

# ANÁLISE DA PERDA DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DAS BARRAGENS SALTO, BLANG E DIVISA

Henrique Roberto Schmitt<sup>1</sup>, Guilherme Garcia de Oliveira<sup>2</sup>, Clódis de Oliveira Andrades Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; <sup>2</sup> Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Campus Vale, UFRGS., Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44202, Setor 5, Porto Alegre/RS, CEP: 91501970., Telefone: +55 (51) 3308-6221, E-mail: ppgsr@ufrgs.br

## RESUMO

Com objetivo de analisar os principais fatores que condicionam a erosão hídrica e proporcionam a perda de solo na bacia que contempla os reservatórios e Barragens do Salto, Blang e Divisa no município de São Francisco de Paula/RS, foi aplicado neste estudo a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) criada por Wischmeier e Smith [9]. Por meio de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema Geográfico de Informação (SIG), conclui-se que os locais onde o solo encontra-se florestado e impermeabilizado pela ação antrópica, observou-se as menores perdas de solo, com menos de 15 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ocupando mais de 80% da área. Enquanto as regiões mais declivosas, algumas com solo exposto, ocorrem graus de erosão variando de forte a muito forte, afortunadamente compondo apenas 3% da área. Assim, considera-se como a bacia sendo genericamente de baixa produção de sedimentos e baixo risco a erosão hídrica de feição laminar.

**Palavras-chave** — Erosão laminar, EUPS, perda de solo, assoreamento, barragem.

## ABSTRACT

*Com objetivo de analisar os principais fatores que condicionam a erosão hídrica e proporcionam a perda de solo na bacia que contempla os reservatórios e Barragens do Salto, Blang e Divisa no município de São Francisco de Paula/RS, foi aplicado neste estudo a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) criada por Wischmeier e Smith [X]. Por meio de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema Geográfico de Informação (SIG), conclui-se que os locais onde o solo encontra-se florestado e impermeabilizado pela ação antrópica, observou-se as menores perdas de solo, com menos de 15 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ocupando mais de 80% da área. Enquanto as regiões mais declivosas, algumas com solo exposto, ocorrem graus de erosão variando de forte a muito forte, afortunadamente compondo apenas 3% da área. Assim, considera-se como a bacia sendo genericamente de baixa produção de sedimentos e baixo risco a erosão hídrica de feição laminar.*

**Key words** — One, two, three, four, five.

## 1. INTRODUÇÃO

A perda de solo por conta de erosão hídrica tem uma relação direta com o uso do solo e as práticas conservacionistas, assim como, com os fatores naturais: classes de declividade, comprimento de rampa, intensidade da chuva e tipo de solo local. Estes fatores compõem a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) [9].

Esta equação, aplicada com auxílio de SIG (Sistema de Informações Geográficas), pode representar espacialmente na forma de mapa, o potencial erosivo do solo, indicando e quantificando as perdas do solo estimadas em determinada área de estudo.

O objetivo deste estudo é estimar a produção de sedimentos, por meio da EUPS, provindos dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica criada a partir de um ponto de exutório, que pode contribuir para o assoreamento de três reservatórios na serra gaúcha.

Estimar a quantidade de produção de sedimentos nesta bacia, que tende a se depositar a jusante do barramentos, poderá contribuir para melhor condição de operação dos reservatórios e caso haja necessidade, diminuir a consequente perda de volume útil dos mesmos.

A área de estudo deste trabalho foi escolhida devido a sua importância no que tange a produção de energia hidrelétrica, a partir do direcionamento das águas da Barragem do Salto, ponto de exutório, e por regularizar as águas da Bacia do Rio Caí, por ser a nascente mais a nordeste da Bacia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

Localizado na borda superior do planalto meridional, a bacia hidrográfica aqui pesquisada, inicia-se logo a jusante da Barragem do Salto, toda inserida no município de São Francisco de Paula, um dos maiores em questão territorial do estado do Rio Grande do Sul, estando cerca de 115 km da capital, Porto Alegre. Pertencente ao Sistema Salto de Hidrelétricas, a bacia compreende os reservatórios do Salto, Blang e Divisa (Figura 1), ambos barramentos construídos por concreto, devido a falta de material terroso na região, sendo a segunda situada no centro de ambas, distante 6 (seis) km do Salto (exutório) e a terceira, mais distante, cerca de 12 (doze) km.

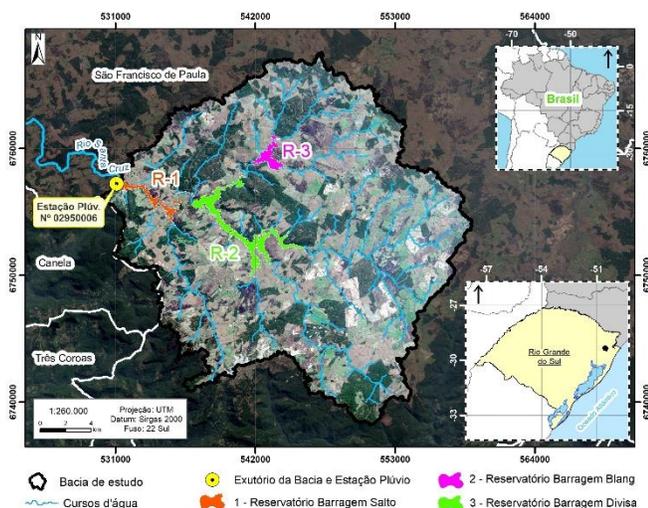


Figura 01. Mapa de localização da bacia de estudo e respectivo ponto de exutório.

## 2.2 Fatores condicionantes da EUPS

Para a estimativa das perdas de solo foi utilizada a EUPS [9], que consiste numa equação empírica, fazendo uso dos principais fatores que influenciam a perda de solo por erosão laminar, conforme equação representada a seguir:

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Onde:

- A = a estimativa média anual de perda de solo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );
- R = o fator erosividade das chuvas ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );
- K = o fator erodibilidade do solo ( $h \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );
- LS = o fator topográfico do terreno (adimensional);
- C = o fator de cobertura, uso/manejo (adimensional);
- P = o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

O fator de erosividade (R) é dado como o índice de erosão provocado pela precipitação em um local. Esse índice expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno desprotegido de vegetação, desnudo [2].

Este trabalho utilizou os antigos dados diários de precipitação pluviométrica oriundos da estação pluviométrica UHE Bugres Barramento Salto, nº 2950006, da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), obtido através do site Hidroweb de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), com dados consistidos de apenas nível 1, considerados brutos, com período de dados de 1961 a 1980.

Por a estação estar situada próxima ao ponto de exutório da bacia, de baixa área de contribuição ( $515 \text{ km}^2$ ), e sem diferença de relevo significativa que pudesse influenciar na precipitação local, se considerou representativa para área de estudo. Assim, para determinar o fator R das chuvas na bacia hidrográfica, foi realizado o cálculo indiretamente pelo método da EI30, através da equação estabelecida por Lombardi Neto & Moldenhauer [2].

Segundo Wischmeier e Smith [9], erodibilidade do solo é definida como a quantidade de solo perdida em unidade de

área por índice de erosividade da chuva, sobre mesmas condições climáticas. Os dados de referência do fator de erodibilidade (K) na bacia foram obtidos através dos dados geoespaciais do Mapeamento de Solos da Folha SH.22 de Porto Alegre, realizado pelo IBGE [3] na escala 1:250.000.

Após definição das classes pedológicas que compõem o substrato superficial da bacia, foi utilizado os valores do fator K obtidos por Ribeiro e Werlang [6] os quais, através do monograma criado por Wischmeier e Smith [9], estimaram os valores de erodibilidade para os solos do Rio Grande do Sul.

Referente a topografia, os fatores, comprimento de rampa (Fator L) e declividade (Fator S) devem ser analisados em conjunto, uma vez que são adimensionais, tendo assim, um único fator LS para a bacia de estudo. Wischmeier e Smith [9] descrevem como o fator sendo a razão da perda de solo por unidade de área, com comprimento uniforme de 22,13 m e 9% de inclinação em condições idênticas. Assim, o fator topográfico (LS) pode ser extraídos de um Modelo Digital de Elevação (MDE) em um ambiente de SIG.

O MDE utilizado neste trabalho para determinar e extrair dados do terreno, inclusive o Fator LS, possui resolução de aproximadamente 30 m e foi obtido a partir do projeto TOPODATA que é um refinamento dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A formulação da equação do cálculo do fator topográfico utilizado neste estudo, foi a equação proposta por Moore e Wilson [4], que apresentaram uma equação simplificada utilizando unidade de área de contribuição para calcular o fator LS.

Para aplicar esta equação, foi importado o MDE para o software SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) onde foram calculados e definidas as áreas de contribuição hidrológicas por meio de algoritmo de distribuição de fluxo, empregando o método *Deterministic 8 (D8)* [5], onde o fluxo de cada célula é atribuído a um dos seus oito vizinhos na direção com declive de encosta mais íngreme. Posteriormente o arquivo *raster* da área de contribuição foi introduzido no software ArcGIS, e após cálculo da declividade em porcentagem utilizando o mesmo MDE, foi utilizado a ferramenta *raster calculator* e inserido a equação do fator LS, de acordo com Moore e Wilson [4].

Para completar a base de dados e produzir a série de produtos cartográficos que irão resultar na estimativa de perda anual média de solo na bacia, fatores importantes relacionados ao uso da terra e cobertura vegetal da bacia, os fatores C e P, são essenciais para equação.

Segundo Stein [1] os fatores C e P são tratados separadamente quando se buscam formas mais adequadas de produção agrícola conservacionista para a redução dos impactos gerados sobre o meio físico. Porém, como o objetivo deste estudo é estimar as perdas de solo por erosão na bacia, estas variáveis estão de certa forma correlacionadas, que devem ser analisadas juntas. Portanto, os valores de CP adotados neste estudo, foram designados com base nos

resultados do autor citado, que inter-relaciona as duas variáveis.

Diante de tal necessidade, o mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado, por meio da classificação supervisionada da imagem de satélite do sensor Sentinel-2 (composição 4R 3G e 2B), obtida junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos [8] e com data de passagem em agosto de 2020, e assim, foi possível designar seis classes com seus respectivos valores de CP: Agricultura (0,2), Florestas (0,00004), Campos (0,01), Corpos d'água (0), Solo exposto (1) e Área urbana (0) [1].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Fator de erosividade (R)

Os cálculos do fator de erosividade da chuva (R) foram calculados a partir de uma planilha eletrônica no *software* Microsoft Excel, onde foram inseridos os dados pluviométricos médios mensais e anuais correspondentes ao período de 1961 a 1980. Através destes valores inseridos, foram calculados, aplicando a equação do estudo de Lombardi Neto e Moldenhauer [2], a média mensal durante o período, a média mensal do índice de erosão (EI), e por fim, o índice de erosão médio anual (Fator R), cujo valor encontrado de erosividade para a estação pluviométrica que representa a bacia, é de 6.513,16 MJ.mm/ha.h/ano.

#### 3.2 Fator erodibilidade (K)

Na bacia em estudo, foram identificadas a ocorrência de duas classes de solo, tendo como referência a base de dados vetoriais do IBGE [3], sendo elas os Cambissolo Húmico Alumínico e os Chernosso Argilúvico Férrico, ocupando cerca de 94% e 3% do território (sem contar área urbana e massa d'água), respectivamente.

Para as classes de solos, foram tribuídas os valores de erodibilidade, conforme definido por [6], oportunidade na qual foi elaborado o mapa de erodibilidade (fator K) em formato matricial. Os Cambissolo possuem maior erodibilidade (0,046) que os Chernosso (0,030) pois são pouso espessos, tendo as águas da chuva dificuldade em infiltrar no horizonte Bi, pouco poroso, enquanto que nos Chernosso, embora também sejam pouco espessos, são normalmente mais porosos, apresentando boa permeabilidade, sendo menos suscetíveis à erosão.

#### 3.3 Fator topográfico (LS)

Durante a elaboração do fator LS, o MDE foi o principal protagonista, sendo a base dos atributos de declividade, área de contribuição e consequente modelo de altimetria. A declividade na bacia não apresenta grande intensidade, devido ao relevo com predomínio de colinas, variando de 0 a 34°. A área de contribuição, centralizou as vertentes em maior abrangência ao longo das bordas dos reservatórios presente

na bacia. Quanto as altimetrias, variam de 735 a 1033 metros, concentrando as maiores elevações na porção norte e nordeste, diminuindo gradativamente em direção a oeste, seguindo o declive a orientação das saídas das águas a jusante das barragens.

O fator LS encontrado varia de 0 a 51, sendo mais elevado circundando as colinas, por vezes rochosas, principalmente bordeando os três reservatórios. Em contraposição, as áreas com os valores menores de LS estão concentradas nas massas d'água e nas regiões de vales e de relevo suave, considerado de menor susceptibilidade à erosão.

#### 3.4 Fator Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas (CP)

A partir da classificação supervisionada usando imagem de satélite e sua composição colorida, foram classificadas seis classes, das quais, os corpos d'água e as áreas urbanas foram desconsideradas das análises dos valores de CP, assim, tem-se os valores mais baixos associados às classes de cobertura vegetal e práticas agrícolas e o maior valor associado a classe de solo exposto, caracterizado pela ausência de vegetação.

Com base nos dados de uso e cobertura do solo e os fatores correlacionados do uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P) da bacia, observa-se que ocorre o predomínio de campos (48%) muito utilizados para práticas de pecuária servindo como pastagem para o gado, e de florestas (31%) que ocorrem ao longo das drenagens como mata ciliar e capões e matas de galeria, onde ocorrem principalmente as Araucárias (*Araucária angustifolia*), formadora da semente de pinhão e o cultivo de Pinus (*Pinus elliottii*). Muito cultivado na área, a agricultura, de caráter predominante familiar, foi classificada como lavouras para pastagem artificial ou como forma de sustento, explorando principalmente as plantações de batata, macieiras e milho.

Designadas como fator zero, as áreas urbanas (0,65%) com menos vegetação e solo semi-impermeável, são caracterizadas pelos arredores e zona urbana da cidade de São Francisco de Paula e o núcleo de casas no Distrito de Eletra (Barragem do Salto). Também desconsiderado como fator propenso a perda de solo, os corpos d'água (2%) representam na bacia, os três barramentos, riachos e outras massas de água, oriundas de açudes, lagos naturais e pequenos barramentos feitos para enfrentar às épocas de estiagem.

Por fim, as áreas de solo exposto (0,27%) embora de pequena proporção, é a classe que possui maior potencial de erosão do solo, visto que possui solo nu, sem proteção e fica mercê do salpicamento e erosão pluvial. Estão presentes em algumas fazendas, utilizando para corte e aterro locais e nas proximidades dos núcleos habitacionais, em obras de terraplenagem e loteamentos.

A Figura 02 possibilita visualizar os produtos cartográficos gerados pelos fatores condicionantes da EUPS (fator R, LS, K e CP), de modo que multiplicados, geram o produto final – Mapa de Perda de Solo (fator A), no topo da figura.

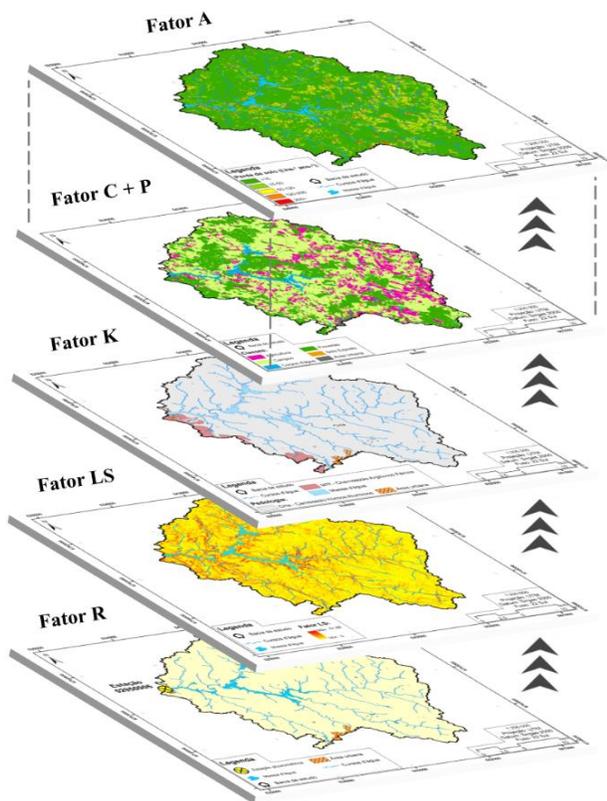


Figura 02. Compilação dos produtos da EUPS.

### 3.5 Resultado da EUPS

Para quantificar a perda de solo por erosão hídrica, foi multiplicado cada atributo da EUPS - fatores LS, R, K e CP. Os valores gerados foram interpretados a partir das classes descritas por Carvalho [7], como visto na Tabela 02.

Perda de solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Grau de erosão	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<15	Nula a moderada	424,9	82,60
15-50	Média	47,26	9,19
50-120	Média a forte	26,58	5,17
120-200	Forte	9,53	1,85
>200	Muito forte	6,11	1,19

Tabela 02. Relação do quantitativo de perda de solo e o grau de erosão para cada classe.

Em análise ao mapa final da perda de solo da bacia hidrográfica do estudo, vide Figura 02, observa-se que a maior parte da bacia foi classificada como grau de erosão nula a moderada (82%) com perdas de solo inferior a 15 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (cores verdes). As áreas classificadas como média e média a forte compreendem valores entre 15 e 120 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e somam cerca de 15% da área da bacia. Em menor proporção, as áreas com maior potencial erosivo representam 3% da área de estudo e estão associadas principalmente com os maiores declives, na maior parte com solo exposto ou com predomínio

de campos. Enquanto que as áreas com os menores potenciais erosivos predominam as regiões de florestas e os corpos d'água. As porções de médio potencial erosivo são as que predominam atividades como agropecuária e presença de campos, mais susceptíveis a processos erosivos do que as florestas, que acobertam o solo e evitam grande parte do desprendimento das partículas.

### 4. CONCLUSÕES

As estimativas de perda de solo pela EUPS para a bacia que comporta os reservatórios, apresentaram resultados satisfatórios e animados, pois mostram predomínio da classe nula a moderada. Esta análise feita com base em observações e não substitui medições hidrossedimentológicas realizadas em campo, mas apresenta poder como uma ferramenta suplementar para tomada de decisões a respeito da manutenção das condições dos reservatórios.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] D. P. Stein, P. L. Donzelli, F. A. Gimenez, E. L. Ponçano, and F. Lombardi Neto. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema. *In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, 4., 1987, Marília. Anais... Marília: ABGE/DAEE, 1987.
- [2] F. Lombardi Neto, and W. C. Moldenhauer. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- [3] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapa de Solos da Folha SH.22 - Porto Alegre. Escala 1:250.000. Diretoria de Geociências (IBGE/DGC). Rio de Janeiro, 2013.
- [4] J.D. Moore, and J.P. Wilson (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47 (5): 423-428
- [5] J.F. O'Callaghan, and D.M. Mark. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Comput. Vision Graph.*, 28:323-344, 1984.
- [6] M.S. Ribeiro, and M.K. Werlang. Modelado do relevo e potencial de fragilidade à erosão no Estado do Rio Grande do Sul. *In: Ciência e Natura*. Departamento de Geociências/CCNE, UFSM, 121 – 140, 2010.
- [7] N. O. Carvalho. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 600p.
- [8] United States Geological Survey (USGS). Dados orbitais do Sentinel-2. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 12 set. 2020.
- [9] W.H. Wischmeier, and D.D. Smith. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Washington. 58 p. 1978.