



## ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIBEIRÃO SANTO INÁCIO (PR) DURANTE O EL NIÑO DE 2015/2016

Gustavo Henrique Andrade da Cruz<sup>1</sup>  
Larissa Cristina Menegassi<sup>2</sup>  
Hélio Silveira<sup>3</sup>

### RESUMO

Entre setembro de 2015 e fevereiro de 2016, o norte do estado do Paraná registrou precipitações intensas associadas ao fenômeno El Niño, o que contribuiu para a intensificação dos processos erosivos na região. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo estimar a taxa de perda de solo por erosão hídrica laminar, em escalas mensal e semestral, durante o período de maior intensidade do evento, na bacia do Ribeirão Santo Inácio. A estimativa foi realizada por meio da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), utilizando dados pluviométricos de dez estações para o cálculo do fator R, valores regionais para o fator K, e processamento de modelo digital de elevação para definição do fator LS. Para o fator CP, foram adotados valores compatíveis com os usos predominantes do solo. Os resultados indicaram que setembro de 2015 apresentou as menores taxas de perda de solo, raramente ultrapassando 12 toneladas por hectare ao mês, em função da baixa erosividade das chuvas. Em contraste, os meses de novembro de 2015, janeiro e fevereiro de 2016 registraram as maiores taxas, com valores superiores a 50 toneladas por hectare ao mês em áreas pontuais. No acumulado do semestre, observou-se a concentração dos maiores índices nas cabeceiras de drenagem e nos entalhes da rede hidrográfica, especialmente em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar e com solos suscetíveis à erosão. Os resultados apontam a forte influência da variabilidade climática associada ao uso e ocupação do solo sobre a dinâmica dos processos erosivos.

### INTRODUÇÃO

A perda de solo por erosão hídrica é um dos principais problemas ambientais em regiões agrícolas, afetando diretamente a produtividade do solo, a qualidade da água e a sustentabilidade dos ecossistemas. Esse processo é intensificado por fatores naturais e antrópicos, sendo fortemente influenciado pela variabilidade climática. Eventos extremos, como o fenômeno El Niño, reflexo do aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico (Molion, 2017), podem alterar significativamente os padrões de precipitação e aumentam o risco de degradação dos solos.

O El Niño de 2015–2016 foi caracterizado por uma das mais intensas manifestações do fenômeno nas últimas décadas, com impactos severos sobre o regime hídrico em diversas

---

<sup>1</sup> Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE) da Universidade de Maringá (UEM) - PR, [gustavohnq@gmail.com](mailto:gustavohnq@gmail.com);

<sup>2</sup> Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE) da Universidade de Maringá (UEM) - PR, [lmenegassi@gmail.com](mailto:lmenegassi@gmail.com);

<sup>3</sup> Docente do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE) da Universidade de Maringá (UEM) - PR, [hesilveira70@hotmail.com](mailto:hesilveira70@hotmail.com).



regiões do globo. Segundo Montanher et al. (2023a) no norte do Paraná houve um aumento considerável na intensidade e na frequência das chuvas entre setembro de 2015 e fevereiro de 2016, o que contribuiu para a ruptura da estabilidade dos geossistêmica regional.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo estimar a taxa de perda de solo por erosão hídrica laminar, em escalas mensal e semestral, durante o período de maior intensidade do EN 15-16, na bacia do Ribeirão Santo Inácio, no norte do estado do Paraná.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A erosão hídrica do solo é um dos principais processos de degradação ambiental (Dechen et al., 2015). Trata-se de um fenômeno complexo e multifatorial, influenciado por variáveis como o regime pluviométrico, as características físicas e químicas do solo – que refletem seu grau de erodibilidade, o relevo e o uso e a ocupação da terra (Wischmeier; Smith, 1978). A adoção e intensificação de práticas agropecuárias inadequadas em áreas suscetíveis, tende a agravar os processos erosivos, especialmente sob condições climáticas extremas, como o aumento da intensidade e frequência das chuvas (Dambros et al., 2024).

A erosividade das chuvas (fator R) é particularmente sensível à variabilidade climática, sendo diretamente influenciado por eventos como o El Niño. Esse fenômeno oceânico-atmosférico, caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas do Pacífico Equatorial, altera os padrões globais de circulação atmosférica, promovendo anomalias pluviométricas significativas em diversas regiões do planeta (Molion, 2017). Nessas circunstâncias, áreas já vulneráveis ao escoamento superficial tendem a apresentar um agravamento do quadro de degradação dos solos.

No norte do Paraná, entre 2015/2016 o El Niño foi responsável por desencadear a instabilidade do geossistema regional sobretudo em áreas com solos derivados de arenitos, que se demonstram menos resilientes (Montanher et al., 2023a, 2023b). Outro aspecto crucial diz respeito ao uso e à ocupação do solo. A expansão de monoculturas, como a cana-de-açúcar no norte do Paraná (Serra, 2010), associada à supressão da vegetação nativa, expõe o solo à ação direta das precipitações, elevando significativamente os valores dos fatores C (cobertura e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas) na equação de perda de solo.

Diversos estudos indicam que a ausência de cobertura vegetal e a limitada adoção de práticas de conservação são fatores determinantes para o agravamento dos processos



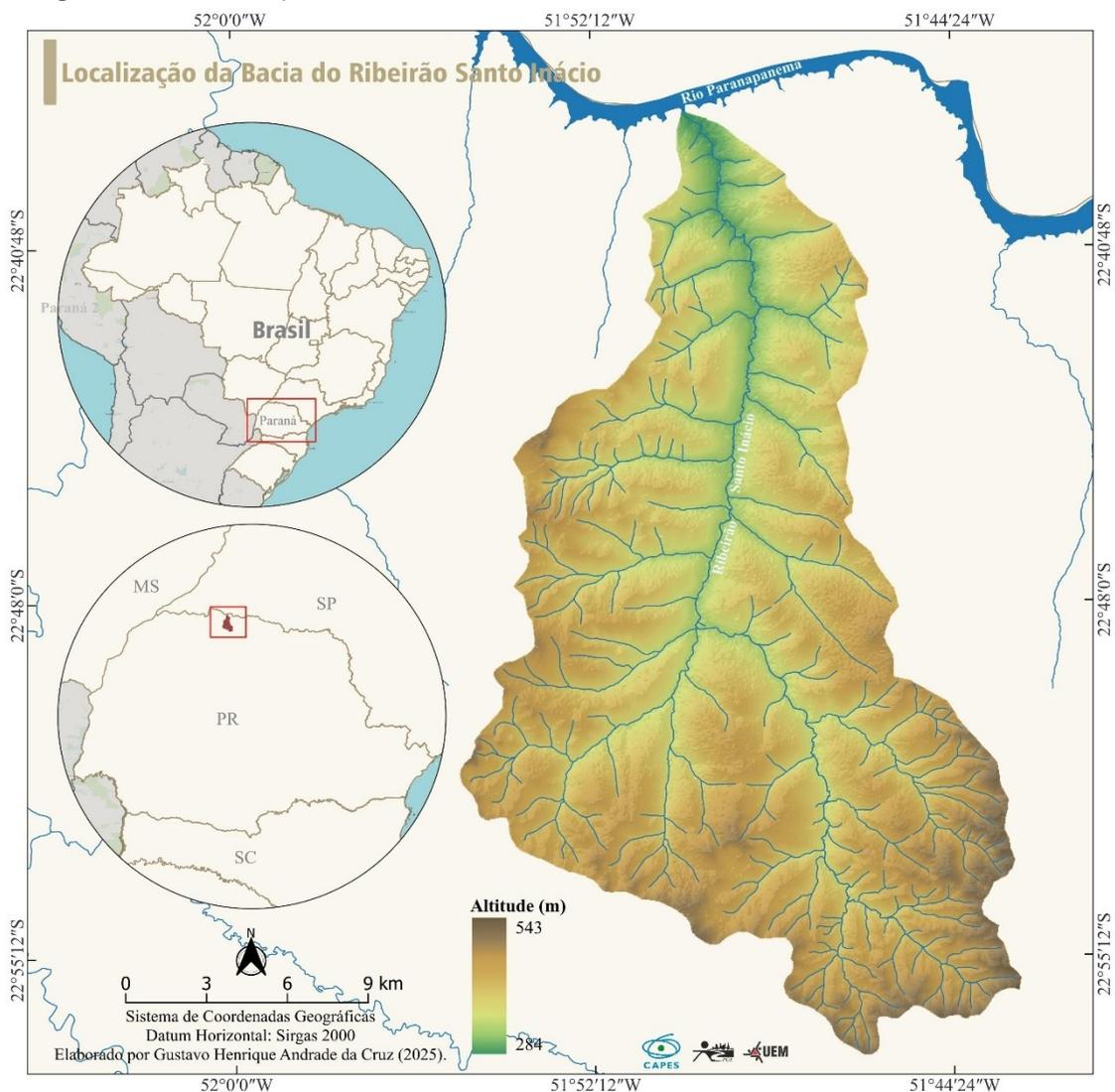
## 15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

erosivos, especialmente em áreas com relevo acidentado (Tomazoni; Guimarães, 2005). Nesse contexto, o fator LS (declividade e comprimento da encosta) adquire relevância estratégica, uma vez que contribui de forma exponencial para o aumento do potencial de transporte de sedimentos em vertentes íngremes ou extensas.

### METODOLOGIA

Com uma área de aproximadamente 388 km<sup>2</sup>, a bacia do Ribeirão Santo Inácio (BRSI) está localizada no norte do estado do Paraná. Trata-se de um importante afluente da margem esquerda do setor inferior da Unidade Hidrográfica do Rio Paranapanema IV (Figura 1).

Figura 1 – Localização da bacia do Ribeirão Santo Inácio, estado do Paraná, Brasil



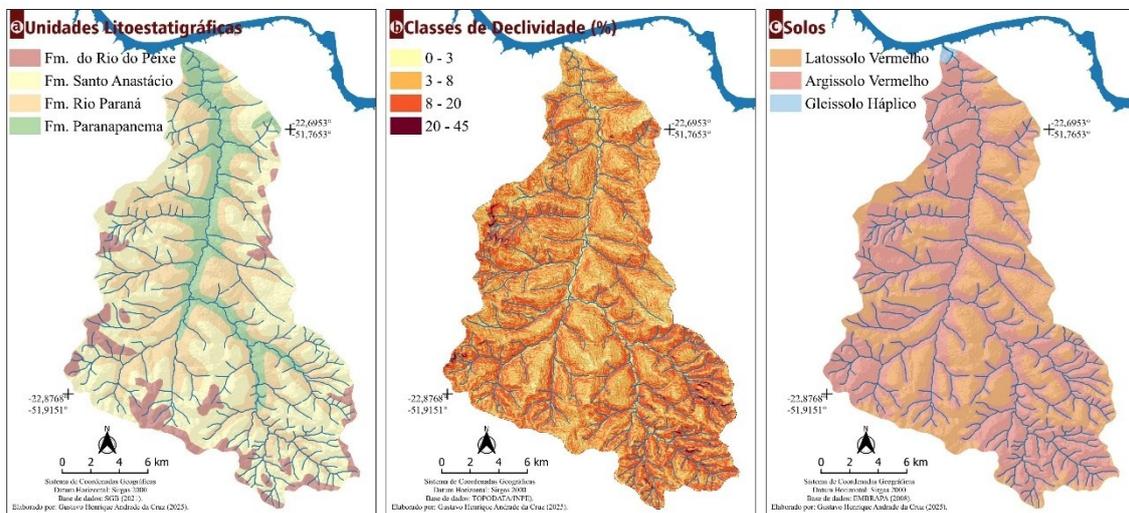
Org.: CRUZ, G. H. A. (2025).

De acordo com o mapeamento geológico do estado do Paraná, realizado por Besser, Brumatti e Spisila (2021) para o Serviço Geológico do Brasil (SGB), a BRSI é constituída por arenitos pertencentes a três unidades litoestratigráficas suprabasálticas do Cretáceo Superior (Formações Vale do Rio do Peixe, Santo Anastácio e Rio Paraná). Basaltos da Formação Paranapanema ocorrem ao longo dos talvegues dos rios (Figura 2a).

As menores declividades, inferiores a 8%, estão geralmente associadas aos topos dos interflúvios, aumentando a partir das vertentes médias, em alinhadas ao entalhe da rede de drenagem, onde podem atingir até 20%. Declividades superiores a 20% ocorrem, predominantemente, nas áreas de cabeceira de drenagem (Figura 2b).

Como resultado da interação entre os fatores geológicos (material de origem) e geomorfológicos (especialmente a declividade), identificam-se três classes de solos na bacia hidrográfica. Os Latossolos Vermelhos predominam nos topos dos interflúvios, apresentando transição lateral, a partir das vertentes médias, para Argissolos Vermelhos com textura média a arenosa. Com menor representatividade, os Gleissolos Háplicos ocorrem na região do exultório do córrego (Figura 2c).

Figura 2 – Unidades Litoestratigráficas (a), Declividade (b) e Solos (c) da BRSI



Org.: CRUZ, G. H. A. (2025).

A predição da perda de solo ao longo do período de maior intensidade do fenômeno El Niño (set/2015–fev/2016), em escalas mensal e semestral, foi realizada com base na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), originalmente desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), aplicando a equação:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Em que A trata-se da perda de solo, em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .



O fator R, que representa a erosividade das chuvas ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), foi determinado a partir do tratamento estatístico e da interpolação espacial dos dados pluviométricos mensais de dez estações da região de estudo, disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná, por meio do Sistema de Informações Hidrológicas (SIH). A interpolação foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, visando à espacialização do fator em toda a área da bacia analisada.

O fator K, que expressa a erodibilidade dos solos ( $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), foi definido com base nos valores previamente calculados por Bonifácio (2019) para solos da região. Destaca-se que, para a espacialização dos valores de peso relacionados ao grau de erodibilidade dos solos, seguiu-se rigorosamente a carta de solos do estado do Paraná. No entanto, também podem ocorrer Nitossolos Vermelhos de textura muito argilosa em áreas associadas à ocorrência de basaltos da Formação Paranapanema, conforme representado na carta geológica (Figura 2a). Ademais, devido à escassez de estudos específicos sobre os solos derivados da Formação Vale do Rio do Peixe na região, para todos os solos oriundos de formações areníticas foram atribuídos os mesmos valores, embora possam apresentar graus distintos de erodibilidade em razão de suas composições física, química e mineralógica.

O fator LS, que corresponde à influência da declividade e do comprimento da rampa (adimensional), foi derivado a partir do processamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de aproximadamente 30 metros, disponibilizada pelo TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O cálculo do LS foi realizado em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), considerando os métodos propostos por Moore e Burch (1986).

Para o fator C e o fator P, que representam, respectivamente, a cobertura do solo e as práticas conservacionistas (ambos adimensionais), foram adotados predominantemente os valores sugeridos por Tomazoni e Guimarães (2005). Para tanto, utilizando imagens do satélite Landsat 8, foi realizado o mapeamento supervisionado das formas de uso da terra para todos os meses de interesse, compreendidos entre setembro de 2015 e fevereiro de 2016.

A integração dos fatores da EUPS e a estimativa da perda de solo mensal foram realizadas em ambiente SIG, permitindo a espacialização dos resultados e a análise temporal (mensal e semestral) da dinâmica erosiva durante o período de maior intensidade do El Niño.

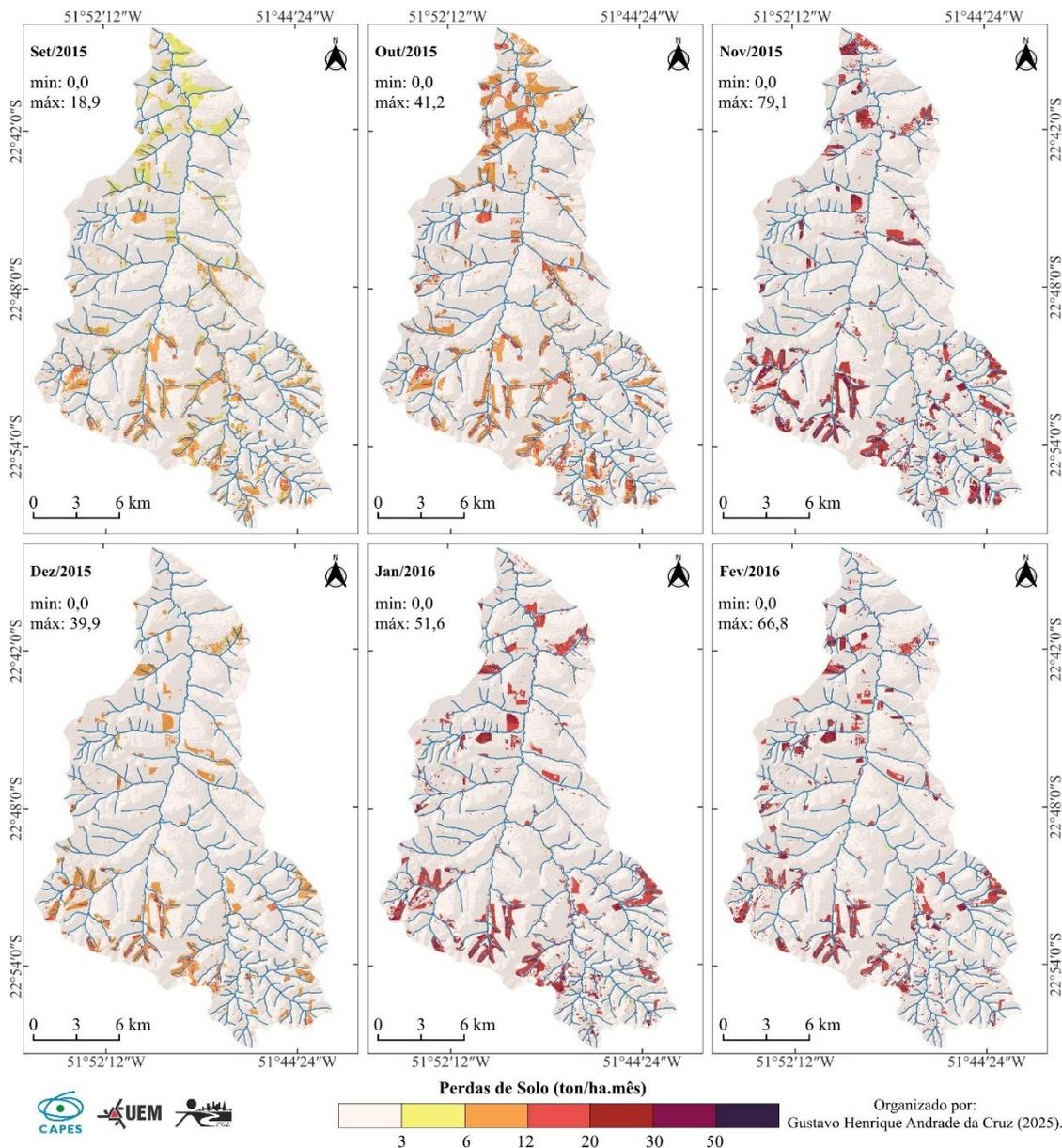


15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados demonstram que, no intervalo analisado, o mês de setembro de 2015 apresentou a menor taxa de perda de solo, raramente ultrapassando  $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . Esse comportamento está diretamente associado ao menor índice de erosividade das chuvas registrada no período, cujo valor máximo foi de  $990 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 3).

Figura 3 – Estimativa de perda de solo mensal entre set/2015 e fev/2016



Org.: CRUZ, G. H. A. (2025).

Em contrapartida, os meses de novembro de 2015, janeiro e fevereiro de 2016 concentraram os maiores índices de perda de solo. Nesses meses, as perdas estimadas



frequentemente ultrapassaram  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  nas áreas mais suscetíveis, com picos superiores a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  em setores pontuais, embora com menor frequência espacial (Figura 3).

Os meses com maiores taxas de perda de solo estão associados às mais elevadas taxas de erosividade das chuvas, com valores máximos superiores a  $2.350 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Além disso, nesse período observou-se um aumento das áreas com solo exposto, possivelmente em decorrência do ciclo de colheita e replantio das lavouras de cana-de-açúcar, comuns na região. Essa característica também está associada às condições topográficas e pedológicas. As maiores perdas de solo ocorrem, em geral, entre as porções médias e inferiores das vertentes, onde há aumento da declividade e predominância de Argissolos com textura média a arenosa, especialmente no alto compartimento da bacia hidrográfica (Figura 3).

Assim, é possível pressupor que, embora a dinâmica da precipitação e o uso da terra tenham contribuído para o aumento da perda de solo no período analisado, esse processo ocorreu em associação a outras variáveis ambientais com baixa variabilidade temporal, como a erodibilidade dos solos e o fator LS. Tais resultados evidenciam a importância de estudos dessa natureza para a identificação de áreas prioritárias no planejamento ambiental estratégico.

No que se refere ao total acumulado para o semestre analisado (entre setembro/2015 e fevereiro/2016), observou-se que as maiores taxas de perda de solo se concentraram, predominantemente, nas cabeceiras de drenagem de cursos d'água de primeira ordem hierárquica, com valores superiores a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ semestre}^{-1}$ . Outro padrão espacial relevante ocorreu no entalhe da rede de drenagem, onde os índices estimados situaram-se majoritariamente entre  $3$  e  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ semestre}^{-1}$  (Figura 4).

Nessas áreas, especialmente em setores com morfologia em anfiteatro, o fator LS (declividade e comprimento de rampa) apresentou forte correlação com os valores mais elevados de perda de solo, configurando-se como o principal elemento explicativo da variabilidade espacial. Contudo, sua atuação ocorre de forma integrada com os altos valores do fator C, associados ao cultivo predominante de cana-de-açúcar, e com o fator K, influenciado pela presença de Argissolos, sobretudo a partir do segmento médio das vertentes. A maior perda de solo em áreas de canaviais está em concordâncias com os resultados encontrados por Prado e Nóbrega (2015), que também destacam características semelhantes para áreas com plantio de mandioca.



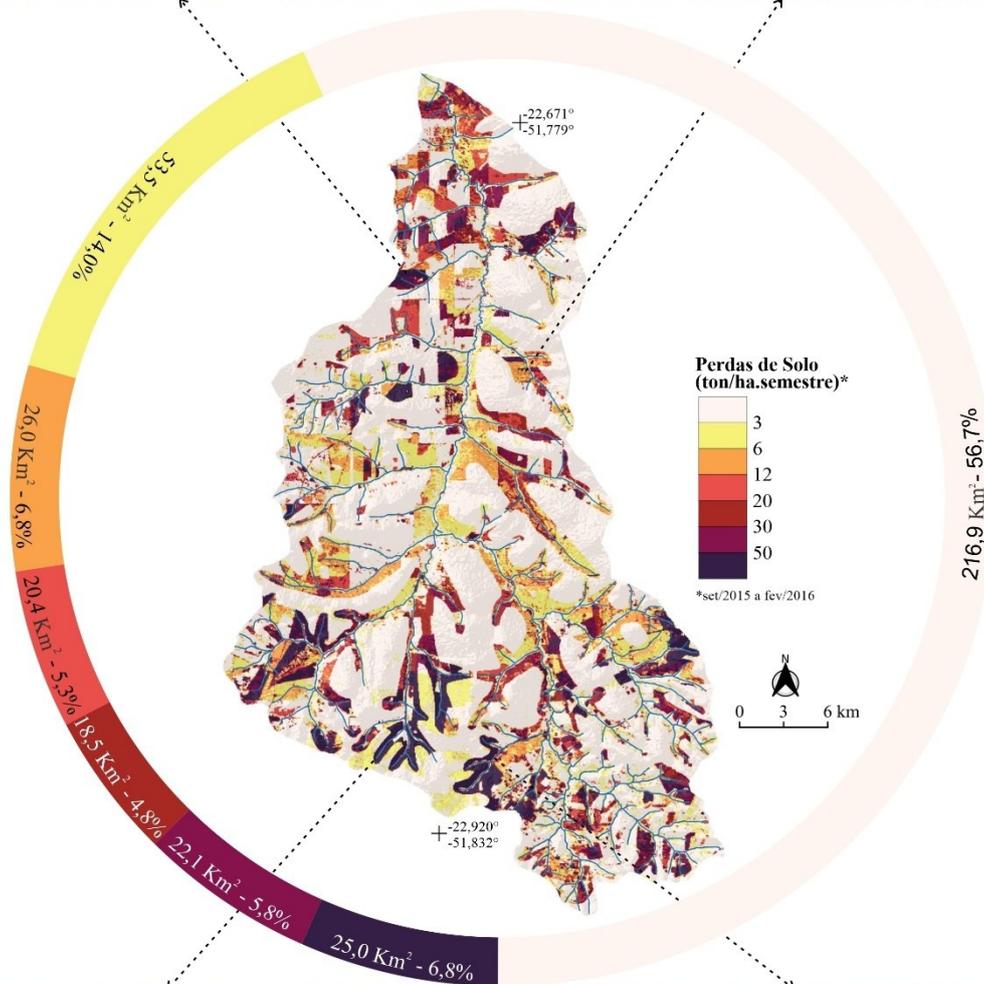
15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

Figura 4 - Estimativa de perda de solo total entre set/2015 e fev/2016 e feições erosivas associadas

Erosão linear desconectada da rede de drenagem. Esse processo pode estar associado às características do sistema pedológico da vertente. Na região, basaltos podem aflorar a partir da média vertente, originando solos enriquecidos em argila e mais resistentes à erosão hídrica.



Feições erosivas laminares identificadas em área de lavoura de cana-de-açúcar, resultantes da remoção progressiva da camada superficial do solo pela ação da água da chuva.



Feição erosiva linear, de morfologia indefinida (não sendo possível precisar se corresponde a uma ravina ou a uma voçoroca), localizadas em cabeceiras de drenagem de um cursos d'água de primeira ordem.



Bancos de areia localizados a jusante na rede de drenagem, resultantes de processos de transporte e deposição de sedimentos associados à erosão hídrica. Observam-se feições erosivas superficiais, tanto laminares quanto em sulcos, indicativas de perda de solo e instabilidade da cobertura superficial.

Org.: CRUZ, G. H. A. (2025).

Embora a EUPS estime apenas a perda de solo por erosão laminar, os elevados índices verificados nessas áreas coincidem espacialmente com a ocorrência de feições erosivas



lineares (como ravinhas e sulcos), sugerindo que os processos morfodinâmicos foram potencializados durante os meses de maior pluviosidade (Figura 2). Além disso, identificou-se a concentração de perdas superiores a  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ semestre}^{-1}$  no compartimento inferior da unidade hidrográfica, fortemente influenciada pelo uso antrópico intensivo da terra, notadamente em áreas com solo exposto ou manejo inadequado.

De maneira geral, os resultados reforçam a significativa influência da variabilidade climática sobre a dinâmica erosiva, sobretudo em eventos extremos como o El Niño, cuja intensificação das chuvas interage com a distribuição espaço-temporal dos usos da terra. Esse padrão reflete diretamente o calendário agrícola da região, que, ao alternar entre cobertura vegetal e preparo do solo, expõe determinadas áreas a maior suscetibilidade à erosão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam a forte influência da variabilidade climática, especialmente associada ao fenômeno El Niño 2015–2016, sobre a dinâmica de perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica estudada. A análise mensal e semestral revelou padrões espaciais e temporais consistentes, destacando a interação entre fatores climáticos, antrópicos e físicos.

As maiores perdas de solo concentraram-se nos meses de maior pluviosidade e intensidade erosiva, notadamente em novembro de 2015, janeiro e fevereiro de 2016, coincidindo com áreas de solo exposto em decorrência das práticas agrícolas, especialmente da colheita e replantio de cana-de-açúcar. A distribuição espacial das perdas indica maior suscetibilidade nas porções médias e inferiores das vertentes, bem como nas cabeceiras de drenagem e áreas com morfologia em anfiteatro, onde o fator LS se mostrou determinante, sobretudo em associação a Argissolos com textura média.

A correlação entre os elevados valores estimados pela EUPS e a presença de feições erosivas lineares sugere que a erosão laminar pode estar interligada a processos mais intensos de degradação superficial. Nesse contexto, torna-se evidente a importância de integrar variáveis ambientais de baixa variabilidade temporal, como a erodibilidade dos solos e o fator topográfico, ao planejamento ambiental estratégico.

**Palavras-chave:** Erosão; Perda de Solo; Uso da Terra; Sistema de Informação Geográfica (SIG).



## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro (Código de Financiamento 001).

## REFERÊNCIAS

BESSER, M. L.; BRUMATTI, M.; SPISILA, A. L. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Curitiba: SGB-CPRM, 2021.

BONIFÁCIO, C. M. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na unidade hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III e VI, Paraná** (Tese de doutorado, Universidade Estadual de Maringá). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2019.

DAMBROS, L. et al. **Soil loss and runoff in southern Brazil in conservation systems: a long-term experiment**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 46, p. e63164, 2024.

DECHEN, S. C. F. et al. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015.

MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, 2017.

MONTANHER, O. C. et al. **Chuvas extremas durante o El Niño de 2015/2016 e seus efeitos geossistêmicos no Norte do Paraná**. *Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia*, Maringá, v. 15, n. 1 (Edição Especial GEMA 35 anos), p. 4–29, 2023a.

MONTANHER, O. C. et al. **Geosystemic impacts of the extreme rainfall linked to the El Niño 2015/2016 event in Northern Paraná, Brazil**. *Applied Sciences*, v. 13, n. 17, 2023b.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. **Modeling erosion and deposition: Topographic effects**. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 29:1624- 1640, 1986.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2005.

SERRA, E. **Noroeste do Paraná: o avanço das lavouras de cana e a nova dinâmica do uso do solo nas zonas de contato arenito-basalto**. *Revista Campo-Território*, v. 5, n. 9, p. 89-111, 2010.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 57, n. 3, 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. *Agriculture Handbook*, Washington, n. 537, p. 58, 1978.