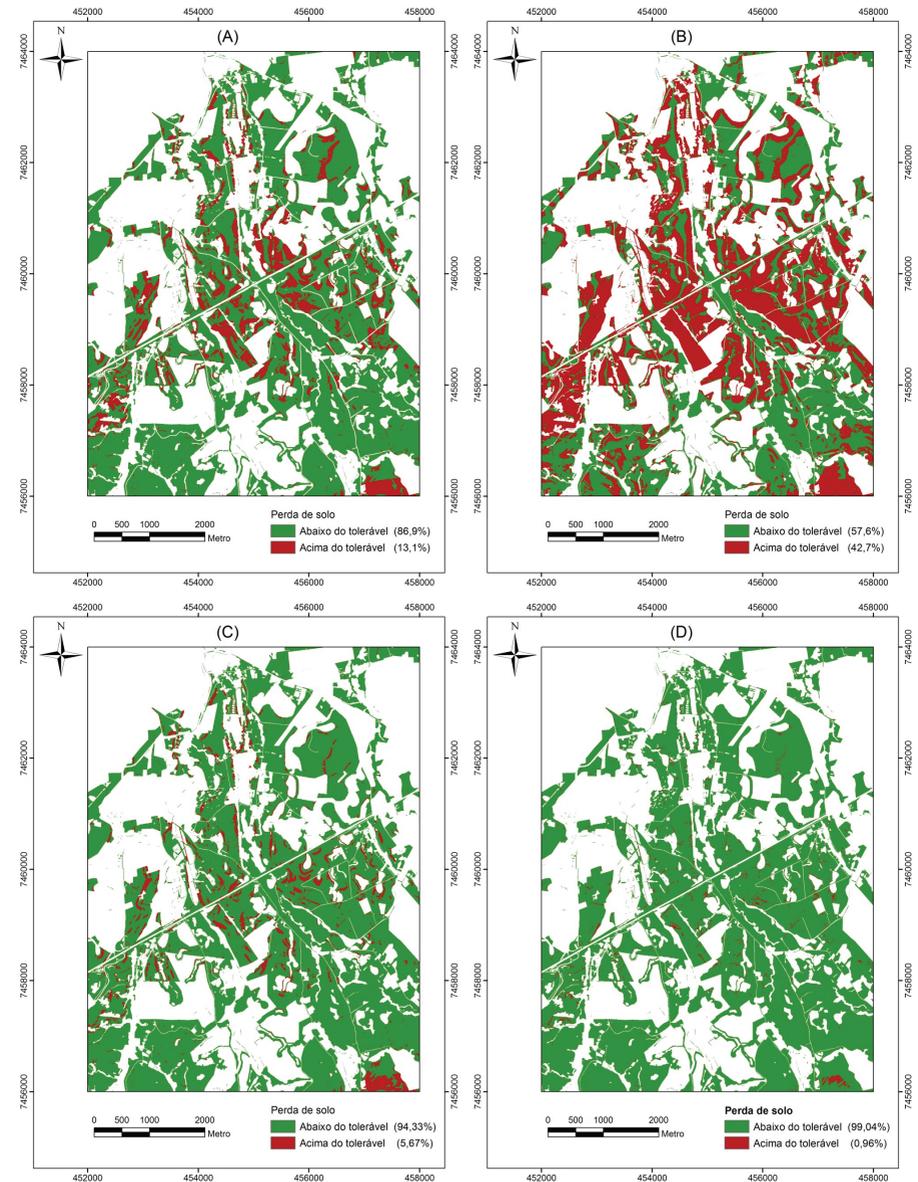


Figura 7. Mapa da distribuição das perdas de solo abaixo e acima do tolerável: para o manejo atual das áreas de pastagens (A), para pastagens mal manejadas (degradadas) sem implementação de terraços (B), para pastagens bem manejadas e com implementação de terraços (C), e para pastagens bem manejadas e com implementação de terraços e mata (D).

## Conclusões

1. Análise da perda de solo tolerável para diferentes alternativas de manejo das pastagens e de práticas conservacionistas do solo demonstrou, de forma contundente, a importância da recuperação de áreas de pastagens quanto ao risco de erosão do solo.
2. A modelagem da perda de solo utilizando geotecnologias constitui uma ferramenta fundamental no planejamento do uso das terras e para subsidiar políticas públicas direcionadas ao uso sustentável dos recursos naturais.

## Referências

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. **Circular Sup/AGRIS nº 49/2012**. Rio de Janeiro: BNDES, 2012. 15 p.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; DRUGOWICH, M. I.; ANDRADE, N. O.; GALETI, P. A.; BELLINAZZI JUNIOR, R. DECHEN, S. C. F. Tecnologias disponíveis para controlar o escoamento do solo. In: LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (Coord.). **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Campinas: CATI, 1994. v. IX. 65 p. (CATI. Manual Técnico, 41).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Ed.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV; DPS, 1996. p. 731-750.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A. GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

ESRI. **GIS and Mapping Software**. ArcMap 9.1. Seattle, 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**. Roma: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1980. 86 p.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari - MS/MT**. 2012. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GALDINO, S.; GREGO, C. R.; SILVA, J. S. V. Distribuição espacial da erosividade da chuva na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014. Campo Grande, MS. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2014. p. 211-219.

GALDINO, S.; MARINHO, M. A.; SILVA, J. S. V. Classification of pasture degradation levels in terms of hydric erosion risk in Quartzipsamments areas at Alto Taquari watershed (MS/MT, Brazil). **Geografia**, Rio Claro, v. 38, Número Especial, p. 95-107, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MACEDO, M. C. M. Sistemas de produção em pasto nas savanas da América Tropical: limitações e sustentabilidade. In: REUNIÓN LATINO AMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, 16. Congreso Uruguayo de Producción Animal, 2000. Montevideu, UR. **Anales...** Montevideu, UR: ALPA, 2000. 1 CD-ROM.

MANNINGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. D.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. D. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio Uruçuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2010.

McCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 30, p. 1387-1396, 1987.



---

*Monitoramento por Satélite*

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSI, M.; BRAZ-CALDERANO, F. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida.** Campinas: Instituto Agrônômico; Embrapa Solos, 1999. 2 v.

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).** Washington, DC: United States Department of Agriculture, 1997. 404 p. (USDA. Agriculture Handbook, 703).

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-59, 2003.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p.147-159, 2004.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. A.; FORMAGGIO, A. R; EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M. Determinação de seqüências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do Fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 63-67.

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