

## Mapeamento da contribuição de terraços agrícolas na redução da erosão do solo em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
33**

**Mapeamento da contribuição de terraços  
agrícolas na redução da erosão do solo  
em sub-bacias do noroeste do  
Estado de São Paulo**

*Sérgio Galdino  
Sérgio Gomes Tôsto  
Carlos Fernando Quartaroli  
Adalgiso Alves Camargo Junior*

***Embrapa Monitoramento por Satélite  
Campinas, SP  
2017***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Soldado Passarinho, nº 303  
Fazenda Jardim Chapadão  
13070-115, Campinas, SP  
Fone: (19) 3211.6200  
www.embrapa.br/territorial  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Monitoramento por Satélite

Presidente  
*Sérgio Gomes Tosto*

Secretário-Executivo  
*Bibiana Teixeira de Almeida*

Membros  
*André Luiz dos Santos Furtado, Bibiana Teixeira de Almeida, Carlos Fernando Quartaroli, Daniela Maciel Pinto, Fabio Enrique Torresan, Gustavo Bayma Siqueira da Silva, Janice Freitas Leivas, Marcelo Fernando Fonseca, Vera Viana dos Santos Brandão*

Supervisão editorial  
*Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida*

Revisão de texto  
*Bibiana Teixeira de Almeida*

Normalização bibliográfica  
*Vera Viana dos Santos Brandão*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica e Tratamento das  
ilustrações  
*Suzi Carneiro*

Foto da capa  
*Claudio Lucas Capeche*

**1ª edição**

1ª impressão (2017): versão 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)**

Embrapa Monitoramento por Satélite

---

Mapeamento da contribuição de terraços agrícolas na redução da erosão do solo  
em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo / Sérgio Galdino...  
Galdino... [et al.]. - Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017.  
27 p. : il. ; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Monitoramento  
por Satélite, ISSN 1806-3322; 33)

1. Conservação do solo. 2. Equação universal perda do solo. 3. Ordenamento  
sustentável da terra. 4. Sistema de informação geográfica. I. Galdino, Sérgio. II.  
Tôsto, Sérgio Gomes. III. Quartaroli, Carlos Fernando. IV. Camargo Junior, Adalgiso  
Alves. V. Título. VI. Série.

CDD 631.45

© Embrapa, 2017

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução.....	9
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	19
Conclusões.....	25
Referências .....	25



# Mapeamento da contribuição de terraços agrícolas na redução da erosão do solo em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo

Sérgio Galdino<sup>1</sup>

Sérgio Gomes Tosto<sup>2</sup>

Carlos Fernando Quartaroli<sup>3</sup>

Adalgiso Alves Camargo Junior<sup>4</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi mapear a distribuição espacial do fator de práticas conservacionistas do solo (fator P) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation*, Rusle) em áreas terraceadas em sub-bacias do projeto GeoHevea, para posteriormente estimar a perda de solos dessas áreas. Foi considerado que o fator P da Rusle varia de acordo com o espaçamento horizontal entre terraços (EH). O EH foi calculado por equações e tabelas desenvolvidas para condições brasileiras e varia em função da declividade do terreno, do tipo de solo e dos tipos de uso e manejo do solo. O mapeamento das áreas terraceadas foi feito a partir da interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução espacial. Para mostrar a variabilidade do fator P no espaço, os valores de EH foram obtidos de forma espacializada a partir do mapa digital de declividades e do mapa de solos em formato matricial (*raster*). O mapa digital de declividades foi obtido usando um modelo digital de elevação gerado a partir de dados de altimetria provenientes de cartas topográficas. As ferramentas do sistema de informações geográficas (SIG) mostraram-se úteis para o método, ao possibilitarem cálculos matemáticos envolvendo células de arquivos

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

<sup>2</sup> Agrônomo, Doutor em Desenvolvimento, Espaço e Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

<sup>4</sup> Graduando em Geografia, bolsista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

matriciais georreferenciados que representavam a distribuição espacial da declividade do terreno e de índices relacionados ao tipo de solo. A ferramenta de reclassificação do SIG também foi útil para atribuir um valor de P para cada célula do *raster* de EH, o que gerou o *raster* com a espacialização do fator P.

**Termos para indexação:** Equação Universal de Perda de Solo, sistema de informação geográfica, planejamento sustentável do uso das terras, práticas conservacionistas do solo.

# Mapping the contribution of terraces to the reduction of soil erosion in watersheds at the northwest region of the State of São Paulo

**Abstract** – The aim of this work was to map the spatial distribution of the soil conservation practices factor (P factor) in the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) for terraced areas within GeoHevea project's study area, and to then estimate the soil loss in these areas. Taking into account that Rusle's P factor varies according to the horizontal spacing between terraces (EH), we calculated EH values using equations and tables developed for Brazilian conditions, and noted that EH varies according to terrain steepness, soil type, and soil use and management practices. The terraced areas were mapped based on the visual interpretation of high spatial resolution satellite images. In order to show P factor's variability in space, we obtained spatialized EH values from the digital declivity map and the soil map in raster form. We obtained the digital declivity map using a digital elevation model based on altimetry data extracted from topographic maps. The tools available in the geographic information system (GIS) proved themselves useful, for they enabled performing mathematical calculations using the cells in georeferenced raster files which contained the data on spatial distribution of the terrain's slopeness and the indices related to soil type. The GIS's reclassification tool was also useful in obtaining a P value for each EH raster cell, and yielded a raster of the P-factor spatialization.

**Index terms:** Universal Soil Loss Equation, geographic information system, sustainable planning of land use, soil conservation practices.



## Introdução

---

Modelos matemáticos de predição de erosão são ferramentas usuais da pesquisa voltada à recomendação de práticas agrícolas conservacionistas. O diagnóstico da erosão em determinado local auxilia a identificação das áreas mais críticas e traz subsídios aos programas voltados ao planejamento do uso das terras.

Um dos modelos mais utilizados em todo o mundo para estimar a perda média anual de solo é a *Universal Soil Loss Equation* (Usle), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) para os Estados Unidos. O modelo adaptado da Usle para uso no Brasil é conhecido como Equação Universal de Perda de Solo (Eups) (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Com o intuito de melhorar as estimativas de perdas de solo por meio da Usle, foi desenvolvida, também nos Estados Unidos, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation*, Rusle) (RENARD et al., 1997). A Usle e a Rusle são modelos empíricos que preveem as perdas médias anuais de solo por erosão hídrica com base no conhecimento dos fatores que influenciam a erosão: erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), fator topográfico (fator LS), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas do solo (fator P). Os fatores R, K e LS dependem das condições naturais de clima, solo e topografia, enquanto os fatores C e P estão relacionados às ações antrópicas.

Os fatores C e P da Usle/Eups/Rusle podem ser modificados pelos agricultores de modo a ampliar a proteção da terra contra a erosão hídrica. Para mapear o fator de práticas conservacionistas do solo (fator P), é necessário identificar as áreas com esse tipo de prática agrícola. O terraceamento agrícola é a prática mecânica de controle da erosão mais difundida entre os agricultores brasileiros (MIRANDA et al., 2004; PRUSKI et al., 2006; RIO GRANDE DO SUL, 1985), e consiste na construção de estruturas transversais ao sentido do maior declive do terreno. Apresenta estrutura composta de um dique e um canal e tem a finalidade de reter e infiltrar as águas das chuvas nos terraços em nível, ou escoá-las lentamente para áreas adjacentes nos terraços em desnível ou com gradiente (RIO GRANDE DO SUL, 1985).

Para dimensionar os espaçamentos vertical (EV) e horizontal (EH) entre terraços existem diferentes metodologias disponíveis na literatura, as

quais são principalmente funções da declividade do terreno e das características do solo (GRIEBELER et al., 2005). Galdino et al. (2016a) utilizaram uma equação empírica do Serviço de Conservação de Recursos Naturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA; NRCS, 2011) para dimensionar EV e EH de terraços em nível em áreas de pastagens no Estado de Goiás e no Distrito Federal. Posteriormente os mesmos autores mapearam o fator P para essas áreas de pastagens a partir do estudo de Foster e Highfill (1983), que estabeleceram uma relação entre intervalos de espaçamento horizontal de terraços com valores do fator P, para uso no planejamento conservacionista. Os valores do fator P para terraços propostos por Foster e Highfill (1983) compreendem valores de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1. Essa relação é apresentada na Tabela 6-15 da publicação *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle)* (RENARD et al., 1997). Diferentemente da Rusle, a Eups (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005) propõe apenas o valor de 0,5 para o fator P em áreas terraceadas.

No Brasil, existem vários métodos empíricos de estimativa do espaçamento entre terraços. A fórmula de Bentley (EMBRAPA, 1980) é uma das mais utilizadas e baseia-se na declividade do terreno e em um fator que varia com a natureza do solo e sua resistência à erosão, com o tipo de cultura (anual ou perene) e com o tipo de terraço (com ou sem gradiente). Utilizando dados de perdas por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo ao longo de uma média de dez anos de observação de talhões com diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, Bertoni (1959) propôs uma equação para determinar o espaçamento vertical entre terraços, que utiliza a declividade do terreno e uma constante que depende da textura do solo. A partir de dados de pesquisa sobre perdas de solo e água levantados por Bertoni (1959; 1972; 1978), Lombardi Neto et al. (1994) propuseram uma equação de estimativa do espaçamento vertical entre terraços com base na declividade do terreno, em um índice que depende do tipo de solo, do fator de uso do solo e do fator de preparo do solo e manejo dos restos culturais.

O projeto de pesquisa “Sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias – GeoHevea”, parte do Sistema Embrapa de Gestão, está desenvolvendo estudos em sub-bacias afluentes do Rio Tietê localizadas no noroeste do Estado de São Paulo, nas regiões administrativas de São José do Rio

Preto e Araçatuba, onde estão 73% dos pés de seringueira plantados e 67% dos pés em produção no estado e responsáveis por 69% da produção paulista de borracha em 2015 (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2015).

O objetivo deste trabalho foi mapear a distribuição espacial do fator P em áreas terraceadas dentro da área de estudo do projeto GeoHevea, para posteriormente estimar as perdas de solo dessas áreas a partir da Usle/Eups/Rusle e, assim, subsidiar o planejamento do uso dessas terras, seja com a heveicultura ou com outros cultivos. Foi considerado que o fator P varia de acordo com o espaçamento horizontal dos terraços (EH) que, por sua vez, varia em função da declividade do terreno, do tipo de solo e dos tipos de uso e manejo do solo.

## Material e Métodos

---

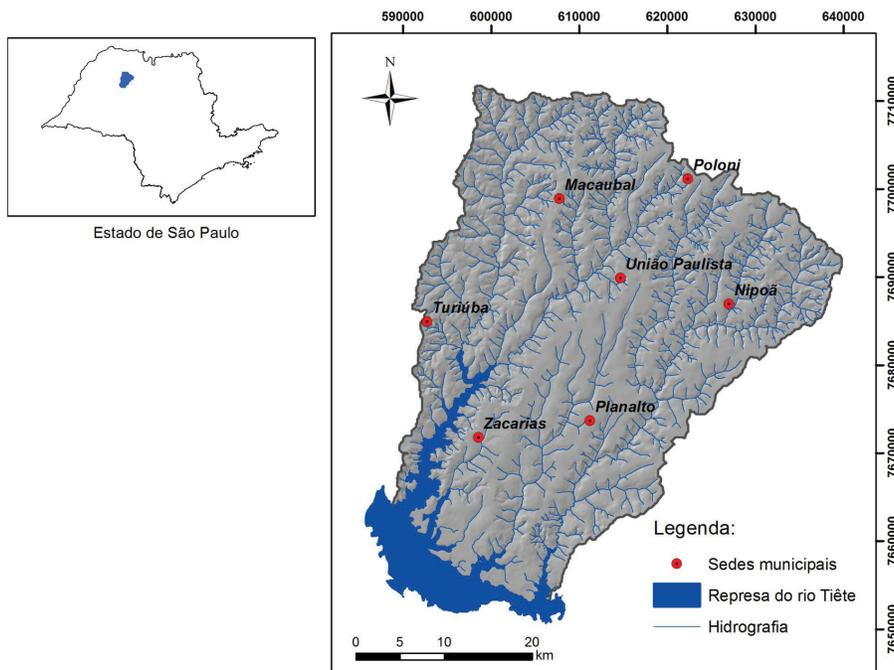
A área de estudo está localizada entre as latitudes 20°41'28,72" S e 21°13'17,08" S e entre as longitudes 50°08'45,91" W e 49°39'21,96" W. A superfície terrestre dessa área é de 174.184 ha (CAMARGO JUNIOR et al., 2016). A rede hidrográfica, as sedes municipais, os limites municipais, a represa do Rio Tietê e a localização da área de estudo no Estado de São Paulo são mostrados na Figura 1.

As classes de solos predominantes na área de estudo, obtidas a partir do levantamento pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), são os Argissolos Vermelho-Amarelo (PVA) e Vermelho (PV) e o Latossolo Vermelho (LV) com suas variações Distrófico (d) e Eutrófico (e).

A área estudada, de acordo com Camargo Junior et al. (2016), caracteriza-se pelo predomínio dos relevos plano (0% a 3% de declividade) e suave ondulado (3% a 8%), que totalizam 85% da superfície. Em 15% da área ocorre relevo ondulado (8% a 20%).

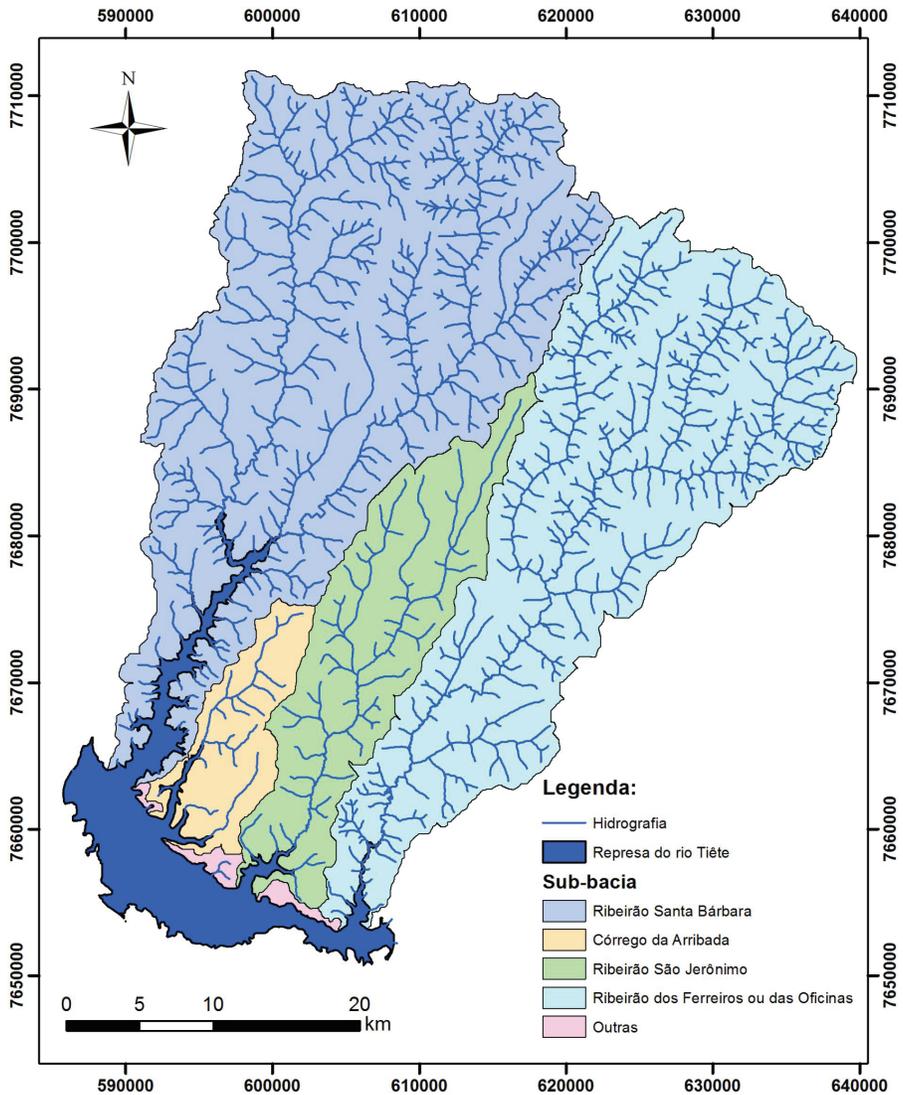
As sub-bacias dos cursos d'água afluentes diretos do Rio Tietê delimitadas por Camargo Junior et al. (2016) podem ser visualizadas na Figura 2. As sub-bacias do Ribeirão Santa Bárbara, com área de 78.722 ha, e do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas, com 62.006 ha, recobrem 80,79% da área de estudo do projeto GeoHevea. Completam a área as sub-bacias do Ribeirão

São Jerônimo (13,51% da área de estudo), do Córrego da Arribada (4,95% da área de estudo) e três pequenas sub-bacias, cujas águas escoam diretamente para a represa do Rio Tietê, identificadas na Figura 2 como “Outras” (CAMARGO JUNIOR et al., 2016).



**Figura 1.** Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, com representação da rede hidrográfica, dos limites e sedes municipais e da represa do Rio Tietê.

Quanto ao potencial natural de erosão (PNE), a sub-bacia do Ribeirão Santa Bárbara é a que apresenta o maior PNE, com valor médio de  $1.293 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (GALDINO et al., 2016b). Na sub-bacia dos Ferreiros ou das Oficinas, o PNE médio é de  $786 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Nas sub-bacias do Córrego da Arribada e do Ribeirão São Jerônimo, os valores médios do PNE são, respectivamente, de  $164 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $163 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Classes de PNE fraco e moderado, até  $800 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , ocorrem em cerca de 64% das terras do projeto GeoHevea. Entretanto 30.260 ha apresentam PNE muito forte, acima de  $1.600 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .



**Figura 2.** Limites das sub-bacias hidrográficas, com a rede hidrográfica e a represa do Rio Tietê.

Fonte: Camargo Junior et al. (2016).

Para mapear a contribuição do terraceamento agrícola na redução da erosão dos solos, inicialmente foram mapeadas as superfícies com e sem terraços na área de estudo, a partir da interpretação visual de imagens de

alta resolução espacial. Foram usadas imagens dos satélites WorldView 2 e GeoEye 1 em composição RGB de cores naturais dos anos de 2014 e 2015. As imagens foram introduzidas em projeto criado usando o sistema de informações geográficas (SIG) ArcGIS 10.3 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2013). Ao mesmo projeto foi adicionado arquivo vetorial (*shapefile*) com o limite da área do projeto GeoHevea (CAMARGO JUNIOR et al., 2016). As áreas homogêneas quanto à ocorrência ou não de terraços foram identificadas e delimitadas sobre as imagens vistas em tela. A delimitação foi feita manualmente usando ferramentas de edição vetorial do ArcGIS. Inicialmente as áreas foram delimitadas como feições de linhas e posteriormente foram transformadas em polígonos, para evitar problemas de sobreposição e espaços vazios entre os polígonos, que ocasionariam erros de topologia. Ao *shapefile* de polígonos foi adicionado um campo em sua tabela de atributos, para a identificação das áreas com terraços e sem terraços. Os registros de polígonos correspondentes a áreas com terraços receberam o número 1, as demais áreas receberam o número 0. A delimitação das áreas sem terraços (0) e com terraços (1) em parte da área de estudo, a partir de imagem de alta resolução, pode ser visualizada na Figura 3.

Posteriormente, por meio do ArcGIS, esse arquivo vetorial de polígonos foi convertido para o formato *raster* com células de 30 m por 30 m. Em seguida, os valores dos pixels foram reclassificados com valor de 1 para os pixels correspondentes às áreas terraceadas e de *NoData* para os pixels sem terraço, criando, assim, uma máscara para as áreas não terraceadas.

Para o mapeamento do espaçamento vertical entre terraços, foi utilizada a Equação 1 proposta por Lombardi Neto et al. (1994):

$$EV = 0,4518 \times K \times (D^{0,58}) \times \left(\frac{u + m}{2}\right) \quad (1)$$

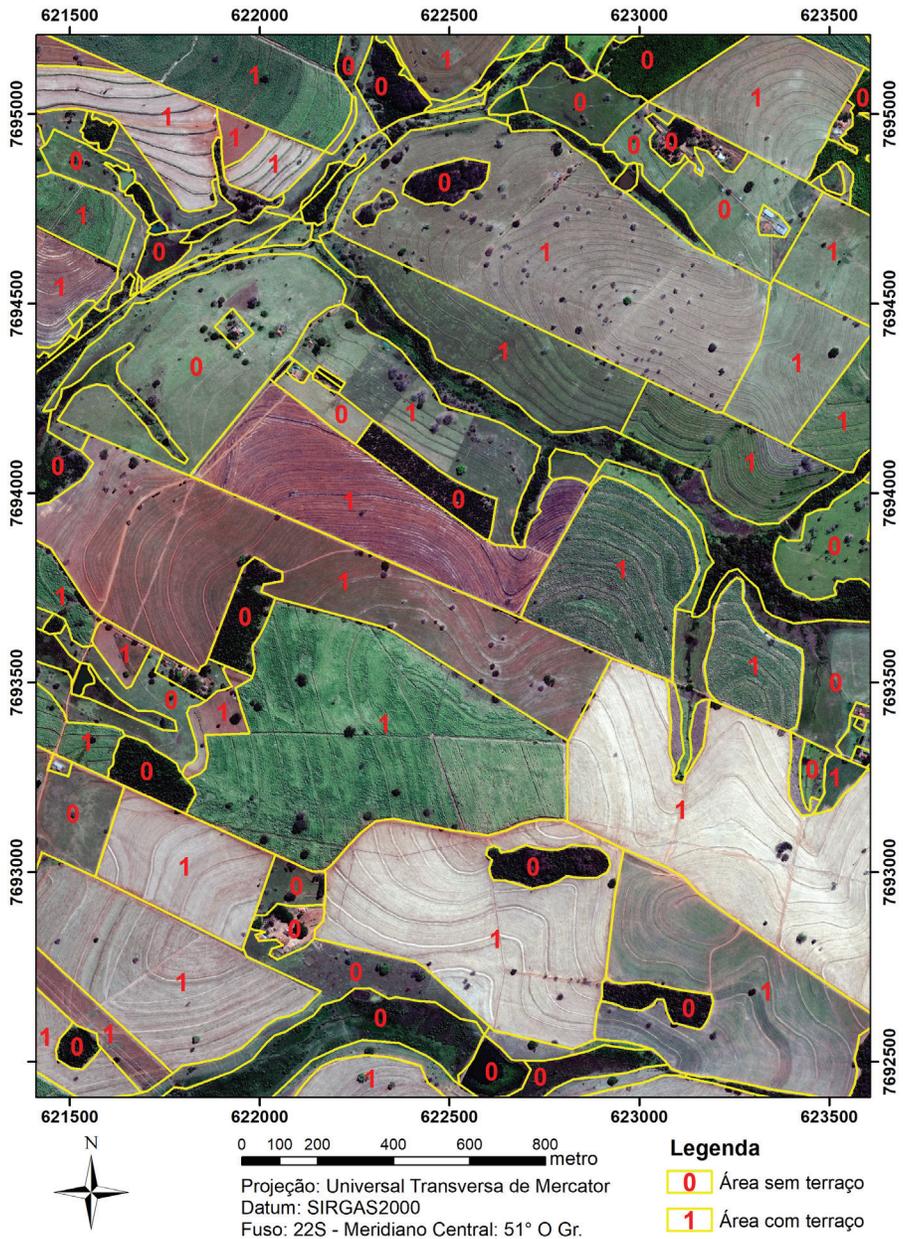
*EV* = espaçamento vertical entre terraços, em metros;

*D* = declive do terreno, em porcentagem;

*K* = índice variável para cada tipo de solo;

*u* = fator de uso do solo;

*m* = fator de manejo do solo (preparo do solo e manejo de restos culturais).



**Figura 3.** Delimitação das áreas sem (0) e com terraços (1) em parte da área de estudo, a partir de imagem de alta resolução.

O mapa do declive do terreno ( $D$ ) na área do projeto GeoHevea, com resolução de 30 m x 30 m, foi gerado no ArcGIS a partir do modelo digital de terreno (MDT) gerado por Camargo Junior et al. (2016). Essa mesma resolução foi utilizada no arquivo máscara para as áreas não terraceadas, bem como para os demais arquivos gerados no presente trabalho.

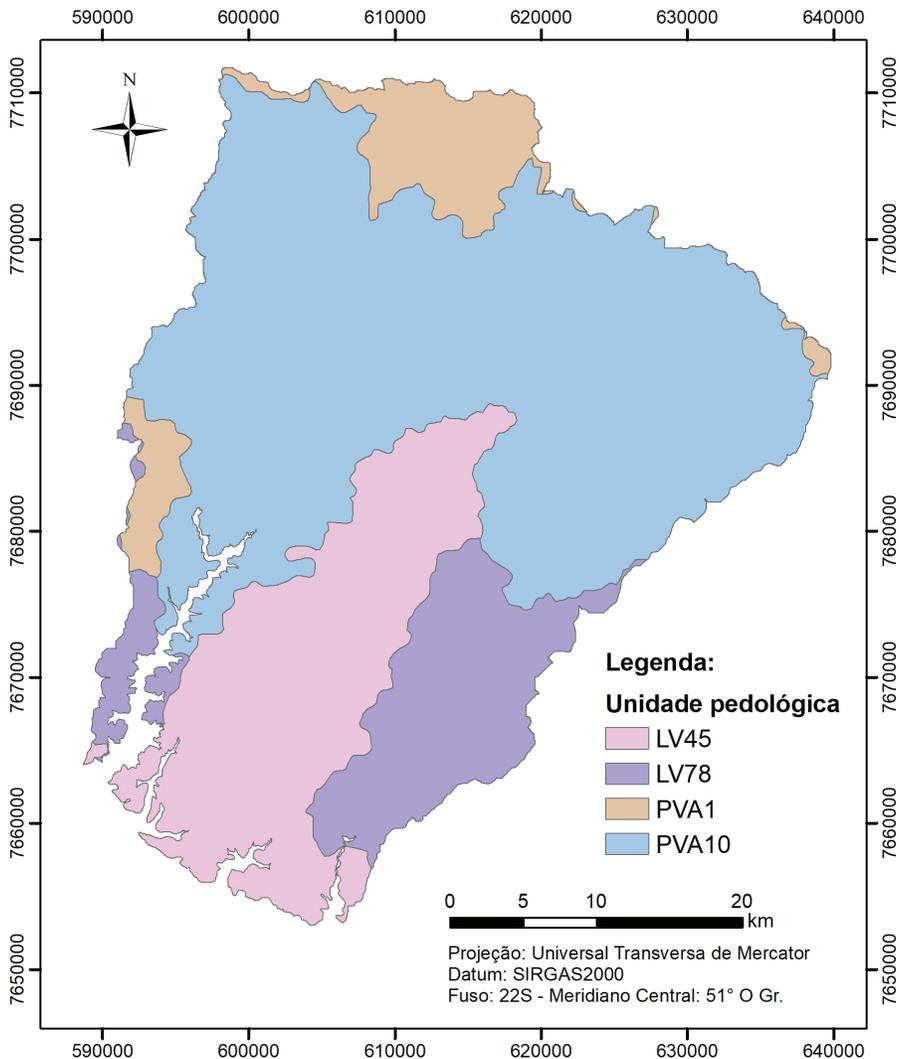
O mapeamento dos valores do índice  $K$  para a área do projeto foi obtido a partir do mapa de solos do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (OLIVEIRA et al., 1999), e da tabela dos valores do índice  $K$ , de acordo com o agrupamento das classes de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão, elaborada por Lombardi Neto et al. (1994). A distribuição das classes de solos em formato *raster*, com células de 30 m x 30 m, é mostrada na Figura 4, e os valores do índice  $K$  para as classes de solo da área do projeto constam da Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição das unidades pedológicas, ocorrência na área de estudo e valor do índice  $K$  correspondente a cada uma das classes de solo.

Unidade	Solo	Área		Índice $K^*$
		(ha)	(%)	
LV45	LVd	38.045	21,84	1,25
LV78	LVd + PVAed + PVed	22.760	13,07	1,25
PVA1	PVAe	13.615	7,82	1,10
PVA10	PVAe + PVde + LVd	99.764	57,28	1,10

\*Índices obtidos a partir de Lombardi Neto et al. (1994).

Segundo Lombardi Neto et al. (1994), o fator de uso do solo ( $u$ ) varia de 0,5 a 2,0, conforme o tipo de cultura agrícola (cana-de-açúcar, pastagem, seringueira, etc.) presente nas áreas terraceadas. O fator de manejo do solo ( $m$ ) também varia de 0,5 a 2,0, conforme o grupo de preparo do solo e manejo de restos culturais nas áreas com terraços (LOMBARDI NETO et al., 1994). Visitas a campo na área de estudo constataram que o uso das terras e o manejo do solo são diversificados. Considerando que até o momento ainda não se dispõe de um mapeamento atualizado do uso dessas terras, neste trabalho foram utilizados valores médios dos fatores  $u$  e  $m$ , ou seja, de 1,25 para cada um dos fatores.



**Figura 4.** Distribuição das unidades pedológicas na área de estudo.

Para gerar o mapa do espaçamento vertical entre terraços (*EV*), foram utilizados a ferramenta *Raster Calculator* da extensão *Spatial Analyst Tools*, presente no ArcGIS, e os arquivos *raster* de declive do terreno (*D*) e de índice do solo (*K*). A expressão utilizada no *Raster Calculator* foi a de Lombardi Neto et al. (1994) para a estimativa do espaçamento vertical entre terraços, sendo

que o termo  $(u + m)/2$  foi substituído pelo valor de 1,25. Para o mapeamento do *EV* apenas nas áreas com terraços, o arquivo resultante do procedimento anterior foi multiplicado pelo arquivo máscara das áreas terraceadas, também utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS.

O espaçamento horizontal entre terraços (*EH*), em metros, de acordo com Lombardi Neto et al. (1994), é calculado pela Equação 2:

$$EH = \frac{100 \times EV}{D} \quad (2)$$

*EV* = espaçamento vertical entre terraços, em metros;

*D* = declividade do terreno, em porcentagem.

Para mapear o espaçamento horizontal entre terraços (*EH*), também foram utilizados a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS e os arquivos *raster* do declive do terreno (*D*) e do *EV* das áreas com terraços, ambos com células de 30 m x 30 m.

Para gerar o mapa do fator de práticas conservacionistas do solo nas áreas terraceadas (fator *P* da Rusle), foi utilizada a Tabela 2, proveniente do trabalho de Foster e Highfill (1983).

**Tabela 2.** Valores do fator *P* da Rusle para diferentes espaçamentos horizontais entre terraços (*EH*).

<i>EH</i>		Fator <i>P</i> da Rusle	
Pé (ft)	Metro (m)*	Terraço em nível	Terraço com gradiente de 1% a 3%
< 110	< 33,528	0,5	0,6
110 – 140	33,528 – 42,672	0,6	0,7
140 – 180	42,672 – 54,864	0,7	0,8
180 – 225	54,864 – 68,580	0,8	0,8
225 – 300	68,580 – 91,440	0,9	0,9
> 300	> 91,440	1	1

\*Adaptado para o Sistema Internacional de Unidades (SI).

Considerando os intervalos de espaçamentos horizontais entre terraços em metros (*EH*) e os correspondentes valores do fator *P* para terraços em

nível (Tabela 2), foi gerado o mapa do fator P para as áreas terraceadas. Inicialmente o arquivo *raster* de *EH* foi classificado manualmente para as seis classes de intervalos de espaçamento entre terraços da Tabela 2. Em seguida, utilizando a ferramenta *Reclassify* da extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS, as classes de intervalos de *EH* do arquivo *raster EH* foram reclassificadas para valores inteiros. O intervalo de  $EH < 33,528$  foi reclassificado para 5, o intervalo de  $EH$  entre 33,528 e 42,672 foi reclassificado para 6, e assim sucessivamente até o intervalo de  $EH > 91,440$ , que foi reclassificado para 10, gerando, assim, um arquivo *raster EH* reclassificado (*EH\_reclas*). O arquivo *raster* do mapa do fator P para as áreas terraceadas finalmente foi obtido utilizando a ferramenta *Raster Calculator* da extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS, empregando a expressão:  $1.0^{**}EH\_reclas/10$ ). A multiplicação por 1.0 é necessária para que o arquivo resultante da ferramenta *Raster Calculator* apresente uma casa decimal, caso contrário o número resultante será um número inteiro.

Utilizando a ferramenta *Band Collection Statistics* do ArcGIS 10.3, foram calculados coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ) entre os arquivos *raster* do fator P e de variáveis utilizadas na sua estimativa.

## Resultados e Discussão

---

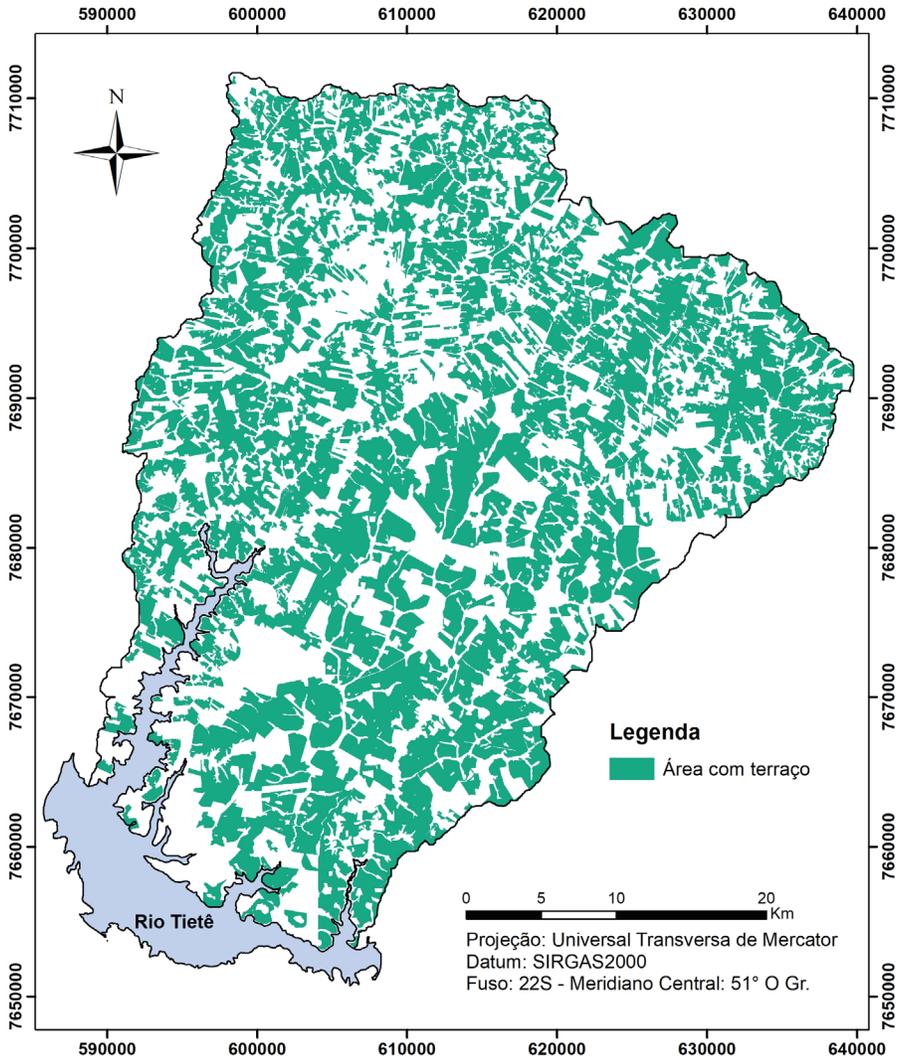
O mapa das terras com terraços na área de estudo do projeto GeoHevea pode ser visualizado na Figura 5.

A distribuição das áreas em hectare e em porcentagem das terras terraceadas nas sub-bacias é apresentada na Tabela 3.

O levantamento identificou que pouco mais da metade (52,54%) da área de estudo do projeto GeoHevea está terraceada. Consideradas apenas as áreas agrícolas, essa porcentagem deve subir consideravelmente. As sub-bacias com maior ocorrência de áreas com terraço são a do Ribeirão São Jerônimo e a do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas. As menores incidências de áreas com terraços ocorreram nas sub-bacias classificadas como Outras e do Córrego da Arribada.

A distribuição das áreas, em hectare e em porcentagem, das terras terraceadas nos municípios é apresentada na Tabela 4. Cabe ressaltar que as

áreas dos municípios mapeadas correspondem apenas às que estão inseridas no limite do projeto GeoHevea.



**Figura 5.** Localização das terras terraceadas na área de estudo do projeto GeoHevea.

As maiores incidências de áreas com terraço estão nos municípios de Neves Paulista, Monções, União Paulista e Planalto, e as menores ocorrên-

cias de áreas com terraços são nos municípios de Buritama, Sebastianópolis do Sul e Zacarias.

**Tabela 3.** Distribuição das áreas em hectare (ha) e em porcentagem (%) das terras terraceadas nas sub-bacias.

Sub-bacia	Área terraceada	
	(ha)	(%)
Córrego da Arribada	2.942	34,14
Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas	34.883	56,26
Ribeirão Santa Bárbara	39.505	50,18
Ribeirão São Jerônimo	13.753	58,46
Outras	427	32,60
Total	91.510	52,54

\*Porcentagem de área terraceada em relação à área total da sub-bacia.

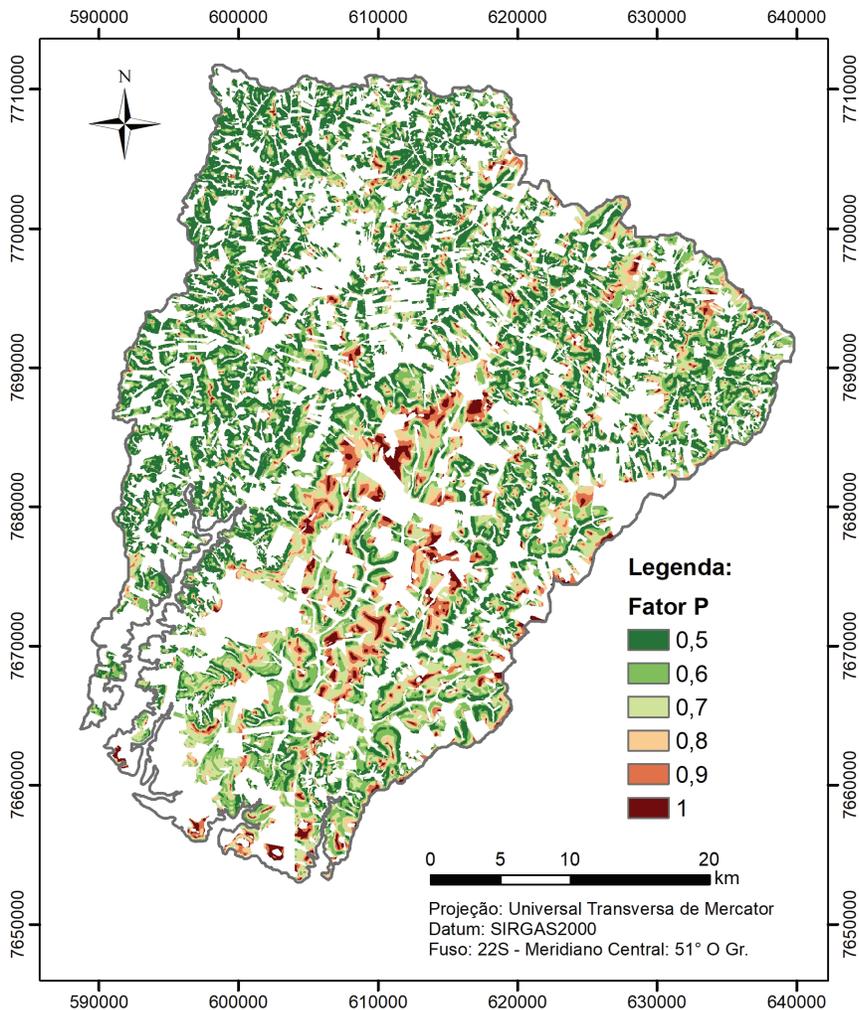
**Tabela 4.** Áreas terraceadas por município, áreas de cada município dentro da área de estudo e percentuais (%) das áreas terraceadas em relação às áreas dos municípios dentro da área de estudo.

Município	Área terraceada na área de estudo (ha)	Área do município na área de estudo (ha)	(%)*
Buritama	1.371	3.982	34,44
José Bonifácio	10.934	19.630	55,70
Macaubal	11.777	24.800	47,49
Monções	4.194	6.961	60,25
Monte Aprazível	8.220	14.698	55,93
Neves Paulista	2.784	4.514	61,67
Nhandeara	5.288	10.216	51,76
Nipoã	7.506	13.776	54,49
Planalto	16.812	28.955	58,06
Poloni	2.910	5.915	49,19
Sebastianópolis do Sul	10	27	35,82
Turiúba	4.071	8.017	50,78
União Paulista	4.602	7.907	58,20
Zacarias	11.121	24.787	44,87

\*Porcentagem das áreas terraceadas em relação às áreas dos municípios dentro da área de estudo.

O mapa do fator P nas terras com terraços na área de estudo do projeto GeoHevea é mostrado na Figura 6.

A distribuição das áreas em hectare e em porcentagem dos valores do fator P das terras terraceadas na área de estudo do projeto GeoHevea é apresentada na Tabela 4.



**Figura 6.** Mapa do fator P nas terras com terraços na área de estudo do projeto GeoHevea.

**Tabela 4.** Distribuição das áreas em hectare (ha) e em porcentagem (%) dos valores do fator P das terras terraceadas na área de estudo do projeto GeoHevea.

Fator P	Área	
	(ha)	(%)
0,5	36.406	39,78
0,6	21.657	23,67
0,7	15.704	17,16
0,8	8.888	9,71
0,9	5.922	6,47
1	2.933	3,20

Os valores médios do fator P e parâmetros utilizados para a sua estimativa foram: fator P de 0,6290; declividade de 4,4893%; índice *K* de 1,1524; *EV* de 1,4466 m; *EH* de 42,9583 m.

A correlação entre o fator P e o índice *K* foi de apenas 0,25937, decorrente provavelmente do reduzido número de classes de solo na área de estudo e da proximidade entre os valores do índice *K*, que variaram entre 1,10 e 1,25. Já a correlação entre o fator P e a declividade do terreno foi de -0,78606, evidenciando uma relação inversamente proporcional, ou seja, à medida que a declividade do terreno aumenta, o valor do fator P diminui, e vice-versa. Quanto menor a declividade do terreno, maior o espaçamento horizontal (*EH*) entre terraços ( $r = -0,67283$ ) e, conseqüentemente, menor o efeito do terraceamento na redução das perdas de solo entre terraços.

A estimativa do fator LS da Eups/Usle/Rusle também é influenciada pela declividade do terreno. Assim, utilizando o arquivo *raster* do fator LS da Rusle relativo à área de estudo do projeto GeoHevea, obtido por Galdino et al. (2016b), foi analisado o efeito da declividade na estimativa dos fatores P e LS e do produto desses fatores sobre as perdas de solos nas áreas com terraços. Para tanto, foram obtidas as médias da declividade, do fator topográfico da Rusle (fator LS) e do produto dos fatores LS e P para as diferentes classes do fator P, utilizando as ferramentas *Raster Calculator* e *Zonal, Band Collection Statistics* e *Statistics as Table* do SIG ArcGIS 10.3. Os resultados estão descritos na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores médios da declividade, do fator topográfico da Rusle (fator LS) e do produto dos fatores LS e P para diferentes valores do fator P.

Fator P	Declividade (%)	Fator LS	LS x P
0,5	7,63	1,78	0,89
0,6	3,79	0,71	0,43
0,7	2,19	0,37	0,26
0,8	1,27	0,21	0,17
0,9	0,74	0,13	0,12
1	0,33	0,07	0,07

Os valores da Tabela 5 reforçam a relação inversamente proporcional observada na correlação entre o fator P e a declividade do terreno. A correlação entre o fator LS e a declividade do terreno foi de 0,9000, evidenciando uma forte relação diretamente proporcional, ou seja, à medida que a declividade do terreno aumenta, o valor do fator LS também aumenta. O produto dos fatores LS e P também aumentou com o incremento da declividade do terreno ( $r=0,40988$ ), evidenciando que o aumento da declividade em áreas terraceadas, apesar da redução no fator P, tem um efeito maior sobre o fator topográfico da Rusle, de tal forma que, de modo geral, as perdas de solo tendem a aumentar com o incremento da declividade, mesmo em áreas terraceadas. É importante ressaltar que isso de maneira alguma inviabiliza a necessidade do terraceamento agrícola, mas, ao contrário, enfatiza que, na ausência dessa prática conservacionista, as perdas de solo serão maiores ainda com o incremento da declividade do terreno e do seu efeito sobre o fator topográfico (fator LS).

## Conclusões

O método usado neste trabalho permitiu a obtenção do fator P de forma espacializada, a partir de valores de espaçamento horizontal entre terraços (EH), por sua vez obtidos a partir de modelos digitais de declividade e de mapa de tipos de solo. A espacialização do fator P permite uma estimativa mais acurada das perdas de solo pela Rusle do que métodos que consideram o valor P constante.

As ferramentas de SIG mostraram-se úteis para o método, ao possibilitarem cálculos matemáticos envolvendo células de arquivos matriciais (*raster*) georreferenciados, que representavam a distribuição espacial da declividade do terreno e de índices relacionados ao tipo de solo. A ferramenta de reclassificação do SIG também foi útil para atribuir um valor de P para cada célula do *raster EH*, com base em dados disponibilizados para a Rusle, o que gerou o *raster* com a espacialização do fator P.

A estimativa do fator P pode ser melhorada pela introdução de arquivos matriciais com valores espacializados dos fatores relacionados ao uso e manejo do solo no cálculo do espaçamento vertical entre terraços (EV). Como não havia informação de uso e manejo do solo para a área avaliada no trabalho, foi usado um valor constante, baseado no valor médio assumido para esses fatores segundo a literatura pesquisada.

## Referências

---

- BERTONI, J. **Espaçamento de terraços para os solos do estado**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1978. 4 p.
- BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2005. 355 p.
- BERTONI, J. **Tabela para espaçamento de terraços de base larga em culturas anuais e de terraços de base estreita (cordões em contorno) em culturas perenes**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1972. 1 p.
- CAMARGO JUNIOR, A. A.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando modelo digital de terreno gerado a partir de mapas topográficos e imagens de alta resolução espacial. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CIIC, 10., 2016. Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, p. 1-11, 2016.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Práticas de conservação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1980. 88 p. (SNLCS. Série Miscelânea, 3).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop**: release 10.3. Redlands: ESRI, 2013.
- FOSTER, G. R.; HIGHFILL, R. E. Effect of terraces on soil loss: USLE P-factor values for terraces. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 38, p. 48-51, 1983.
- GALDINO, S.; SANO, E. E.; ANDRADE, R. G.; GREGO, C. R.; NOGUEIRA, S. F.; BRAGANTINI, C.; FLOSI, A. H. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for

Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, p. 773-784, 2016a.

GALDINO, S.; TOSTO, S. G.; QUARTAROLI, C. F.; RONQUIM, C. C.; CAMARGO JUNIOR, A. A. **Potencial natural de erosão em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016b. 23 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 112).

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D. Modelo para dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 696-704, 2005.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatísticas da produção paulista**. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1)>. Acesso em: 14 nov. 2016.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I.; OLIVEIRA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. **Terraceamento agrícola**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. (Boletim Técnico, 206).

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; SILVA, K. O.; JONG VAN LIER, Q. de; VILLA NOVA, N. A. Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 169-174, 2004.

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

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. da. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 133-170.

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: USDA, 1997. 404 p. (Agricultural Handbook, 703).

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. **Manual de conservação do solo**. 3. ed. Porto Alegre, 1985. 287 p.

USDA-NRCS. Stream Restoration Design Handbook. In: **Engineering Field Manual: for conservation practices**. Washington, D.C.: Department of Agriculture; Natural Resources Conservation Service, 2011. Part 650. Chapter 8: Terraces.

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



---

*Monitoramento por Satélite*