

ESTIMATIVA DO FATOR DE EROSIDADE DO SOLO DA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA PAULISTA, BRASIL

BATISTA, Reginaldo Antonio Weissenberg¹
NERY, Liliane Moreira²
MATUS, Gregorio Nolazco³
SIMONETTI, Vanessa Cezar⁴
SILVA, Darllan Collins da Cunha⁵

Recebido (Received): 10-08-2020 Aceito (Accepted): 08-11-2020

Como citar este artigo: BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Estimativa do fator de Erosividade do solo na região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 441-460, 2021.

Resumo

A erosão hídrica contribui para a degradação dos solos e assoreamento de rios e reservatórios de água. A identificação de áreas suscetíveis à erosão pode ser obtida utilizando modelos matemáticos em conjunto com técnicas de geoprocessamento. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar a distribuição pluviométrica e estimar o fator de erosividade da chuva para o Vale do Ribeira. Para isso, foram utilizados dados pluviométricos, o fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e o processo de interpolação pelo método *Inverse Distance Weighting (IDW)*. Os valores obtidos para a erosividade da chuva demonstraram uma alta variabilidade do potencial erosivo com amplitude de 5.360,60 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ a 9.278,75 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹. As áreas que apresentaram maior potencial de erosividade das chuvas foram as regiões Norte e Nordeste do Vale do Ribeira e, consequentemente, são as mais vulneráveis às intervenções antrópicas.

Palavras-chave: EUPS. Geoprocessamento. Erosão hídrica. Degradação do solo.

SOIL EROSION FACTOR ESTIMATION IN THE REGION OF RIBEIRA VALLEY, SAO PAULO STATE, BRAZIL

Abstract

Erosion of water contributes to soil degradation and siltation of rivers and water reservoirs. Identification of areas prone to erosion is obtained using mathematical modelling in conjunction with geoprocessing techniques. Therefore, the aim of this study was to analyze rainfall distribution and to estimate the erosiveness factor of rain for Ribeira Valley, Sao Paulo State, Brazil. To this end, rainfall data, the R Factor from Universal Soil Loss Equation (USLE), and interpolation process by the Inverse Distance Weighting (IDW) method were used. The values obtained for rain erosivity have demonstrated a high variability of the erosive potential with amplitude from 5,360.6 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ to 9,278.7 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹. Areas with greater erosivity potential of rainfall were the North and Northeast regions of Ribeira Valley and, consequently, are the most vulnerable to anthropic interventions.

¹ Graduado em Engenharia de Pesca pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Registro. E-mail: reginaldo.weissenberg@unesp.br.

² Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, Universidade Federal de São Carlos (UFScar). E-mail: lilianemoreiranery@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5352-5316>.

³ Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Tecnologia, Campus de Sorocaba. E-mail: gregor_acuicultor@hotmail.com.

⁴ Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Tecnologia, Campus de Sorocaba; Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade de Sorocaba (Uniso). E-mail: va_simonetti@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6845-4875>.

⁵ Professor Assistente Doutor do Curso de Engenharia de Pesca da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Registro. E-mail: darllan.collins@unesp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3280-0478>.

Keywords: USLE. Geoprocessing. Water erosion. Soil degradation.

ESTIMATIVA DEL FACTOR DE EROSIÓN DEL SUELO DE LA REGIÓN DEL VALLE DE RIBEIRA, ESTADO DE SAN PAULO, BRASIL

Resumen

La erosión hídrica contribuye a la degradación de suelos y la sedimentación de ríos y depósitos de agua. La identificación de áreas susceptibles a la erosión puede ser obtenida utilizando modelos matemáticos en conjunto con técnicas de geoprocésamiento. Siendo así, el objetivo de este estudio fue analizar la distribución de las precipitaciones y estimar el factor de erosión de la lluvia para el Valle de Ribeira. Para esto, se utilizaron datos de la precipitación, el Factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EPSU) y el proceso de interpolación por medio del método *Inverse Distance Weighting*. Los valores obtenidos para la erosión de la lluvia mostraron una alta variabilidad del potencial erosivo con una amplitud de $5,360.6 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ a $9,278.7 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Las áreas que presentaron mayor potencial de erosión por las lluvias fueron de las regiones Norte y Noreste del Valle de Rivera y, consecuentemente, son las más vulnerables a las intervenciones antrópicas.

Palabras clave: EUPS. Geoprocésamiento. Erosión hídrica. Degradación del suelo.

1 Introdução

O solo é um recurso natural limitado, visto que são necessários séculos para a sua formação, mas a sua destruição pode ocorrer em poucos meses através de práticas e usos inadequados que não atendam às características específicas da sua constituição (MARTINS; FERREIRA, 2017).

Esse importante recurso, que não serve somente de substrato para a produção de alimentos, mas também é o meio pelo qual muitos elementos são reciclados através de ciclos biogeoquímicos, está sujeito ao uso predatório pelo homem, contribuindo para a perda física do solo e de seus nutrientes através da ocorrência de erosão (AMUNDSON et al., 2015).

A erosão é um processo natural que consiste no desprendimento e transporte das partículas do solo, possuindo como consequência o assoreamento de corpos hídricos e acarretando a perda da qualidade de água até a extinção de espécies de fauna e flora (PIRES, J.; SANTOS; PIRES, A., 2002).

A degradação do solo resulta em perda de nutrientes e consequentemente perda da fertilidade, aumentando assim os custos na reparação (MEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2020), além de prejuízos econômicos e ambientais para as regiões onde o solo carregado é sedimentado (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

Além do elevado custo econômico proveniente da degradação do solo, quando este material particulado é aportado aos recursos hídricos, pode desencadear uma série de desequilíbrios ambientais. De acordo com o Instituto de Meio Ambiente do Canadá

(ENVIRONMENT CANADA, 2003), a presença de sedimentos contaminados ou não contaminados, implicam negativamente na qualidade da água, podendo causar o desequilíbrio do ecossistema aquático por meio do processo de eutrofização, isto é, resultar no incremento de elementos, como fosfatos e nitratos e, conseqüentemente, aumentar a produção de biomassa, como macrófitas e algas (MELO et al., 2019). Em regiões com elevado potencial erosivo e que podem aportar sedimentos para os cursos de água, pode ocorrer a redução do oxigênio dissolvido na água e diminuição da diversidade da biota aquática (SIMONETTI et al., 2019).

As perdas de solo ocasionadas pela erosão hídrica diminuem a espessura do solo, reduzindo a capacidade de retenção e remanejamento da água em todo o perfil de solo, aumentando o escoamento superficial e as taxas de erosão (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010). Alguns fatores atenuam ou agravam esse tipo de erosão, como precipitação, tipos de solo, uso e ocupação do solo (SIMONETTI et al., 2019).

A Serra do Mar é um sistema de escarpas e montanhas que se estende por mais de 1.500 km entre os estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro. No estado de São Paulo ela pode ser dividida em dois setores distintos, Sul e Norte (VIEIRA; GRAMANI, 2015).

O setor Sul, estende-se entre Santos e o Vale do rio Ribeira do Iguape, sendo que nesse trecho há uma “interrupção” dessas feições com a abertura do Vale de Ribeira, com um recuo significativo para longe da costa. Já o setor Norte, prolonga-se entre a Ilha de São Sebastião e estado do Rio de Janeiro. A Serra do Mar tem como um de seus aspectos climatológicos mais marcantes a influência da orografia na precipitação (PELLEGATTI; GALVANI, 2010; VIEIRA; GRAMANI, 2015). Terassi e Galvani (2017) demonstram em seu estudo que a bacia hidrográfica litorânea, localizada no estado do Paraná, apresentam maiores médias de pluviosidade e de erosividade das chuvas devido a influência do mar, da massa tropical atlântica e do efeito orográfico da Serra do Mar.

Desta forma, a identificação de áreas suscetíveis à erosão do solo pode ser obtida utilizando modelos matemáticos, permitindo o gerenciamento ambiental e a quantificação da erosão hídrica superficial. Com ampla utilização, principalmente pela facilidade de uso e simplicidade, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em conjunto com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), apresentam-se como importantes instrumentos de quantificação e espacialização das perdas de solo, sendo possível estimar áreas de risco, formular prognósticos e diagnósticos, bem como analisar cenários de erosão do solo (BACK; POLETO, 2018; BARBOSA; IDE; GONÇALVES, 2018; DURÃES; MELLO, 2016; SILVA et al., 2020; SIMONETTI et al., 2018).

Um dos importantes fatores calculados da EUPS é o fator R, isto é, o fator de erosividade da chuva. De modo geral, a erosividade da chuva pode ser definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo em função das características físicas da própria chuva, tais como quantidade, intensidade e energia cinética (BACK; POLETO, 2018; GUERRA, 2005; TERASSI; GALVANI, 2017).

Neste contexto, sabendo da significância da chuva e do seu processo erosivo, bem como a ausência de dados em determinadas regiões do Brasil, percebe-se a necessidade de gerar informações acerca da erosividade da chuva para a região do Vale do Ribeira, carente de informações a respeito dessa área do conhecimento científico, com vistas ao fornecimento de subsídios para elaboração de projetos e tomadas de decisão na região.

Visto isso, o objetivo deste estudo foi avaliar espacialmente a distribuição pluviométrica e estimar o fator de erosividade da chuva para o Vale do Ribeira com auxílio de técnicas de geoprocessamento.

2 Área de estudo

A área de estudo corresponde a Região do Vale do Ribeira, inserida no Sul do Estado de São Paulo e integrante da Serra do Mar, formada pela bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape e o Complexo Estuarino Lagunar de Iguape-Cananéia-Paranaguá, sendo composta por 23 municípios que apresentam diferentes características ambientais e econômicas (Figura 1) (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998; VIEIRA; GRAMANI, 2015).

Figura 1 - Localização da Região do Vale do Ribeira no Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelos autores.

A região possui uma população aproximada de 365.189 mil indivíduos, sendo 71,2% habitantes de zona urbana (IBGE, 2010).

Os municípios que compõem a Região do Vale do Ribeira paulista, de acordo com Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2019), estão entre os mais frágeis do Estado de São Paulo, com valores médios de Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de R\$ 24,6 mil e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,711 para a Região do Vale do Ribeira.

O Vale do Ribeira é composto por remanescentes de Mata Atlântica relevantes para o Brasil, constituindo uma grande reserva do patrimônio natural do estado de São Paulo, além de ser considerada a maior área de preservação florestal do bioma de mata atlântica da região Sudeste do Brasil, de forma que a região foi declarada Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO (NAREZI, 2018).

O clima da região é subtropical úmido com médias anuais de chuva em torno de 1.300 a 1.500,0 mm, sem estação seca e temperatura média de 19 a 20 °C, do tipo Cfa pelo critério de classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013; TERAMOTO et al., 2019).

3 Procedimento metodológico

O índice de erosividade da chuva é um dos componentes da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). Constitui-se de um modelo empírico de estimativa de perdas médias anuais de solos para um local, o que possibilita o planejamento conservacionista capaz de manter essas perdas em níveis toleráveis (ROSA et al., 2016).

Os dados pluviométricos foram obtidos de estações meteorológicas com informações do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), constituindo-se de séries históricas com pelo menos 20 anos de duração, sendo selecionados a partir do ano de 1980 devido as possíveis alterações antrópicas do uso do solo ocorridas que refletem no regime pluviométrico da região.

Para a estimativa pluviométrica, o preenchimento dos valores ausentes foi realizado no *software* PCPstat. Devido ao grande número de dados, compostos por aferição de pluviometria diária por período de no mínimo 20 anos e um total válido de 55 estações, os valores que se apresentaram discrepantes foram considerados como erro de operação humana na coleta ou obtenção dos dados, sendo esses valores considerados como ausentes para o cálculo da estimativa de precipitação.

Os dados foram compilados em planilha eletrônica e exportados para o formato de arquivo de texto (.txt). Para os dias sem amostragem de dados, foram substituídos pelo valor padrão de 999, para que o *software* PCPstat por meio da Equação (1) os reconheça como amostragens ausentes.

No *software* PCPstat é necessário determinar o arquivo de entrada e o arquivo de saída de cada estação individualmente. O próprio *software* pede que sejam fornecidas informações de entrada para a execução dos cálculos. Os dados inseridos para a estimativa são acerca do nome de entrada do arquivo, nome de saída do arquivo, ano de início e o valor padrão determinado dos dias sem amostragem.

As informações de saída da análise são compostas pelo total mensal de precipitação, dias de precipitação no mês, além do número de amostragens sem valores estimadas pelo *software*.

Esses dados foram compilados em planilha eletrônica e os dias sem amostragem serão estimados pelo *software* PCPstat por meio da Equação (1).

$$Et = \left\{ \frac{\left[\left(q - \frac{c}{6,0} \right) \cdot \left(\frac{c}{6,0} + 1 \right)^3 - 1 \right]}{c} \right\} \cdot p + Y \quad (1)$$

Sendo:

ET - Precipitação diária estimada;

Q - Quantidade de dias do mês;

C - Coeficiente de inclinação;

P - Precipitação diária;

Y - Precipitação média mensal.

Após o preenchimento da planilha foram calculadas as médias pluviométricas mensais para determinar a erosividade da chuva (R) de acordo com a Equação (2), proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2012). Esta equação estima, com relativa precisão, os fatores de erosividade da chuva para séries de chuva com vinte anos ou mais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

$$R = \sum_{i=1}^{12} 67,355 \left(\frac{r_i^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

Sendo:

R é o fator de erosividade da chuva (MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹);

r é a precipitação média mensal (mm);

P é a precipitação média anual (mm).

Os valores de R obtidos para os postos pluviométricos foram geocodificados no *software* ArcGIS 10.5 para gerar um banco de dados com os valores de R, os quais foram utilizados no processo de interpolação pelo método IDW (*Inverse Distance Weighting*) por assumir que cada ponto de amostragem tem contribuição com influência local que reduz com a distância. Segundo Gardiman Júnior et al. (2012), este interpolador é amplamente empregado com o expoente igual a dois para análise espacial de dados pluviométricos, apresentando bons resultados, razão pela qual foi empregado neste estudo (Equação 3).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^p} \cdot Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i^p} \right)} \quad (3)$$

Sendo:

Z é a variável a ser interpolada;

Z_i é o valor da variável da i-ésima localidade vizinha;

D_i é a distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado;

P é o expoente espacializador.

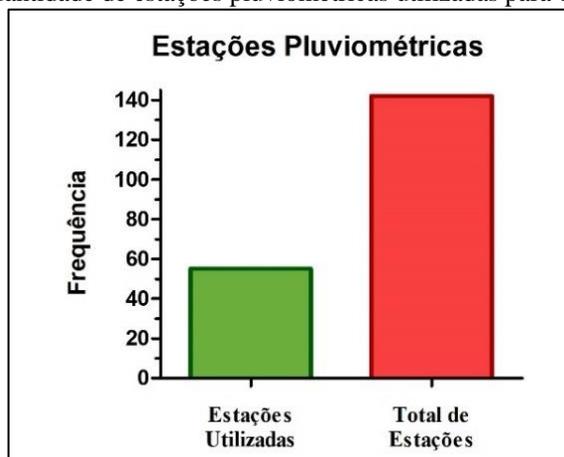
A análise do uso e cobertura da terra foi realizada a partir dos dados disponibilizados em formato *raster* pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MAPBIOMAS, 2019) para o Bioma Atlântica do ano de 2019. O MapBiomass consiste em um monitoramento aberto e colaborativo, criado em 2015 por Universidades, empresas de tecnologias e Organizações Não Governamentais. Para tanto, a base foi recortada nos limites respectivos ao Vale do Ribeira Paulista, sendo estes processamentos realizados no *software* ArcGis 10.5.

4 Resultados e discussão

4.1 Estações pluviométricas

O levantamento e a seleção das estações pluviométricas foram obtidos através do portal *Hidroweb*, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Devido a área de estudo estar inserida dentro da Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos - 11 (UGRHI-11), esse dado foi utilizado como refinador de buscas. A Figura 2 ilustra a quantidade de estações pluviométricas utilizadas no estudo.

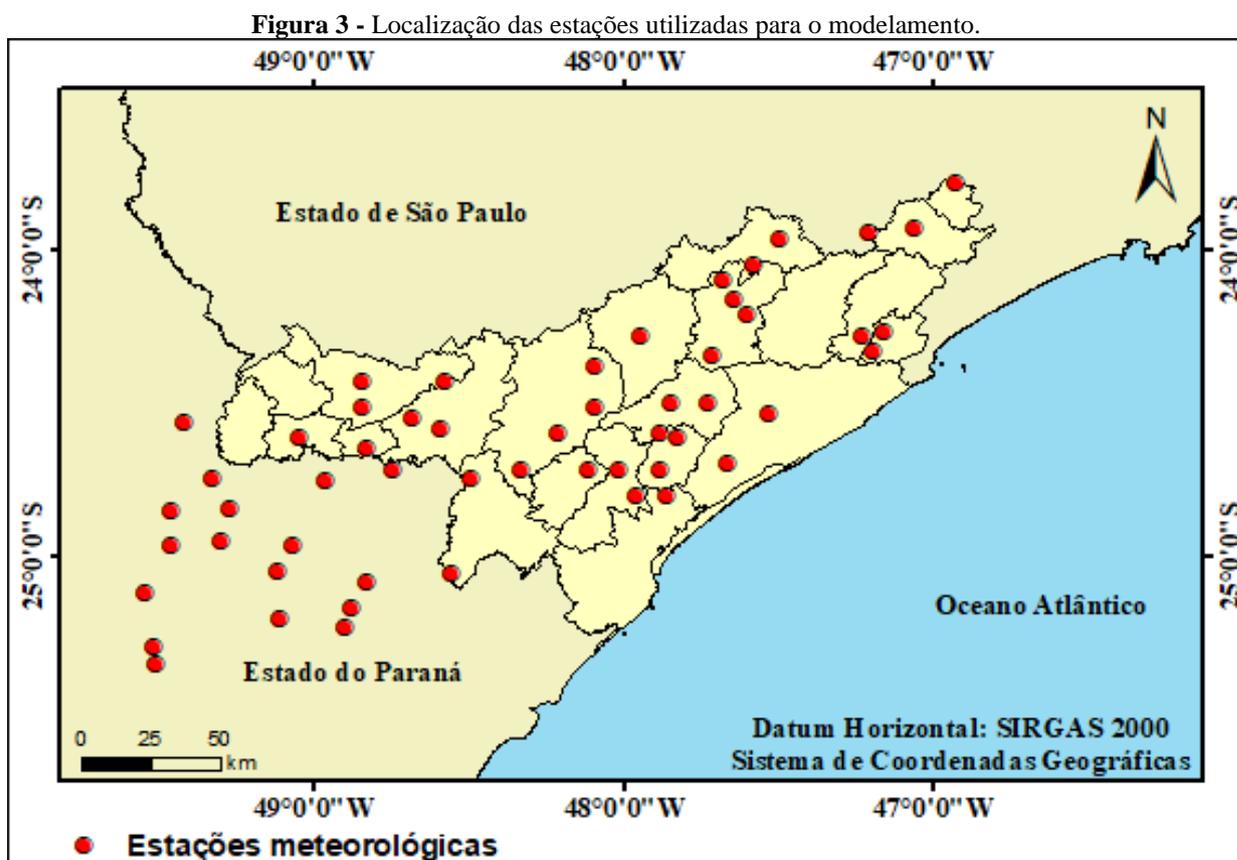
Figura 2 - Quantidade de estações pluviométricas utilizadas para o modelamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Obteve-se um total de 142 estações de pluviometria com arquivos de dados contendo diversas informações, como, precipitação diária, precipitação acumulada, status da aferição (real, estimada). Porém, apenas 55 estações apresentaram séries históricas posteriores a 1980 e com pelo menos 20 anos de dados sem interrupções anuais.

A Figura 3 apresenta um mapa com a localização das 55 estações utilizadas para o cálculo do fator de erosividade da chuva.



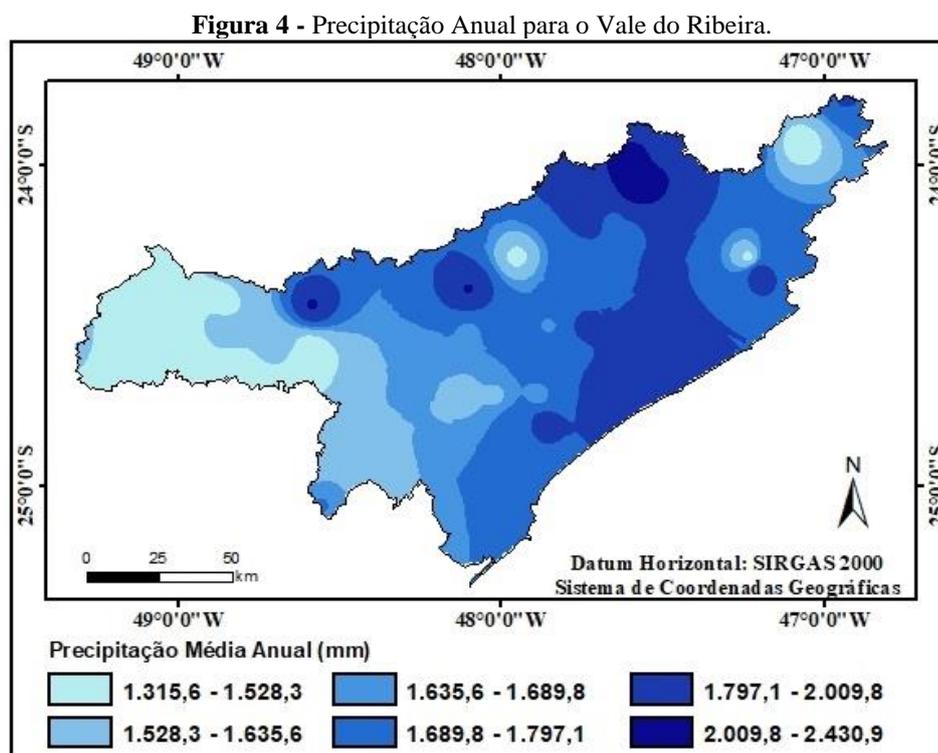
Fonte: Elaborado pelos autores.

As estações que atenderam as premissas básicas para serem utilizadas apresentaram algum tipo de erro em seus dados: falha na continuidade dos anos; dados e períodos pluviométricos repetidos; valores discrepantes para a região. A inexatidão e lacunas temporais dos dados inviabilizaram os cálculos por meio da somatória da precipitação acumulada mensal e precipitação média anual.

Foram identificadas três espécies de erros para cada estação ao longo do período de arquivos existentes. Para a identificação mais precisa dos erros, foi realizada a tabulação dos dados em tabela, os setorizando pelos meses do ano e ao longo da série histórica, favorecendo a interpretação dos dados de cada estação e possíveis comprometimentos para o estudo.

4.2 Estimativa pluviométrica

A partir dos dados das estações pluviométricas e com a série histórica devidamente completa foi elaborado o mapa com a distribuição de chuvas para o Vale do Ribeira Paulista (Figura 4).



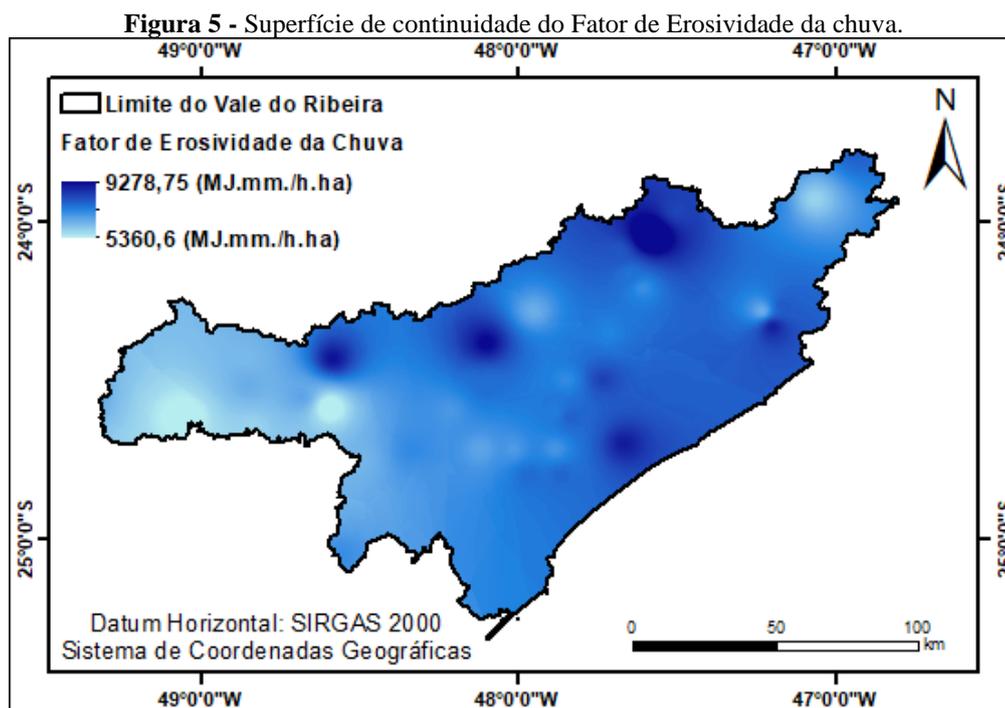
Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise espacial da precipitação pluviométrica, ilustrada na Figura 4, demonstrou uma amplitude de 1.325,6 mm a 2.430,9 mm, sendo que as regiões Norte e Nordeste apresentaram uma precipitação mais elevada.

Comparando a amplitude máxima de 2.430,9 mm para o Vale do Ribeira com outras regiões litorâneas do país, os valores se mostraram superiores ao descrito para os municípios de Caraguatatuba, 1.197,1 mm, e Ubatuba, 2.027,9 mm, ambos localizados ao Norte do litoral do estado de São Paulo (BETTENCOURT et al., 2019), e se mostram semelhantes a região do litoral Norte do estado de Santa Catarina com aproximadamente 2.400,0 mm (COAN; BACK; BONETTI, 2014). Os municípios de Sete Barras e Juquiá, ambos pertencentes a região do Vale do Ribeira, apresentam precipitação média anual de 1.434 mm e de 824 mm, respectivamente (SILVA et al., 2009). Provavelmente, essa variação nos volumes de chuva está associada a processos orográficos, caracterizados pela formação geomorfológica da Serra do Mar (BETTENCOURT et al., 2019; VIEIRA; GRAMANI, 2015).

Com relação ao valor mínimo de precipitação (1.315,6 mm), este foi próximo ao encontrado na região da bacia hidrográfica do Ribeira, no estado do Paraná, com 1.495,0 mm, indicando uma região mais seca em determinadas áreas no Vale do Ribeira que necessita de atenção especial quanto aos usos do solo praticados na área (TERASSI; GALVANI, 2017).

O fator de erosividade da chuva (R) calculado e estimado espacialmente para a região do Vale do Ribeira Paulista é apresentado na Figura 5.



Fonte: Elaborado pelos autores.

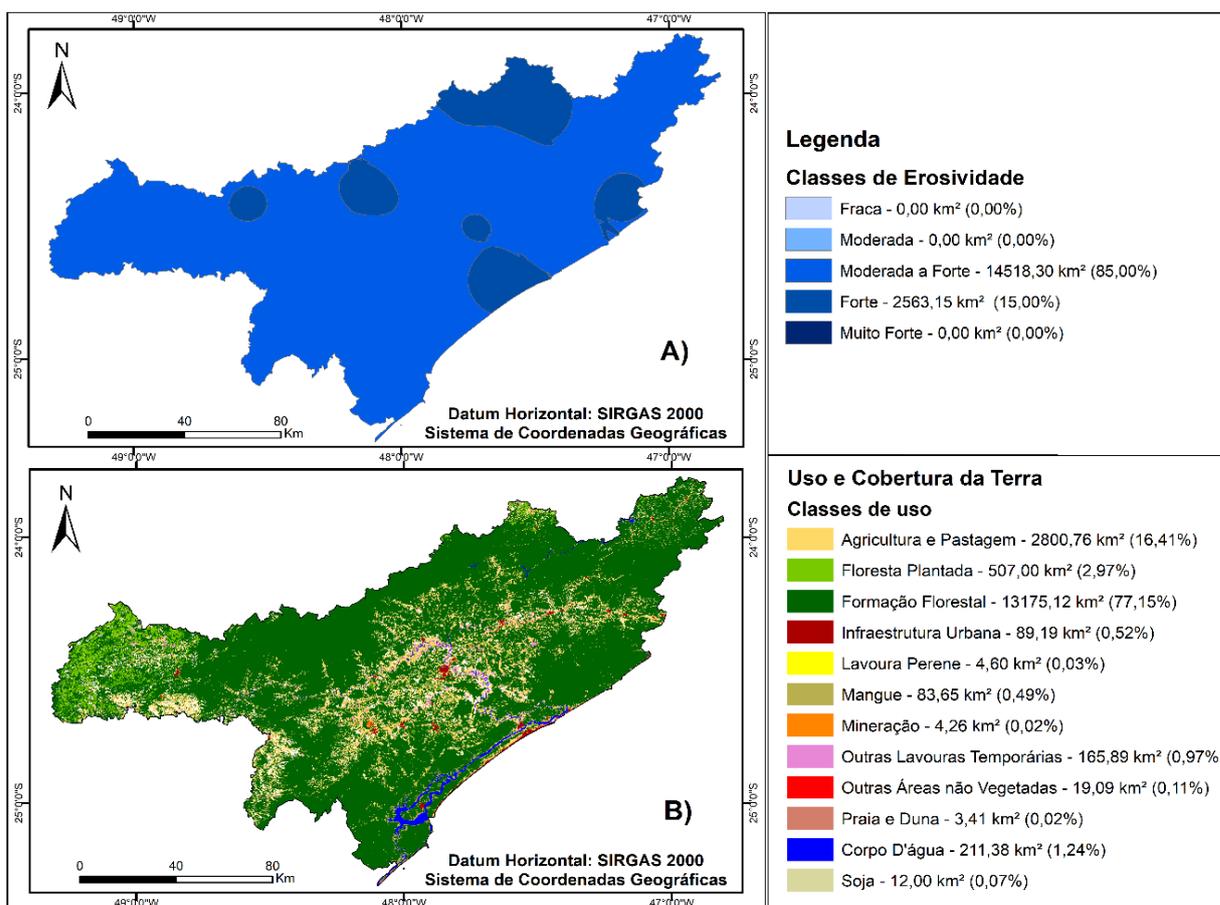
Conforme a Figura 5, o fator da erosividade pela chuva na área de estudo demonstrou alta variabilidade, onde se verificou uma amplitude de 5.360,60 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ a 9,278,75 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹, sendo que as regiões Norte e Nordeste apresentaram maior índice de erosividade da chuva, ocorrência que pode ser expressa devido as regiões norte e nordeste do Vale do Ribeira se encontrarem próximas a Serra de Paranapiacaba e na interconexão do Parque Estadual Carlos Botelho ao Parque do Alto Ribeira – PETAR. Já os locais de menor amplitude da erosividade pela chuva são o Planalto do Vale do Ribeira, que se localiza na porção Sul da área de estudo, bem como a porção Sudoeste onde se apresenta a divisa interestadual com o Paraná (ROSS, 1997).

De modo a pormenorizar a análise do potencial de erosividade anual na região de estudo, os resultados obtidos foram reclassificados de acordo com as cinco classes de erosividade (R) estabelecidas por Carvalho (2008), sendo: fraca ($R \leq 2.452,0$), moderada ($2.452,0 < R \leq$

4.905,0), moderada a forte ($4.905,0 < R \leq 7.357,0$), forte ($7.357,0 < R \leq 9.810,0$) e muito forte ($R > 9.810,0$).

Além das classes de erosividade determinadas e expressas na Figura 6 (A), que estão intrinsecamente relacionadas às características físicas das chuvas, também é apresentado o mapa de uso e cobertura da terra do Vale do Ribeira, uma vez que os usos podem influir de maneira indireta nos processos erosivos, sendo ilustrados na Figura 6 (B).

Figura 6 – Classes de erosividade e uso e cobertura da terra do Vale do Ribeira (SP)



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Figura 6 (A) é possível identificar que a área de estudo possui duas classes de erosividade dominantes, sendo Moderada a Forte, com uma área equivalente a 14518,30 km², contemplando 85% e distribuídas ao longo do Vale do Ribeira. A classe Forte correspondeu a 15% da área, disposta de forma pontual em pequenas porções do Vale do Ribeira, com maior expressão na porção Norte.

Somado ao potencial erosivo das chuvas, os diferentes usos e cobertura da terra (NETO, 1995), assim como outros fatores relacionados às fragilidades intrínsecas (ROSS, 2002) como as características geomorfológicas, podem potencializar a erosão de determinadas

localidades. O estudo realizado por Ross (2002) na bacia do Ribeira do Iguape identificou 4 macrocompartimentos geomorfológicos na área, sendo representados por morros fortemente dissecados em níveis intermediários da Serra do Mar, superfície de cimeira regional, as terras da depressão tectônica do baixo Ribeira, bem como a planície costeira fluvial e marinha. Portanto, a área possui um relevo bastante movimentado, principalmente na porção intermediária da Serra do Mar, o que potencializa as ações erosivas das chuvas caso a cobertura vegetal seja substituída por outros usos. Embora essas áreas sejam protegidas, atividades ilegais e extrativismo predatório podem comprometer esse complexo biosistema.

Por essa razão, o estudo contemplou a avaliação do uso e cobertura do Vale do Ribeira, e, dentre as classes mapeadas, foi possível verificar que a Formação Florestal apresentou a maior extensão, contemplando uma área de 13175,12 km², correspondendo a 77,15% das classes obtidas no estudo. Essa constatação reforça a importância da preservação e conservação das áreas florestais, uma vez que possíveis desmatamentos e/ou a substituição das florestas por outros tipos de usos poderiam acarretar sérios problemas ambientais, que incluem a perda de biodiversidade (OLIVEIRA et al., 2016; LOURENÇO et al., 2015).

De acordo com Rattner (2009), o extrativismo predatório de recursos naturais e minerais, bem como as substituições das florestas por outros usos reduzem drasticamente a flora e fauna presentes nessas áreas. Ainda, a redução das florestas culmina na fragmentação da paisagem, alterações no ciclo do carbono e desequilíbrios climáticos, entre inúmeros outros impactos negativos (OLIVEIRA et al., 2016; SALES et al., 2019).

No entanto, a segunda classe de maior extensão identificada foi a Agricultura e Pecuária, que computou uma área de 2800,76 km², concentradas, sobretudo, na região central do Vale do Ribeira. Se somadas às classes de Lavoura Perene, Outras Lavouras Temporárias e Soja, totalizam-se 17,47% das classes de usos e cobertura do Vale do Ribeira. Diversos autores constataram os efeitos deletérios das atividades agropastoris ao que tange a degradação do solo e os riscos iminentes aos recursos hídricos, caso não sejam adotadas medidas de manejo adequadas e práticas conservacionistas (COLIADO et al., 2020; SALES et al., 2019; SILVA et al., 2020; SIMONETTI et al., 2019; TONIOLO et al., 2020).

De acordo com Neto (1995), a estrutura agrária do estado de São Paulo tem provocado modificações expressivas na interação solo-água, refletindo no balanço hídrico e nas chuvas. Ainda, conforme o autor, o clima constitui o principal insumo natural de energia aos sistemas agrícolas, e as chuvas, neste contexto, são os principais agentes desta dinâmica. Segundo Antuniassi e Reismann (2001), a região do Vale do Ribeira de Iguape não é propícia ao

desenvolvimento de atividades agropecuárias devido a configuração do relevo ser muito acidentado. Portanto, embora o agronegócio seja essencial para a economia local, indubitavelmente, faz-se necessária a execução de práticas conservacionistas para manutenção da qualidade ambiental.

A Infraestrutura Urbana compreendeu uma área de 89,19 km², representando apenas 0,52% da área de estudo. Isso reflete a baixa ocupação presente nessa região, sendo que a maior concentração populacional ocorre nos municípios de Registro, Cajati, Apiaí e Iguape.

As áreas de Mangue representaram 0,49%, com uma área de 83,65 km². Por abrigar uma grande biodiversidade, essas áreas carecem de constante proteção e monitoramento.

A classe de uso relacionada à atividade extrativista de Mineração apresentou uma área de 4,26 km², com um percentual ínfimo da área de estudo, apenas 0,02%. No entanto, devido ao significativo impacto ambiental, essas áreas devem ser monitoradas. As Outras Áreas não Vegetadas apresentaram uma área de 19,09 km², com um percentual de 0,11%. Por apresentarem solo descoberto, essas áreas podem aportar material particulado para os corpos d'água, que computaram uma área de 211,38 km². De acordo com Simonetti et al. (2019), o carreamento de material particulado pode culminar em desequilíbrios no sistema aquático, principalmente no tocante à eutrofização desses ambientes.

De acordo com Neto (1995), em regiões próximas à Serra do Mar pode haver uma precipitação anual superior a 3.000 mm, o que imprime a essas áreas um grande potencial erosivo se comparada às outras regiões, como ao Oeste paulista. Nesse sentido, é fundamental o monitoramento e o estudo da erosividade potencial dessas áreas.

Comparando a amplitude máxima de 9.278,75 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ para o Vale do Ribeira com outras regiões de estudo do país, os valores se mostraram superiores à São Manuel - SP, com 7.487 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ (MORETI et al., 2003) e semelhante para Quaraí – RS, como descrito por Peñalva Bazzano, Eltz e Cassol (2007), com máxima de 9.292 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹. Já valores semelhantes aos valores mínimos de erosividade da chuva obtidos no estudo foram encontrados por Silva (2016), na região de Ibiúna (SP) para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, com mínima de 6.430 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹.

Silva et al. (2010), estimou valores de erosividade das chuvas para o Vale do Ribeira e o litoral do estado de São Paulo, encontrando um valor médio anual de erosividade da chuva de 10.152 MJ mm h⁻¹.ha⁻¹, variando de 7.467 MJ mm h⁻¹.ha⁻¹ (para o município de Itaoca, no Vale do Ribeira) a 15.919 MJ mm h⁻¹.ha⁻¹ (em Santos, litoral Norte do estado de São Paulo).

Contudo, é importante salientar que o modelo matemático utilizado para estimar a erosividade adotado neste estudo é de extrema relevância no tocante à predição, no entanto, as condições relacionadas ao microclima podem influenciar diretamente na precipitação, mesmo considerando regiões próximas, fato que foi constatado nos estudos de Silva et al. (2009), que propuseram equações para estimar a erosividade de dois municípios da região do Vale do Ribeira. Os autores encontraram valores de erosividade média anual de 12.664 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ para Sete Barras e 6.146 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹ para Juquiá.

Ainda, no que compete as estações pluviométricas na região da área de estudo que está situada dentro da Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos - 11 (UGRHI-11), estas apresentam problemas pertinentes na existência dos dados. A busca e seleção das estações se procederam por meio da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) no portal *Hidroweb*, o qual listou uma grande quantidade de estações pluviométricas. Entretanto, das que continham dados para serem baixados totalizaram 142, sendo que apenas 55 atenderam as premissas da metodologia.

A baixa quantidade de estações passíveis de serem utilizadas com séries históricas a partir de 1980, comprometem os estudos que tratam de análise climática. Esta ausência de dados pode ser explicada pelo método de aferição destes que eram totalmente analógicos, ficando dependente do operador da estação a leitura e registro das informações, onde o erro do operador pode influenciar nos resultados.

Com a evolução da tecnologia e a implementação das estações computadorizadas, os *Data Loggers*, a aferição se deu mais precisa, constante e possível de serem utilizadas em lugares de difícil acesso. Em contrapartida, devido ao elevado custo dos componentes eletrônicos, se sucedeu uma menor quantidade de implementação de novas estações e substituição das estações analógicas anteriores. Devido a esses pontos, uma grande parcela das estações apresenta dados até a metade da década de 90, sendo invalidadas para o período histórico mínimo de 20 anos proposto neste estudo.

Mesmo as estações que atenderam as premissas apresentaram algum tipo de erro, sendo os dados de precipitação com valores muito superiores para a região, períodos duplicados e dias ou meses do ano sem nenhuma aferição. Outro problema encontrado foi a ausência de estações em quatro municípios da área de estudo, bem como a existência de apenas uma estação em cinco outros municípios.

Esses aspectos podem ser evidenciados pelo desenvolvimento irregular e questões sociais prioritárias devido as condições da região, a qual se apresenta pouco povoada e com

menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Estado de São Paulo, segundo dados publicados pelo IBGE (2010). De acordo com Antuniassi e Reismann (2001), a região permaneceu isolada do progresso, se comparada às demais regiões do estado de São Paulo por se tratar de uma região composta por elevadas altitudes, relevo montanhoso, clima úmido e solo não muito apropriado para produção de diversas culturas. Além disso, devido ao remanescente bem preservado da Floresta Tropical Atlântica, contempla diversas Unidades de Conservação, sendo a maior área remanescente de floresta nativa, que devido ao seu complexo biosistema imprime uma elevada fragilidade natural à região.

Nesse sentido, o incipiente desenvolvimento econômico amparado pela ausência de investimentos governamentais que forneçam oportunidades de geração de renda e melhorias à população pode favorecer o desmatamento e o extrativismo ilegal, conforme constatado por Nogueira (2003), a respeito do palmito juçara, podendo acelerar o processo de assoreamento dos recursos hídricos e comprometer significativamente a quantidade e a qualidade da água, visto os altos valores de erosividade encontrados na região do Vale do Ribeira.

5 Conclusão

Em relação a seleção dos dados de pluviometria por meio das estações meteorológicas, pode-se afirmar que houve uma elevada dificuldade na obtenção de séries históricas para a região do Vale do Ribeira. A região conta com 142 estações, sendo que 61% dessas estações não apresentavam informações sem interrupções anuais e, por isso, foram utilizadas 55 estações para o cálculo de erosividade.

A erosividade calculada para o Vale do Ribeira foi classificada como moderada a forte (correspondente a 85% da área) e forte (correspondente a 15% da área). Visto isso, verifica-se que a área de estudo tem alto potencial erosividade da chuva com valores máximos de $9.278,75 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Neste sentido, o mapa de erosividade da chuva (R) obtido no estudo demonstrou uma alta variabilidade, podendo servir de subsídio para a identificação de áreas com maior suscetibilidade à erosão hídrica, uma vez que, entidades e órgão públicos podem utilizar tais dados para a tomada de decisões, ao que tange a conservação dos solos e da água, já que o carreamento de partículas do solo para os corpos de água pode comprometer a qualidade e a quantidade de água dos recursos hídricos; além de fornecer informações para adequação de atividades agropecuárias que são fortemente influenciadas pela erosividade da chuva.

Portanto, identificar as áreas com maior potencial erosivo também pode favorecer ações pontuais de educação ambiental nas comunidades, uma vez que o baixo índice de desenvolvimento humano é muito acentuado nas áreas contempladas neste estudo, fazendo-se necessária a adoção de estratégias que visem a conservação e preservação destas áreas.

Referências

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMUNDSON, R. et al. Soil and human security in the 21st century. **Science**, v.348, n. 6235, 2015. DOI 10.1126/science.1261071.

ANTUNIASSI, M. H. R.; REISMANN, L. Características sociambientais da Bacia Hidrográfica do Rio de Iguape. **Cadernos CERU**, v. 12, p. 171-186, 2001.

BACK, A. J., POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 381-403, jan/jun 2018. DOI 10.5380/abclima.v22i0.56914.

BARBOSA, E. H. B.; IDE, N. C.; GONÇALVES, F. V. Análise estatística de comparação entre os modelos de erosividade da chuva (fator R). **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 4, n. 2, p. 33-140, 2018. DOI 10.11137/2018_2_133_140.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BETTENCOURT, P. et al. Remote Sensing Applied to the Evaluation of Spatial and Temporal Variation of Water Quality in a Coastal Environment, Southeast Brazil. **Journal of Geographic Information System**, v. 11, n. 5, p. 500-521, 2019. DOI 10.4236/jgis.2019.115031.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

COAN, B. P.; BACK, A. J.; BONETTI, A.V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, n. 10, p. 122-142, 2014. DOI 10.5380/abclima.v15i0.38348.

COLIADO, P. H. S. et al. Avaliação das características físicas da bacia hidrográfica do Rio Pariquera-Açu no Baixo Ribeira De Iguape (SP). **Holos Environment**, v. 20, n. 3, p. 320-334, 2020. DOI 10.14295/holos.v20i3.12386

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Distribuição espacial do potencial erosivo e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, 677-685, 2016. DOI 10.1590/s1413-41522016121182.

ENVIRONMENT CANADA. **Sediment Assessment Series: Basic Concepts and Program Highlights: Factsheet 1**. Ottawa: Environmental Protection Publications, 2003.

GARDIMAN JÚNIOR, B. S. et al. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p. 149-209.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

LOURENÇO, R. W. et al. Use of fuzzy systems in the elaboration of an anthropic pressure indicator to evaluate the remaining forest fragments. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 1-8, 2015. DOI 10.1007/s12665-015-4253-6

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, 2019**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 14 de out. 2020.

MARTINS, J. C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo – medidas de prevenção. **Revista vida rural**, p. 34-36, 2017.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 77-84, 2016. DOI 10.1590/S1413-41520201600100133687

MELO, D. S. et al. Self-organizing maps for evaluation of biogeochemical processes and temporal variations in water quality of subtropical reservoirs. **Water Resources Research**, v. 55, n. 12, p. 10268-10281, 2019. DOI 10.1029/2019WR025991.

MORETI, D. et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 713-725, 2003. DOI 10.1590/S0100-06832003000400016.

NAREZI, G. A agroecologia como estratégia de gestão de Unidades de Conservação de uso sustentável no Vale do Ribeira, Estado de São Paulo, Brasil. **Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul**, v. 23, n. 1, p. 69-91, janeiro/abril, 2018. DOI 10.17058/redes.v23i1.9324.

NETO, J. L. S. A erosividade das chuvas no estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 9, p. 35-49, 1995.

NOGUEIRA, Maria Cláudia. **Educação ambiental e extração clandestina de palmito juçara (*Euterpe edulis*): o caso do Parque Estadual "Carlos Botelho"-São Paulo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. doi:10.11606/D.11.2003.tde-20102003-163802. Acesso em: 2020-10-18.

OLIVEIRA, R. A. et al. Proposição de corredor ecológico entre duas Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 61-71, 2016. DOI 10.11606/rdg.v32i0.116467

PELLEGATTI, C. H. G; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidade e duração. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 13, n 27, p. 147-158, 2010. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2010.74160.

PEÑALVA BAZZANO, M. G.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; PIRES, A. M. Z. C. R. Análise de riscos ambientais no entorno de uma Unidade de Conservação (estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP). In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002, p. 17-36.

RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. **Ciência & saúde coletiva**, v. 14, n. 6, p. 1965-1971, 2009. DOI 10.1590/S1413-81232009000600002

ROSA, A. et al. Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 4, p. 1007-1021, 2016.

ROSS, J. L. S. A morfogênese da bacia do Ribeira do Iguape e os sistemas ambientais. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, n. 12, p. 21-46, 2002.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1997.

SALES, J. C. A. et al. Análise espacial da avifauna e sua correlação com indicadores ambientais na bacia hidrográfica do rio Una (SP). **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 2, 2019. DOI 10.4025/bolgeogr.v37i2.37839

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010. DOI 10.1590/S1415-43662010000200001.

SÃO PAULO. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. **Produtividade e Desenvolvimento Sustentável**, 2019.

SILVA, D. C. C. et al. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 189-212, 2020. DOI 10.17765/2176-9168.2020v13n1p189-212.

SILVA, D. C. C. **Proposta metodológica para elaboração de um índice espacial de sustentabilidade ambiental aplicado a bacias hidrográficas**. 2016. 158f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, São Paulo, 2016.

SILVA, R. B. et al. Assessing Rainfall Erosivity with Artificial Neural Networks for the Ribeira Valley, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2010, Article ID 365249, p. 7, 2010. DOI 10.1155/2010/365249.

SILVA, R. B. et al. Proposição e validações de equações para estimativa da erosividade de dois municípios do estado de São Paulo. **Irriga**, v. 14, n. 4, p. 533-547, 2009. DOI 10.15809/irriga.2009v14n4p533-547

SIMONETTI, V. C. et al. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 169-180, 2018. DOI 10.5380/raega.v44i0.48838.

SIMONETTI, V.C. et al. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, p. 1-12, 2019. DOI 10.1080/15715124.2019.1672706.

TERAMOTO, E. T. et al. Estimativa da radiação global diária a partir de variáveis meteorológicas comuns em ambiente subtropical úmido. **NATIVA**, v. 7, p. 693-701, 2019. DOI 10.31413/nativa.v7i6.7948

TERASSI, P. M. D. B.; GALVANI, E. O efeito orográfico da Serra do Mar e o potencial erosivo das chuvas nas bacias hidrográficas do Ribeira e Litorânea – Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 327-345, 2017. DOI 10.5380/abclima.v21i0.47621.

TONIOLO, B. P. et al. Uso de Geotecnologias para Delimitação de Susceptibilidade Erosiva na Unidade de Negócio Oeste SABESP. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 8, p. 76-90, 2020. DOI 10.17271/2317860481720202309

VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Serra do Mar: The Most “Tormented” Relief in Brazil. In: VIEIRA B.; SALGADO A.; SANTOS L. J.C (Ed.). **Landscapes and Landforms of Brazil: World Geomorphological Landscapes**. Dordrecht: Springer, p. 285-297, 2015. DOI 10.1007/978-94-017-8023-0_26