

Artigo de Pesquisa

**VULNERABILIDADE DO SOLO À EROÇÃO HÍDRICA, REGIÃO
HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA-RS****Vulnerability to soil water erosion, Guaíba-RS hydrographic region**

Nedilson Sanches Ferreira¹, Dênis José Cardoso Gomes², Priscila dos Santos Ribeiro³, Lianne Borja Pimenta⁴ e José Henrique Cattanio⁵

¹ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém-PA, Brasil.

nedilsonlive@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8338-9274>

² Universidade do Estado do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém-PA, Brasil. deniss.feg@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>

³ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém-PA, Brasil.

priscilaribeiro175@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8701-7459>

⁴ Universidade do Estado do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém-PA, Brasil. lianneborja@yahoo.com.br

 <https://orcid.org/0000-0003-3961-0183>

⁵ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia e Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém-PA, Brasil. cattanio@ufpa.br

 <https://orcid.org/0000-0001-8335-9593>

Recebido em 22/01/2022 e aceito em 20/05/2022

RESUMO: O aumento populacional nos últimos anos está desencadeando avanços no uso da terra de modo inadequado e, sob a ocorrência extremos climáticos, acarreta inúmeros desastres naturais, dentre eles a erosão do solo. O objetivo deste trabalho é analisar a vulnerabilidade a erosão hídrica do solo na Região Hidrográfica do Guaíba-RS. Utilizou-se dados estimados de precipitação (Global Precipitation Climatology Center); uso da terra (Projeto MapBiomass); declividade (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e de solo (Empresa Brasileira de Pesquisas agropecuária) na álgebra de mapas para obter o produto de erosão hídrica do solo. A região hidrográfica do Guaíba apresentou estabilidade ao norte e a sudeste, porém, áreas extremamente instáveis foram detectadas principalmente no eixo central (leste-oeste) com alguns pontos ao sul. Os processos erosivos da região são motivados naturalmente pela declividade e solo, onde a precipitação não é um fator preponderante na erosão, sendo este desastre ocasionado em alguns pontos pela força antrópica. O controle das áreas instáveis através preservação da cobertura vegetal e diminuição do avanço agrícola é essencial para a prevenção de possíveis casos de erosão, prejuízos socioambientais e econômicos.

Palavras-chave: Precipitação; Degradação; Geoprocessamento.

ABSTRACT: The population increase in recent years is triggering advances in land use inappropriately and under extreme climatic occurrence, it causes numerous natural disasters, among them soil erosion. The objective of this work is to analyze the vulnerability to soil water erosion in the Guaíba-RS Hydrographic Region. Estimated precipitation data (Global Precipitation Climatology Center) was used; land use (MapBiomas Project); declivity (National Institute for Space Research) and soil (Brazilian Agricultural Research Corporation) in map algebra to obtain the product of soil water erosion. The Guaíba hydrographic region showed stability in the north and southeast, however, extremely unstable areas were detected mainly in the central axis (east-west) with some points to the south. The erosive processes in the region are naturally motivated by declivity and soil, where precipitation is not a major factor in erosion, and this disaster is caused in some points by the anthropic forcing. The control of unstable areas through preservation of vegetation cover and reduction of agricultural progress is essential for the prevention of possible cases of erosion, socio-environmental and economic damage.

Keywords: Rainfall; Degradation; Geoprocessing.

INTRODUÇÃO

A crescente populacional nos últimos anos induziu à um aumento na demanda de alimentos e conseqüentemente há uma expansão territorial de áreas destinadas para agricultura e pastagem, onde em alguns casos já existem processos erosivos crescentes, agravados quando esses fatores antrópicos agem em conjunto com eventos climáticos extremos (MARTÍNEZ-CASASNOVAS et al., 2002; DUNKERLEY, 2019). Por tanto, o uso e ocupação da terra desordenado, principalmente por práticas agropecuárias, desmatamentos, somados com a precipitação, alto grau de declividade do terreno e tipo de solo com maior erodibilidade, agravam tais processo erosivo do solo reduzindo sua produtividade e aumentando o depósito de sedimentos e poluentes nos corpos d'águas (CUIBAIANO et al., 2017).

O solo é um recurso natural fundamental para a preservação da ecologia terrestre, e a sua degradação é um problema global. Schneider et al. (2011), Licco e Mac Dowell (2015) e Cornelli et al. (2016) destacam que a intensificação do uso da terra de modo não sustentável pode influenciar nos sistemas hidrológicos com a redução da infiltração da água pluvial no solo e aumento do escoamento superficial. Os efeitos da substituição das áreas de florestas pela agropecuária, ação do desmatamento e das queimadas também são discutidos em Balbinot et al. (2008), Zamberlan et al. (2014) e Schaadt e Vibrans (2015). A erosão hídrica do solo é o desprendimento, arraste e deposição de partículas sedimentares por forças naturais (precipitação) e/ou antropogênicas (uso da terra) que atuam através do escoamento superficial hídrico (LI; WEI, 2014).

A precipitação é o elemento meteorológico mais importante no estudo da variabilidade climática no Brasil, devido ter um impacto considerável em várias esferas estruturais que compõe a sociedade, como a atividade de agricultura, além de estar relacionada à ocorrência de alagamentos, inundações, enchentes e erosões quando associada com alterações desordenadas do uso e ocupação da terra e condicionantes ambientais, como gradiente topográfico, pedologia e a dinâmica fluvial (LICCO; MAC DOWELL, 2015; LEMOS et al., 2018). O monitoramento meteorológico e a avaliação de risco aos efeitos dos eventos climáticos no âmbito das bacias hidrográficas são principalmente compostos pela formulação de modelos matemáticos de

comportamento e previsão, que visam auxiliar o processo de gestão, sendo mais complexo por englobar as variáveis sociais e econômicas associadas aos municípios, além de estados formadores das bacias hidrográficas (SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2017; FRANCO et al., 2018). Quanto maior for a fragmentação político-administrativa dentro de uma bacia hidrográfica, maior será a dificuldade de integrar ações dentro da mesma (PORTO; PORTO, 2008; MESQUITA, 2018). Neste sentido surgiu o conceito de Região Hidrográfica, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar os sistemas de gerenciamento de recursos hídricos (NICOLODI et al., 2009). A bacia hidrográfica é considerada uma área constituída por um sistema de drenagem que contém uma porção de cursos d'água convergindo para o rio principal (CUIBAIANO et al., 2017).

Reis et al. (2015) ressaltam a importância do uso de geotecnologias para o diagnóstico ambiental, a fim de subsidiar o planejamento e gestão de recursos naturais em bacias hidrográficas, pois sendo unidades de áreas ambientais altamente sensíveis as variabilidades climáticas e intensificação do uso da terra, medidas preventivas de produtos oriundos do geoprocessamento podem minimizar os inevitáveis impactos ambientais decorrentes do avanço de ocupações de áreas urbanas e com finalidades agrícolas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a vulnerabilidade a erosão hídrica do solo na Região Hidrográfica do Guaíba-RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Conforme Andrade (2018) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006) a Região Hidrográfica do Guaíba (RHG) apresentada pela Figura 1 faz parte da região hidrográfica do Atlântico Sul definida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e está localizada totalmente no estado do Rio Grande do Sul, possuindo uma extensão territorial em torno de 83.653,1 km² (1/3 da área total estadual) com 251 sedes municipais, aproximadamente 6,6 milhões de habitantes e sendo composta por nove sub-bacias hidrográficas: Taquarí-Antas (TA-26.491 km²), Vacacaí-Vacacaí Mirim (VVM-11.077,3 km²), Alto Jacuí (AJ-17.345,1 km²), Baixo Jacuí (BJ-12.985,5 km²), Caí (C-4.945,7 km²), Sinos (S-3.756,7 km²), Pardo (P-3.658,3 km²), Lago Guaíba (LG-2.523,6 km²) e Gravataí (G-1.977,4 km²).

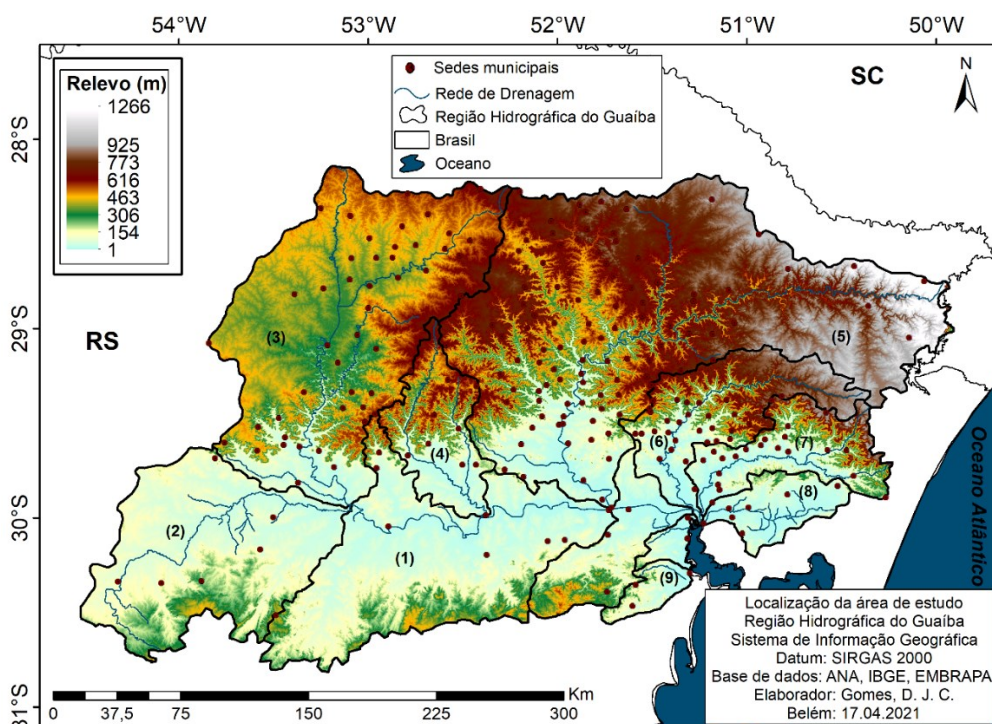


Figura 1. Localização da área de estudo: Sub-bacias da Região Hidrográfica do Guaíba. Baixo Jacuí (1); Vacacaí-Vacacaí Mirim (2); Alto Jacuí (3); Pardo (4); Taquari-Antas (5); Caí (6); Sinos (7); Gravataí (8); Lago Guaíba (9). Fonte: ANA (2020); IBGE (2020). Adaptado por autor (2020).

A área de estudo é caracterizada por precipitação média anual de 1.650 mm – 1.850 mm, temperaturas médias anuais do ar máximas 25 °C e mínimas de 14 °C, umidade relativa média anual do ar de 76 %. O relevo é caracterizado pelos terrenos mais baixos (1 m – 306 m) ao sul e sudoeste, com a elevação altimétrica (463 m – 616 m) a noroeste e os maiores relevos (773 m – 1.266 m) a nordeste.

2.2 Aquisição de dados

A técnica de álgebra de mapas foi realizada considerando produtos de espacialização pluviométrica da Região Hidrográfica do Guaíba (RHG) utilizando dados do estimador GPCC (2019), validados por Gomes (2008) e usados por Gomes et al. (2018); da inclinação do terreno com base nos dados SRTM (INPE, 2020), assim como Valeriano e Rossetti (2011); do uso e cobertura do solo do ano de 2018 seguindo a classificação do Projeto MapBiomas, conforme Ganem et al. (2019) e Garrett et al. (2018); da distribuição espacial das classes de tipo de solos através dos dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

2.3 - Processamento de dados

O produto de vulnerabilidade à erosão do solo é apresentado pela Eq. 1 (CREPANI et al., 2001; RIBEIRO; CAMPOS, 2007):

$$V = \frac{P+D+U+S}{4} \quad (\text{Eq. 1})$$

V = Vulnerabilidade à erosão do solo; D = Declividade (Graus); U = Uso e cobertura do solo; P = Pluviosidade (mm); S = Solos.

Utilizou-se a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), posteriormente por Ribeiro e Campos (2007), Xavier et al. (2016), em que foi adaptado para aplicar na RHG que possui poucos estudos voltados nesta problemática. Através do Sistemas de informações Geográfica (SIG), foi confeccionada uma carta de vulnerabilidade à erosão hídrica do solo influenciada pelas variáveis ambientais. As vulnerabilidades das componentes ambientais (Tab. 1) em análise foram definidas de acordo com o grau de influência na estabilidade do terreno de cada variável, adotando uma escala de valores que representa suas respectivas vulnerabilidades e grau de influência com base nos critérios estabelecidos por Crepani et al. (2001), sendo adaptado por Ribeiro e Campos (2007). Na precipitação, quanto maior (menor) a intensidade pluviométrica maior (menor) será o valor atribuído aquela classe. No caso do uso e cobertura do solo, cada tipo de uso foi classificado com seus respectivos pesos indicando o quanto cada tipo de cobertura do solo impacta na erosão. As variáveis declividade e classe de solo também foram ponderados por valores que representam a influência de cada grau do declive e tipo de solo composto na RHG. Tais valores atribuídos para as variáveis ambientais foram inseridos na ferramenta calculadora raster (Eq. 1), e, por meio da sobreposição das camadas das variáveis ambientais, foi calculada a média espacial resultante que representa a vulnerabilidade à erosão hídrica do solo.

Tabela 1. Escala e classificação de Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo.

Grau de Vulnerabilidade (V)	Escala de valores	Critérios
Vulnerável	$V > 2,6$	Retrabalamento do relevo é preponderante
Moderadamente Vulnerável	$2,2 < V \leq 2,6$	Há retrabalamento superior a estabilidade
Medianamente Estável/Vulnerável	$1,7 < V \leq 2,2$	A estabilidade e o retrabalamento do relevo são próximos
Moderadamente Estável	$1,3 < V \leq 1,7$	Há retrabalamento inferior a estabilidade
Estável	$V < 1,3$	A estabilidade do relevo é preponderante

Fonte: Autor (2021). Adaptado de Ribeiro e Campos (2007).

O grau de vulnerabilidade (1,0 a 3,0) segundo os critérios de estabilidade adotados para as variáveis em estudo são descritos na Tab. 2 e representam a RHG, em que se

observou áreas de extrema vulnerabilidade (uso e ocupação do solo, declividade e solo) com valores máximos (3,0), isto significa que essas áreas sob ameaça a ocorrência de erosões do solo. As regiões estáveis (1,0 a 1,4) foram obtidas para todas as categorias em estudo, com exceção da declividade (s/classificação) nesta faixa de estabilidade, tais valores indicam que regiões com estas características de vulnerabilidade possuem baixo risco aos processos erosivos.

Tabela 2. Critérios adotados para as categorias: Precipitação; Uso e ocupação da terra; Declividade; Solo.

Grau de Vulnerabilidade (V)	Critérios			
	Precipitação	Uso e ocupação do solo	Declividade	Solo
Vulnerável	s/classificação	3,0	3,0	3,0
Moderadamente Vulnerável	s/classificação	2,5	s/classificação	2,5
Medianamente Estável/Vulnerável	s/classificação	2,0	2,0	2,0
Moderadamente Estável	1,5	1,5	1,5	1,5
Estável	1,4	1,0	s/classificação	1,0

Fonte: Autor (2021). Adaptado de Ribeiro e Campos (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 observa-se as variáveis ambientais, em que a variabilidade espacial pluviométrica média anual apresenta os maiores valores a noroeste da RHG na zona transfronteiriça entre as bacias do AJ (norte), TA (noroeste) e P (norte) variando de 1.848,4 mm a 1.945,1 mm. Estes elevados volumes pluviais podem estar relacionados à atuação de sistemas de mesoescala como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), além de sistemas sinóticos como Frentes Frias (FF), Ciclones, e de modo indireto a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), provocando desastres naturais como escorregamento de massas na região sul brasileira (SANCHES et al., 2019), no qual estão fortemente associados a processos erosivos do solo (TOMINAGA et al., 2009). No eixo sudoeste-nordeste, AJ (sul), BJ (norte), VVM (norte), P (centro), C (nordeste) e S (nordeste) da RHG, é observado valores medianos de precipitação (1.676,8 mm-1.762,6 mm) que podem estar relacionados com os relevos mais altos (chuvas orográficas). O Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD, 2021) monitora desastres naturais e decretou situação de emergência em 93 casos de tempestades intensas na RHG no período de 2003 a 2022, com alguns eventos em municípios em áreas que climatologicamente apresentam os maiores volumes pluviais. Back et al. (2019) comentam que o impacto cinético no solo gerados pelas gotas de chuvas intensas acarretam a desagregação das partículas sólidas em solos descobertos e, conseqüentemente favorece a erosão,

apesar de suas pesquisas mostrarem uma baixa taxa de erosividade anual para o estado do Rio Grande do Sul.

O setor sul da RHG há predominância dos menores regimes pluviométricos anuais oscilando entre 1.505,3 mm à 1.591,1 mm nas bacias do VVM (centro-sul), BJ (centro-sul), P (sul), TA (sul), C (centro-sul), S (centro-sul), G e LG, este menor regime pluvial pode ser explicado devido aos baixos relevos desta região, pois os CCM's geralmente estão associados a áreas montanhosas (HOUZE JR., 2018; LI et al., 2019), assim como o estabelecimento de bloqueios atmosféricos e possíveis passagens de FF que podem não influenciar a pluviosidade nesta área (PEDROSO et al., 2015; BARATO; WOLLMANN, 2018). O S2iD (2021) registrou em cerca de 20 anos (2003-2022) 898 casos de estiagens na RHG, sendo alguns eventos em áreas de baixa disponibilidade hídrica (SE). Até o primeiro trimestre deste ano mais de 26 ocorrências de estiagens foram alertadas na RHG. A baixa pluviosidade pode estar provocando estes eventos de estresse hídrico nestas bacias.

Os diferentes usos e coberturas do solo na RHG, são conforme a classificação do Projeto MapBiomias (2021), 10 classes para o ano de 2018: Agricultura, Floresta, Massa d'água, Área urbana, Pasto, Várzea, Reflorestamento, Afloramentos Rochosos, Mineração e Zona de Transição. A RHG é caracterizada pela predominância da Agricultura abrangendo áreas de aproximadamente 28.543,4 km² (34,1%), dominando a sub-bacia do AJ (centro-norte), mas também distribuída em menores áreas no VVM (sudoeste-nordeste), BJ (centro), P (sudoeste), TA (noroeste), G (centro) e LG (leste). As áreas de Floresta são a segunda classe de maior extensão territorial com 25.259,7 km² (30,2%), principalmente nas sub-bacias TA (centro), AJ (sul), BJ (norte), P (centro), C (centro-sul), S, G (fronteiras) e LG (oeste). A Pastagem é a forma de uso da terra que abrange áreas de aproximadamente 18.341,1 km² (21,9%), concentrando-se nas sub-bacias VVM, P (norte e sul), TA (nordeste), BJ (centro-sul), C (nordeste). Distribuída de forma de difícil distinção (agricultura e/ou pastagem) é identificado os Mosaicos Agropastoris, que são áreas destinadas as atividades agrícolas, concentrando-se nas proximidades das florestas e ao norte na bacia TA com cerca de 5.652,2 km² (6,8%).

O reflorestamento está presente nas bacias BJ (sul-sudeste), VVM (sudoeste), TA (leste e sul), C (nordeste), S (leste). As Cidades refletem as áreas habitacionais (urbanas e rurais) e foram observadas ao longo de toda a RHG em torno de 1.268,1 km² (1,5%), com grandes aglomerações antrópicas nas bacias C (centro), S (oeste) e G (oeste). A Hidrografia da RHG constitui cerca de 1.091,2 km² (1,3%) representando os principais rios e afluentes das bacias. Em seus trabalhos Collischonn et al. (2007) corroboram que a bacia do rio Taquari-Antas é caracterizada por zonas rurais em planícies, assim como florestas e pastagem em altiplanos com as áreas de encostas íngremes cobertas por vegetação. As Áreas Úmidas (Banhados) estão em pequenas porções à sudeste da RHG com 99,2 km² (0,1%). Foi também observado Afloramentos Rochosos compondo 5,4 km² (0,006%).

Na RHG, observa-se os menores graus de declividade (0° - 21°) indicando presença de planícies nas sub-bacias do BJ (centro-sul), VVM, AJ (norte), P (sul), TA (norte e sul), C (nordeste e sul), S (centro-sudoeste), G (centro-sul) e LG (leste). As áreas de

encostas íngremes podem ser observadas nos valores mais elevados de declives (28° - 49°) nas sub-bacias do BJ (norte), VVM (nordeste), AJ (centro), P (centro-norte), TA (centro-norte estendendo-se a leste ao longo do rio), C (centro), S (norte-leste), G (norte) e LG (sudoeste). Este cenário geomorfológico favorece a instabilidade da área e susceptíveis à erosão do solo.

A distribuição pedológica da RHG é caracterizada por uma diversidade de solos, onde é dominada por neossolos com 21.781,8 km² de área (26,0%) distribuídos nas bacias do BJ (centro e sul), VVM (sul), AJ (porção ao sul), P (centro), TA (centro estendendo-se a Leste ao longo do rio), C (noroeste), S (leste) e LG (parte a oeste).

Os Argissolos compõem áreas de 20.564,3 km² (24,6%) nas bacias do BJ (norte e sul), VVM (noroeste e centro-leste), AJ (centro-oeste-leste), P (norte), TA (parte do oeste), C (sudoeste), S (centro-sul), G (exceto parte a oeste) e LG (oeste). Em seguida, foi observado que os Planossolos constituem áreas de 14.294,9 km² (17,1%) concentrando-se nas sub-bacias do BJ (eixo centro-leste-oeste ao longo do rio), VVM (sudoeste-nordeste), AJ (sul), P (sul), TA (sul), C (sul), S (sudoeste), G (parte a oeste) e LG (leste).

Com menor extensão territorial de 10.624,1 km² (12,7%) são identificados Latossolos localizados nas sub-bacias AJ (norte), TA (norte). Assim como Nitossolos de 7.124,5 km² (8,5%) nas bacias AJ (centro), TA (noroeste-centro-sudeste), C (noroeste-sudeste), S (noroeste). Além disto, estão presentes Cambiosolos com 5.984,5 km² (7,1%) nas bacias do TA (nordeste) e C (nordeste); chernossolos com 2.128,0 km² (2,5%) no TA (noroeste); uma pequena porção de Luvisolos abrangendo 439,0 km² (0,6%) na sub-bacia do VVM (sudeste) e áreas hidrográficas de 711,8 km² (0,8%).

A Figura 3 mostra os riscos ambientais da RHG, sendo a vulnerabilidade pluviométrica marcada pela maior parte com regiões estáveis de 68.673,9 km² (82,1%), ou seja, este território não apresenta riscos inerentes à precipitação na escala de tempo analisada. O destaque está a noroeste com áreas moderadamente estáveis de 14.899,8 km² (17,9%), isto significa que nesta microrregião possui risco mais elevados, ainda que não seja suficiente para alarmar, ambas as classificações eventualmente podem não demonstrar a estabilidade devido a ocorrência de casos eventos climáticos isolados, principalmente oriundos de sistemas de mesoescala que são intensos em um curto espaço de tempo podendo aumentar momentaneamente a susceptibilidade pluvial.

A vulnerabilidade ao uso e cobertura do solo da RHG é marcada pela predominância da estabilidade com 26.527,8 km² (31,7%) no sentido centro-sudeste, estendendo-se no eixo centro-leste, onde provavelmente devem estar sendo influenciadas pelas florestas e cidades. Classes com áreas moderadamente estáveis estão situadas ao sul (sub-bacia do BJ, VVM, TA e LG), na parte noroeste (sub-bacias BJ) e à nordeste (sub-bacias TA e C) e possivelmente estão associadas as áreas de reflorestamento com 4.444,1 km² (5,3%). Nas regiões nordeste e sudoeste são observados as maiores concentrações de transição do grau de vulnerabilidade representado pela categoria medianamente estáveis/vulneráveis com 18.341,1 km² (21,9 %), apesar de identificar-se pontos distribuídos na maior parte da RHG, sendo provavelmente os efeitos das áreas de pasto. Com grau levemente superior estão pequenas áreas da classe

moderadamente vulneráveis com 5.652,2 km² (6,8%) situadas na parte central-norte e podem estar relacionadas as atividades agropastoris. A evolução do risco máximo do uso da terra é identificada atingindo áreas classificadas como vulneráveis de 28.648,0 km² (34,2%) nos eixo norte-noroeste e sul-sudoeste, onde estão os territórios de agricultura e áreas úmidas.

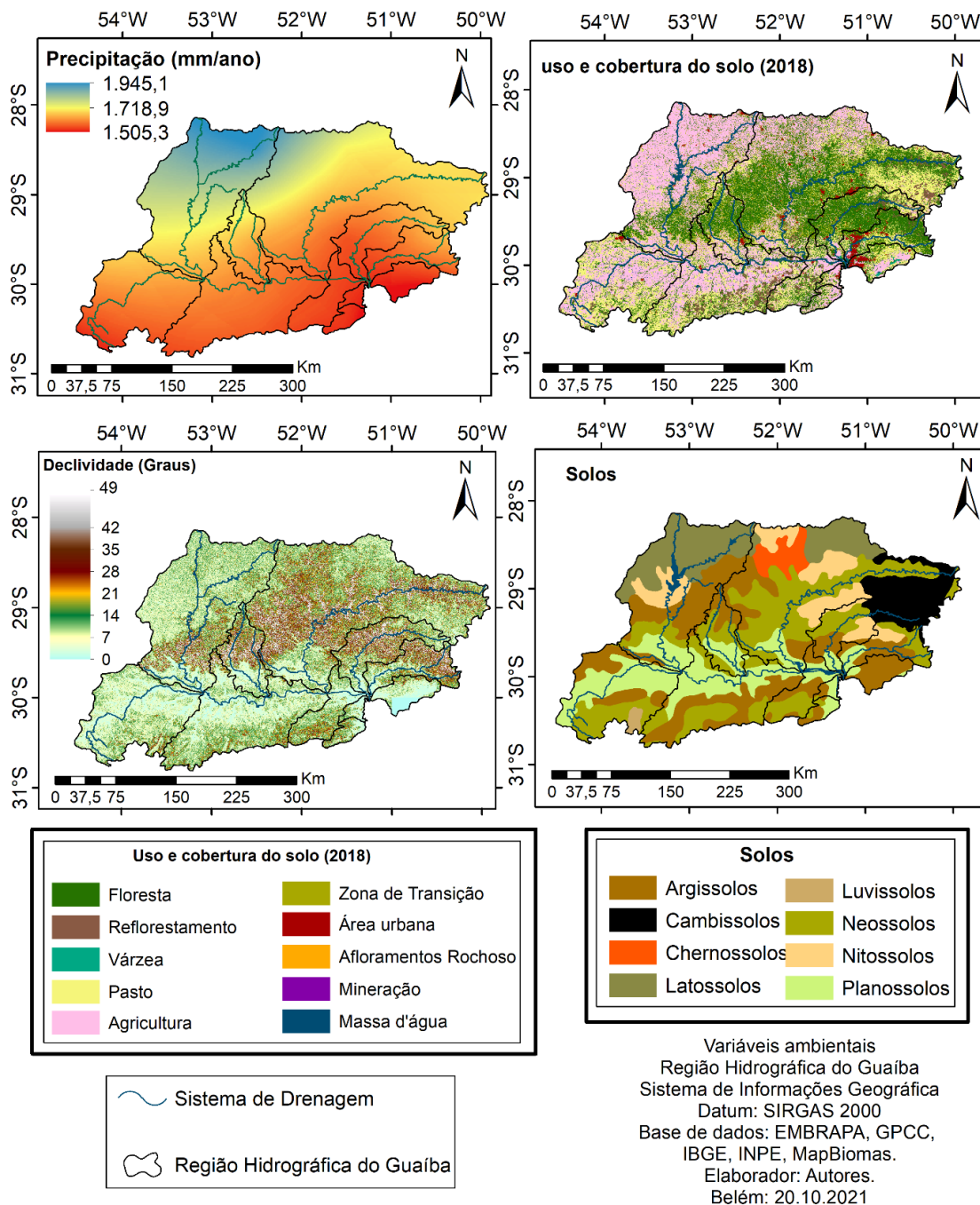


Figura 2. Variáveis ambientais: precipitação média anual (1988-2017), uso e cobertura do solo (2018), tipos de solos e declividade. **Fonte:** Autores (2021).

Na vulnerabilidade clinográfica da RHG, as áreas moderadamente estáveis de 33.473,2 km² (39,1%) predominam ao sul e possivelmente estão relacionadas aos baixos relevos da RHG. São observadas regiões de estágio transitório classificadas como medianamente estáveis/vulneráveis com 24.909,3 km² (28,8%) marcando a passagem das áreas baixas para os altiplanos. Regiões extremamente vulneráveis abrangem aproximadamente 27.844,8 km² (32,3%), principalmente no centro da RHG e estendendo-se em uma faixa no sentido centro-leste, centro-norte, centro-sudeste e centro-nordeste (ao longo do rio Taquari-Antas), além de algumas áreas dispersas ao sul da RHG. Em um estudo para uma região centro-leste da RHG (Vale dos Vinhedos – centro leste), Viel et al. (2017) detectaram maiores valores de perda de solo para áreas de maior declividade (encostas íngremes) sem cobertura vegetal.

A vulnerabilidade pedológica da RHG possui áreas estáveis de 10.624,3 km² (12,7%) atuando no norte-noroeste e provavelmente estão associados aos Latossolos. Uma pequena porção territorial de 699,8 km² (0,8%) localizada em zonas hidrográficas é classificada como moderadamente estável nas bacias AJ (centro) e BJ (sudeste). O aumento do risco é evidenciado na classe de transição medianamente estável/vulnerável com as maiores extensões de áreas com 44.524,0 km² (53,2%) em quase toda RHG, sendo a presença de Argissolos, Chernossolos, Luvisolos, Nitossolos e Planossolos a possível explicação. Regiões moderadamente estáveis de 5.980,3 km² (7,1%) são observadas a nordeste da RHG e devem estar relacionados aos cambiosolos da área. O maior grau de vulnerabilidade de 21.788,6 km² (26,1%) é mostrado no eixo centro-leste margeando o rio TA e algumas parte ao sul da RHG, no qual deve estar sendo influenciado pelos neossolos da região.

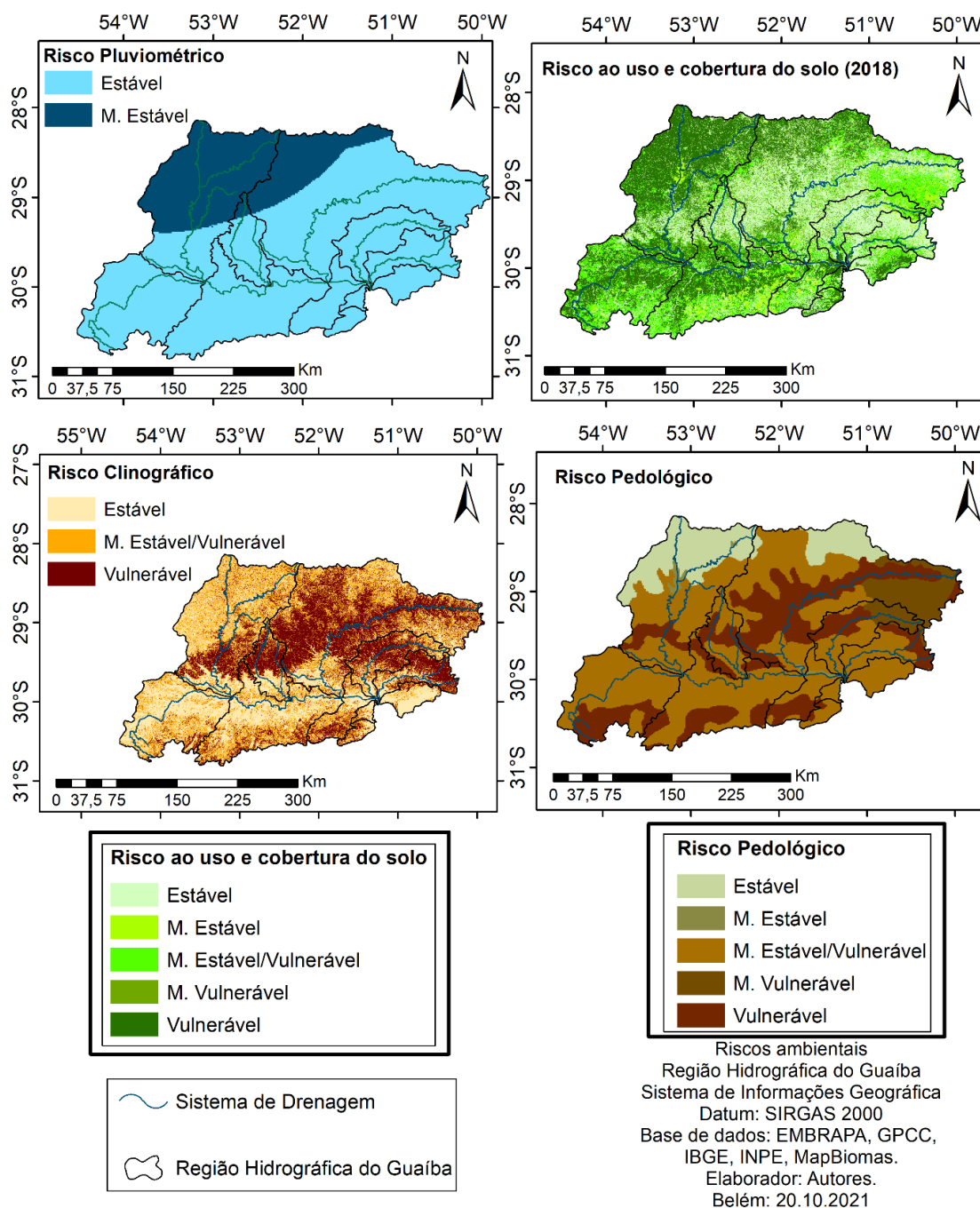


Figura 3. Riscos ambientais: precipitação média anual (1988-2017), uso e cobertura do solo (2018), tipos de solos e declividade. **Fonte:** Autores (2021).

Na Figura 4 é representada a vulnerabilidade à erosão hídrica do solo ressaltando-se a intensa heterogeneidade em toda RHG. Na sub-bacia BJ, observa-se alto risco principalmente ao sul e uma faixa no centro, onde pode estar associado a uso da terra inadequados, declives acentuados e solos com alta erodibilidade, apesar destas sub-bacias não apresentarem grande densidade populacional. A sub-bacia do VVM possui áreas com três classificações de vulnerabilidade, estáveis, moderadamente

estáveis/vulneráveis e medianamente estáveis/vulneráveis que são predominantes ao norte. Enquanto no setor sul, apresentou regiões vulneráveis, sendo atribuídas a esses riscos a influência da ação conjunta de pequenas áreas de alta declividade, mas principalmente ao intensificado uso da terra em solos altamente suscetíveis a erosão (Figura 3). Na sub-bacia AJ, há indícios de regiões estáveis ao norte, sudeste e uma porção ao sul, mas destaca-se de forma alarmante para uma faixa central com elevada vulnerabilidade situada á Sudoeste (zona crítica) até o Nordeste. Nessas áreas, provavelmente também são impactadas pelo avanço inapropriado do uso do solo em um alto grau de inclinação de terreno, apesar ser marcada por solos com vulnerabilidade mediana. A bacia do P está comprometida com áreas vulneráveis na porção central e no lado oeste. Na sub-bacia do TA as áreas estáveis estão presentes ao norte e no sul, contudo, é constatado que na parte central estendendo-se a leste é altamente vulnerável com alguns municípios sob risco, este ambiente degradado possivelmente está sendo motivado por áreas clinográficas e pedológicas extremamente vulneráveis a erosão.

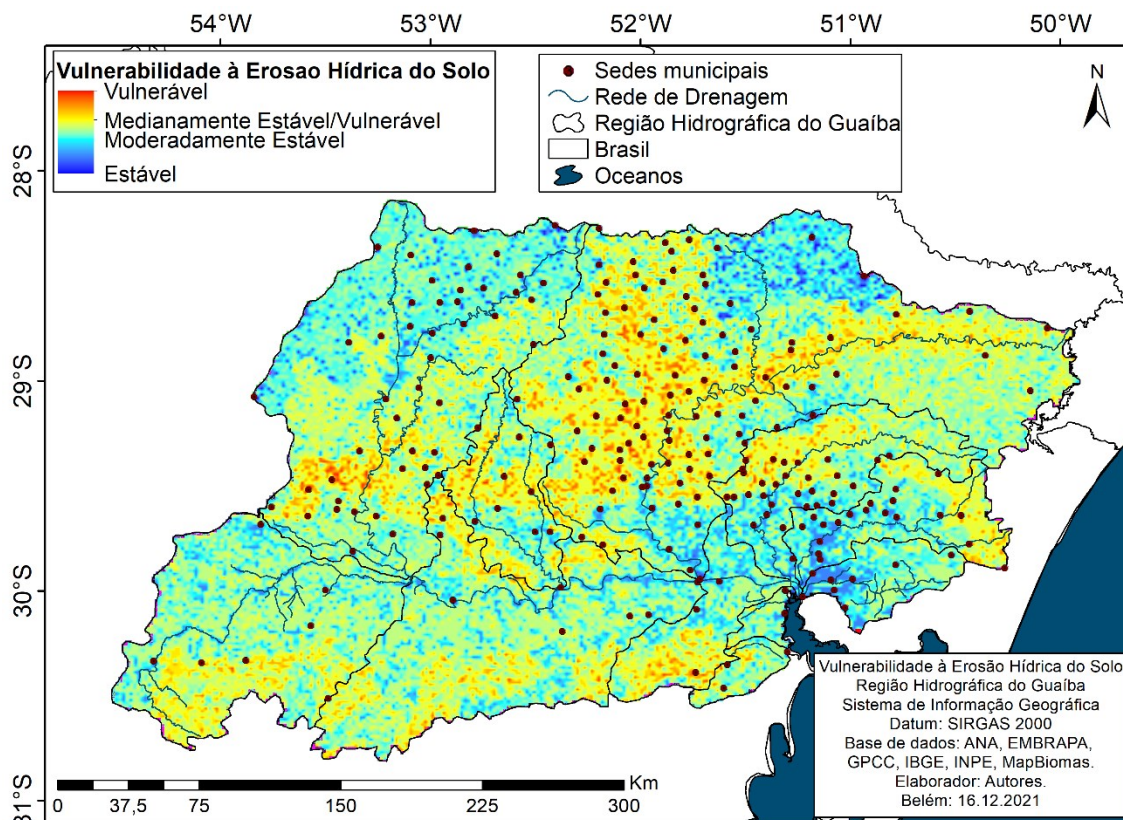


Figura 4. Vulnerabilidade a erosão hídrica do solo: Região Hidrográfica do Guaíba. **Fonte:** Autores (2021).

A sub-bacia C apresenta estabilidade ao sul, porém, a parte centro-norte está dominada pela alta vulnerabilidade, sendo este mesmo cenário observado na sub-bacia do S alongando-se mais em todo lado leste. Neste caso (bacia do C), áreas a nordeste vulneráveis ao uso da terra intensivo e solos estão promovendo a erosão,

além da parte centro-norte que devem estar sendo provocadas por declividade e pedologia altamente suscetíveis a erosão, ressaltando que neste setor há áreas de estabilidade que amenizam este risco. A sub-bacia do G mostra pontos de risco ao norte, enquanto na LG nota-se que pequenas porções ao norte e sudeste estão em estágios vulneráveis iminente, este elevado grau de vulnerabilidade pode ser explicado através das pressões antrópicas identificadas nas áreas com modificações do uso e ocupação do solo.

O regime pluviométrico na região sul brasileira é altamente influenciada pelos moduladores climáticos do Pacífico tropical como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), no qual via teleconexão (células de Walker-Hadley) altera os padrões de circulação do vento na atmosfera e, dependendo na sua fase de aquecimento (resfriamento) chamada de El Niño (La Niña), respectivamente, promove movimentos de convecção (subsistência) do ar no sul do Brasil, aumentando (diminuindo) a precipitação regional (NERY, 2005; CHECHI; SANCHES, 2013). Paula et al. (2010) determinou a relação entre os efeitos do fenômeno ENOS na precipitação e no potencial de erosividade no município de Santa Maria-RS (RHG – situado na sub-bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim). Deste modo, os fenômenos climáticos são determinantes para modular as variações pluviais e impactar o solo.

Por tanto, a degradação do solo pela erosão é agravada por outro fator, a intervenção antrópica pela conversão da vegetação em áreas agrícolas, pois a floresta intercepta a gota de chuva diminuindo os efeitos do seu impacto no solo, onde em determinados usos da terra, como as áreas desprovidas de proteção das florestas, podem compactar o solo, inibir a infiltração, aumentar o escoamento superficial da água pluvial e resultar em maior suscetibilidade a processos erosivos (BATISTELLA; VALLADARES, 2009). Becker et al., (2013) discutem os impactos ocorridos no sul do Brasil decorrentes intensa dinâmica do uso da terra e apresentam estudos que sugerem a poluição em ecossistema aquático na RHG, levantando questionamentos quanto a qualidade de outras componentes ambientais como o solo. No seu trabalho, García-Orenes et al. (2012) mostram que solos com cobertura vegetal possuem maior qualidade e estão menos vulneráveis a eventuais erosões.

A espacialização da declividade é preponderante na análise da paisagem, permitindo a visualização dos diferentes graus de inclinação e contribuindo como subsídio na identificação de áreas com maior e/ou menor vulnerabilidade à erosão do solo (COLAVITE; PASSOS, 2012). Declives acentuados, sob condições de chuvas intensas que ultrapassem o limite de infiltração hídrica do solo, potencializam a ocorrência de enxurradas e a tensão cisalhante ganhando energia suficiente para o desprendimento de partículas do solo e/ou suscetibilizar a área a processos erosivos (BARBOSA et al., 2012). Assim, entre 2003 até 2022, foram detectados pelo S2iD (2021) 383 eventos de enxurradas na RHG, onde as áreas acidentadas de alta elevação angular do terreno possivelmente contribuíram para essas ocorrências.

Silva e Alvares (2005) ratificaram em seu trabalho que os Argissolos, Cambissolos Chernossolos, Neossolos, Nitossolos e Planossolos geralmente apresentam um grau de erodibilidade mediano-alto. Caten et al. (2012) apontaram que a substituição de áreas de agricultura por usos da terra mais conservadores como florestas resultou na

diminuição de 44% da susceptibilidade a erosão do solo nos seus estudos aplicados na cidade de Silveira Martins (noroeste da RHG – sub-bacia do Alto Jacuí).

Speth et al. (2020) ressaltam que as APP's (Áreas de Proteção Permanentes) foram criadas para proteger o meio ambiente da degradação (antrópica e/ou natural), porém mostraram em suas pesquisas que o avanço desordenado e irregular do uso da terra provocou impactos ambientais como assoreamento dos rios na cidade de Candelária da RHG (centro-oeste/bacia do rio Pardo). Nos seus estudos Sousa et al., (2013) complementam que as retiradas das matas ciliares promovem a erosão do solo acarretando o assoreamento de rios, no qual se não for controlado pode ocasionar futuras enchentes. A manutenção da cobertura vegetal é preponderantemente para a estabilidade, principalmente em encostas instáveis (BURYLO et al., 2011). A análise integrada do regime pluviométrico, uso da terra descontrolados, pedologia e declividade são fundamentais no controle da erosão hídrica do solo, pois a ação de chuva intensa em áreas de grande inclinação do terreno pode aumentar a instabilidade da região (JING et al., 2019). Deste modo, pode-se destacar a susceptibilidade natural constatada na RHG.

CONCLUSÃO

A RHG apresentou áreas críticas à erosão hídrica nas partes sul-sudoeste (cidades em risco), mas destaca-se uma grande região de risco em forma de duas bifurcações caracterizadas por uma faixa diagonal a noroeste, fato que serve de alerta para os municípios deste setor. A outra região atravessa zonalmente a parte central da RHG no sentido sudoeste-nordeste, motivadas por declives e a pedologia que são os principais responsáveis pela erosão do solo, além de alguns pontos o uso da terra intensificar o processo erosivo. A terceira situa-se na orientação centro-sudeste apontando uma zona crítica a erosão hídrica.

Por tanto, nestes locais o Poder Público e a Defesa Civil precisam estar alerta, pois mesmo que a precipitação não seja um fator preponderante nos processos erosivos da RHG, possíveis extremos climáticos podem inverter este quadro de estabilidade pluvial e ocasionar altos índices pluviométricos, tornando a chuva uma agravante natural em uma região de grandes alterações do uso e ocupação da terra.

Apesar da área central estar naturalmente comprometida por fatores geomorfológicos, a manutenção da cobertura vegetal existente é fundamental para a prevenção de erosões hídricas do solo; medidas como o controle do avanço de áreas destinadas a agricultura ao norte, assim como o pasto presente no sul precisam continuar, inibindo o desmatamento em regiões instáveis, onde o contínuo crescimento populacional provoca o aumento demanda por alimentos exigindo cada vez mais a expansão agrícola que precisa ser feita de modo planejado. As bacias do AJ, VVM, BJ, G e LG necessitam de uma atenção prioritária na questão florestal, já que a maior parte de suas áreas houve retirada da vegetação, inclusive margeando os rios (Jacuí e Vacacaí) que pode provocar sérios danos ambientais. Desta forma o Poder Público

pode diminuir os impactos antrópicos, pois existe a necessidade e leva em consideração os eventuais extremos climáticos e condições ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará e a Universidade do Estado do Pará pelo apoio técnico/administrativo/doações.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Concepção: Nedilson Ferreira e Dênis Gomes. **Metodologia:** Nedilson Ferreira e Dênis Gomes. **Análise formal:** Nedilson Ferreira, Dênis Gomes e José Cattanio. **Pesquisa:** Nedilson Ferreira, Dênis Gomes e Priscila Ribeiro. **Recursos:** Nedilson Ferreira e Dênis Gomes. **Preparação de dados:** Dênis Gomes e Lianne Pimenta. **Escrita do artigo:** Nedilson Ferreira, Dênis Gomes, Priscila Ribeiro e Lianne Pimenta. **Revisão:** Dênis Gomes e José Cattanio. **Supervisão:** Dênis Gomes e José Cattanio. **Aquisição de financiamento:** Nedilson Ferreira e Dênis Gomes. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. C. **Impactos do ambiente urbano na poluição dos sedimentos do lago Guaíba**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). UFRGS, Porto Alegre-RS, 2018.
- BACK, A. J.; GONÇALVES, F. N.; FAN, F. M. Spatial, seasonal and temporal variations in rainfall aggressiveness in the South of Brazil. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 4, p. 466-475, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n4p466-475/2019>.
- BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131 – 149, 2008.
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C. A. Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica dos anos-padrões na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. **Revista Geoambiente (on-line)**, v. 30, p. 20-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2056>.
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; RAMOS, J. C.; RAMOS, R. R. Comprimento crítico de declives relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeaduras direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1279-1290, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400022>.

BATISTELLA, M.; VALLADARES, G. S. Farming expansion and land degradation in western Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 61-76, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300005>.

BECKER, F. G.; DE FRIES, L. C. C.; FERRER, J.; BERTACO, V. A.; LUZ-AGOSTINHO, K. D. G.; SILVA, J. F. P.; CARDOSO, A. R.; LUCENA, Z. M. S.; LUCENA, C. A. S. Fishes of the Taquari-Antas river basin (Patos Lagoon basin), southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 79-90, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000100010>.

BURYLO, M.; HUDEK, C.; REY, F. Soil reinforcement by the roots of six dominant species on eroded mountainous marly slopes (Southern Alps, France). **Catena**, v. 84, n. 1-2, p. 70-78, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.09.007>.

CATEN, A. T.; MINELLA, J. P. G.; MADRUGA, P. R. A. Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 1006-1014, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900012>.

CHECHI, L.; SANCHES, F. O. O uso do índice de Anomalia de chuva (IAC) na avaliação do fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1586-1597, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20130054>.

COLAVITE, A. P.; PASSOS, M. M. Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem. **Revista GeoNorte**, v. 2, n. 4, p. 1547 – 1559, 2012.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 878-895, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CAMIN, G.; SANTOS, G. M. Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. **Revista Scientia Cum Industria**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>.

CUIBAIANO, M. N.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, C. M.; SERAFIM, M. E.; NEVES, R. J. Vulnerabilidade ambiental á erosão hídrica na sub-bacia do Córrego do Guanabara / Reserva do Cabaçal – MT, Brasil. **Revista Geociências**, v. 36, n. 3, p. 543 – 556. São Paulo, UNESP, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i3.11231>.

DUNKERLEY, D. L. Rainfall intensity bursts and the erosion of soils: na analysis highlighting the need for high temporal resolution rainfall data for research under current and future climates. **Earth Surface Dynamics**, v. 7, p. 345-360, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/esurf-7-345-2019>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS)*. Brasília - DF: EMBRAPA, 2018, 75 p.

FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; LIMA, A. M. M. Cheias e vulnerabilidade social: estudos sobre o rio Xingu em Altamira/PA. **Revista Sociedade & Ambiente**, v. 21, p. 1-22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0157r3vu18l1ao>.

GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. M.; ROCHA, W. J. S. F.; VASCONCELLOS, R. N.; ROSA, M. R.; SOUZA, D. T. M. Impactos da correção atmosférica na classificação da cobertura da Terra da carta topográfica SC-24-V-C (Petrolina) usando o Google Earth Engine e Imagens Landsat-8. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 42, p. 100-116, 2019. DOI: https://doi.org/10.11137/2019_2_100_116.

GARCÍA-ORENES, F.; ROLDÁN, A.; MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; CAMPOY, M.; ARCENEGUI, V.; CARAVACA, F. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid mediterranean. **Soil Use and Management**, v. 28, n. 4, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00451.x>.

GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; WAROUX, Y. P.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C. Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233-243, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>.

GOMES, D. J. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JUNIOR, J. A.; SERRÃO, E. A. O. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental - Bacia do rio Capim (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 12, n. 2, 2018.

GOMES, N. V. **Estudos comparativos da distribuição espaço-temporal da precipitação na Amazônia Oriental**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). UFPA, Belém-PA, p. 92f., 2008.

GPCC. Global Precipitation Climatology Center. Disponível em: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>. Acessado em: 17/08/2021.

HOUZE JR., R. A. 100 Years of research on mesoscale convective systems. **Meteorology Monographs**, v. 59, n. 17, p. 1-17, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0001.1>.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acessado em: 10/08/2021.

JING, X.; CHEN, Y.; PAN, C.; YIN, T.; WANG, W.; FAN, X. Erosion failure of a soil slope by heavy rain: laboratory investigation and modified GA model of soil slope failure. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16061075>.

LEMOS, A. C. C.; SALDANHA, D. L.; MAFRA, A. L. Comportamento da precipitação pluviométrica nas porções alta e média da bacia hidrográfica do rio Canoas/SC: Análise Temporal de 1986-2016. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1264-1274, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1264-1274>.

LICCO, E. A.; MAC DOWELL, S. F. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 5, n. 3, 2015.

LI, J.; YANG, L.; LIU, W.; JIANG, C. Spatiotemporal distribution characteristics of mesoscale convective system producing short-duration heavy rainfall over the Tianshan Mountain area. **Advances in Meteorology**, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/9090659>.

LI, X.; WEI, X. Risk and surplus floodwater during flood season. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n. 7, p. 1294-1311, 2014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000912](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000912).

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RAMOS, M. C.; RIBES-DASI, M. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. **Geoderma**, v. 105, p. 125-140, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00096-9).

MMA. Ministério do Meio Ambiente. *Caderno da região hidrográfica Atlântico Sul/Secretaria de Recursos Hídricos*. Brasília: MMA, 2006.

MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p. 56-80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280>.

NERY, J. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 61-75, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25233>.

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão integrada de bacias hidrográficas e zonas costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5894/rgci115>.

PAULA, G. M.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; ELTZ, F. L. F.; HELDWEIN, A. B.; FERRAZ, S. E. T. Influência do fenômeno El Niño na erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 1315-1323, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400028>.

PEDROSO, D.; FERRAZ, S. E. T.; NASCIMENTO, E. L.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Influências na alteração do regime de bloqueios atmosféricos sobre o sul do Brasil em um cenário de clima futuro. **Ciência & Natura**, v. 37, ed. Especial SIC, p. 83-90, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X16220>.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Revista Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>.

PROJETO MAPBIOMAS. 2021 – *Coleção 4.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil*. Acesso: 08/12/2021. Disponível: <https://mapbiomas.org/>.

REIS, D. R.; PLANGG, R.; TUNDISI, J. G.; QUEVEDO, D. M. Physical characterization of a watershed through GIS: a study in the Schmidt stream, Brazil.

Brazilian Journal of Biology, v. 75, n. 4, p. 16-29, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1590/1519-6984.01313supl>.

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G.; GASS, S. L. B.; ROCHAS, V. M. Extreme rainfall events in the southwest of Rio Grande do Sul (Brazil) and its association with the sandzation process. **American Journal of Climate Change**, v. 8, p. 441-453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2019.84024>.

SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; SERRÃO, E. A. O.; FARIAS, M. H. C. S.; WANZELER, R. T.; ARAÚJO, I. B. Modelo de previsão fluviométrica para o rio Xingu na cidade de Altamira-PA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 230-243, 2016. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2016.24829>.

SCHAADT, S. S.; VIBRANS, A. C. O uso da terra no entorno de fragmentos florestais: influência a sua composição e estrutura. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 437-445, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.062813>.

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i3.8385>.

SILVA, A. M.; ALVERES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Revista de Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 579-589, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.

Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD) - *Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil*. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 07/07/2021.

SOUSA, M. E.; SANTOS FILHO, N. E.; PEREIRA, L. A.; LYRA, L. H. B. Monitoramento e caracterização do assoreamento no rio São Francisco nas orlas urbanas de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 15, n. 1, p. 68-80, 2013.

SPETH, G.; PERES, L. E. S.; WOLLMANN, L.; DOMINGUES, Q. R.; GIACCOM-RIBEIRO, B. M. Conflitos do uso de solo em Áreas de Preservação Permanente em Candelária (RS). **Ciência & Natura**, v. 42, ed. esp., n. 13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X40485>.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v. 32, p. 300-309, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale dos Vinhedos (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 521-533, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1197>.

XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; NETO, I. O. B. Processos erosivos superficiais no município de Juarezinho, Região Semiárida da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. esp., p. 113-122, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10465>.

ZAMBERLAN, J. F.; ZAMBERLAN, C. O.; SHUCH JUNIOR, V. F.; GOMES, C. M.; KNEIPP, J. M. Produção e manejo agrícola: impactos e desafios para sustentabilidade ambiental. **Engenharia Sanitária**, v. especial, p. 95-100, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000680>.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0