

## Análise da erosão superficial na área de influência indireta da Usina Hidrelétrica Dona Francisca-RS

Juliana Tramontina<sup>1</sup>  
Jorge Antônio Viel<sup>1</sup>  
Dejanira Luderitz Saldanha<sup>1</sup>  
Kátia Kellem da Rosa<sup>1</sup>  
Tatiana Silva da Silva<sup>1</sup>

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/PPGSR  
Caixa Postal 91509-900 – Porto Alegre - RS, Brasil  
{tramontina.ju}@gmail.com; {ja-viel89}@hotmail.com; {dejanira.saldanha, katia.kellem;  
tatiana.silva}@ufrgs.br

**Abstract.** The Universal Soil Loss Equation (USLE) mathematically describes the contribution of the most important factors in the soil loss process, and is the largest reference for estimating soil loss in Brazil. The objective of this article is to analyze the superficial erosion in the area under the influence of Dona Francisca hydroelectric power plant using a GIS-based model integrating USLE. According to the model results, the study area experienced a average soil loss of 935 kg/ha/year, which is considered low, when compared to other results. About 83% of the study area presented soil loss values between 0 and 1t/ha/year, and only 2% of the area showed loss soil values higher than 4t/ha/year. The areas covered by agriculture and/or livestock, were the ones that contributed most to the formation of sediments (laminar erosion), due to the agricultural practices developed in areas of high slopes, as is the case of the cultivation of tobacco in hillsides. Regarding the cumulative effects of the variables composing the model, it is worth mentioning that the lack of vegetation cover associated with high slopes and intense precipitation are the conditions leading to higher soil loss values, which is worsen when combined to inadequate management related to non-conservationist practices.

**Palavras-chave:** soil loss, USLE, geoprocessing, GIS, perda de solo, EUPS, geoprocessamento, SIG.

### 1. Introdução

A antropização do espaço acelera de forma significativa os processos de degradação do solo. As supressões da cobertura vegetal, juntamente com a compactação do solo ocasionada pela utilização de máquinas agrícolas de grande porte e manejo inadequado, levam a perda de milhões de toneladas de solo por ano (Lepsch, 2010). As principais consequências desse processo são no âmbito ambiental e econômico, uma vez que, associado à perda de solo ocorre perda de nutrientes essenciais para o cultivo agrícola e demais atividades que dependam da fertilidade do solo. A fim de minimizar o efeito negativo do déficit nutricional, aumentam-se as doses de adubos químicos e conseqüentemente, aumentam os gastos com insumos agrícolas, elevando os custos de produção e os danos ambientais.

Medidas governamentais como a criação de Leis que regulamentam o uso e a ocupação do solo são essenciais para a mitigação da perda do solo superficial. Pode-se citar como exemplo, a Lei Federal 12.651 de maio de 2012 que cria áreas de preservação permanente (APP) como topos de morros, declividades superiores a 45 graus e matas ciliares (BRASIL, 2012). No Rio Grande do Sul foi promulgado em 07 de dezembro de 2015 o Decreto Estadual 52.751 que cria a política estadual da conservação do solo e das águas, elaborando diretrizes e fomentando a prática da conservação do solo (RIO GRANDE DO SUL, 2015).

Muitos fatores podem influenciar na perda superficial do solo, dos quais os mais significativos foram combinados na Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978). Essa equação busca determinar matematicamente a contribuição de cada fator no processo de perda de solo, pela relação das variáveis que são: precipitação, declividade (grau e comprimento de rampa), uso do solo, práticas conservacionistas e erodibilidade dos solos.

Segundo Silva et al. (2010), apesar de ser uma formulação empírica, a EUPS ainda é a maior referência para estimativa de perda de solo no Brasil.

A precipitação, através da força cinética da gotícula de chuva, ao romper a fina camada do solo, quebra e compacta o solo. Esta compactação evita que a água da chuva infiltre e o solo torna-se superficialmente mais agregado, atuando no processo de lixiviação. As irregularidades do relevo tornam-se, por sua vez, responsáveis pelo o aumento da velocidade de escoamento superficial, que está diretamente ligado à declividade.

O relevo também pode interferir no processo erosivo, quando associado aos níveis de erodibilidade de cada tipo de solo (Miqueloni et al., 2012). Estudos demonstram que o relevo é o principal condicionante nos processos superficiais de perda do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2012; Sanchez et al., 2009; Miqueloni et al., 2012).

Assim, avaliar e quantificar a perda de solo em uma determinada área demanda um número elevado de dados e de informações. As técnicas de geoprocessamento, aliadas a dados de sensoriamento remoto e aos SIGs, apresentam-se como importantes ferramentas, pois além de permitirem aquisição rápida dos dados, possibilitam executar processamentos envolvendo números elevados de variáveis e, sobretudo indicando, de modo interativo, os processos dinâmicos envolvidos. Para Lopes et al. (2011), a aplicação de modelos quantitativos de perda de solo foi facilitada com o desenvolvimento dos SIGs.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a erosão superficial do solo na área de influência indireta (AII) da Usina Hidrelétrica Dona Francisca (U.H.E Dona Francisca).

## **2. Metodologia de Trabalho**

A erosão laminar e os fatores que a influenciam, na AII da U.H.E Dona Francisca, foram analisados e investigados neste trabalho por meio da EUPS e o uso de ferramentas de Geoprocessamento. As etapas metodológicas envolveram: a) obtenção de dados; b) elaboração dos pesos para a EUPS e manipulação dos dados no SIG ArcGis 10.3; c) aplicação da equação; d) e análise e interpretação dos resultados.

### **2.1 Materiais e Dados utilizados**

- Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), S30W053 e S30W054, com resolução de 30 metros (USGS, 2016).
- Arquivos vetoriais dos limites políticos municipais (IBGE, 2013) e dos solos (CPRM) do estado do Rio Grande do Sul, com escala 1:250.000 e 1:750.000, respectivamente.
- Série temporal com 20 anos de dados pluviométricos da estação meteorológica de Santa Maria (A803) (INMET, 2016).
- Mapa do uso e cobertura da terra da AII da U.H.E Dona Francisca do ano de 2013 (Tramontina, 2016).
- *Software* de processamento ArcGis 10.3 (ESRI).

### **2.2 Área de Estudo**

A área de estudo corresponde à AII da U.H.E Dona Francisca, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul. Fazem parte da área os municípios de Agudo, Ibarama, Nova Palma, Arroio do Tigre, Pinhal Grande e Estrela Velha (Observatório Sócio-Ambiental de Barragens, 2014), que localizam-se entre as coordenadas 53° 32' 34" longitude Oeste; 29° 52' 37" latitude Sul e 52° 54' 43" longitude Oeste; 29° 03' 25" latitude Sul (Figura 1).

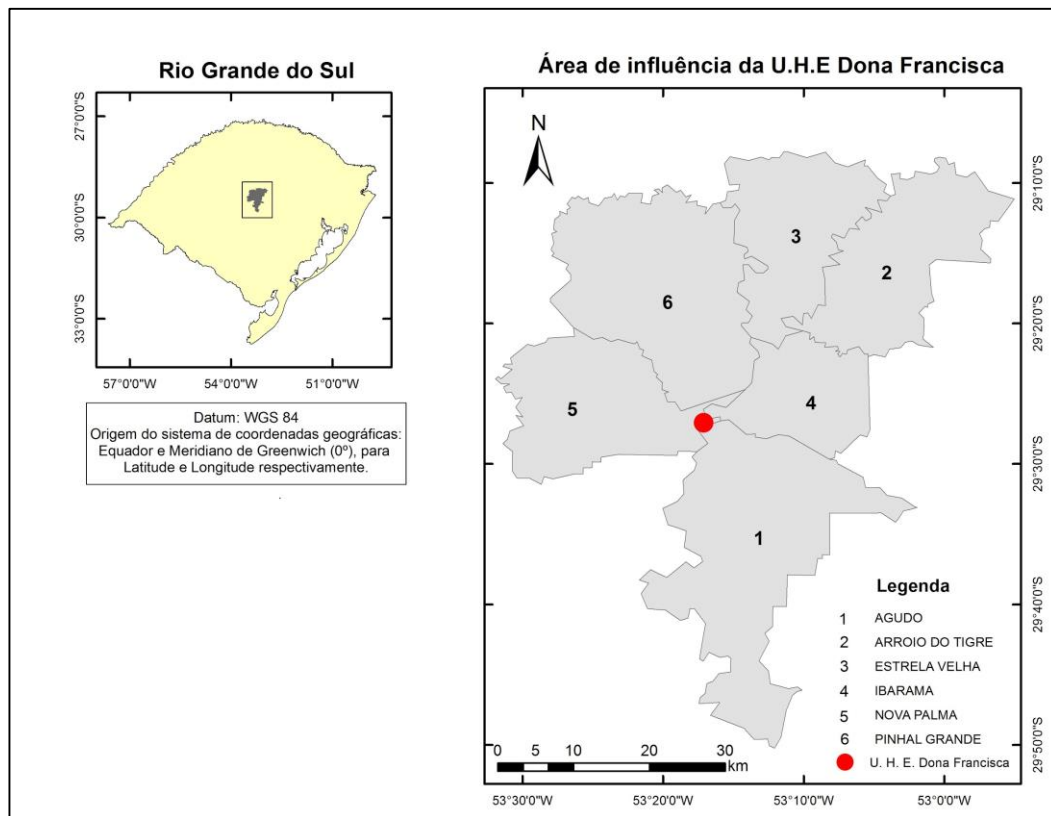


Figura 1. Localização da área de influência indireta da Usina Hidrelétrica Dona Francisca, Rio Grande do Sul, Brasil

### 2.3 Procedimentos metodológicos

A perda superficial do solo na região foi estimada por meio da EUPS, conforme a Equação 1. O cruzamento de dados foi realizado no SIG ArcGIS.

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

A variável R (Erosividade) é caracterizada pela energia cinética da chuva que precipita em determinado período de tempo e está diretamente relacionada com a intensidade da mesma. Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2012, p. 250) “o fator chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, e de causar erosão em uma área sem proteção”. Para obter a variável R foram utilizados os dados meteorológicos (precipitação) do período de 1993 a 2013 registrados na estação meteorológica de Santa Maria. O índice de Erosividade (R) encontrado foi de 682,22 (MJ.mm/ha.h.ano), obtido pelo somatório do índice de erosão (EI). O EI foi determinado pela equação 2 (Lombardi Neto e Moldenhauer, 1980). Em que,  $r$  é precipitação média mensal em (mm) e  $P$  é a precipitação média anual em (mm).

$$EI = 6,886 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

O fator Erodibilidade (K) está diretamente relacionado com as propriedades e as características de cada tipo de solo. Para a determinação do fator K foram utilizados valores obtidos por Denardin (1990) e o mapeamento de solos disponibilizado pela CPRM. Os valores de Erodibilidade utilizados podem ser visualizados na Tabela 1.

Os fatores Uso e Cobertura do Solo (C) e Prática Conservacionista (P) foram definidos conforme metodologia de Stein et al. (1987). Devido à dificuldade de obter informações sobre

as práticas conservacionistas aplicadas na área de estudo, considerou-se o pior cenário em relação às práticas conservacionistas atribuindo o valor 1 para todos os tipos de usos do solo.

Já para o fator C, utilizou-se valores obtidos por Stein et al. (1987) que podem ser visualizados na Tabela 1. O mapeamento temático utilizado como base para a determinação do fator C para cada classe de uso e cobertura da terra foi elaborado por Tramontina (2016), tendo como referência uma imagem do sensor OLI, satélite Landsat 8, do ano 2013.

Tabela 1. Valores de Erodibilidade e Uso e Cobertura da Terra.

Classes de Solos	Valores de K <sup>1</sup> (t ha MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Classes de Uso e Cobertura da Terra	Valores C <sup>2</sup> (Adimensional)
Nitossolo	0,006	Vegetação (nativa ou não)	0,00004
Argissolo	0,002	Agricultura / Pecuária	0,15
Latossolo	0,002	Solo Exposto	0,2
Planossolo	0,006	Água	0

Fonte: Denardin<sup>1</sup>, 1990 / Stein<sup>2</sup> et al., 1987

O fator Comprimento de Rampa (LS) foi obtido por meio da Equação 3, proposta por Moore e Burch (1986). Como base utilizou-se o Modelo Digital de Elevação SRTM desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no ano de 2000 e disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey - USGS*).

$$LS = \left( \frac{FA * TC}{22,13} \right)^{0,4} * \left( \frac{\sin(D)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Onde: o fluxo acumulado (FA) é dado em números de células, o tamanho das células (TC) é dado em metros e a declividade (D) em radianos.

Após a obtenção de todas as variáveis, a equação foi executada e os resultados foram analisados.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados da aplicação da EUPS evidenciaram que a perda superficial de solo média na AII da U.H.E Dona Francisca é de 935 kg/ha/ano, demonstrando a baixa vulnerabilidade da área, quanto a perda de solo por erosão laminar. De acordo com Carvalho (1994), perdas de solo inferiores a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> indicam grau de erosão nulo a moderado.

Considerando as características intrínsecas da área de estudo, os cultivos agrícolas desenvolvidos são de caráter temporário, com predomínio do cultivo do fumo na parte norte da área de estudo e do arroz na parte sul. Cabe destacar que durante o mapeamento de uso e cobertura do solo identificou-se grandes áreas de solo exposto atribuídas ao preparo do solo para o plantio do arroz, mesmo assim, essas áreas tiveram pouca influência para a perda de solo já que são áreas de baixas declividades. Desta forma, percebe-se que as maiores perdas estão relacionadas às áreas de alta declividade e que possuem ausência da cobertura vegetal.

A Figura 2 representa a espacialização da perda superficial do solo para AII da U.E. H. Dona Francisca. Além da clara assimilação de maior perda de solo em áreas declivosas, é possível inferir sobre a baixa ou quase insignificante perda de solo para a área de estudo, mediante a predominância da classe de perda de solo que representa perdas entre 0 a 1 toneladas

por hectare ano (t/ha/ano) (em verde claro no mapa) e a baixa representatividade de regiões em vermelho (perda de solo maior que 4 t/ha/ano).

Isso pode ser comprovado a partir dos valores de perda de solo quantificados em relação à área total, em km<sup>2</sup> e porcentagem, apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que 83% da área de estudo tem perda de solo entre 0 e 1 t/ha/ano e apenas 2% da área de estudo possui perda superficial de solo superior a 4 t/ha/ano.

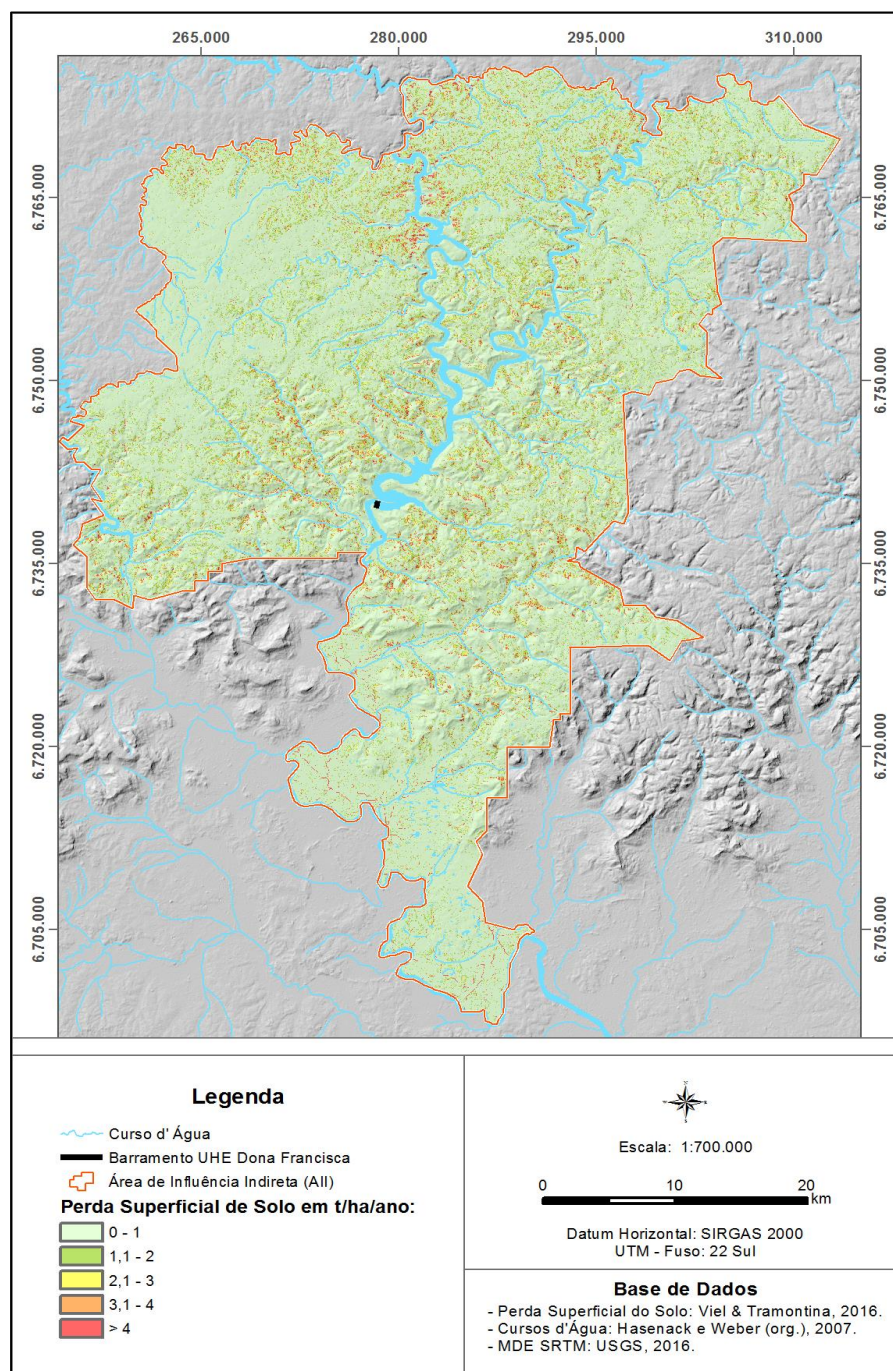


Figura 2. Perda de solo na área de influência indireta da Usina Hidrelétrica Dona Francisca, Rio Grande do Sul, Brasil.

A Tabela 3 representa a distribuição das classes de perda de solo de acordo com a classe de uso e cobertura da terra. Esses resultados permitem verificar os usos e coberturas da terra e sua contribuição para a perda de solo na área de estudo.

Tabela 2. Perda de solo na Área de Influência Indireta da UHE Dona Francisca.

Classe t/ha/ano	Área km <sup>2</sup>	Porcentagem em relação à área total
0 - 1	1751,22	83%
1,1 - 2	202,79	10%
2,1 - 3	81,83	4%
3,1 - 4	36,46	2%
> 4	45,55	2%
Total	2118,85	100%

Tabela 3. Distribuição das classes de perda de solo conforme a classe de uso e cobertura da terra.

Uso e Cobertura da Terra	Perda de solo (km <sup>2</sup> )				
	0 - 1 t/ha/ano	1,1 - 2 t/ha/ano	2,1 - 3 t/ha/ano	3,1 - 4 t/ha/ano	> 4 t/ha/ano
Agricultura / Pecuária	626,82	142,52	55,75	24,55	28,81
Solo Exposto	265,86	60,27	26,08	11,90	16,74
Floresta	815,61	x	x	x	x

Observa-se que a perda de solo em áreas com Floresta ocorre inteiramente na primeira classe de perda de solo de 0 - 1 t/ha/ano. Esse resultado demonstra a importância da cobertura vegetal no equilíbrio e conservação do solo, que atua na interceptação da água da chuva, evitando o impacto direto no solo e o escoamento superficial. Baldissera et al. (1989) apud Botelho e Silva (2004, p. 163) identificaram que a taxa de infiltração em diferentes tipos de solo sob mata nativa é muito superior à taxa de infiltração sob cultivo convencional. Nesse mesmo sentido, Caten et al. (2012) verificaram, na região central do Estado do Rio Grande do Sul, que o aumento de áreas ocupadas por usos conservacionista, como florestas, representou a diminuição de 44% da perda de solo ao longo do período de 19 anos.

As áreas com uso Agrícola e ou Pecuária foram as que mais contribuíram para a formação de sedimentos (erosão laminar), apresentando perdas de solos em todas as classes de perdas, incluindo a classe de perda superior a 4 t/ha/ano. Pode-se atribuir a isso, as práticas agrícolas desenvolvidas em áreas de grandes declividades, como é o caso do cultivo de fumo em áreas de encostas. E também, à expressividade dessa classe de uso e cobertura na área de estudo, que corresponde cerca de 40% da área total.

Ainda assim, os resultados obtidos são inferiores aos encontrados em trabalhos correlatos, em que a perda média de solo no Brasil para áreas com culturas anuais foi 15 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Bragagnolo e Pan, 2000) e, a perda média de solos em áreas com predomínio de uso agropecuário foi aproximadamente 5 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Neves et al., 2011).

A perda de solo em áreas de solo exposto foi pouco representativa, o que via de regra não ocorre. Contudo, como já destacado, grande parte das áreas de solo exposto mapeadas na área de estudo, estão relacionadas com o preparo do solo para o plantio do arroz em áreas de várzeas, ou seja, com baixa declividade.

Como demonstrado, vários foram os fatores que influenciaram para obtenção de tais resultados. Esses fatores, de forma integrada, estabelecem a dinâmica da perda de solos na área de estudo. Sendo assim, o Geoprocessamento, por meio dos SIGs, mostrou-se uma ferramenta eficaz para a análise e investigação dos processos que desencadeiam a perda de solos na AII da UHE Dona Francisca.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho demonstra-se a baixa vulnerabilidade da AII da UHE Dona Francisca à perda de solos por erosão laminar, a partir da execução da EUPS e o uso de ferramentas de Geoprocessamento e SIG.

A EUPS, mesmo apresentando algumas limitações no que tange a quesitos quantitativos, e nesse sentido destaca-se a necessidade de trabalho de campo para determinação dos parâmetros da equação, de modo qualitativo mostra-se eficaz, sendo possível o desenvolvimento de estudos de monitoramento contínuo espacial e temporal, e para a geração de cenários futuros.

Com relação aos fatores analisados, destaca-se que a falta de cobertura vegetal associada a elevadas declividades e precipitações intensas, são os principais agentes causadores da perda de solos, somado a esses fatores pode-se destacar o manejo inadequado.

O tipo de solo e sua localização na vertente também influenciam diretamente no processo, solos bem agregados são menos suscetíveis a perda de solos. Solos com baixa agregação geralmente estão relacionados com o material de origem e manejos inadequados realizados por práticas não conservacionistas.

A perda de solo depende de várias condicionantes, portanto, quanto maior for a degradação ambiental, maior será a perda de solo, desta forma, a análise da perda de solos pode colaborar como um indicador da qualidade ambiental da área estudada, pois a mesma reflete as condições do meio natural e social, objetivando uma visão holística do espaço. Sendo assim, os resultados obtidos e a base de dados gerada poderão contribuir para o monitoramento ambiental da região.

#### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pelo incentivo financeiro por meio da concessão de bolsas de Pós-Graduação aos dois primeiros autores.

#### Referências Bibliográficas

Bertonni, J. e Lombardi Neto, F. **Conservação do Solo**. 8ª ed. São Paulo: Ícone, 2012.

Botelho, R. G. M.; Silva, A. S. da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: Vitte, A. C.; Guerra, A. J. T (org.). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap 6. p. 153- 192.

Bragagnolo, N; Pan, W. A experiência de programas de manejo e conservação dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. In: MUÑOZ, H. R. (Org.) *Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da lei de águas de 1997*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p. 176-198.

Brasil. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Disponível em: > [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)<. Acesso em: 12 mai. 2015.

Caten, A. T.; Minella, J. P. G.; Madruga, P. R. de A. Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n. 9, p.1006–1014, 2012.

Carvalho, N. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2008.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. Banco de Dados GEOBANK. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

Denardin, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Downloads*: Geociência – Malhas digitais, municípios 2013. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP): Dados históricos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

Lepsch, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: **Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação do Solo**, 3., Recife, 1980. Anais...fl. 13 - A.

Lopes, F. B.; Andrade, E. M de.; Teixeira, A. dos S.; Caitano, R. F.; Chaves, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agroambiente Online**, v. 5, n. 2, p. 88-96, 2011.

Miqueloni, D.P.; Bueno, C. R. P.; Ferraudo, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.9, p.1358-1367, 2012.

Moore, I. D.; Burch, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1294-1298, 1986.

Neves, S. M. A. da S. et al. Estimativa de perda de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/MT. **Soc. & Nat.**, v. 23, n. 3, p. 423-434, 2011.

Observatório Sócio-Ambiental de Barragens - ETTERN/IPPUR/UFRJ. In: LISTA de Barragens. Rio de Janeiro: UFRJ. Disponível em: <<http://www.observabarragem.ippur.ufrj.br/barragens/9/dona-francisca>>. Acesso em: 23 mai. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto 52.751 de 07 de dezembro de 2015. Política Estadual da Conservação dos Solos e das Águas. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/DEC%2052.751.pdf>>. Acesso em: 22/09/2016.

Sanchez, R. B.; Marquez Junior, J.; Souza, Z. M. de; Pereira, G. T.; Martins Filho, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, p.1095-1103, 2009.

Silva, F. das G. B. et al. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Eng. Sanit. Ambient.** vol. 15, n. 2, 2010.

Stein, D. P.; Donzelli, P. L.; Gimenez, A. F.; Ponçano, W. L.; Lombardi, N. F. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema**. 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Anais. Marília. v.1, p. 105–135. 1987.

Tramontina, J. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra na Área de Influência da Usina Hidrelétrica Dona Francisca - RS**. 2016. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2016.

USGS- United States Geological Survey. Digital elevation: SRTM. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p.