





# O impacto do carreamento de solo na drenagem pluvial de vias pavimentadas

The impact of soil loading on the rainwater drainage of paved streets

Ildemar Luis Moro Vianna Junior<sup>1</sup> , André Nagalli<sup>1</sup> , Flávio Bentes Freire<sup>1</sup> , Alessandro Bertolino<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica do Paraná – UTFPR, Curitiba, PR, Brasil. E-mails: ildemar@alunos.utfpr.edu.br, nagalli@utfpr.edu.br, flaviofreire@utfpr.edu.br

<sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: alessandro.bertolino@pucpr.br

**Como citar:** Vianna Junior, I. L. M., Nagalli, A., Freire, F. B., & Bertolino, A. (2024). O impacto do carreamento de solo na drenagem pluvial de vias pavimentadas. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e6. <https://doi.org/10.21168/reg.v21e6>

**Resumo:** No Brasil, mais de 70% das estradas não são pavimentadas, o que favorece o impacto negativo de intempéries. Neste contexto, os sedimentos provenientes do desgaste destas vias acabam por atingir as galerias de drenagem pluvial das vias pavimentadas, o que pode ocasionar obstrução total ou parcial e consequente perda de capacidade hidráulica. O objetivo deste trabalho foi analisar o impacto do carreamento de solo de vias não pavimentadas sobre o sistema de drenagem pluvial de vias pavimentadas. O método de investigação incluiu análise experimental de campo e monitoramento pelo período de seis meses. Foi construído e instalado coletor de sedimentos no interior do bueiro, tendo sido observado o processo de deposição de sedimentos. Os materiais depositados no sistema de drenagem foram caracterizados quanto à sua granulometria. Este estudo demonstrou que o tipo de revestimento utilizado nas vias não pavimentadas analisadas é inadequado, em razão da alta taxa de erodibilidade e sedimentação, com tendência à aceleração do assoreamento de galerias. Além disso, a taxa de carreamento de solo para a galeria pluvial a partir da via não pavimentada analisada foi medida em  $3,99 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  de solo, sendo de 4 a 20 vezes maior que em locais em que há apenas vias pavimentadas. Estimou-se que essa quantidade de solo carregado pode impactar 19 metros de galerias pluviais por ano.

**Palavras-chave:** Erosão; Solo; Assoreamento; Drenagem Pluvial; Vias Não Pavimentadas.

**Abstract:** In Brazil, more than 70% of the roads are not paved, which favors the impact of storms. In this context, the storm drainage galleries of paved roads end up receiving sediments from these unpaved areas, which can cause total or partial obstruction and consequent loss of hydraulic capacity. The objective of this work was to analyze the impact of soil carry-over from unpaved roads on the stormwater drainage system of paved roads. The investigation method included experimental field analysis and monitoring for a period of six months. A sediment collector was built and installed inside the storm drain, and the sediment deposition process was observed. The materials deposited in the drainage system were characterized according to their granulometry. This study demonstrated that the type of coating used on the analyzed unpaved roads is inadequate, due to the high rate of erodibility and sedimentation, with a tendency to accelerate the silting up of galleries. In addition, the rate of soil carry-over to the storm sewer from the analyzed unpaved road was measured at  $3.99 \text{ kg.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$  of soil, which is 4 to 20 times greater than in places where there are only paved roads. It was estimated that this amount of carried soil can impact 19 meters of storm sewers per year.

**Keywords:** Erosion; Soil; Loading; Storm Drainage; Unpaved Roads.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, mais de 70% das vias não são pavimentadas (Confederação Nacional de Transporte, 2023), essas trazem impactos como o aumento de material particulado na atmosfera e a erosão do solo. Embora existam estudos internacionais que correlacionem o impacto da erosão e carreamento de solo em áreas rurais e florestais como os estudos de Xu et al. (2022) e Wang et al. (2022), não se observa na mesma frequência pesquisas que associem os danos da erosão de vias não pavimentadas nas galerias de águas pluviais das vias pavimentadas. Nem mesmo revisões sistemáticas, como a de Ngezahayo et al. (2019), com levantamento de mais 500 artigos, pode-se encontrar este tema.

Recebido: Outubro 27, 2023. Revisado: Abril 10, 2024. Aceito: Abril 12, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

No meio urbano, os sistemas de drenagem pluvial são construídos para escoar águas superficiais, contudo, quando mal projetados ou sobrecarregados, provocam alagamentos. Dessa forma, a drenagem pluvial de vias pavimentadas acaba sendo impactada com o carreamento de solo derivado das vias não pavimentadas.

As galerias têm como objetivo drenar a água de forma mais rápida até o desagüe. Assim sendo, o dimensionamento dos tubos deve estar correlacionado à área disposta para drenagem, ao coeficiente de impermeabilização do solo, ao volume de precipitação e à declividade da área (Braga et al., 2021). Outro aspecto a ser considerado, diz respeito à velocidade mínima de escoamento da água que as manilhas precisam ter para realizar o carreamento e desagregação dos sedimentos assoreados nos tubos. Usualmente a velocidade mínima é de 0,6 a 0,8 m.s<sup>-1</sup>. Para determinação da velocidade mínima, considera-se a rugosidade do canal, declividade e vazão. Não se leva em consideração o fluxo nem o tamanho do grão de sedimento carregado.

De acordo com Romero & Ota (2021), existem diversas formas e equações para dimensionamento dos limites de deposição de sedimentos nas galerias. Os autores desenvolveram a determinação do limite de deposição de sedimentos em galerias de drenagem utilizando redes neurais artificiais.

Segundo Qian et al. (2022), fatores não considerados no projeto de drenagem como diâmetro de sedimento, estrutura rodoviária e tipo de solo são fundamentais para a agregação dos sólidos nas galerias. O estudo apontou que a velocidade de autolimpeza, conhecida também como velocidade mínima de escoamento, deveria ser de no mínimo 0,88 m.s<sup>-1</sup> a 1,44 m.s<sup>-1</sup>.

O carreamento de sedimentos para a galeria é um dos principais fatores que causa o assoreamento das galerias e redução da seção transversal dos tubos. Tal ocorrência é umas das principais razões para o alagamento de regiões. Além dos impactos ambientais e sociais dos alagamentos, a manutenção e a troca da tubulação também é um fator preponderante, pois é onerosa e complexa de se realizar. Estudos de Wei et al. (2022), Rietveld et al. (2021) e Karlsson & Viklander (2008) levantaram o volume de sedimentos conforme o uso do solo. A massa de sedimentos na drenagem pluvial pode chegar a 0,8 kg.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> em regiões urbanizadas e completamente asfaltadas.

De acordo com Appelboom et al. (2002), as vias não pavimentadas são grandes geradoras de sedimentos para os corpos hídricos. Corroborando Juško et al. (2022), apontando em seus estudos que o assoreamento de um determinado lago na Eslováquia foi proporcional ao uso da estrada. Ou seja, quanto mais utilizada a estrada, há mais assoreamento do lago.

Na bibliografia são encontrados dois tipos principais de estudos sobre erosão de estradas: estudos práticos de análise e levantamento em campo e estudos teóricos com resultados simulados a partir de equações ou softwares. Como exemplo do primeiro modelo, pode-se citar o trabalho realizado por Sosa-Pérez & MacDonald (2017), que apontou 3 kg.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> de sedimentos carregados ao corpo hídrico. Zhang et al. (2019) realizou estimativas com software e obteve o resultado de 47 kg.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto Bodoque et al. (2017), apontou de 5 a 15 kg.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> em seus estudos utilizando software específico.

Um fator predominante para erosão é o tipo de solo utilizado. O estudo de Gray & Sotir (1996), a partir da classificação do Sistema Unificado de Classificação de Solos SUCS, determinou a capacidade de erodibilidade dos solos. Em geral, solos pedregulhosos, são os mais erodíveis, seguido dos arenosos e silto arenosos. Já os solos com porcentagens elevadas de argila tendem a ser os com menor taxa de erosão.

As vias não pavimentadas são grandes geradoras de erosão do solo e o carreamento de sedimentos são causadores de assoreamento de galerias de drenagem pluvial. O presente trabalho teve como objetivo analisar o carreamento de sedimentos oriundos de uma via não pavimentada, carregada para as galerias de drenagem pluvial de uma via pavimentada.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado em um bairro urbano, na cidade de Almirante Tamandaré, no leste do estado do Paraná, Brasil. O local está situado na bacia do rio Barigui. A classificação Koppen-Geiger, Cfb, caracteriza a região como clima temperado, com verão ameno. A temperatura média é de 17,8°C e as chuvas são uniformemente distribuídas, sem estação seca. A precipitação média de 1630 mm.ano<sup>-1</sup>: são cerca de 117 dias.ano<sup>-1</sup> úmidos, precipitação >1mm, (Paraná, 2023). A Figura 1 apresenta o local de estudo.



Figura 1. Localização do trecho de estudo

O revestimento utilizado pela gestão pública para cobertura do solo nu em vias não pavimentadas é uma mistura de granulometria desconhecida, a ser caracterizado por este trabalho por meio de ensaio granulométrico, de acordo com a norma ASTM D-2487 (American Society for Testing and Materials, 2011), com passagem de material em peneiras de 25,4 mm (1 polegada) até a peneira de 0,075 mm. A porção que passou na peneira de 0,075mm foi analisada por laser, conforme ISO 13320:2009 (International Organization for Standardization, 2020).

O ensaio granulométrico foi realizado no laboratório de solos da Universidade Tecnológica do Paraná – UTFPR, sob supervisão de técnico laboratorial. O ensaio foi realizado exatamente como prevê a norma citada acima, coletado exemplares da área de analisada, secado, misturado, quarteado e passado em peneiras para elaboração da curva granulométrica.

Conforme a Figura 1, região de estudo está localizada entre uma via pavimentada e uma via não pavimentada, a fim de analisar o carreamento de solo para as galerias da drenagem pluvial. A declividade média é de 12%. Para este estudo foi desconsiderada a erosão do entorno. A Figura 2 apresenta a localização do trecho de estudo e também a locação do amostrador e do pluviômetro.

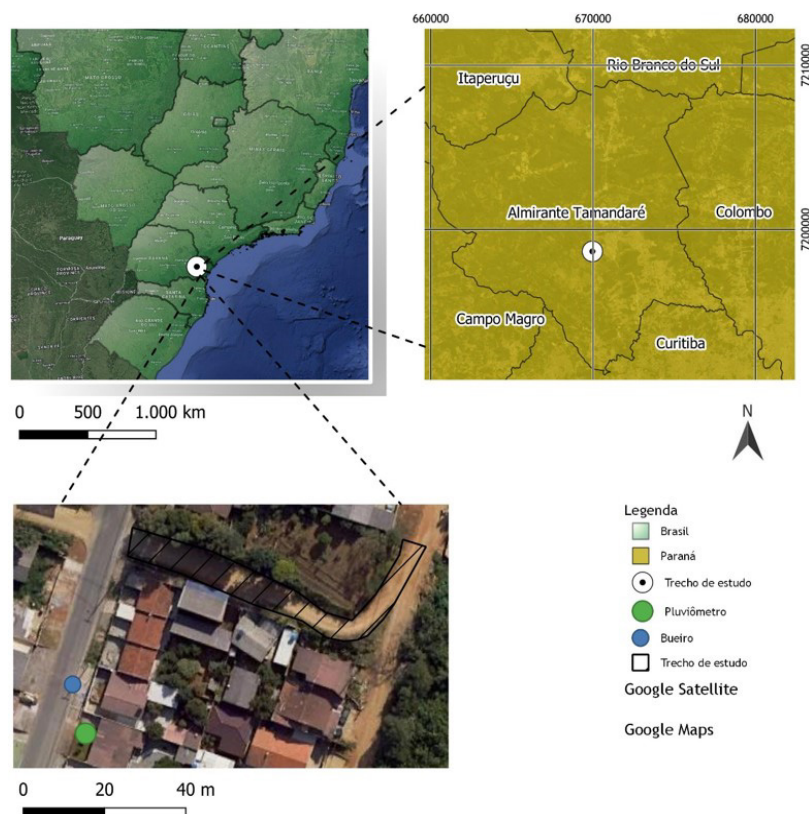


Figura 2. Localização do trecho de estudo

## 2.2 Construção e instalação do amostrador

O amostrador foi construído em formato retangular, com medidas de 0,65m × 0,30m × 0,25m e com capacidade aproximada de 48 litros. No fundo foi instalada uma tela de 0,075mm. O equipamento foi acomodado dentro da boca de lobo e o solo ficava reservado dentro do amostrador. A Figura 3 apresenta o amostrador.



Figura 3. Amostrador para coleta de solo

## 2.3 Parâmetros e coleta da amostra

O amostrador ficou instalado por um período de seis meses, iniciando no verão, no dia 10 de fevereiro de 2022 e terminando no dia 10 de agosto de 2022, período de inverno. A retirada do material carreado do amostrador ocorreu a cada 10 dias, ou sempre que a precipitação diária fosse superior a 5mm (esta referência mínima foi utilizada por se tratar da menor unidade existente no pluviômetro), verificou-se também que chuvas de menor intensidade não causam desagregação e carreamento do solo. Nas coletas, havia a retirada do material de forma manual, utilizando balde e pequena pá. O material era retirado do amostrador e pesado em balança com precisão de 0,0001kg.

O pluviômetro da marca Multitec, transparente, de capacidade máxima de 150mm, ficou instalado a uma distância de 50 metros do amostrador e a 3 metros de altura, livre de coberturas, árvores ou qualquer obstáculo que pudesse obstruir a leitura da altura de chuva.

Por meio da coleta de dados do amostrador, obteve-se a massa de solo erodido e carreado, e a precipitação. Calculou-se o volume de solo erodido e carreado e a taxa entre massa de solo erodido e carreado com a precipitação, em unidade  $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}$ , constantes no item 5.1 dos Anexo A. O volume de solo erodido e carreado foi utilizado para alcançar os objetivos do item 4.3 (estimativa do assoreamento de galerias pluviais).

## 2.4 Estimativa da redução da seção transversal das galerias de água pluvial.

Com objetivo de entender os impactos do carreamento de solo para as galerias de água pluvial, foi realizada uma estimativa da quantidade de metros lineares que poderiam ser assoreados caso o material ficasse completamente depositado no tubo.

Para essa estimativa, considerou-se tubos com 0,60m de diâmetro, o mesmo tamanho utilizado na tubulação do local de estudo. Foi considerada uma redução de 30% da seção transversal do tudo (0,18m). A densidade do solo estudado é de  $1240\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . De acordo com Sodr  (2020), o volume de um tubo, pode ser obtido pela seguinte equa o:

$$V = \left( \frac{\pi r^2}{2} - r^2 \arcsen\left(\frac{r-h}{h}\right) + (h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2} \right) \cdot L \quad \text{equa o (1)}$$

onde:

V= Volume na se o do tubo, em  $\text{m}^3$ ;

$\pi = 3,014$ ;

$r$ = raio do tubo, em metros;  
 $h$ = altura do preenchimento da seção transversal, em metros;  
 $L$ = comprimento da seção, em metros.

Portanto, obtendo-se o raio do tubo, altura do preenchimento da seção transversal e volume, pode-se obter o comprimento da seção, pela seguinte equação:

$$L = \frac{V}{\left(\frac{\pi r^2}{2} - r^2 \arcsen\left(\frac{r-h}{h}\right) + (h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2}\right)} \quad \text{equação (2)}$$

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização do solo

Com os valores obtidos por meio do ensaio de granulometria, foi possível encontrar a curva granulométrica, de acordo com a Figura 4.

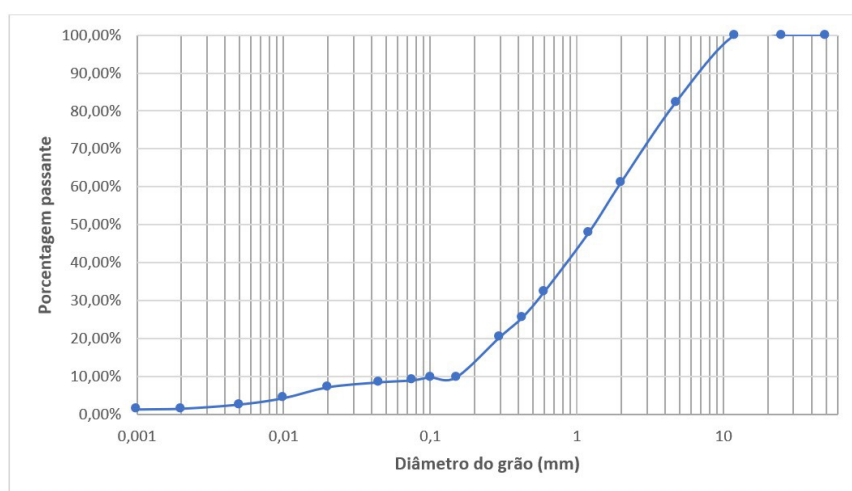


Figura 4. Curva granulométrica

De acordo com a Figura 4, a curva granulométrica contendo as devidas porcentagens de areia, silte e argila, é definida como um solo de areia siltosa, onde mais de 80% têm teor de areia. A caracterização foi realizada conforme a norma internacional de ensaio e caracterização granulométrica (American Society for Testing and Materials, 2011).

#### 3.2 Amostragem

No item 5.1 dos Anexo A, consta a quantidade de solo retirado do amostrador, com início no dia 10/02/2023 e término em 10/08/2023. Como resultado, encontrou-se uma massa carreada para a drenagem pluvial de aproximadamente 839,50kg, com um volume de aproximadamente 0,68m<sup>3</sup> de solo.

O monitoramento foi realizado por seis meses, com três meses em período mais chuvosos e três meses menos chuvosos. Para obter-se dados em unidades convencionais, os valores foram convertidos para unidades por ano. De acordo com este estudo, a média anual de carreamento de solo para a drenagem pluvial seria de aproximadamente 1678kg. Aplicando-se a densidade à massa de solo, encontra-se um volume de aproximadamente 1,35m<sup>3</sup> para o trecho de estudo.

O dado precipitação média de 981,4 mm.ano<sup>-1</sup>, foi coletado nos dias com chuvas superiores há 5mm, quando houve carreamento do solo. De acordo com o órgão ambiental do estado Paraná (IAT), choveu 498mm, no mesmo período, resultando em um média de 996mm.ano<sup>-1</sup>. Ainda assim, uma precipitação inferior à média histórica, de 1630mm.ano<sup>-1</sup>.

A massa de sedimentos estimada de 1678 kg.ano<sup>-1</sup> do trecho é cerca de 150% superior ao limite máximo tolerado por Lombardi Neto & Bertoni (1975). Existem alguns fatores que podem ser as causas dessa erosão e carreamento de solo acelerado, como a falta de medidas de contenção do carreamento de solo. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Pluvial (SUDS), como barreiras físicas e caixa de sedimentação para o carreamento de solo poderiam atenuar a ocorrência.

O solo utilizado para cobertura da pista tem grande fração de areia e é caracterizado como um solo altamente erodível, de acordo com Gray & Sotir (1996). Solos de pedregulho ou seixo tendem a ser menos erodíveis, entretanto, mais caros, devido à qualidade do material, disponibilidade e transporte. O solo mais argiloso tem um fator de erosão menor, mas em períodos secos tende a oferecer mais partículas em suspensão (pó).

A Figura 5 apresenta o amostrador instalado em dia de coleta do solo carreado e assoreado.



Figura 5. Amostrador em dia de retirada do material assoreado.

A média de  $3,99 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  de sedimentos carreados para a galeria pluvial é 4 a 20 vezes maior do que o encontrado nos estudos de Wei et al. (2022) e Rietveld et al. (2021), que foram realizados em áreas urbanas, mas em regiões sem influência de vias não pavimentadas. No Quadro 1 é possível verificar que mesmo com precipitações médias similares, a diferença se dá na existência de pavimento nas vias.

Quadro 1: Comparativo de estudos de carreamento de sólidos

Estudo de referência	Taxa de carreamento de solo ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ )	Precipitação média (mm)	Cobertura do solo	Tipo de uso
Presente estudo	3,99	981,4	Via não pavimentada	Residencial
Wei et al. (2022)	0,176-0,819	820,3	Pavimentada	Rodoviário
Rietveld et al. (2021)	0,110	930,0	Pavimentada	Residencial

O resultado deste estudo se aproxima de pesquisas realizadas em áreas rurais, como a de Sosa-Pérez & MacDonald (2017), na qual apontou  $3 \text{ kg/m}^2.\text{ano}$  e Bodoque et al. (2017), que estimou erosão de  $5 \text{ kg/m}^2.\text{ano}$  ou mais. Embora os estudos citados tenham sido realizados em regiões e com metodologias diferentes, o presente estudo sinaliza que a drenagem pluvial de vias pavimentadas próximas a vias não pavimentadas sofre uma pressão no aspecto de assoreamento e entupimento e perda de seção transversal maior do que previsto em normas e planos de drenagem.

Pelo estudo granulométrico é possível verificar que mais de 70% das partículas encontradas no solo do trecho de estudo são de mesmo tamanho (0,01mm a 4mm) do material sedimentado em tubulações de drenagem nos estudos de Qian et al. (2022). Essa similaridade demonstra que há uma tendência desse material assorear de forma acelerada nas galerias de água pluvial, já que partículas menores são transportadas com a carga de fundo em dias de chuva e, partículas maiores tendem a ser transportadas com enxurradas, ou seja, chuvas com altos índices pluviométricos, em um curto período de tempo.

A Figura 6 demonstra a relação entre pluviosidade e massa de solo erodido e carreado para galeria pluvial. O eixo vertical é adimensional pois tratam-se de dados em unidades diferentes, massa, em quilogramas e pluviosidade, em milímetros.

Pela Figura 6, pode-se analisar a taxa massa de solo erodido e carreado  $\times$  precipitação. Verificou-se que o maior volume de solo erodido e carreado acontece nos dias com maior índice de pluviosidade, no caso de enxurradas. Tal fato pode ocorrer devido ao solo sofrer maior intensidade do fator de

erosividade da chuva, conforme apontam Kinnell (2023) e Carvalho et al. (2014). A energia das gotículas de chuvas intensas é superior à de gotículas de chuvas leves, fazendo com que aumente a desagregação do solo.

A Figura 6 apresenta um gráfico de dispersão que relaciona pluviosidade × massa de solo erodido.

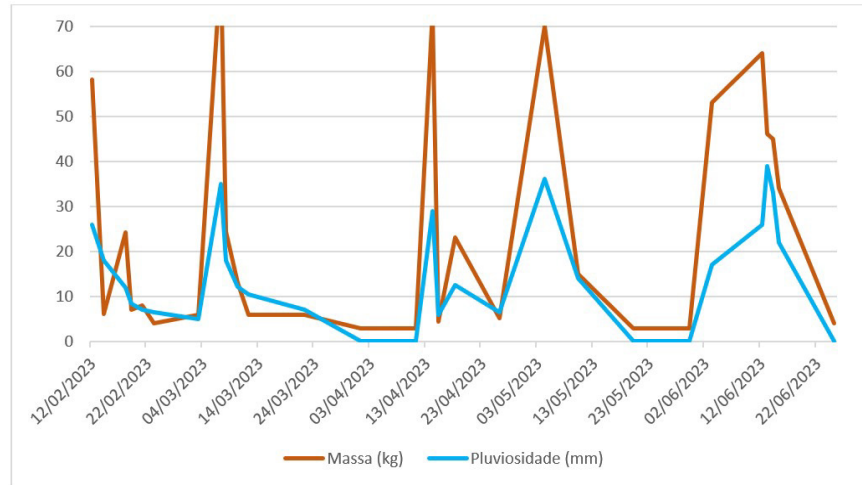


Figura 6. Relação da pluviosidade com massa de material carregado

Na taxa entre massa e precipitação é possível verificar que a média foi de  $1,71 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ . A relação variou de  $0,34 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$  a  $3,12 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Pela taxa apresentada, existem dois principais aspectos evidenciados: a relação diretamente proporcional, quanto mais chuva, mais solo carregado; e o aumento de solo carregado após períodos longos de seca. Conforme a coluna 5 do item 5.1 do Anexo A e o gráfico da Figura 7, a relação é diretamente proporcional entre massa de solo erodido e carregado com a altura de precipitação. Em geral, quanto mais chuva, mais erosão do solo. Esse fator ocorreu por quase todo o período de análise.

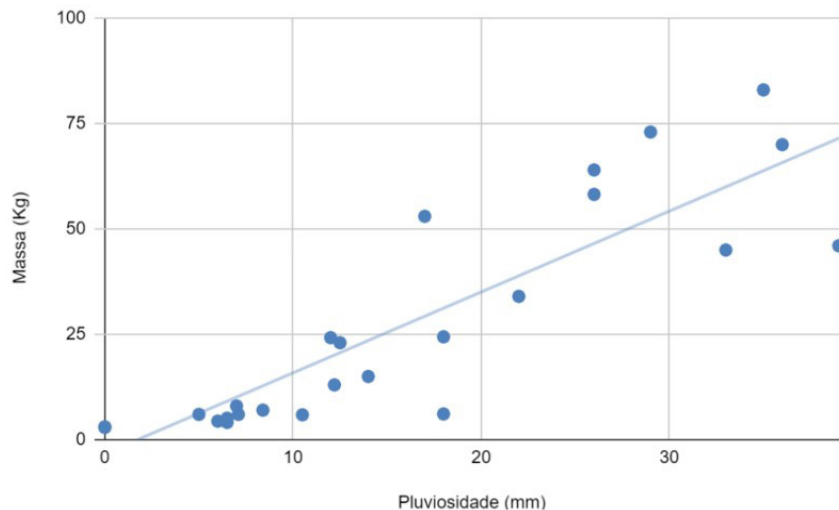


Figura 7. Relação entre massa × pluviosidade

A taxa de  $2,5 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$  ou mais, só ocorreu após períodos com mais de vinte dias de seca, nos quais foram os casos dos dias 14/04, 03/06 e 12/07. O dia 13/06 apresentou o maior volume de chuvas do período, após uma sequência de chuvas diárias. Porém, nesta data obteve-se um volume de solo erodido inferior ao obtido nos dias anteriormente citados, que foram antecedidos por períodos de seca, com pouca ou quase nenhuma chuva. Os fatos mostram que a ocorrência de chuvas intensas e longos períodos sem chuva são favoráveis à erosão em vias não pavimentadas. Assim como Qian et al. (2022) citam em seus estudos, períodos longos de seca também são facilitadores de erosão da via.

### 3.3 Estimativa do assoreamento das galerias de água pluvial

Com o objetivo de entender o mecanismo do assoreamento de solo na galeria de água pluvial, por meio dos dados encontrados em campo, com volume de  $1,35 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  foi possível estimar quantos metros lineares de tubo poderiam ser afetados com a diminuição da seção transversal.

Para a presente estimativa, foi considerada uma redução de 30% da seção transversal dos canais com o carreamento de solos. O diâmetro dos tubos foi de 0,6m, a mesma medida da tubulação do local de estudo, conforme citado anteriormente. Utilizando a Equação 2, obtém-se  $L = 18,97 \text{ m} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Considerando que todo o sedimento fique assoreado na canalização, de acordo com a estimativa apresentada, cerca de 19 metros de tubos da drenagem poderiam sofrer redução de 30% no período de um ano.

## 4. CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi possível verificar que a erosão de vias não pavimentadas pode impactar de forma intensa as galerias de drenagem pluvial de vias pavimentadas, gerando risco de entupimento e alagamento da região.

Este estudo demonstrou que o tipo de solo utilizado nas vias não pavimentadas analisadas é inadequado, em razão de sua alta taxa de erodibilidade e sedimentação, com tendência à aceleração do assoreamento de galerias pluviais. Além disso, a taxa de carreamento de solo para a galeria pluvial a partir da via não pavimentada analisada foi medida em  $3,99 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$  de solo, sendo de 4 a 20 vezes maior que em locais em que há apenas vias pavimentadas. Estimou-se que essa quantidade de solo carregado pode impactar cerca de 19 metros de galerias pluviais por ano.

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser utilizada em outras regiões, para que se possa confirmar as tendências aqui encontradas. A análise da erosão e carreamento do solo depende de fatores físicos, ambientais e antrópicos. Portanto, trabalhos futuros poderão efetuar análises de como os sedimentos se comportam dentro das galerias pluviais ou elaborar sistemas sustentáveis de drenagem pluvial, com o objetivo de inibir e conter a erosão do solo de vias não pavimentadas.

## 6. REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials – ASTM. (2011). *ASTM D-2487: unified soil classification system standard practice for classification of soils for engineering purposes*. West Conshohocken: ASTM International.
- Appelboom, T. W., Chescheir, G. M., Skaggs, R. W., & Hesterberg, D. L. (2002). Management practices for sediment reduction from forest roads in the coastal plains. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45(2), 337-344. <http://doi.org/10.13031/2013.8529>
- Bodoque, J. M., Ballesteros-Cánovas, J. A., Rubiales, J. M., Perucha, M. Á., Nadal-Romero, E., & Stoffel, M. (2017). Quantifying soil erosion from hiking trail in a protected natural area in the Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development*, 28(7), 2255-2267. <http://doi.org/10.1002/ldr.2755>
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. L., Mierzwa, J. C., Barro, M. T., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., Eiger, S., Gallardo, A., Boneccarrere, J., Souza, T., & Contrera, R. (2021). *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável (coedição Bookman e Pearson)*. Porto Alegre: Bookman.
- Carvalho, A. C., Ribeiro, C. M., & Rocha, W. (Orgs.). (2014). *Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo: Conceitos, modelos e aplicações*. Juiz de Fora: Novas Edições Acadêmicas.
- Confederação Nacional de Transporte – CNT. (2023). *Boletim Técnico Unificado, janeiro de 2023 (34 p.)*. Brasília. Recuperado em 20 de dezembro de 2019, de <https://www.cnt.org.br/boletins>
- Gray, D. H., & Sotir, R. B. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. John Wiley & Sons.
- International Organization for Standardization – ISO. (2020). *ISO 13320: particle size analysis: laser diffraction methods (2nd ed)*. Geneva: ISO.
- Juško, V., Sedmák, R., & Kúdela, P. (2022). Siltation of small water reservoir under climate change: a case study from forested mountain landscape of Western Carpathians, Slovakia. *Water*, 14(17), 2606. <http://doi.org/10.3390/w14172606>
- Karlsson, K., & Viklander, M. (2008). Trace metal composition in water and sediment from catch basins. *Journal of Environmental Engineering*, 134(10), 870-878. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2008\)134:10\(870\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134:10(870))
- Kinnell, P. I. A. (2023). Indices accounting for rainstorm erosivity: theory and practice. *Catena*, 223, 106925. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106925>



- Lombardi Neto, F., & Bertoni, J. (1975). *Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo* (12 p.). Campinas: Instituto Agrônômico.
- Ngezahayo, E., Ghataora, G., & Burrow, M. (2019). Factors affecting erosion in unpaved roads. In *Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19)*. Orleães, ON: International ASET Inc. <http://doi.org/10.11159/icgre19.108>
- Paraná. Instituto das Águas do Paraná – IAP. Sistema de Informações Hidrológicas – SIH. (2023). *Relatório de totais mensais de precipitação*. Curitiba. Recuperado em 23 de março de 2023, de <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioTotaisMensaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>
- Qian, Q., Ketabdar, M., Jao, M., & Li, X. (2022). Modeling sediment load in storm drain system of Southeast Texas coastal region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 148(4), 04022004. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001672](http://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001672)
- Rietveld, M., Clemens, F., & Langeveld, J. (2021). Monitoring and characterising the solids loading dynamics to drainage systems via gully pots. *Urban Water Journal*, 18(9), 1-12. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2021.1925706>
- Romero, A., & Ota, J. J. (2021). Using artificial neural networks to determine sediment concentration at limit of deposition in storm sewers. *RBRH*, 26, e23. <http://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210030>
- Sodré, A. (Org.). (2020, 29 de julho). *Cálculo: volume de um cilindro deitado*. Londrina: UEL. Recuperado em 20 de dezembro de 2019, de <http://www.uel.br/projetos/matessencial/superior/calculo/cilide/cilide00.htm>
- Sosa-Pérez, G., & MacDonald, L. H. (2017). Reductions in road sediment production and road-stream connectivity from two decommissioning treatments. *Forest Ecology and Management*, 398, 116-129. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.031>
- Wang, C., Liu, B., Yang, Q., Pang, G., Long, Y., Wang, L., Cruse, R. M., Dang, W., Liu, X., & Wang, E. (2022). Unpaved road erosion after heavy storms in mountain areas of northern China. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1), 29-37. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.012>
- Wei, H., Muthanna, T. M., Lundy, L., & Viklander, M. (2022). An evaluation of temporal changes in physicochemical properties of gully pot sediments. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(43), 65452-65465. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-20341-8>
- Xu, Q., Jiao, J., Li, M., Zhang, Z., Li, J., Jiang, X., Yan, X., Liang, Y., Chen, T., Chen, Y., Qi, H., & Zhang, Z. (2022). Response of road rill erosion to rainfall types and road maintenances on the Loess Plateau: implications for road erosion control. *SSRN Electronic Journal*, 1-47. <http://doi.org/10.2139/ssrn.4053366>
- Zhang, Y., Zhao, Y., Liu, B., Wang, Z., & Zhang, S. (2019). Rill and gully erosion on unpaved roads under heavy rainfall in agricultural watersheds on China's Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284, 106580. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106580>

#### Contribuições dos autores:

**Ildemar Luis Moro Vianna Junior:** conceitualização, metodologia, coleta e análise de dados, análise formal, escrita e revisão.

**André Nagalli:** Orientador de todas as etapas do trabalho. Revisor do texto do artigo.

**Flávio Bentes Freire:** análise formal e revisão.

**Alessandro Bertolino:** análise formal e revisão.

## 5. Anexo A - Dados primários de coleta

5.1 Tabela com os dados de coleta de solo e pluviosidade.

Data	Massa (kg)	Volume (L)	Pluviosidade (mm)	Taxa (Massa.Pluviosidade <sup>-1</sup> )
12/02/2023	58,2	46,9	26	2,24
14/02/2023	6,1	4,9	18	0,34
18/02/2023	24,2	19,5	12	2,02
19/02/2023	7	5,6	8,4	0,83
21/02/2023	8	6,5	7	1,14
23/02/2023	4,1	3,3	6,5	0,63
03/03/2023	6	4,8	5	1,20
07/03/2023	83	66,9	35	2,37
08/03/2023	24,4	19,7	18	1,36
10/03/2023	13	10,5	12,2	1,07
12/03/2023	5,9	4,8	10,5	0,56
22/03/2023	6	4,8	7,1	0,85
01/04/2023	3	2,4	0	n.a
11/04/2023	2,9	2,3	0	n.a
14/04/2023	73	58,9	29	2,52
15/04/2023	4,4	3,5	6	0,73
18/04/2023	23	18,5	12,5	1,84
26/04/2023	5,1	4,1	6,5	0,78
04/05/2023	70	56,5	36	1,94
10/05/2023	15	12,1	14	1,07
20/05/2023	3	2,4	0	n.a
30/05/2023	3	2,4	0	n.a
03/06/2023	53	42,7	17	3,12
12/06/2023	64	51,6	26	2,46
13/06/2023	46	37,1	39	1,18
14/06/2023	45	36,3	33	1,36
15/06/2023	34	27,4	22	1,55
25/06/2023	4	3,2	0	n.a
05/07/2023	4	3,2	0	n.a
12/07/2023	72	58,1	24	3,00
13/07/2023	18	14,5	16	1,13
17/07/2023	24	19,4	20	1,20
19/07/2023	12	9,7	16	0,75
29/07/2023	15	12,1	8	1,88
08/08/2023	n.a	0,0	n.a	n.a
<b>Valor encontrado em campo</b>	<b>839,30</b>	<b>676,9</b>	<b>490,70</b>	<b>1,71</b>
<b>Estimativa para um ano</b>	<b>1678,6</b>	<b>1353,79</b>	<b>981,4</b>	<b>-</b>