



## **AVALIAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS SOBRE ÁREAS EM PROCESSO DE REGENERAÇÃO UTILIZANDO PRODUTOS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA**

Luiza Campos Giglio <sup>1</sup>  
Vandoir Bourscheidt <sup>2</sup>

Conservação de solos e recuperação de áreas degradadas

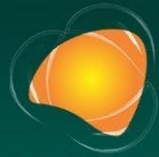
### *Resumo*

As geotecnologias constituem um conjunto de ferramentas extremamente eficazes para a análise do ambiente e suas condições e, mais recentemente, as aeronaves remotamente pilotadas (ARPs ou *drones*) se destacam por fornecer imagens de alta resolução e precisão para o monitoramento e investigação de diversos fenômenos ambientais, como por exemplo os processos erosivos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar processos erosivos em uma área em processo de regeneração de Franca-SP utilizando as geotecnologias, buscando avaliar o comportamento das erosões em relação ao progresso de regeneração, compreendendo quais fatores mais influenciam no processo. Assim, foi aplicada a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) no panorama de dados de 1962 a 2023 que foram classificadas pelo *software* QGIS, e posteriormente analisadas com os demais fatores previstos na equação. Utilizou-se dados pluviométricos do INMET para analisar erosão pluvial, bem como o *software* SAGA para geração dos fatores topográficos e dados pedológicos do Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Governo do Estado de São Paulo. Percebeu-se que a cobertura de floresta e de vegetação secundária tem efeito positivo para minimizar a erosão, enquanto os picos de áreas erodidas ocorreram nos anos de maiores valores de erosão pluvial e nas áreas de maior valor dos fatores topográficos. Como resultados, o fator de uso do solo exerceu maior influência na erosão do que os fatores topográficos e erosividade pluvial, mesmo com o pico destes fatores. Logo, a preservação de florestas e vegetação secundária são essenciais para minimizar os impactos das erosões.

**Palavras-chave:** Erosão; USLE; Áreas em regeneração; SIG; ARPs

<sup>1</sup>Aluna do Curso de Graduação em Gestão e Análise Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, [luizacg@estudante.ufscar.br](mailto:luizacg@estudante.ufscar.br);

<sup>2</sup>Dr. Prof. Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Ciências Ambientais, [vandoir@ufscar.br](mailto:vandoir@ufscar.br)

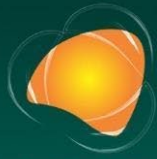


## INTRODUÇÃO

O solo é o meio mais vulnerável à ação dos agentes transformadores da paisagem, que alteram suas características e levam a erosão, dependendo principalmente do tipo de solo, o histórico de usos e ocupação atual e se não houver regeneração vegetal no local, uma das medidas que amenizam esse processo (IBAMA, 2021). Logo, a tomada de medidas para minimizar os impactos negativos da erosão e evitar sua expansão são essenciais e devem ocorrer de forma eficaz. Um dos métodos mais utilizados na avaliação deste fenômeno é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) que, por meio da análise dos principais e diferentes fatores ambientais que geram erosão, permite estimar a taxa média da perda de solo nos mais variáveis arranjos de paisagens, auxiliando na tomada de medidas a fim de reduzir este processo (RENARD et al., 1997). Com o avanço das geotecnologias, tendo em vista o grande potencial dos *softwares* de processamento e de elaboração de produtos cartográficos visualmente mais eficientes, a aplicação da EUPS foi facilitada, permitindo a análise da interação de seus fatores (BARBOSA, 2015).

Nesse contexto, é de extrema importância o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permite a execução de várias tarefas, incluindo a criação, averiguação e manipulação de informações, levando à atualização e conclusões dos objetos em análises e suas relações topológicas presentes nos bancos de dados gerados por meio de seus componentes de *software* e *hardware* (SILVA et al., 2008).

Atualmente, há uma tendência crescente da utilização de veículos aéreos não tripulados (ARPs ou VANTs) em diversas áreas do conhecimento. Esses dispositivos têm sido empregados para auxiliar na tomada de decisões e também em inúmeros estudos, principalmente no monitoramento ambiental e análises de acidentes, pois fornecem imagens com alta resolução e possibilitam gerar produtos como Modelos Digitais de Elevação (MDEs) (FERRAZ et al., 2015). Dessa forma, a utilização desse equipamento possibilita analisar o espaço por meio das imagens de sobrevoos, permitindo identificar características com maior detalhe, além de permitir identificar possíveis razões dos fenômenos sem necessitar de outras análises suplementares. Por outro lado, ainda existem relativamente poucos estudos sobre o uso dessa tecnologia para a análise e monitoramento de processos erosivos.



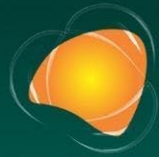
Objetiva-se com esse trabalho, avaliar a evolução dos processos erosivos em uma área em processo de regeneração com o uso das geotecnologias, buscando compreender quais fatores influenciam no avanço da erosão, bem como esta afeta a recuperação das principais áreas erodidas, avaliando o seu comportamento por meio da equação EUPS, analisando possíveis fatores que influenciam os processos erosivos, com ênfase na vegetação, precipitação regional e variações das características do solo, baseando-se nos referenciais bibliográficos e em imagens coletadas em campo e outras fontes.

## METODOLOGIA

A área de estudo, localizada no município de Franca, São Paulo, é afetada por processos erosivos perceptivos que ocorrem continuamente, se estendendo por aproximadamente 1,4 km<sup>2</sup>, sendo parcialmente cercada por lavouras de café e pastagens. A análise temporal compreende um panorama de 61 anos dos avanços dos processos erosivos na região, desde 1962 a 2023. Nesse intervalo de tempo, os processos erosivos concentram-se ao sudoeste e a nordeste da área de estudo que, mesmo apresentando regeneração da vegetação ao longo do tempo, a erosão persiste nesses locais. Destas zonas, foram selecionadas cinco áreas específicas para análise das influências dos fatores da Equação EUPS.

As imagens de 1962, 1983 e 1990 foram disponibilizadas pelo ICG, enquanto a de 2004 foi obtida através do ortomosaico do IBGE e as imagens de 2016 e 2018 pertencem ao acervo do Google Earth. A imagem de 2023 resulta de um ortomosaico obtido através de um sobrevoo de ARP. Esse ortomosaico foi gerado no *software Metashape*, realizando os processos de criação da nuvem de pontos, densificação, geração do MDE, ortorretificação, e finalmente a geração do ortomosaico final. Todas as imagens foram alinhadas segundo a imagem de 2023 a fim de que os pixels coincidissem, permitindo a aplicação e análise da equação EUPS, delimitada a um recorte de sua área que não apresenta distorções ou vazios.

A EUPS (Equação 1), ou *Universal Soil Loss Equation (USLE)* permite calcular uma taxa média de erosão à longo prazo por meio da interação de seis importantes fatores, sendo assim, é um importante



método para determinação da perda de solo e um importante instrumento para gestores em planejamentos ambientais (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Seu cálculo resulta na perda média anual de solo por unidade de área (A) em ton/ha/ano, utilizando fatores naturais de erosividade pluvial (R) em Mj.mm/ha.h.ano, erodibilidade do solo (K), comprimento da vertente (L), declividade da vertente (S), além de fatores de intervenção humana de o uso do solo (C) e as práticas aplicadas de conservação e contenção (P) (WISCHMEIER e SMITH, 1978):

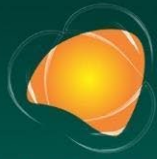
$$A = R.K.(L.S).(CP) \quad \text{Equação 1}$$

Os Fatores C e P foram analisados conjuntamente, visto que a temática do trabalho visa aprofundar-se em fenômenos utilizando técnicas de geoprocessamento (STEIN et al., 1987 apud XAVIER et al., 2018). Para a classificação de imagens no *software* QGIS, foi utilizado o classificador semi-automático *dzetsaka*, especializado na identificação de diferentes tipos de vegetação (KARASIAK, 2016), utilizando o método de classificação *Random Forest*.

Para o cálculo do fator R, referente à erosividade pluvial da região, foram utilizados dados de precipitação total e mensal da estação meteorológica convencional de Franca de código 83630 (INMET, 2024). Esses dados foram aplicados nas Equações de LOMBARDI NETO e MONDENHAUER (1992), que utilizam a somatória das médias mensais do índice de erosividade em MJ.mm (ha.h)<sup>-1</sup>, calculado pela média total mensal de precipitação em mm, e a média anual de precipitação.. Após a aplicação das fórmulas em uma planilha eletrônica, foi criado um arquivo raster com o valor final do Fator R.

Em relação aos dados, considerou-se um intervalo de 5 anos anteriores e posteriores às datas das imagens analisadas, totalizando um intervalo de tempo de 10 anos de erosividade pluvial, desta forma os valores do fator R foram calculados. Para a imagem mais antiga e a mais recente, o intervalo de dados foi diferente: para a imagem de 1962, foi considerado apenas um ano anterior pelo fato de não haver dados anteriores à 1961 da estação meteorológica; enquanto para a imagem de 2023, foi considerado apenas os 5 anos anteriores e até o mês de realização do sobrevoo.

Os Fatores L.S, referentes à topografia do terreno, foram obtidos por meio de DESMET e GOVERS, 1996, que é produto dos dois fatores L e S, baseados nos pixels do MDE e seus subprodutos, que foram calculados no *software* SAGA 9.4.1 com a ferramenta “LS factor (one step)” e utilizando a declividade e o fluxo acumulado (CONARD.O, 2019 apud SAGA, 2024). O MDE foi criado por meio



das curvas de nível e pontos cotados da área (ICG, 1992) utilizando o método de interpolação TIN que foi posteriormente suavizado utilizando o método vizinho mais próximo com a ferramenta “Neighbor” do Semi-Automatic Classification Plugin (CONGEDO, 2021). Os dados de declividade foram gerados na ferramenta GDAL, utilizando o MDE, enquanto o fluxo acumulado e direção de fluxo foram gerados, respectivamente, pelas ferramentas “r.watershed” do pacote GRASS e “fill sink (wang & liu)” da extensão SAGA.

Para o Fator K, referente a pedologia, foi utilizado o Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Governo do Estado de São Paulo (ROSSI et al., 2022) para determinar o fator de erosividade da área de estudo. A área de estudo possui Latossolo Vermelho Distroférrico de textura média que apresenta erodibilidade média a alta em toda a região (ROSSI et al., 2022). Tendo em vista a evolução dos processos erosivos nessa região, foi adotado para o Fator K, criado um raster constante, a média do maior valor de erodibilidade deste solo nessa textura, que é de  $0,0434 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{MJ1.mm}^{-1}$  (ROSSI et al., 2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto às características topográficas da área de estudo, a região oeste da área de estudo apresentou maiores valores do Fator L.S, principalmente entre as Áreas 1 e 3, atingindo valores entre 9,0 a 20,0 destes fatores (imagens não mostradas por motivo de síntese). Entre as Áreas 2 e 4, os Fatores L.S ocorrem em menor intensidade, variando entre 8,0 a 14,0, enquanto na Área 5 estes valores são inferiores a 14,00 e com pouca variação. Esse fator atua como um condicionante do transporte de matéria, afetando diretamente na perda do solo por meio do dinamismo de vertentes e declividade, o que requer uma análise minuciosa (BARBOSA, 2015).

Analisando os fatores CP da área total, percebe-se, conforme as Figuras 1 a 3, que a variação de áreas de florestas e vegetação secundária no intervalo analisado influencia diretamente nos processos erosivos da área, principalmente nos anos de 1990 e 2016, quando houve um aumento de ambos em 531% em relação à 1962, apresentando, conseqüentemente, um menor percentual de erosão. Também pode-se constatar que nos anos em que ocorreu redução desta classe, como nos anos de 2004 e 2018,

as áreas de erosão aumentaram, juntamente com a cobertura vegetal de porte médio e baixo.

**Áreas seleccionadas para estudo e Classificações de Usos de Solo de 1962 a 2023**

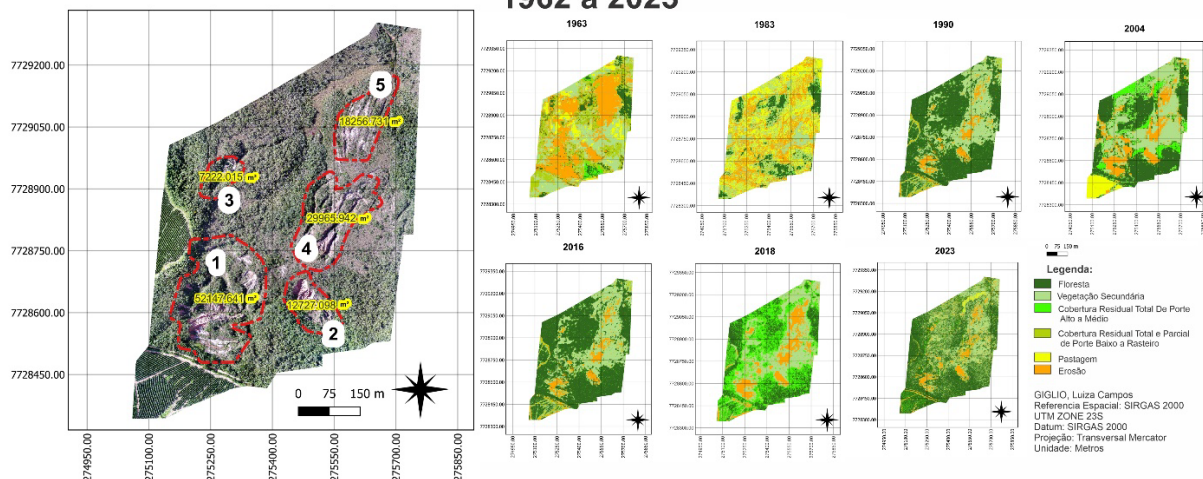
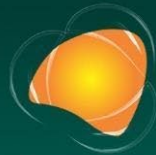


Figura 1: Áreas seleccionadas para estudo e Classificações de Uso de Solo de 1962 a 2023.

Conforme LOMBARDI NETO e MONDENHAUER (1992), a intensidade da erosividade pluvial é influenciada pelo tipo de chuva, pelo solo e pela topografia. Assim, o percentual das áreas de erosão e o fator R, de modo geral, demonstram que nos anos de maior fator R, como em 1962, 1983, 2004 e 2023, houve um aumento dos processos erosivos, ilustrando que a erosividade pluvial contribuiu significativamente no avanço dos processos erosivos. Vale destacar, no entanto, que para o ano de 2023, apesar de um aumento de 976,63% da taxa de erodibilidade em relação ao ano anterior, a erosão calculada se manteve estável, possivelmente devido à evolução da cobertura vegetal da área.



## EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

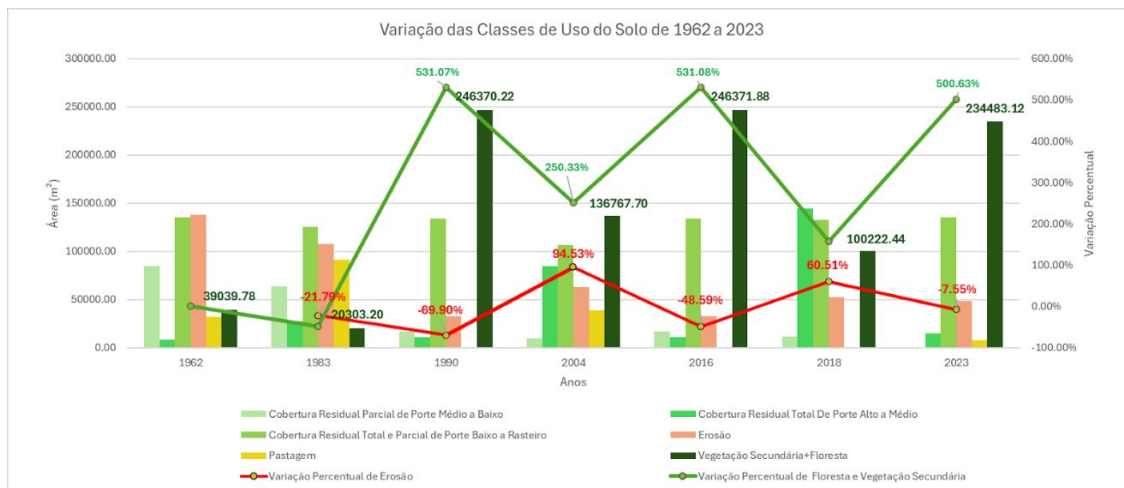


Figura 2: Gráfico da Variação das Classes de Uso do Solo de 1962 a 2023.

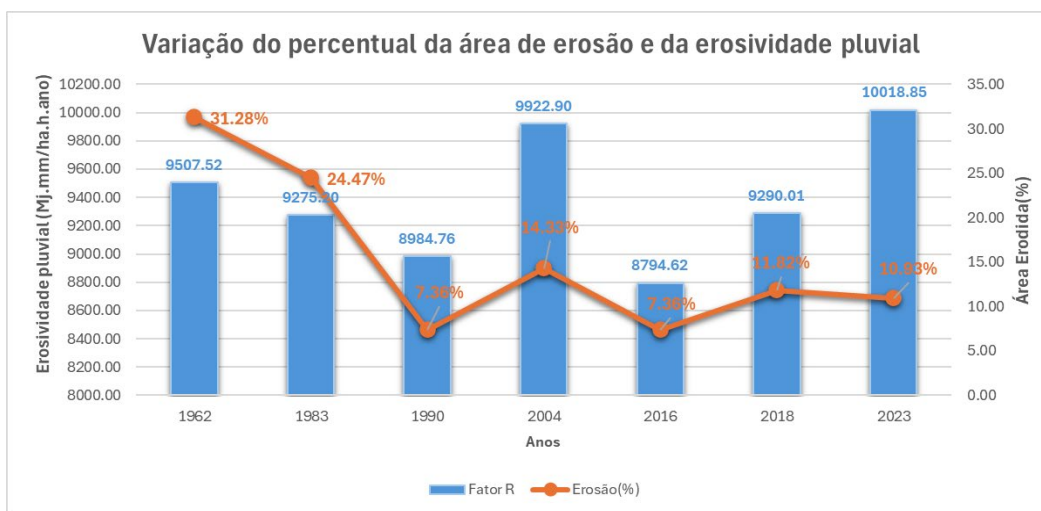


Figura 3: Gráfico da variação do percentual da área de erosão e da erosividade pluvial.

A partir desses resultados da Equação 1, foi aplicado a classificação de CARVALHO (2008) apud BARBOSA et al. (2015), na qual erosões inferiores à 15 ton/ha/ano são classificadas como nulas e moderadas; de 15 a 20 ton/ha/ano como médias, de 50 a 120 ton/ha/ano, médias a forte; de 120 a 200 ton/ha/ano, forte; e superiores a 200 ton/ha/ano são classificadas como muito fortes. Por meio desta análise, percebe-se que os processos erosivos nas áreas selecionadas variam entre as classes muito fortes e médias (Figura 4).

## Perda média anual de solo por unidade de área desde 1963 a 2023

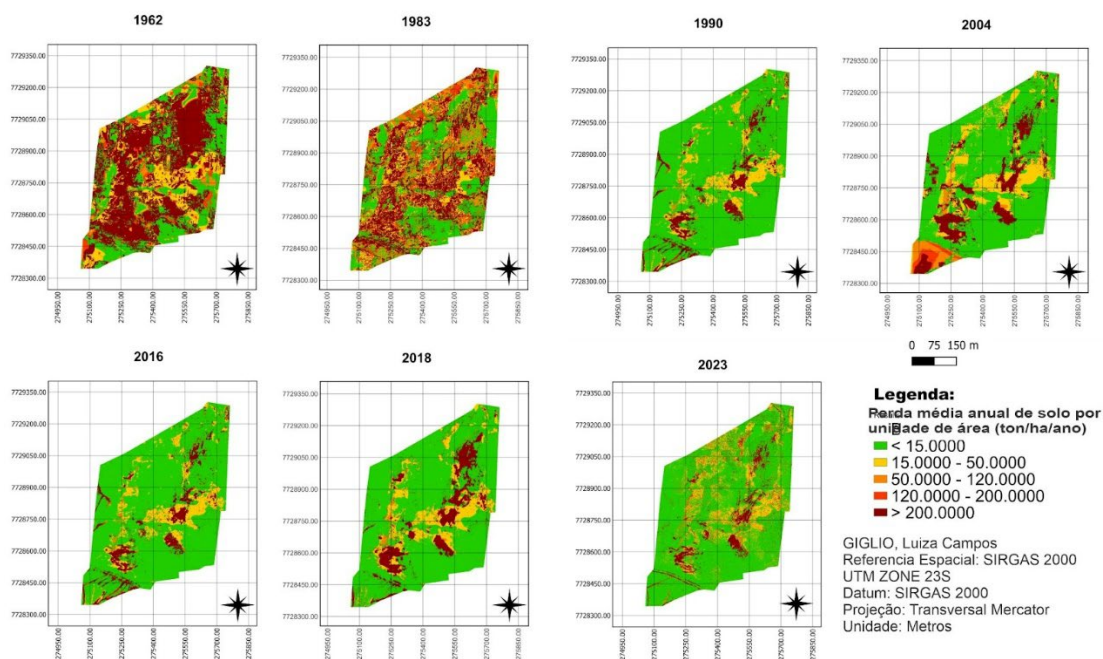


Figura 4: Perda média anual de solo por unidade de área desde 1963 a 2023. Classificação conforme CARVALHO (2008) apud BARBOSA et. al (2015).

Avaliando as áreas selecionadas, o mesmo comportamento ilustrado na Figura 2 foi observado em diferentes intensidades. Em relação às áreas de erosões nulas e moderadas nas áreas selecionadas, conforme a Figura 5, o maior avanço ocorreu em 1990 em todas as áreas analisadas, variando de 210,07% (Área 1) a 646,71% (Área 5), que coincide com a mudança do uso do solo pelo aumento de áreas de florestas e vegetação secundária, aliado à uma queda de 3,13% do valor R comparado ao ano de 1983. Outros aumentos desta classificação ocorreram em 2016 quando o valor do Fator R sofreu redução de 11,37%, sendo menos significativo na Área 3. Em 2023, outro pico de aumento foi observado principalmente nas Áreas 1 (40,71%), 3 (44,32%) e 4 (54,47%). Já as áreas de erosões médias, as Áreas 3 e 5 foram aquelas que apresentaram valores mais expressivos devido à regeneração da vegetação em seu entorno.





## EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

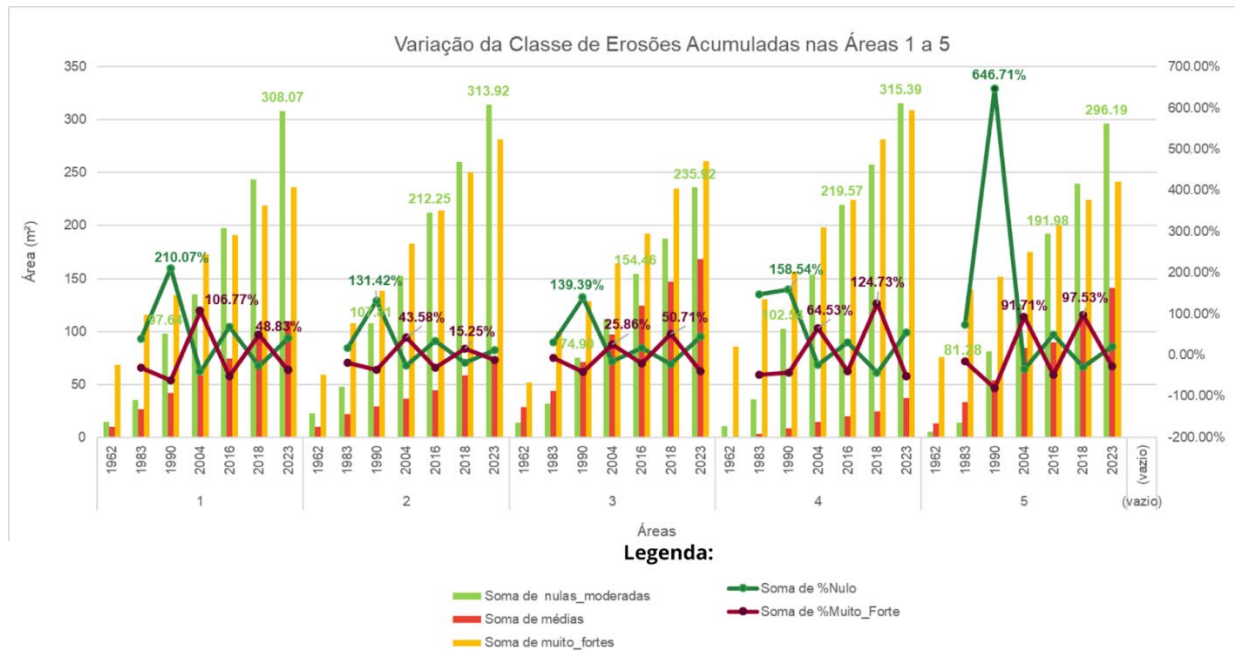
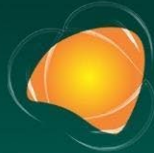


Figura 5: Variação das Classes de Erosão nas Áreas 1 a 5.

Nesse sentido, avaliando isoladamente as Áreas 1 e 4, respectivamente a maior área de erosão e aquela que apresentou maior flutuação de dados, seus processos erosivos tiveram comportamentos diferentes, conforme a Figura 5. Na Área 1, os processos erosivos muito fortes apresentaram uma evolução limitada e as áreas de erosão nula e moderada se expandiram principalmente em 2016, com um aumento observado de 68,19%, o maior entre todas as áreas para este ano. Já a Área 4, mesmo apresentando um crescimento das áreas de erosão nula e moderadas entre os anos de 1983 e 1990, as erosões muito fortes também cresceram constantemente, atingindo os maiores valores acumulados em todos os anos, exceto em 1990. Esses dados se justificam pela forma que ocorreu a regeneração de floresta e vegetação secundária no entorno destes locais, sendo mais expressiva nas proximidades da Área 1 do que na Área 4, onde houve o predomínio de cobertura residual de porte baixo a rasteiro.

Em relação às menores áreas, a Área 3 teve os menores valores acumulados de erosão muito forte nos anos de 1962, 1983, 1990 e 2004, enquanto a Área 2 teve o aumento de 131,42% de áreas nulas em 1990, o menor dentre todas as áreas neste ano, e apresentou o segundo maior valor de erosões muito fortes no ano de 2023. O mesmo efeito observado nas Áreas 1 e 4 ocorreu nestes locais, sendo



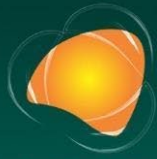
que a Área 3 sofreu mais influência do aumento da regeneração da vegetação, como a Área 1, enquanto a Área 2 teve aumento da cobertura residual de porte baixo e rasteiro, só que menor intensidade do que a Área 4.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados, pode-se concluir que a cobertura de floresta e vegetação secundária contribuem positivamente para minimizar os processos erosivos, sendo que a expansão dessas áreas leva, conseqüentemente, ao decaimento das áreas de erosão, como exemplificado nos anos de 1990 e 2016. Esse processo é destacado na análise das Áreas 1 e 3, onde os processos de regeneração destas classes de vegetação foram mais intensas, mesmo com forte influência dos Fatores L.S sobre elas. Por outro lado, a cobertura residual de porte baixo e rasteiro parece associada com o agravamento dos processos erosivos nas Áreas 2 e 4, sendo que o Fator LS era menos intenso em relação às áreas citadas anteriormente. Logo, a cobertura de floresta e de vegetação secundária tem um papel crucial para reduzir os impactos erosivos, tendo mais influência do que a topografia.

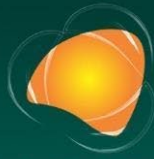
Quanto ao Fator R, a erosividade pluvial parece contribuir de forma mais homogênea para a perda média anual de solo, mas pode atuar de forma mais intensa se houver um predomínio de cobertura residual de porte baixo e rasteiro. No entanto, seu efeito parece reduzir caso haja mais floresta e vegetação secundária, como ocorre no ano de 2023, que também apresentou o terceiro maior pico de vegetação de floresta e secundária, favorecendo a redução de processos erosivos em todas as Áreas, exceto na Área 3 pela forte influência do Fator LS.

Assim, as equações e ferramentas utilizadas para obtenção dos fatores da EUPS, além de contribuírem no cálculo da perda de solo, também descrevem as características físicas da área, além de detalhar as mudanças de variáveis climatológicas e de cobertura de solo. Esses dados podem auxiliar em outras análises na região, permitindo identificar quais áreas são mais afetadas e suscetíveis a perda de solo por estes fatores.



## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Amanda Fernandes; OLIVEIRA, Everton Falcão de; MIOTO, Camila Leonardo; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. **Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 38, ed. 1, jan 2015.
- CONGEDO, Lucas. **Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS.** 2021. Journal of Open Source Software, 6(64), 3172. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- DESMET, P.J.J; GOVERS, Gerard. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units.** Journal of Soil and Water Conservation, 1996. Disponível em: [233425999\\_A\\_GIS\\_procedure\\_for\\_automatically\\_calculating\\_the\\_USLE\\_LS\\_factor\\_on\\_topographically\\_complex\\_landscape\\_units](https://www.researchgate.net/publication/233425999_A_GIS_procedure_for_automatically_calculating_the_USLE_LS_factor_on_topographically_complex_landscape_units). Acesso em: 16/06/2024.
- FERRAZ, Carlos Augusto de Melo; VIEIRA, Rherman Raicchi Teixeira; BERBERIAN, Cynthia de Freitas de Q.; FILHO, Nivaldo Dias; NÓBREGA, Rodrigo Affonso de Albuquerque. **O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo.** Revista do TCU, n. 2015, ed. 133, 1 maio 2015. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCUCU/article/view/1304>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- IBAMA. **Em Dia com a Natureza: Manual para Projetos de Recuperação da Vegetação Nativa.** Brasília, 2021. ISBN 987-65-5799-018-6. Disponível em: [https://ecokidsecoteens.mpba.mp.br/wp-content/uploads/2021/08/manual-ibama-v2\\_6\\_3.pdf](https://ecokidsecoteens.mpba.mp.br/wp-content/uploads/2021/08/manual-ibama-v2_6_3.pdf). Acesso em: 16 mar. 2023.
- INMET. **Portal INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20/06/2024
- KARASIAK, Nicolas. **Dzetsaka QGIS Classification plugin.** 2016. DOI: 10.5281. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. Acesso em: 15/06/2024
- LOMBARDI NETO, Francisco; MOLDENHAUER, William Calvin. **EROSIVIDADE DA CHUVA: SUA DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO EM CAMPINAS (SP).** VIII. CONSERVAÇÃO DO SOLO, Bragantia, Campinas, 1992.
- PLANO CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: Serra de São Roque. São Paulo: IGC, 1992. Escala 1:10.000



**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

RENARD, K.G; FOSTER, G.R; WEESIE, G.A; MCCOOL, D.K; YODER, D.C. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning.** Washington: USDA, 1997. Agricultural Handbook, 537. ISBN: 0-16-048938-5

ROSSI, Marcio; NALON, Marco Aurélio; KANASHIRO, Marina Mitsue. **Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Estado de São Paulo.** São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, 2022.

SAGA 9.4.1. **Tool Library Documentation, LS Factor (One Step).** Disponível em: [https://saga-gis.sourceforge.io/saga\\_tool\\_doc/9.4.1/tc\\_ta\\_hydrology\\_ls\\_factor.html](https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/9.4.1/tc_ta_hydrology_ls_factor.html). Acesso em: 04/07/2024

SILVA, Antônio Nélsio Rodrigues da; RAMOS, Rui António Rodrigues; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; RODRIGUES, Daniel Souto; MENDES, José Fernando Gomes. **SIG: Uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes.** 2008. ISBN 978-85-7600-128-7.

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

XAVIER, Joaquim Pedro de Santana; BARROS, Alexandre Hugo Cezar; WEBBER, Daniel Chaves; ACCIOLY, Luciano José de Oliveira; MARQUES, Flávio Adriano; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; SILVA, Ademar Barros da. **Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano.** Revista Brasileira de Geografia Física, 2018.