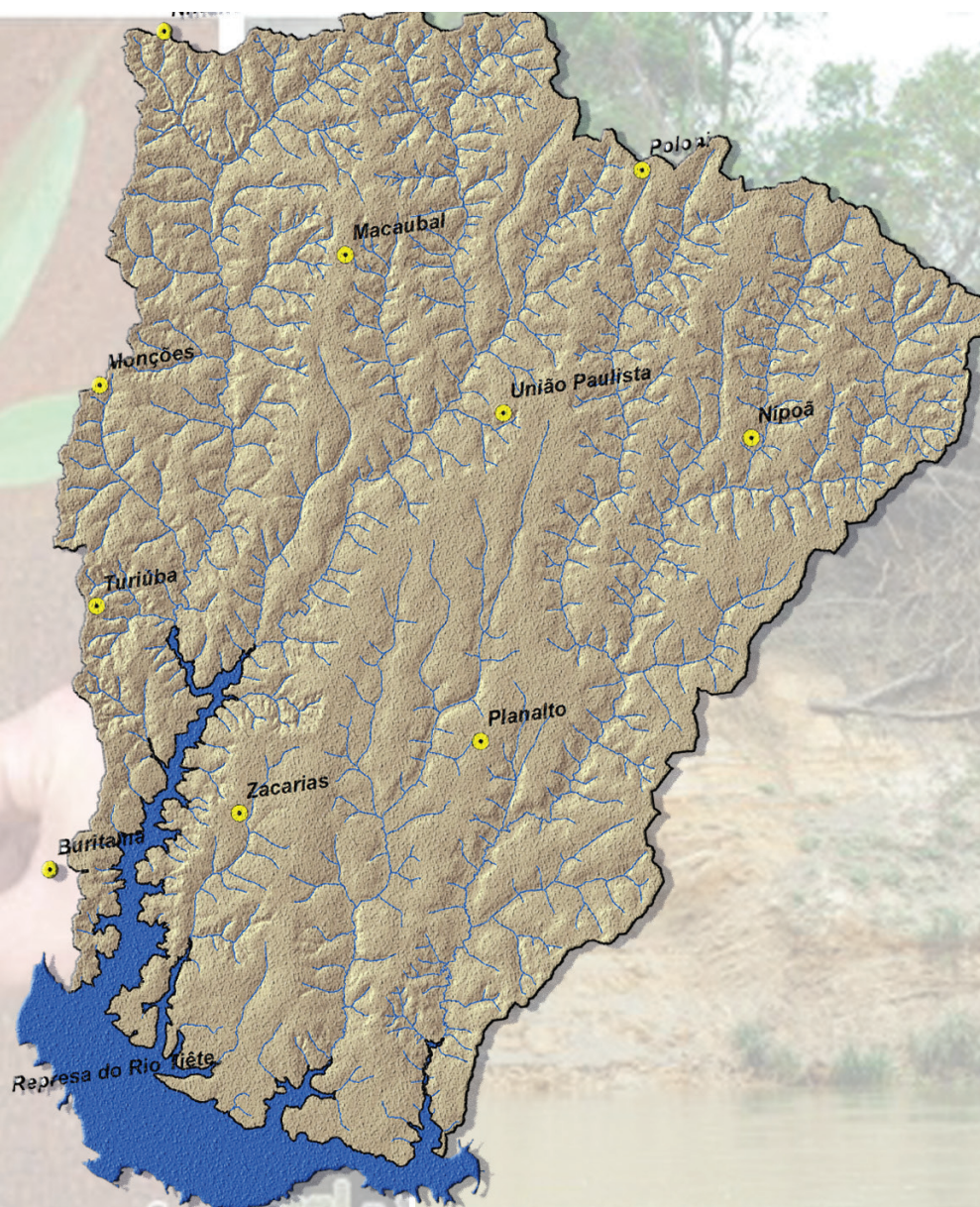


Potencial natural de erosão em sub-bacias com cultivo de seringueira no noroeste do Estado de São Paulo



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

Documentos 112

Potencial natural de erosão em sub- bacias com cultivo de seringueira no noroeste do Estado de São Paulo

*Sérgio Galdino
Sergio Gomes Tôsto
Carlos Fernando Quartaroli
Carlos Cesar Ronquim
Adalgiso Alves Camargo*

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

Home page: <http://www.embrapa.br/monitoramento-por-satelite/>

E-mail (sac): <https://www.embrapa.br/fale-conosco/>

Comitê de Publicações da Embrapa Monitoramento por Satélite

Presidente: Sérgio Gomes Tôsto

Secretária-Executiva: Bibiana Teixeira de Almeida

Membros: André Luiz dos Santos Furtado, Carlos Fernando Quartaroli, Daniela Maciel Pinto, Fabio Enrique Torresan, Gustavo Bayma Siqueira da Silva e Vera Viana dos Santos Brandão

Supervisão editorial: Sérgio Gomes Tôsto

Revisão de texto: Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica: Daniela Maciel Pinto

Editores eletrônicos: Daniela Maciel Pinto

Capa: Suzi Carneiro

1ª edição

1ª impressão (2016): online

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

Potencial natural de erosão em sub-bacias com cultivo de seringueira no noroeste do Estado de São Paulo / Sérgio Galdino ... [et al].-- Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016.

23p. -- (Documentos / Embrapa Monitoramento por Satélite, ISSN 0103-7811; 112).

1. Erosão do solo. 2. Heveicultura. I. Galdino, Sérgio. II. Tôsto, Sergio Gomes. III. Quartaroli, Carlos Fernando. IV. Ronquim, Carlos Cesar. V. Camargo, Adalgiso Alves. VI. Título. VII. Série.

CDD (21.ed.) 631.450981

© Embrapa, 2016

Autores

Sérgio Galdino, Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Sergio Gomes Tôsto, Agrônomo, Doutor em Desenvolvimento Econômico, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Carlos Fernando Quartaroli, Engenheiro agrônomo, Mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Carlos Cesar Ronquim, Engenheiro agrônomo, Mestre em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Adalgiso Alves Camargo, graduando em Geografia, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Sumário

Introdução.....	9
Material e métodos.....	10
Resultados e discussão	15
Conclusões.....	22
Referências	22

Potencial natural de erosão em sub-bacias com cultivo de seringueira no noroeste do Estado de São Paulo

Sérgio Galdino

Sergio Gomes Tôsto

Carlos Fernando Quartaroli

Carlos Cesar Ronquim

Adalgiso Alves Camargo

Introdução

Um dos modelos mais utilizado 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). O modelo adaptado da USLE para uso no Brasil é conhecido como Equação Universal de Perda de Solo – EUPS – (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Com o intuito de melhorar as estimativas das perdas de solo por meio da USLE, foi desenvolvida a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE) (RENARD et al., 1997). Esses modelos foram usados, por exemplo, na Espanha (GARCÍA-ORENES et al., 2009), no Planalto de Loess na China (ZHAO et al., 2013), na região do Himalaia na Índia (MANDAL; SHARDA, 2013), na Eslováquia (LIESKOVSKÝ; KENDERESSY, 2014), na Amazônia Brasileira (LU et al., 2007), e em pastagens cultivadas no Cerrado Brasileiro (GALDINO et al., 2015). 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.

O produto dos fatores condicionantes do meio físico intervenientes no processo de erosão hídrica laminar e entre sulcos, ou seja, dos fatores R, K e LS da USLE/RUSLE, constituem o potencial natural de erosão (PNE). O PNE corresponde às perdas de solos em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal e sem nenhuma intervenção antrópica (VALÉRIO FILHO, 1994). Os fatores C e P da USLE/RUSLE podem ser modificados pelos agricultores de modo a ampliar a proteção da terra contra a erosão hídrica.

O projeto de pesquisa “Sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias – GeoHevea”, desenvolvido no âmbito do Sistema Embrapa de Gestão, está produzindo 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, responsáveis por 69% da produção paulista de borracha em 2015 (INSTITUTO..., 2016).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial do PNE em sub-bacias hidrográficas com cultivo de seringueira, localizadas no noroeste do Estado de São Paulo, para identificar áreas de risco de erosão e subsidiar o planejamento do uso dessas terras, seja com a heveicultura ou com outros cultivos.

Material e métodos

A área de estudo está localizada entre as coordenadas UTM (Fuso 22, *Datum* WGS84) 7.653.017 m a 7.711.725 m de latitude Sul e 588.676 m a 639.796 m de longitude Oeste. A superfície terrestre dessa área é de 174.183,69 ha (CAMARGO et al., 2016). A rede hidrográfica, as sedes municipais, a represa do Rio Tietê e a localização da área de estudo no Estado de São Paulo podem ser visualizadas 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 o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho.

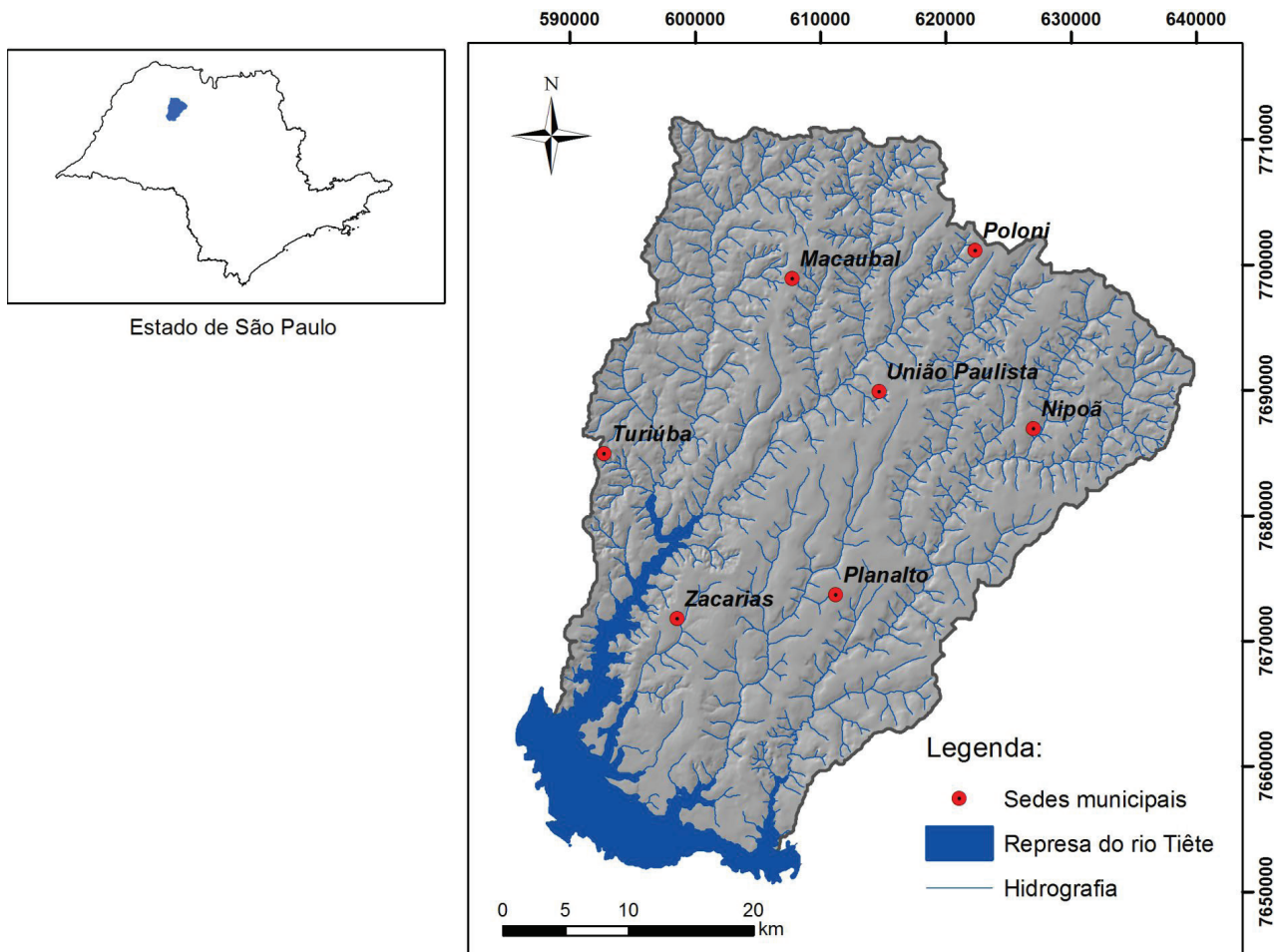


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, com representação da rede hidrográfica, das sedes municipais e da represa do Rio Tietê.

Fonte: Camargo et al. (2016).

A área estudada, segundo Camargo 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 et al. (2016) são mostradas na Figura 2.

As sub-bacias do Ribeirão Santa Bárbara, com área de 78.721,57 ha, e do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas, com 62.006,17 ha, recobrem 80,79% da área de estudo do projeto GeoHevea. Completam a área as sub-bacias do Ribeirão

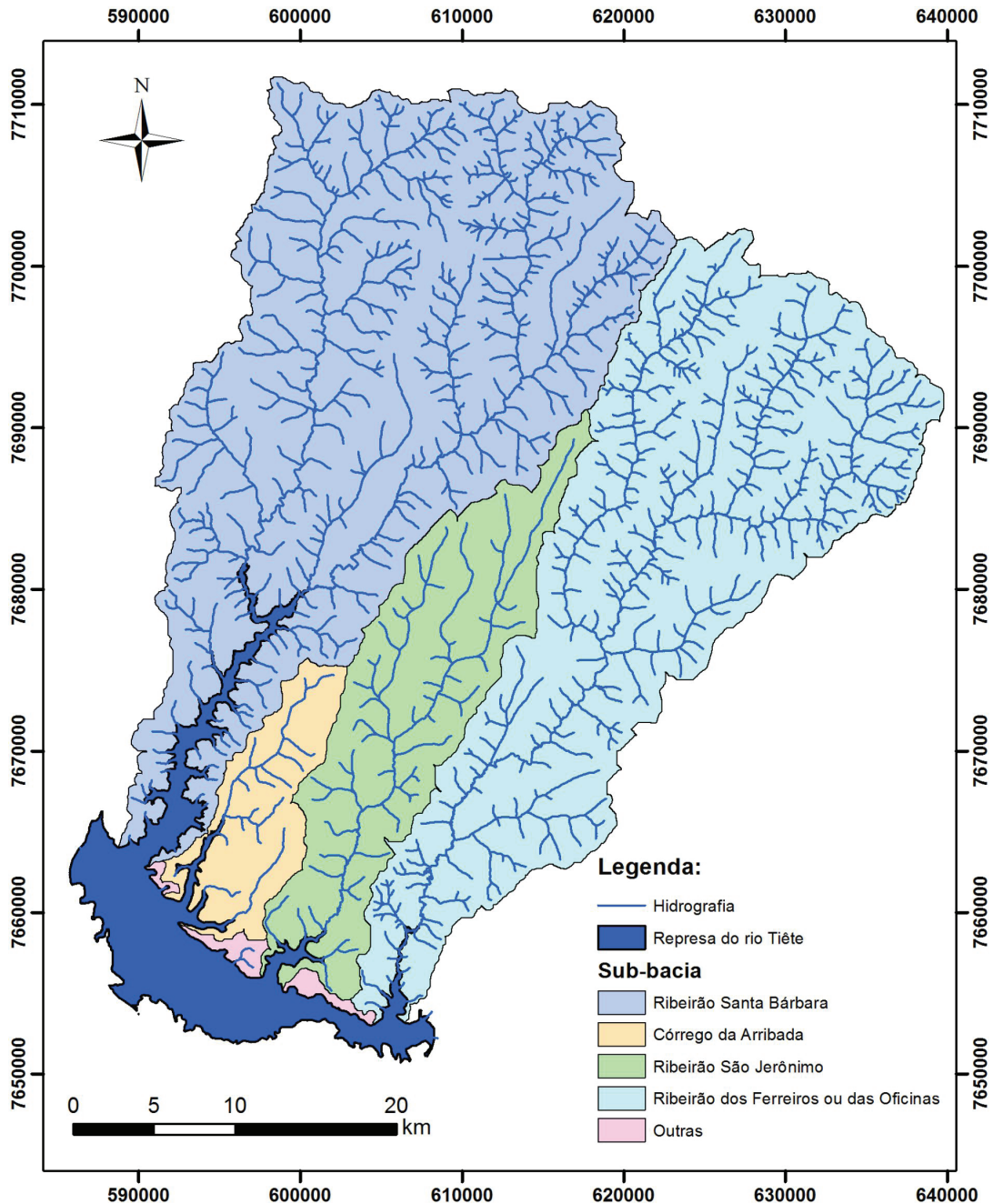


Figura 2. Limites das sub-bacias hidrográficas, com a rede hidrográfica e a represa do Rio Tietê.

Fonte: Camargo et al. (2016).

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 et al., 2016).

A área de estudo abrange o território parcial ou total de 14 municípios (Figura 3). A superfície desses municípios na área do projeto GeoHevea e os respectivos percentuais em relação à área total do projeto são listados na Tabela 1. A Tabela 1 também apresenta a participação dos municípios no número de pés de seringueira plantados e na produção de borracha do Estado de São Paulo no ano de 2015, segundo dados levantados pelo IEA (INSTITUTO..., 2016).

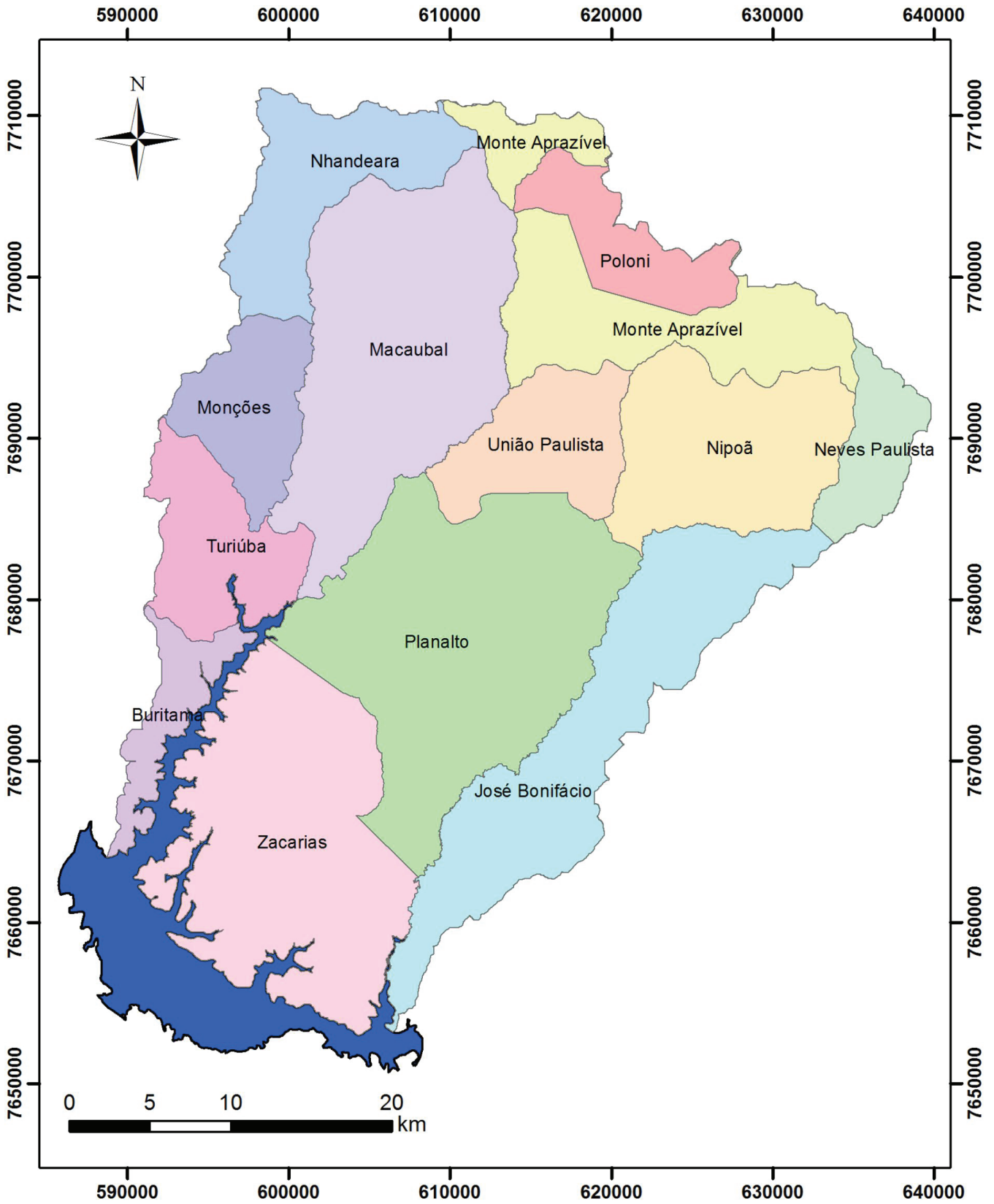


Figura 3. Limites dos municípios na área de estudo.

Tabela 1. Superfície dos municípios na área do projeto GeoHevea e respectivos percentuais em relação à área total do projeto; participação dos municípios no número de pés de seringueira plantados no estado e na produção estadual de borracha de seringueira no ano de 2015.

Município	Área		Pés plantados (%)	Participação na produção (%)
	(ha)	(%)		
Planalto	28.962,11	16,63	2,56	1,30
Zacarias	24.809,18	14,24	2,32	0,55
Macaubal	24.761,14	14,22	1,03	1,83
José Bonifácio	19.787,67	11,36	0,05	1,63
Monte Aprazível	14.635,58	8,40	4,01	4,07
Nipoã	13.797,73	7,92	1,58	0,99
Nhandeara	10.152,11	5,83	2,46	4,34
Turiúba	8.026,40	4,61	0,72	0,35
União Paulista	7.925,83	4,55	0,87	0,72
Monções	6.928,23	3,98	1,47	0,06
Poloni	5.866,90	3,37	0,36	1,15
Neves Paulista	4.517,69	2,59	0,48	1,45
Buritama	3.999,97	2,30	0,36	3,49
Sebastianópolis do Sul	13,15	0,01	0,71	0,33
TOTAL	174.183,69	100,00	18,98	22,26

Fonte: Participação na produção e pés plantados (INSTITUTO..., 2016), áreas calculadas pelos autores.

Todo o território dos municípios de Macaubal, União Paulista, Nipoã, Planalto e Zacarias está inserido na área de estudo e corresponde a 57,56% da área do projeto GeoHevea. O Município de José Bonifácio, apesar de não estar totalmente na área de estudo, destaca-se por representar 11,36% das terras das sub-bacias. Sebastianópolis do Sul apresenta uma pequena superfície (13,15 ha) ao norte da área estudada.

Para a obtenção dos fatores R, K e LS da USLE/EUPS/RUSLE, bem como do PNE, foi utilizado o sistema de informação geográfica (SIG) ArcGIS 10.3 (ENVIRONMENTAL..., 2013).

A área de estudo e o entorno não dispõem de séries longas de registros pluviográficos. As principais fontes de dados de chuva são provenientes de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Assim, na estimativa da erosividade das chuvas de postos pluviométricos da região foi aplicado o índice de Fournier modificado (IFM) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). O IFM, consagrado na literatura brasileira, foi desenvolvido a partir de 22 anos de registros de precipitação (de 1954 a 1975) no Município de Campinas, SP. Os autores encontraram alta correlação entre a média mensal do índice de erosão e a média mensal do coeficiente de chuva (Equação 1).

$$EI = 68,730 \left(\frac{P^2}{P} \right)^{0,841} \quad (1)$$

EI é a média mensal do índice de erosão, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; p é a precipitação média mensal, em mm; e P é a precipitação média anual, em mm. A erosividade média anual das chuvas em um posto pluviométrico é estimada pela somatória de seus índices mensais de erosão (EI).

Para estimar a erosividade da chuva ou o índice de erosão usando a Equação 1, foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel e foram considerados apenas os valores de precipitação mensal e anual provenientes de anos que não apresentaram falhas de dados. A maioria dos postos pluviométricos selecionados apresentou pelo menos 22 anos de registros anuais completos.

Para o mapeamento da erosividade das chuvas, foram seguidos os procedimentos descritos por Weill et al. (2001) para a bacia do Rio Mogi-Guaçu no Estado de São Paulo. Esses procedimentos também foram empregados na bacia do Alto Taquari por Galdino (2012), na bacia do Alto Paraguai por Galdino et al. (2014) e no Estado de Goiás e no Distrito Federal por Galdino (2015). Por meio de ferramentas disponíveis no software ArcGIS 10.3 (ENVIRONMENTAL..., 2013), foram estimados os valores de erosividade para pontos no interior da área de estudo, dispostos no centro de uma grade regular quadrada com 30 m de lado. A estimativa foi obtida por interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância (IQD) usando os valores de erosividade obtidos pela Equação 1 para os 13 postos pluviométricos situados dentro ou no entorno da área de estudo. O processo resultou em um arquivo *raster* de valores de erosividade com resolução espacial de 30 m. A partir das coordenadas geográficas dos postos pluviométricos foram calculados os polígonos de Thiessen que delimitaram a área de influência de cada posto. Posteriormente, esses polígonos foram recortados usando o limite da área de estudo. A erosividade média de cada polígono de Thiessen foi calculada usando ferramenta Zonal Statistic do ArcGIS 10.3, que permite calcular as estatísticas de valores de um *raster*, no caso o *raster* de valores de erosividade, dentro de zonas delimitadas por um arquivo vetorial, ou seja, cada um dos polígonos de Thiessen. O produto resultante foi um novo arquivo *raster* cujas células assumiram o valor médio de erosividade calculado para o polígono de Thiessen no qual estavam inseridas. Os valores associados a cada célula foram usados como o fator R no cálculo do PNE.

Na estimativa da erodibilidade do solo nas sub-bacias foram utilizados o mapa pedológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (OLIVEIRA et al., 1999), e os valores do fator K da USLE obtidos para solos do Estado de São Paulo por Demarchi e Zimback (2014). A Tabela 2 apresenta a descrição das unidades pedológicas, a ocorrência na área de estudo e o valor de erodibilidade do solo (fator K).

Tabela 2. Descrição das unidades pedológicas, ocorrência na área de estudo e valor de erodibilidade do solo (fator K).

Unidade	Solo	Área		Fator K*
		(ha)	(%)	
PVA10	PVAe + PVde + LVd	99.763,86	57,28	0,1516
LV45	LVd	38.044,60	21,84	0,0370
LV78	LVd + PVAed + PVed	22.760,13	13,07	0,0776
PVA1	PVAe	13.615,09	7,82	0,2220

*Demarchi e Zimback (2014).

As classes de solos predominantes na área de estudo são o Argissolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho. As unidades LV78 e PVA10 constituem associações de classes de solos com predominância de Latossolo Vermelho e de Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente. A textura dos solos variou de arenosa/média a média.

No mapeamento do fator topográfico (LS) da RUSLE (RENARD et al., 1997) foram utilizados o modelo digital de terreno (MDT) gerado por Camargo et al. (2016) e o algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição de Van Remortel et al. (2004). Os procedimentos realizados foram os propostos por Galdino e Weill (2011) para a bacia do Alto Taquari (MS/MT).

O potencial natural de erosão (PNE) foi obtido por meio da Equação 2.

$$PNE = R K LS \quad (2)$$

PNE é o potencial natural de erosão, em $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R é o fator erosividade da chuva, em $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; K é o fator erodibilidade do solo, em $Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; e LS é o fator topográfico, adimensional.

Para a obtenção do arquivo *raster* PNE, os arquivos *raster* dos fatores R, K e LS foram multiplicados utilizando a ferramenta Raster Calculator da extensão Spatial Analyst Tools disponível no ArcGIS 10.3 (ENVIRONMENTAL..., 2013).

Resultados e discussão

Os valores de erosividade anual das chuvas (fator R) para as estações pluviométricas da área de estudo e proximidades são apresentados na Tabela 3. Os valores médios e a distribuição (%) da precipitação mensal e da erosividade das estações pluviométricas da área de estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Valores médios anuais de erosividade das chuvas (fator R) de estações pluviométricas da área de estudo e proximidades.

Código da estação (DAEE)	Nome	Fator R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)
C7-080	Buritama	7.102,61
B6-048	Sebastianópolis do Sul	7.050,33
B6-002	Mirassol	7.037,56
C6-088	José Bonifácio	6.995,80
B6-052	Macaubal	6.987,64
B7-050	Turiúba	6.890,30
B7-043	Gastão Vidigal	6.871,32
B6-039	Monte Aprazível	6.783,18
C6-101	São Jerônimo	6.683,40
B6-034	Nipoã	6.489,75
C6-089	Fazenda Cataco	6.433,90
C6-003	Barbosa	6.300,03
C7-086	Córrego Seco	6.270,53

Tabela 4. Média e distribuição mensal (%) da precipitação e da erosividade das chuvas das estações pluviométricas da área de estudo e proximidades.

Mês	Precipitação		Erosividade das chuvas	
	(mm)	(%)	(MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	(%)
Janeiro	248,31	18,39	1.713,38	25,34
Fevereiro	194,44	14,40	1.133,74	16,77
Março	159,35	11,80	811,98	12,01
Abril	77,37	5,73	241,17	3,57
Maio	62,27	4,61	167,52	2,48
Junho	32,75	2,43	57,32	0,85
Julho	23,37	1,73	32,46	0,48
Agosto	24,72	1,83	35,70	0,53
Setembro	67,01	4,96	189,79	2,81
Outubro	111,39	8,25	444,21	6,57
Novembro	139,64	10,34	649,59	9,61
Dezembro	209,35	15,51	1.284,41	19,00

O período de maior incidência de chuvas é de outubro a março, quando ocorre 78,7% do total do índice pluviométrico anual na região. A distribuição da erosividade média mensal dos postos pluviométricos acompanhou, como esperado, a distribuição da precipitação média mensal, com os maiores valores de erosividade média mensal no período entre outubro e março. Nesse período, concentra-se 89,29% do total anual da erosividade, e merecem atenção especial o uso e o manejo agrícolas e a seleção das práticas conservacionistas, de modo a prevenir ou minimizar a erosão hídrica na região.

A localização das estações pluviométricas e a distribuição da erosividade anual das chuvas interpolada pelo método do IQD, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, é mostrada na Figura 4.

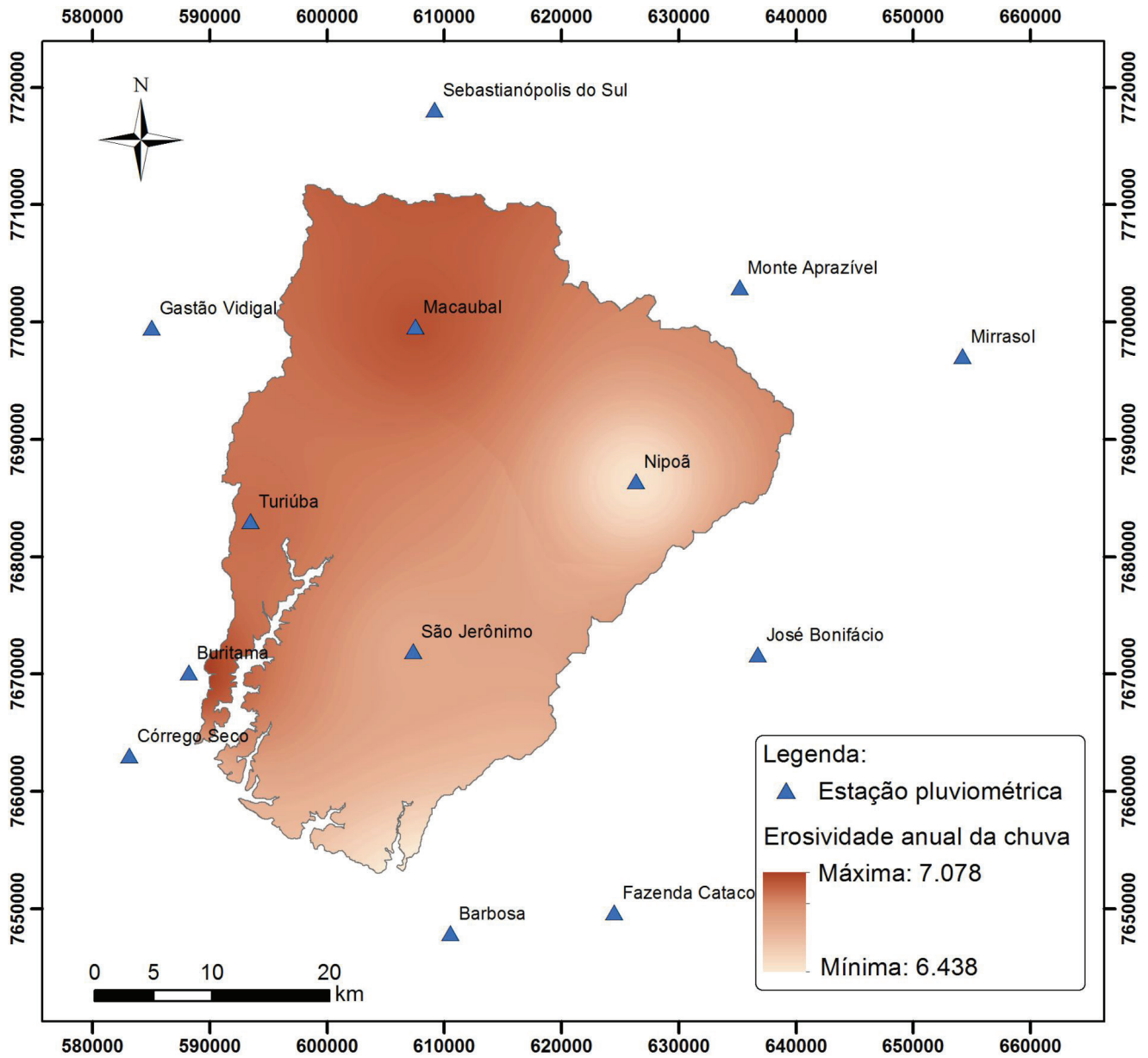


Figura 4. Localização das estações pluviométricas e distribuição da erosividade anual das chuvas interpolada pelo método do IQD, em MJ mm ha⁻¹.

A erosividade média anual das chuvas para a área correspondente a cada polígono de Thiessen, calculada pela média dos valores de erosividade obtidos pela interpolação por IQD, é apresentada na Figura 5.

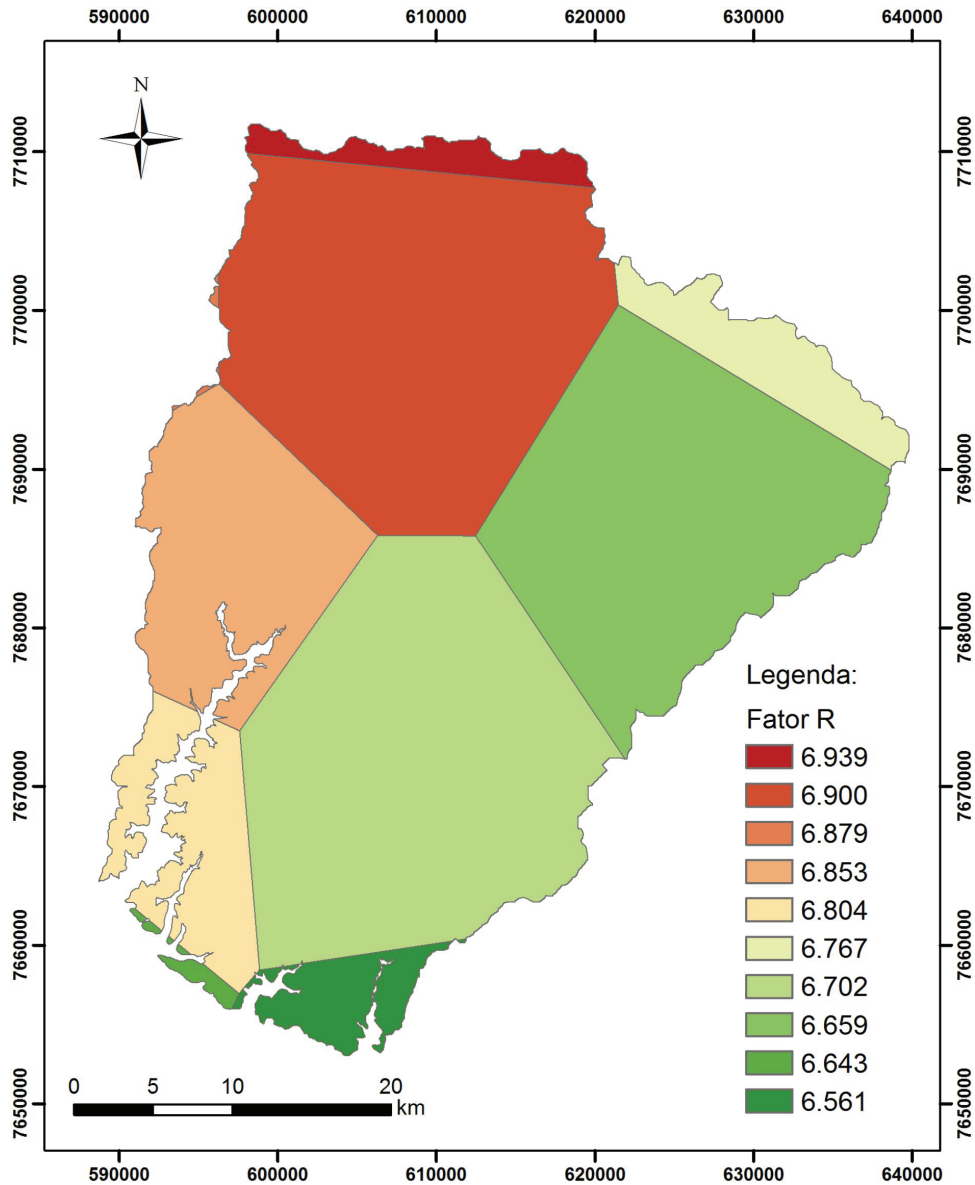


Figura 5. Erosividade média anual das chuvas, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$, calculada para cada polígono de Thiessen.

A Figura 5 mostra que a erosividade das chuvas aumenta de leste para oeste, mas principalmente de sul para norte, na área estudada.

A média da erosividade anual das chuvas foi de $6.769 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. Observando o mapa de isoerodentes, ou seja, de linhas de mesma erosividade das chuvas, para o Estado de São Paulo, elaborado por Bertoni e Lombardi Neto (1999), as estimativas do fator R para a área de estudo variaram entre $6.250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ e $6.750 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. Os valores estimados no presente estudo foram cerca de $250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ superiores aos do mapa de isoerodentes de Bertoni e Lombardi Neto (1999). Essa pequena diferença pode ser atribuída à utilização, neste trabalho, de maior número de estações pluviométricas localizadas nas sub-bacias e no seu entorno para a interpolação e subsequente estimativa da erosividade das chuvas.

A classificação da erosividade das chuvas proposta por Carvalho (1994), modificada para o sistema métrico internacional segundo Foster et al. (1981), compreende cinco escalas: fraca ($R \leq 2.452 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$), moderada (R entre $2.452 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e $4.905 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$), moderada a forte (R entre $4.905 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e $7.357 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$), forte (R entre $7.357 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e $9.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e muito forte ($> 9.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Assim, na área de estudo, foi observada apenas a classe de erosividade das chuvas “moderada a forte”.

A distribuição da erodibilidade dos solos da área de estudo, em $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$, é mostrada na Figura 6.

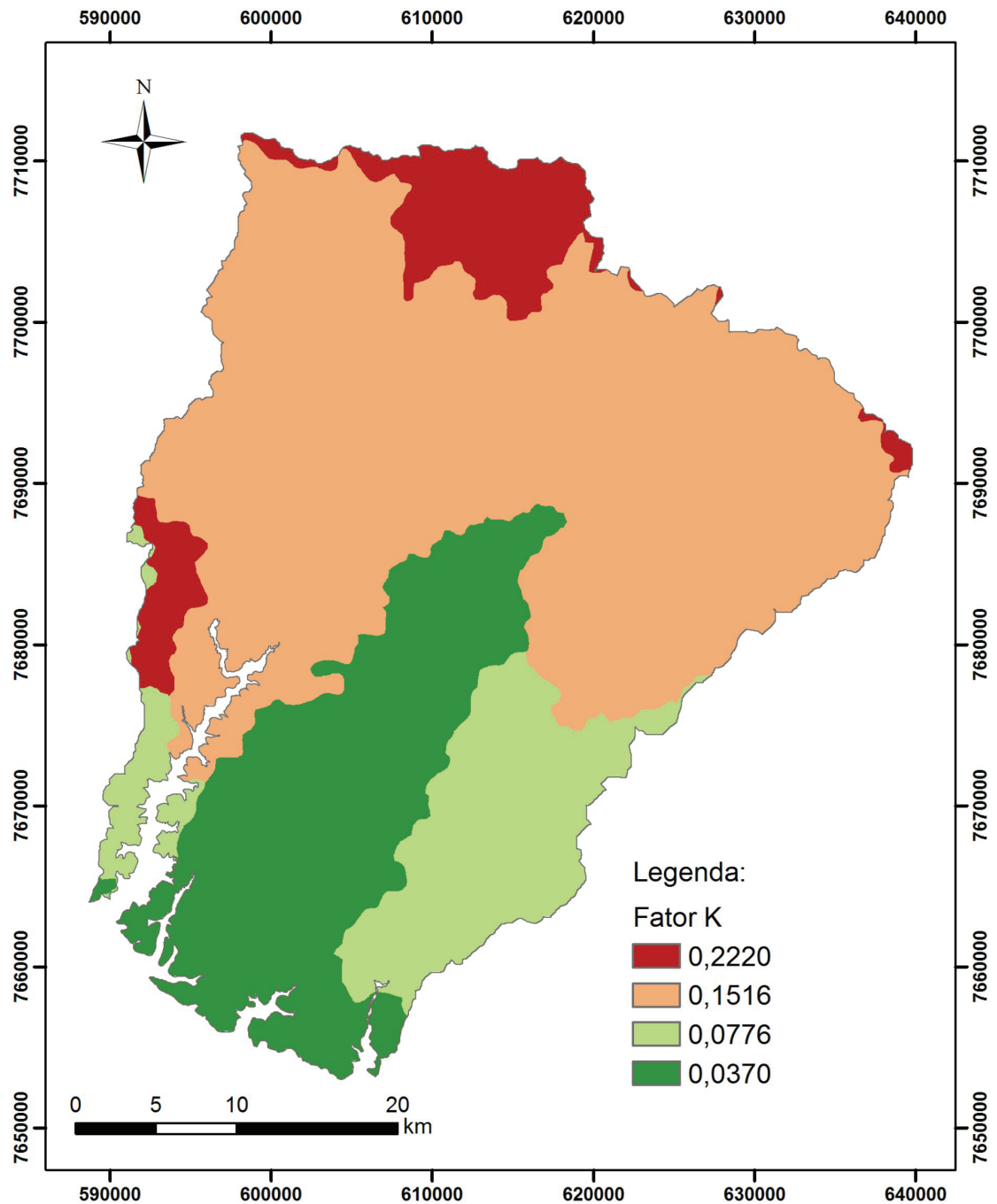


Figura 6. Distribuição da erodibilidade dos solos, em $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

A média da erodibilidade dos solos na área de estudo foi de $0,1224 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$. A classificação da erodibilidade dos solos proposta por Carvalho (1994), modificada para o sistema métrico internacional segundo Foster et al. (1981), compreende três escalas: baixa ($K \leq 0,01529 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), média (K entre $0,01529 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ e $0,03058 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), e elevada ($>0,03058 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$). Na área de estudo, foi observada apenas a classe de erodibilidade dos solos “elevada”.

A distribuição do fator topográfico LS da RUSLE é mostrada na Figura 7.

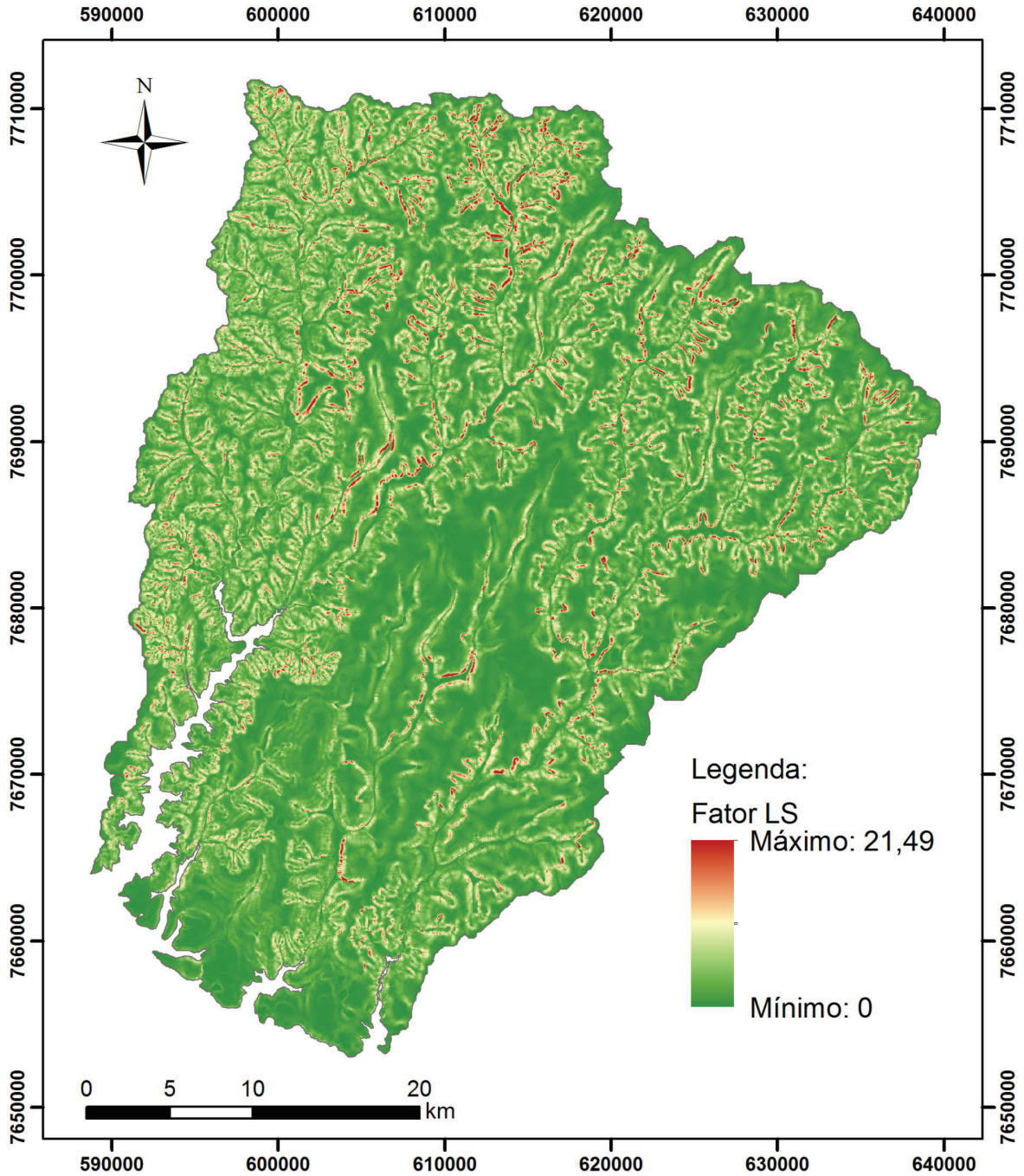


Figura 7. Distribuição do fator topográfico LS da RUSLE.

O fator LS da RUSLE na área do projeto GeoHevea oscilou de 0 a 21,49 e apresentou média de 0,9792. O fator L variou de 0 a 6,7528 e apresentou média de 1,5928. Já fator S oscilou de 0,0300 a 5,8413, com média de 0,5308.

A distribuição do potencial natural de erosão, em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, é mostrada na Figura 8.

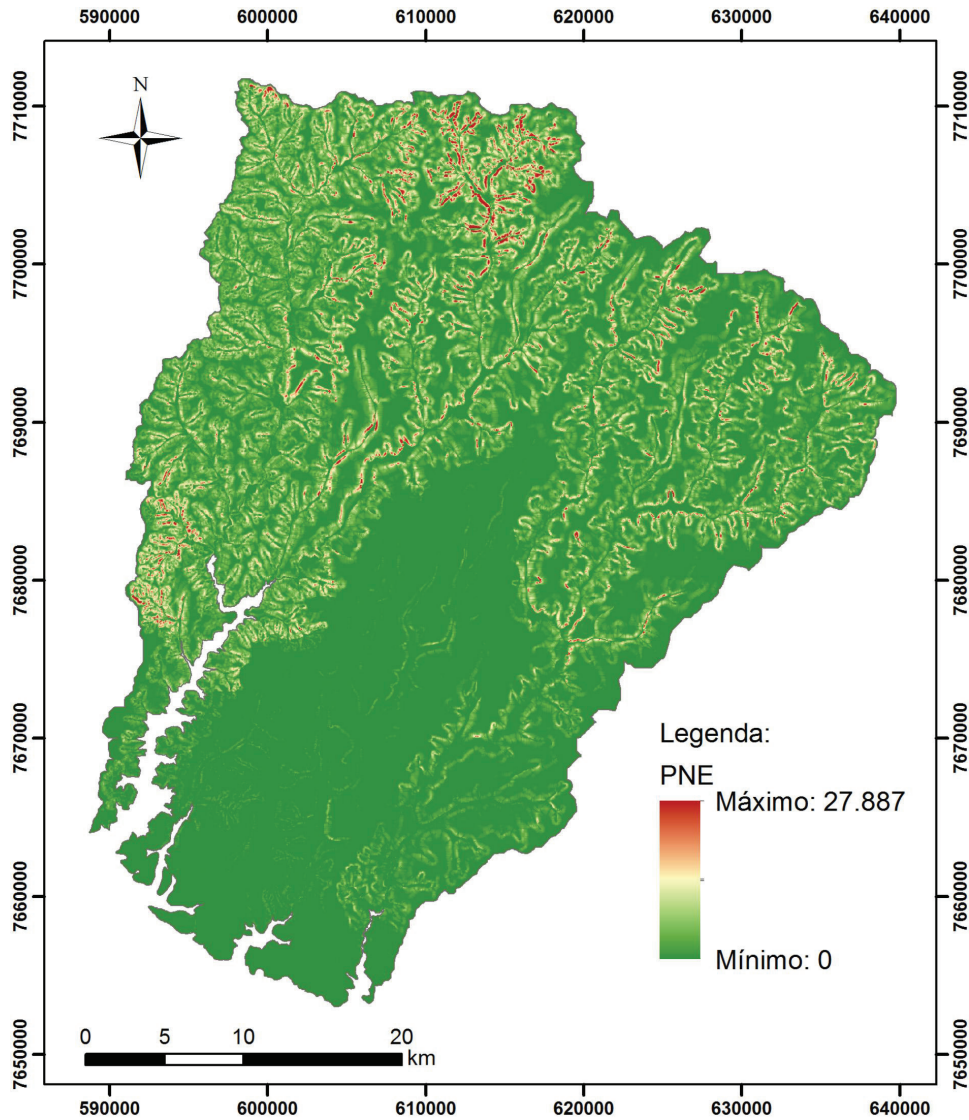


Figura 8. Distribuição do potencial natural de erosão (PNE), em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Por fim, a média do PNE na área de estudo foi $895 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Entre as sub-bacias, a que apresentou o PNE mais elevado foi a do Ribeirão Santa Bárbara, com valor médio de $1.293 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Na sub-bacia do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas, o PNE médio foi 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 foram, respectivamente, de $164 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e $163 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Silva (2008) propôs classificação do PNE em quatro escalas: fraco, moderado, forte e muito forte. A Tabela 5 mostra as ocorrências, em hectares e porcentagem, das classes de PNE na área de estudo.

Tabela 5. Classes de PNE e suas ocorrências, em hectare e porcentagem, na área de estudo.

Classe Silva (2008)	PNE ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	Ocorrência (ha)	(%)
Fraco	0 – 400	78.684,17	45,17
Moderado	400 – 800	32.501,93	18,66
Forte	800 a 1.600	32.737,72	18,79
Muito forte	> 1.600	30.259,87	17,37

Classes de PNE “fraco” e “moderado” ($< 800 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ocorrem em cerca de 64% das terras das sub-bacias avaliadas. Entretanto 30.260 ha apresentam PNE “muito forte” e merecem atenção especial quanto ao seu uso, para minimizar as taxas de perdas de solo. A distribuição das classes de potencial natural de erosão é mostrada na Figura 9.

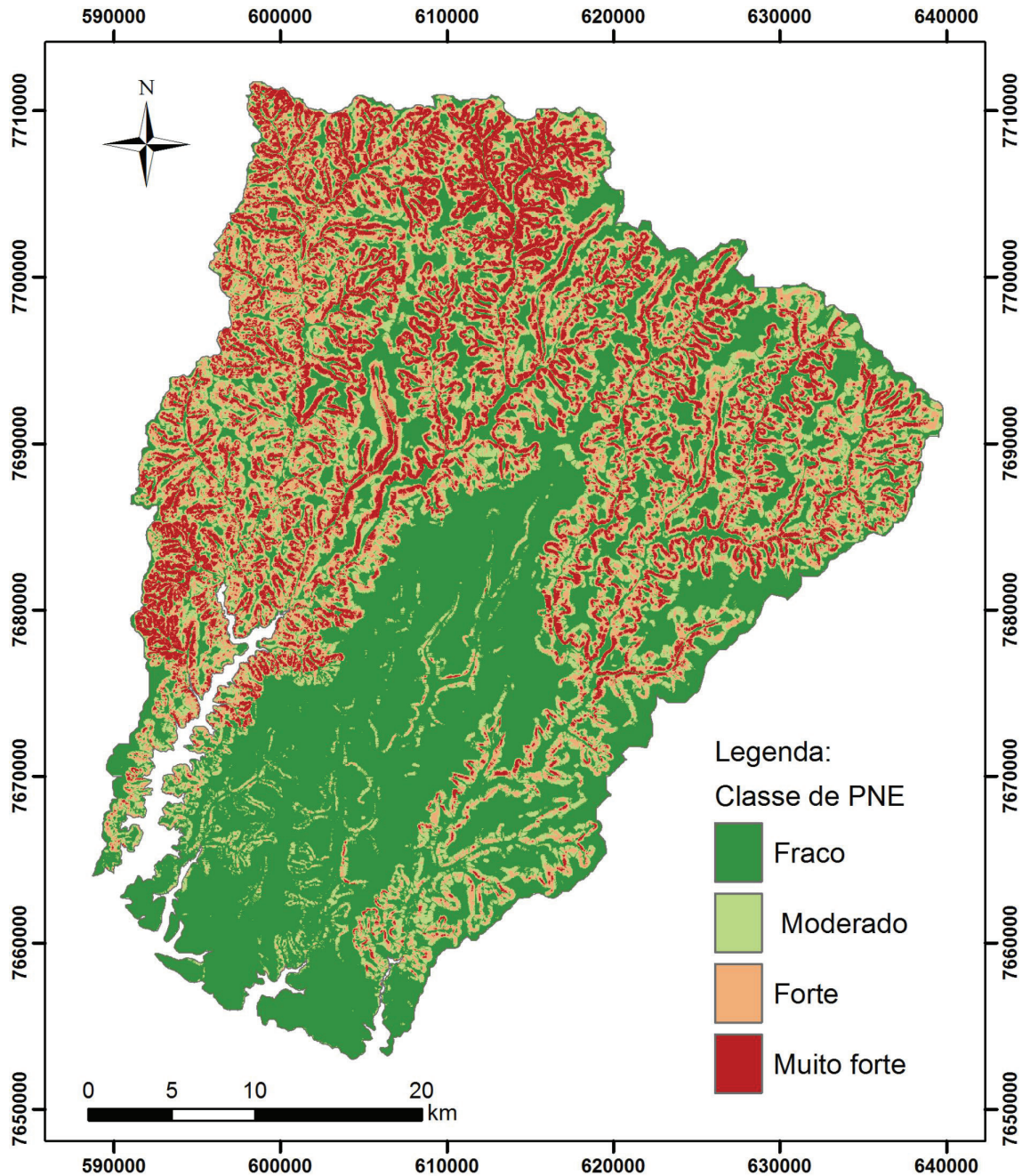


Figura 9. Distribuição das classes de potencial natural de erosão (PNE).

A identificação das áreas do projeto GeoHevea mais críticas quanto às perdas de solo depende do levantamento de fatores antrópicos que influenciam esse processo. Assim, o tipo de uso, o manejo das culturas agrícolas e a adoção de práticas conservacionistas nas áreas com elevados valores de PNE devem ser criteriosos, para minimizar os riscos de erosão hídrica dessas terras.

Conclusões

1. A sub-bacia que apresentou o PNE mais elevado foi a do Ribeirão Santa Bárbara, seguida pela sub-bacia dos Ferreiros ou das Oficinas e pelas sub-bacias do Córrego da Arribada e do Ribeirão São Jerônimo.
2. Classes de PNE “fraco” e “moderado” ocorrem na maior parte das terras do projeto GeoHevea (cerca de 64%), porém parte da área apresenta PNE “muito forte”.
3. O tipo de uso, o manejo das culturas agrícolas e a adoção de práticas conservacionistas nas áreas com elevados valores de PNE devem ser criteriosos, para minimizar os riscos de erosão hídrica dessas terras.

Referências

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

CAMARGO, 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, 2016, p. 1-11.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. p. 372

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop**: release 10.3. Redlands, California, USA: ESRI, 2013.

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.

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

GALDINO, S. **Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015. 19 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

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 2015.

GALDINO, S.; WEILL, M. A. Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do Alto Taquari – MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4813-4820.

GARCÍA-ORENES, F.; CERDA, A.; MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; BODÍ, M. B.; ARCENEGUI, V.; ZORNOZA, R.; SEMPERE, J. G. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 117–123, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2009.06.002, 2009.

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

LIESKOVSKÝ, J.; KENDERESSY, P. Modeling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vrábľa (Slovakia) using WATEM/SEDEM. **Land Degradation & Development**, v. 25, p. 288–296, 2014. DOI: 10.1002/ldr.2162, 2014.

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.

LU, D.; BATISTELLA, M.; MAUSEL, P.; MORAN, E. Mapping and monitoring land degradation risks in the western Brazilian Amazon using multitemporal Landsat TM/ETM+ images. **Land Degradation & Development**, v. 18, p. 41–54, 2007. DOI: 10.1002/ldr.762, 2007.

MANDAL, D.; SHARDA, V. N. Appraisal of soil erosion risk in the Eastern Himalayan region of India for soil conservation planning. **Land Degradation & Development**, v. 24, p. 430–437, 2013. DOI: 10.1002/ldr.1139, 2013.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSI, M.; BRAZ-CALDERANO, F. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico; 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: USDA, 404p. (Agricultural Handbook, 703), 1997.

SILVA, A. M. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, Mayagües, v.8, n.1, p. 5-14, 2008.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV-UNESP; Viçosa, MG: SBCS, 1994. p. 223-242.

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. J. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 9/10, p. 1043–1053, 2004.

WEILL, M. A. M.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu (SP), In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 8., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001. p.1-10.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning**. Washington, USDA, 58p. (Agricultural Handbook, 537), 1978.

ZHAO, G.; MU, X.; WEN, Z.; WANG, F.; GAO, P. Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. **Land Degradation & Development**, v. 24, p. 499–510, 2013. DOI: 10.1002/ldr.2246, 2013.



Monitoramento por Satélite

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 13767