



**APLICAÇÃO DE IMAGENS DO RADAR INTERFEROMÉTRICO (SRTM) NA AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE DA BACIA DO CÓRREGO CACHOEIRINHA, NOS MUNICÍPIOS DE CÁCERES E PORTO ESTRELA /MT**

**THE USE OF SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM) IMAGES TO EVALUATE THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF CÓRREGO CACHOEIRINHA WATERSHED, BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF CÁCERES AND PORTO ESTRELA /MT**

Sandra Mara Alves da Silva Neves

Ronaldo José Neves

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT Campus Universitário de Cáceres - Departamento de Geografia Av. São João, s/nº. Bairro: Cavalhada. Caixa Postal 242.78200-000 – Cáceres/MT, Brasil

ssneves\_geo@hotmail.com

rjneves\_geo@hotmail.com

Leonardo Franklin Fornelos

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ Escola Politécnica - Faculdade de Engenharia Civil

Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº - Bl - S/012b21941-590 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil

leofranklin@poli.uftj.br

**RESUMO**

As análises ambientais, na abordagem geográfica, fornecem suportes técnicos-científicos para geração dos zoneamentos, utilizados no planejamento ambiental. Nesta perspectiva faz-se necessário a avaliação das fragilidades dos ambientes, dentro da concepção ecodinâmica (Tricart, 1977), sustentada na teoria de sistema. Uma das metodologias de avaliação amplamente utilizada é a Equação Universal de Perda de Solos (USLE). Considerando os avanços em geotecnologias, através de novos sensores, este trabalho propõe a utilização de imagens de radar interferométrico (SRTM) para obtenção de uma das variáveis da USLE, o mapa de fator topográfico (LS). A área de estudo foi a bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, situada nos municípios de Cáceres e Porto Estrela/MT-Brasil. Os principais produtos elaborados foram mapas de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, fator topográfico, uso/manejo do solo e práticas conservacionistas. Esses mapas foram elaborados e combinados no ArcGis, possibilitando a quantificação das perdas de solo na bacia e a determinação da fragilidade conforme classificação proposta pela proposta pela FAO, UNEP e UNESCO (1980). O mapa de LS gerado a partir do SRTM evidenciou maiores detalhamentos das formas das vertentes, mostrando sua utilidade para o detalhamento e agilidade na produção dos mapas de perdas de solo e grau de fragilidade.

**Palavras-chave:** SRTM, USLE, fator topográfico, fragilidade ambiental, bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.



## ABSTRACT

The environmental analyses, on the geographical approach, provide technical and scientific support for the zoning generation, used in environmental planning. In this perspective it's necessary to evaluate the environmental vulnerabilities within the ecodynamical conception (Tricart, 1977), based on systems theory. One of the widely used evaluation methodologies, not only in the geographical environment, is the Universal Soil Loss Equation (USLE), using maps to spatialize and quantify its factors. Whereas progress have been made in the generation of Remote Sensing products, through new sensors, this paper proposes the use of SRTM elevation data to generate one of the USLE factors, the Length-Slope map. The studied area was córrego Cachoeirinha watershed, located in the municipalities of Cáceres and Porto Estrela, Mato Grosso - Brazil. The implementation involved the drafting of rainfall erosivity, soil erodibility, length-slope factor, crop/vegetation factor and support practices maps. These maps were combined in ArcGis, allowing the quantification of soil losses in the watershed and the determination of different fragility degrees, in conformity with the classification proposed by UNESCO (1980). The LS map generated from SRTM revealed more details on the hillside shapes. It's emphasized the greater agility to produce the soil loss maps, consequently the vulnerability, using SRTM.

**Keywords:** SRTM, USLE, length-slope factor, environmental fragility, córrego Cachoeirinha watershed / MT.

---

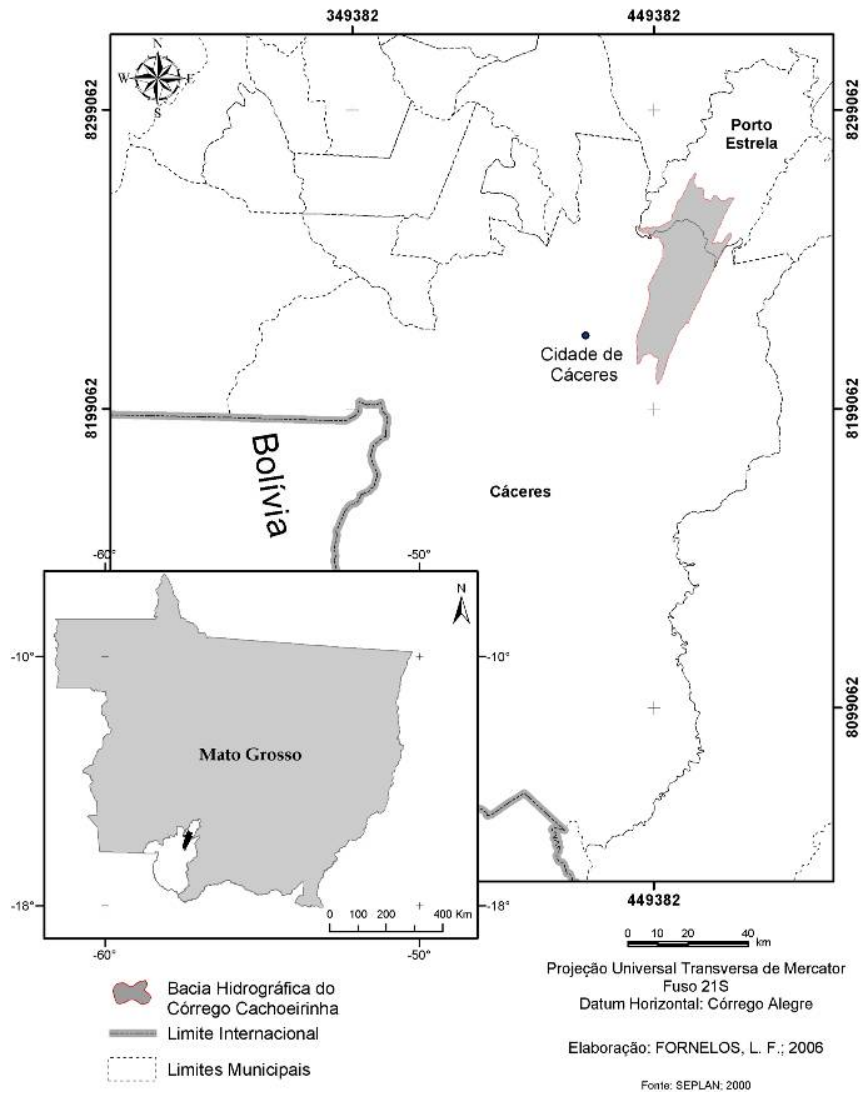
## 1. INTRODUÇÃO

As análises ambientais, na abordagem geográfica, fornecem suportes técnico-científicos para geração dos zoneamentos utilizados no planejamento territorial ambiental. Nesta perspectiva faz-se necessário a avaliação das fragilidades dos ambientes, dentro da concepção ecodinâmica (Tricart, 1977), sustentada na teoria de sistema.

Uma das metodologias úteis para a avaliação ambiental é a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), que utiliza mapas para espacialização e quantificação de suas variáveis. Considerando que houve avanços na geração dos produtos de sensoriamento remoto, através de novos sensores, este trabalho apresenta a utilização de imagens de radar interferométrico (SRTM) na operacionalização da USLE.

A área de estudo, bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, encontra-se situada entre os municípios de Cáceres (73,82%) e Porto Estrela (26,18%), na região sudoeste de Mato Grosso (Figura 1). O rio principal da bacia é o córrego Cachoeirinha, e os principais afluentes são os córregos do Desperdício, Mato Grande, Pindeívar, Formiga, Fundo e Barreiro Grande, da margem direita; e os córregos Anhumas e Figueirinha, da margem esquerda.

Na bacia ocorrem duas unidades geomorfológicas, a Província Serrana (Figura 2) e a Depressão do rio Paraguai. A geologia da área é constituída por rochas da era Pré-Cambriana e Cenozóica, do grupo Alto Paraguai e aluviões atuais, apresentando as formações Araras, Bauxi, Diamantino, Puga e Raizama. Os solos são do tipo Cambissolo, Glei Pouco húmico, Latossolo Vermelho Escuro, Planossolo Vermelho Escuro e Solos Litólicos. A vegetação é de Savana (Cerrado), apresentando variações de fitofisionomias. O clima é tropical de altitude, com inverno seco (maio - outubro) e chuvas no verão (novembro - abril). No sentido norte-centro da bacia a precipitação média anual varia de 900 a 1200 mm, e no sentido centro-sul varia de 1200 a 1500 mm. Nesta bacia encontra-se situado o distrito de Vila Aparecida, pertencente ao município de Cáceres (Figura 3). A pecuária é a principal atividade econômica, embora exista potencial para exploração do turismo.



**Figura 1-** Situação da bacia hidrográfica do Córrego Cachoeirinha nos municípios de Cáceres e Porto Estrela, no estado de Mato Grosso.



2)



3)

**Figura 2-** Serra da Morraria e da Cachoeirinha, na Província Serrana. Foto: Neves (2005).

**Figura 3-** Rua principal do distrito de Vila Aparecida. Foto: Neves (2005).



## 2. OBJETIVO

Utilizar as imagens SRTM nos procedimentos de execução da análise regional da fragilidade do solo da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação das fragilidades dos ambientes, dentro da concepção ecodinâmica (Tricart, 1977), sustentada na teoria de sistema foi utilizada a proposta de Ross (1994), que propõe a utilização da Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE), elaborada por Wischmeier e Smith (1978).

A equação da USLE é composta pelas seguintes variáveis:  $A = R \times K \times LS \times CP$ .

Cujos significados são:

A = Perda de solo em unidade de massa por unidade de área e unidade de tempo, mensurada por em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R = Fator relativo à erosividade das chuvas em  $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

K = Fator de erodibilidade do solo,  $t \text{ h Mj}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

LS = Fator topográfico da USLE, adimensional;

C = Fator de uso/manejo do solo, adimensional;

P = Fator de práticas conservacionistas de solo, adimensional.

O índice de erosividade das chuvas (fator R) foi calculado pela fórmula proposta por Lombardi Neto (1977), adaptada para a bacia hidrográfica do Alto Paraguai no âmbito do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997):  $EI = 6,866 * (p^2/P)^{0,86}$ , onde p= precipitação média mensal e P= precipitação média anual. A erosividade foi calculada para cada posto pluviométrico existente no entorno da bacia; e os dados foram interpolados utilizando a função *interpolate to raster* do software ArcGIS, gerando o mapa de fator R.

Para a avaliação da erodibilidade dos solos foi utilizado o mapa de tipos de solos da SEPLAN/MT (2000), onde foi associado para cada tipo o valor de K, compilados do relatório do PCBAP (1997).

O fator topográfico compreende o comprimento da vertente L que representa a distância entre o ponto onde se origina o escoamento superficial até o ponto onde a declividade decresce o suficiente para que ocorra a deposição de sedimentos, ou onde a água entra no sistema de canais de drenagem naturais ou artificiais. O gradiente de declividade (S) refere-se à variação da declividade, sendo expresso em porcentagem. Embora sejam calculados separadamente, estes parâmetros são representados para aplicação prática, como um único fator topográfico LS e sendo definido como a taxa de perda de solo por unidade de área de uma parcela-padrão de 22,13 m de comprimento e 9% de declive (Wischmeier e Smith, 1978). No Brasil, o cálculo do fator topográfico para a USLE foi desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (1985); expresso através da equação:  $LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18}$ , onde D = grau de declive, em porcentagem; e C = comprimento de rampa do terreno, em metros.

Tradicionalmente, para a geração dos modelos digitais de terreno é necessário a digitalização das curvas de nível das cartas topográficas, porém com o uso das imagens SRTM este processo não é necessário, pois trata-se de produtos de interferometria, ou seja, são modelos de elevação do terreno (MDE). Um modelo MDT é obtido com dados reais da elevação do relevo, já um MDE é um modelo de elevação do relevo e pode ser influenciado por árvores, prédios e etc. já um MDT não, pois usa-se dados obtidos através de topógrafos. Na perspectiva desta pesquisa, o MDE utilizado foi gerado a partir do mosaico das cenas 057640 e 057678 do radar interferométrico (SRTM), banda C e X, com resolução espacial de 90 x 90m, obtidas gratuitamente no site <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

O processamento digital das cenas incluiu: geração de mosaico, verificação de ocorrência de valores de altitude negativos e inexistência de valores de altitudes (buracos) e conversão de projeção. O mosaico

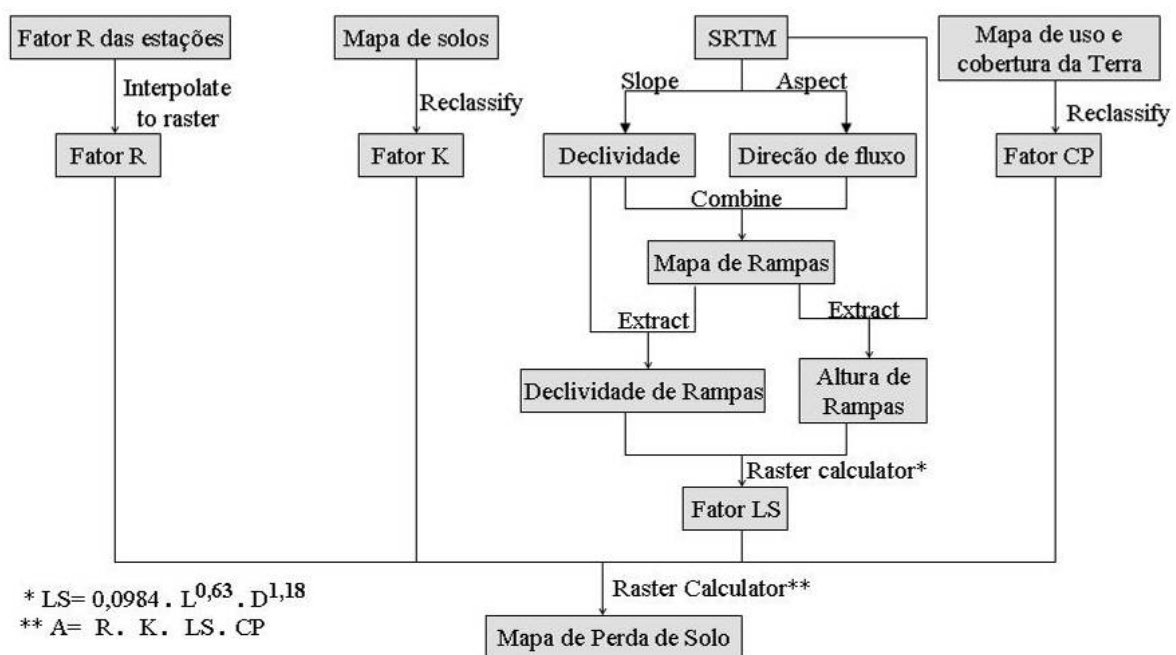


de imagens de radar, no formato raster, foi trabalhado no módulo *ArcMap* do ArcGIS, na extensão *Spatial Analyst*, via comandos *slope* e *aspect*, resultando nos mapas clinográfico (declividade) e de direção de fluxo (aspecto). Esses mapas foram reclassificados e combinados de modo a gerar o mapa de rampas homogêneas.

O mapa gerado foi agrupado em polígonos, cada um com uma identidade, gerando o mapa de rampas. Após foram extraídos os rasters de declividade média de rampa e de altura de rampa a partir do mapa de declividade e do MDE (SRTM). O mapa de comprimento de rampa foi gerado utilizando a fórmula  $C = h/sen\hat{a}$ , onde  $C$  é o comprimento de rampa em metros,  $h$  é a diferença de altura da rampa em metros e  $\hat{a}$  é a declividade média do polígono em graus. O mapa do fator LS foi obtido utilizando o algoritmo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1985).

O fator uso/manejo do solo ( $C$ ) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. Enquanto o fator  $P$  é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (Bertoni e Lombardi Neto, 2005). No âmbito desse trabalho, foi considerado um fator  $P$  igual a 0.5 para as áreas agrícolas, e de 1 para as demais áreas da bacia hidrográfica. O mapeamento para elaboração do fator  $CP$  foi obtido junto a SEPLAN/MT, e representa a situação apresentada no ano de 2000.

Para geração dos mapas temáticos e a operacionalização dos fatores da USLE (Figura 4) foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, implementadas através do sistema de informação geográfica Arcgis.



**Figura 4** - Esquema metodológico da operacionalização da USLE. Fonte: Fornelos e Neves (2007).

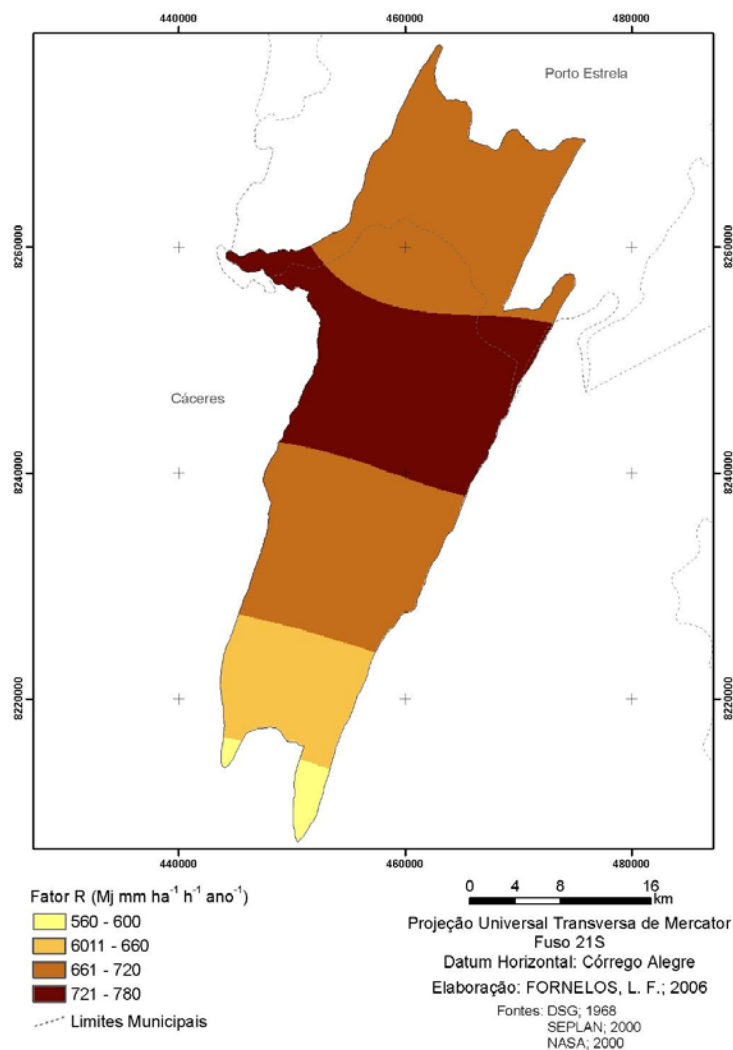


#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os mapas temáticos gerados da bacia do córrego Cachoeirinha para obtenção dos índices de perda média de solo, via USLE, a ser aplicado na análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados da área de estudo.

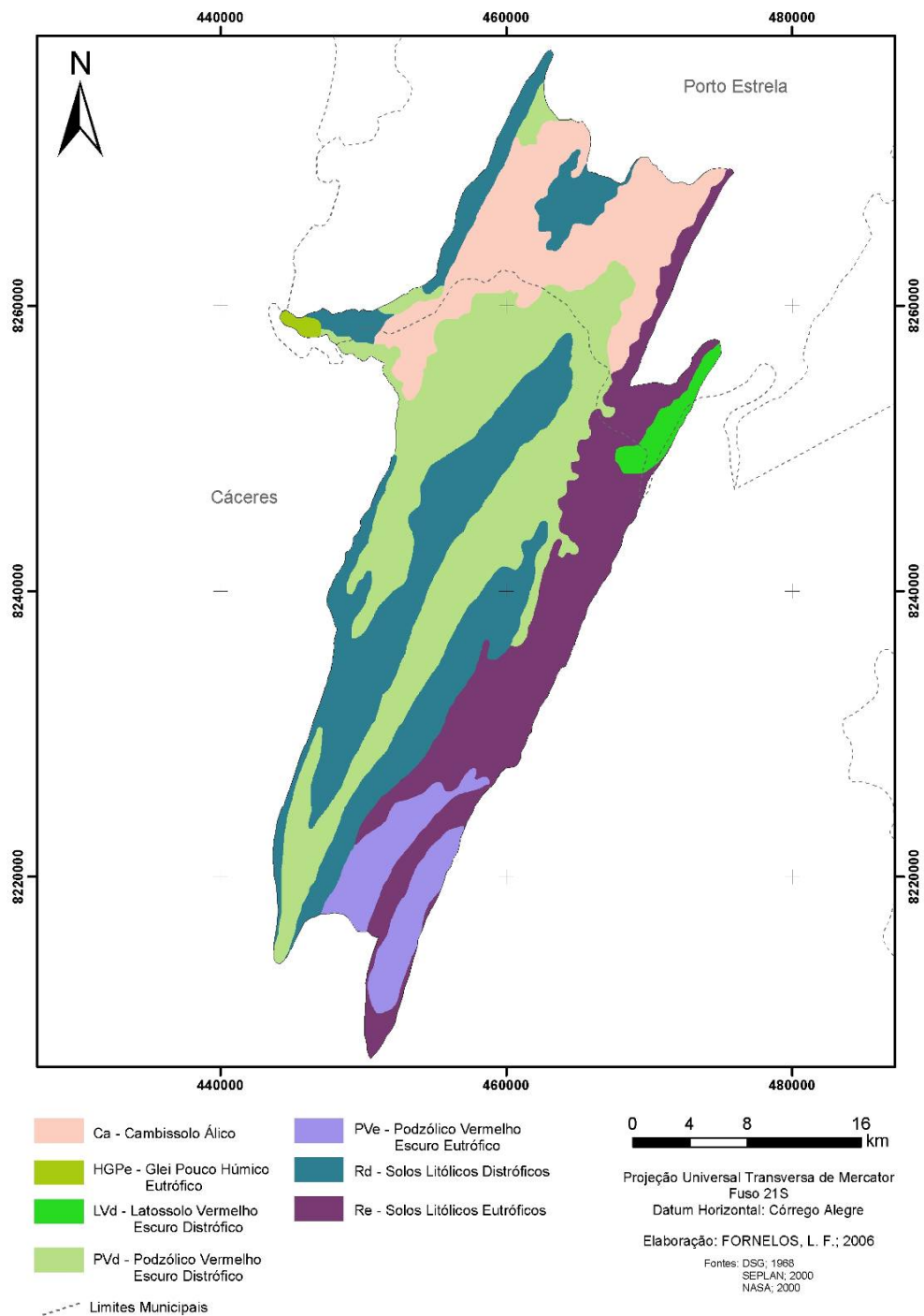
O mapa (Figura 5) foi gerado a partir dos valores médios anuais de precipitação das estações dos municípios de Porto Estrela, Cáceres e municípios vizinhos e representa os valores de erosividade anual das chuvas. A erosividade média anual das chuvas na área de estudo, no período de 1994 a 2003, variou de 560 a 780  $Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ , esses valores são considerados baixos, segundo a literatura, pois estão abaixo de  $7.000\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ .

A área investigada está inserida na bacia do Alto Rio Paraguai, apresentando em algumas regiões elevados índices de erosividade. Pode-se perceber que os maiores valores estão ao norte do município de Cáceres e que há um decréscimo da erosividade no sentido sul da bacia.



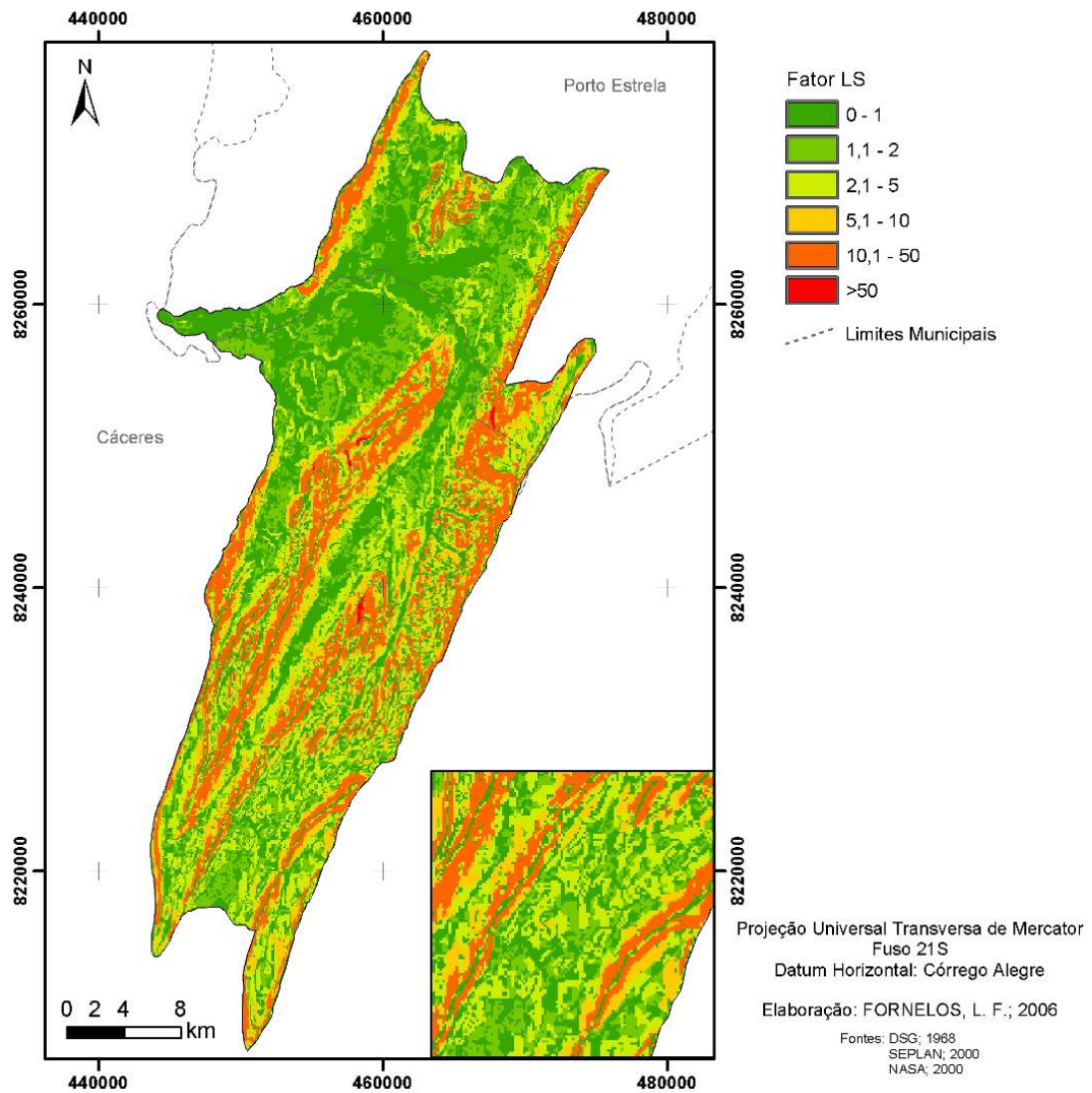
**Figura 5-** Espacialização da erosividade anual das chuvas na bacia do córrego Cachoeirinha/MT.

A erodibilidade das classes de solo, foi obtida por meio da espacialização das classes de solo (Figura 6) e os valores de erosividade dessas classes, gerando assim o mapa de fator K. Os solos litólicos, Podzólicos e Cambissolos são de alta erodibilidade. Os Cambissolos, que apresentaram maior índice de erodibilidade  $0,55\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ , estão localizados na parte norte da bacia, no município de Porto Estrela.



**Figura 6-** Distribuição das classes de solo da bacia do Córrego Cachoeirinha/MT.

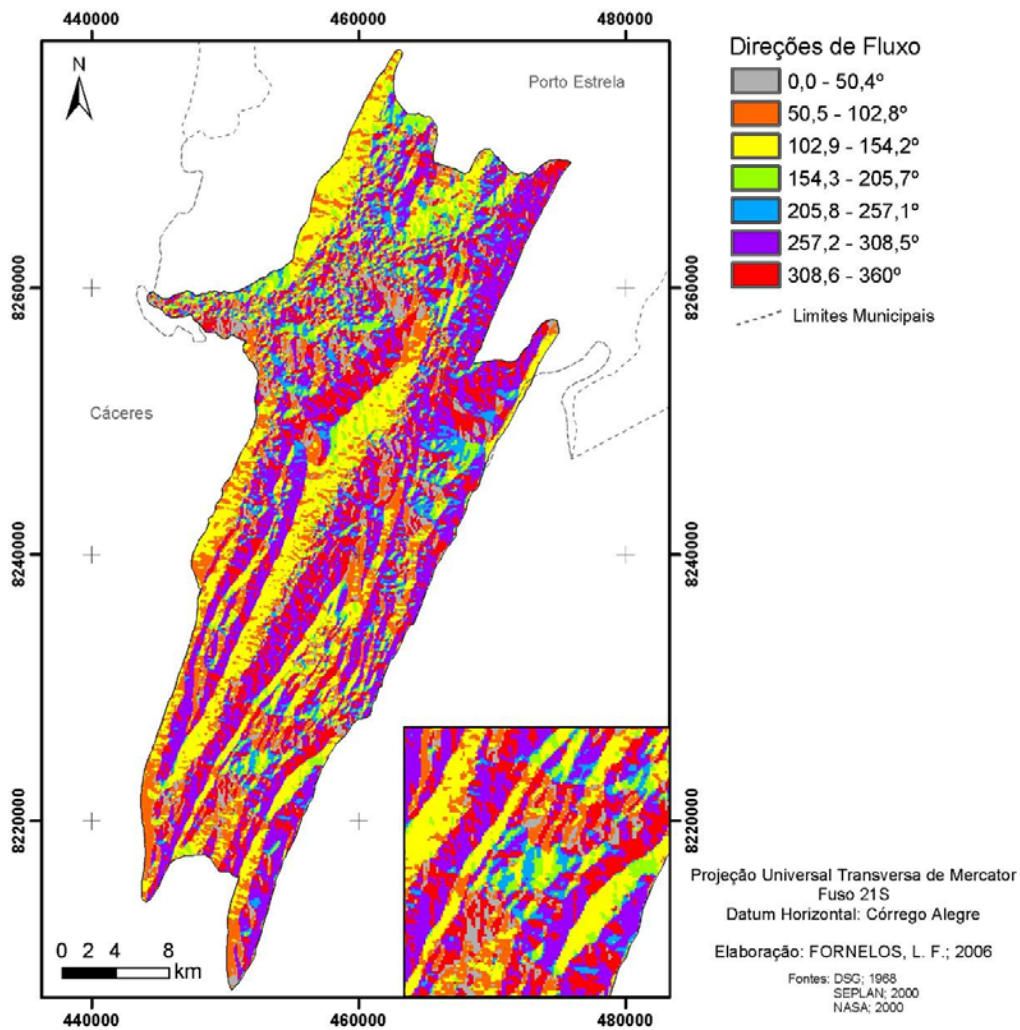
O fator LS (Figura 7) é um dos fatores mais importante da Equação Universal de Perdas de Solo, porque influi mais na variação da erosão bruta do que qualquer um dos outros fatores, exceto fator manejo do solo (Williams & Berndt, 1977). Na perspectiva deste artigo, cabe destacá-lo visto que para sua geração, a partir do SRTM, é necessário gerar outros dois produtos intermediários.



**Figura 7-** Mapa do fator topográfico da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.

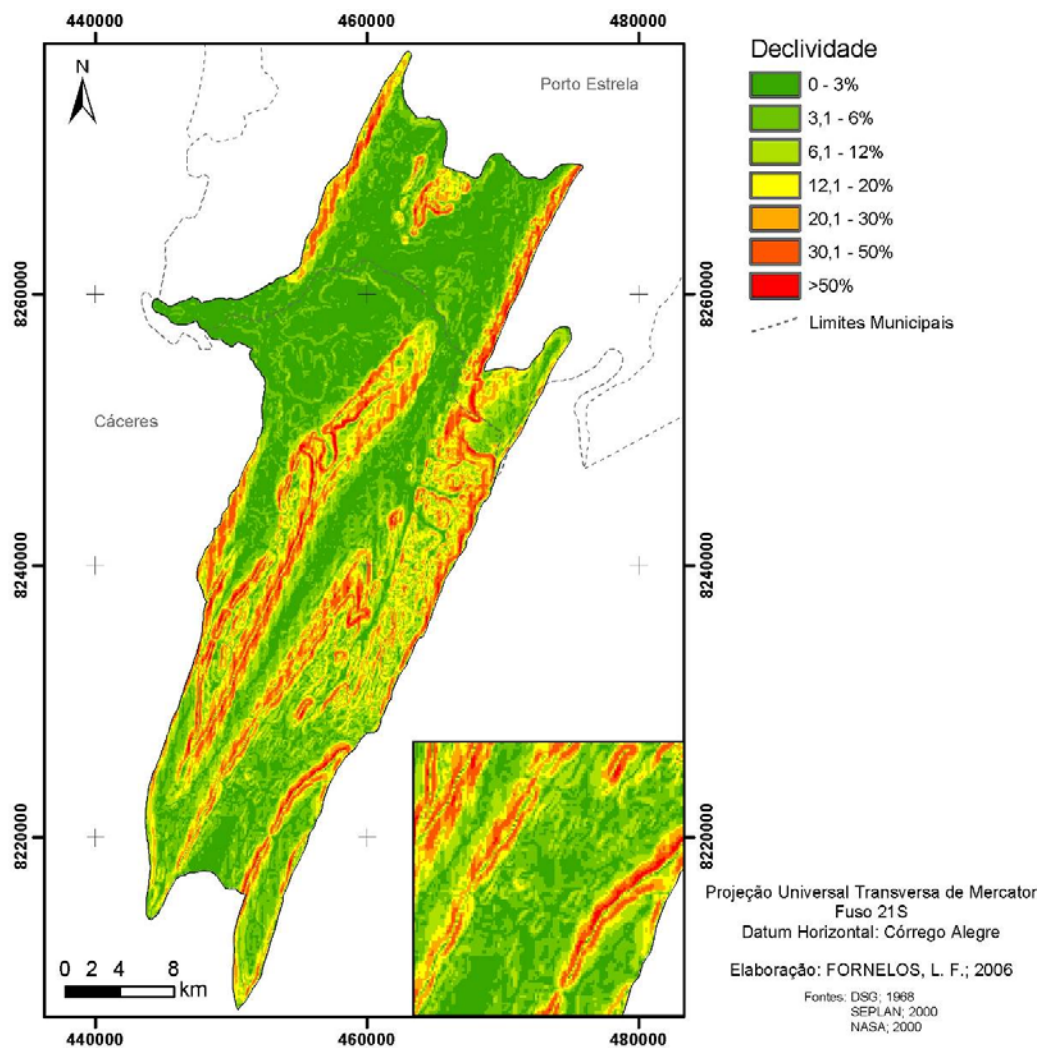
O primeiro produto é o mapa (Figura 8) que representa as vertentes ou rampas, e a partir dele é obtido o índice de comprimento das rampas.





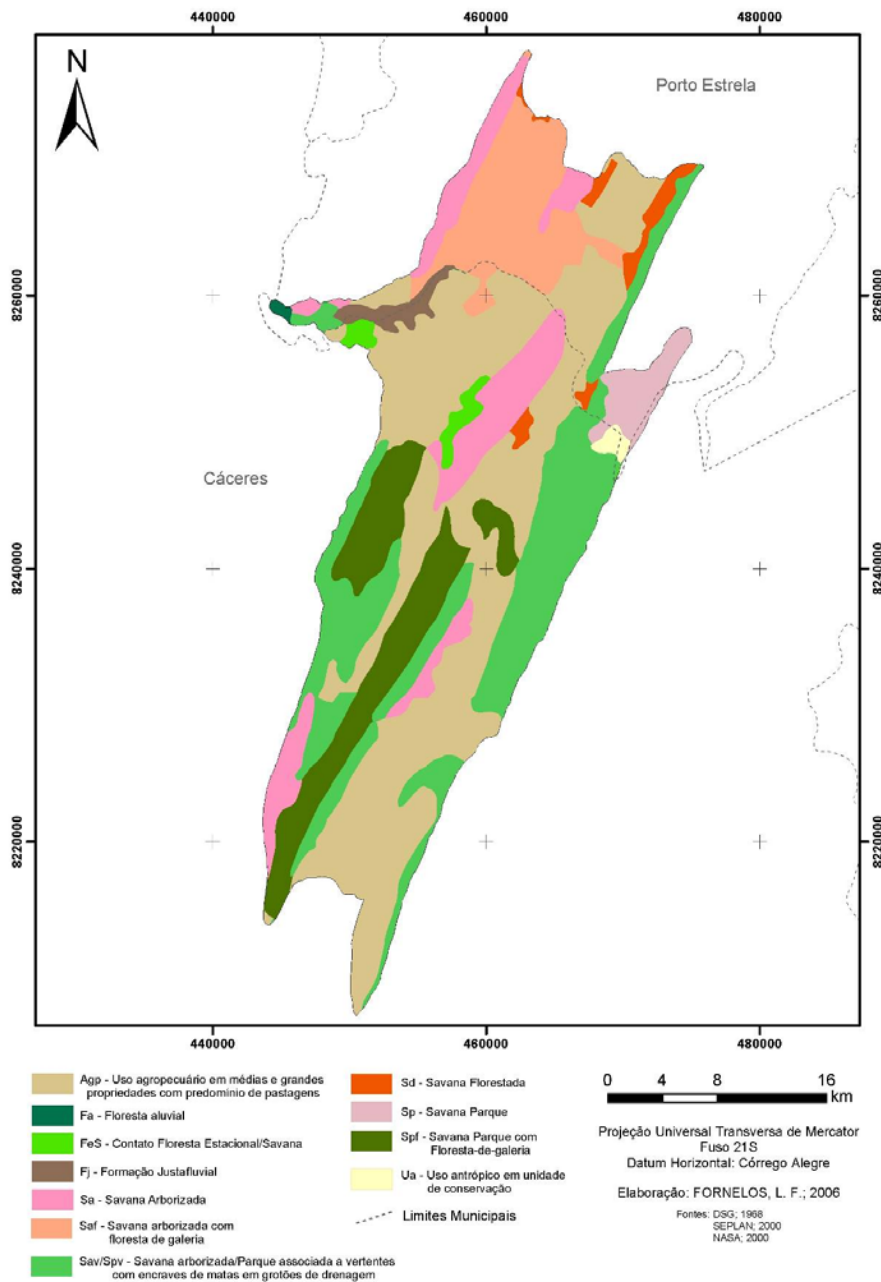
**Figura 8-** Espacialização das rampas da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.

O segundo é o mapa clinográfico (Figura 9) que representa a declividade média das vertentes ou rampas. Da combinação de ambos estima-se o fator LS.



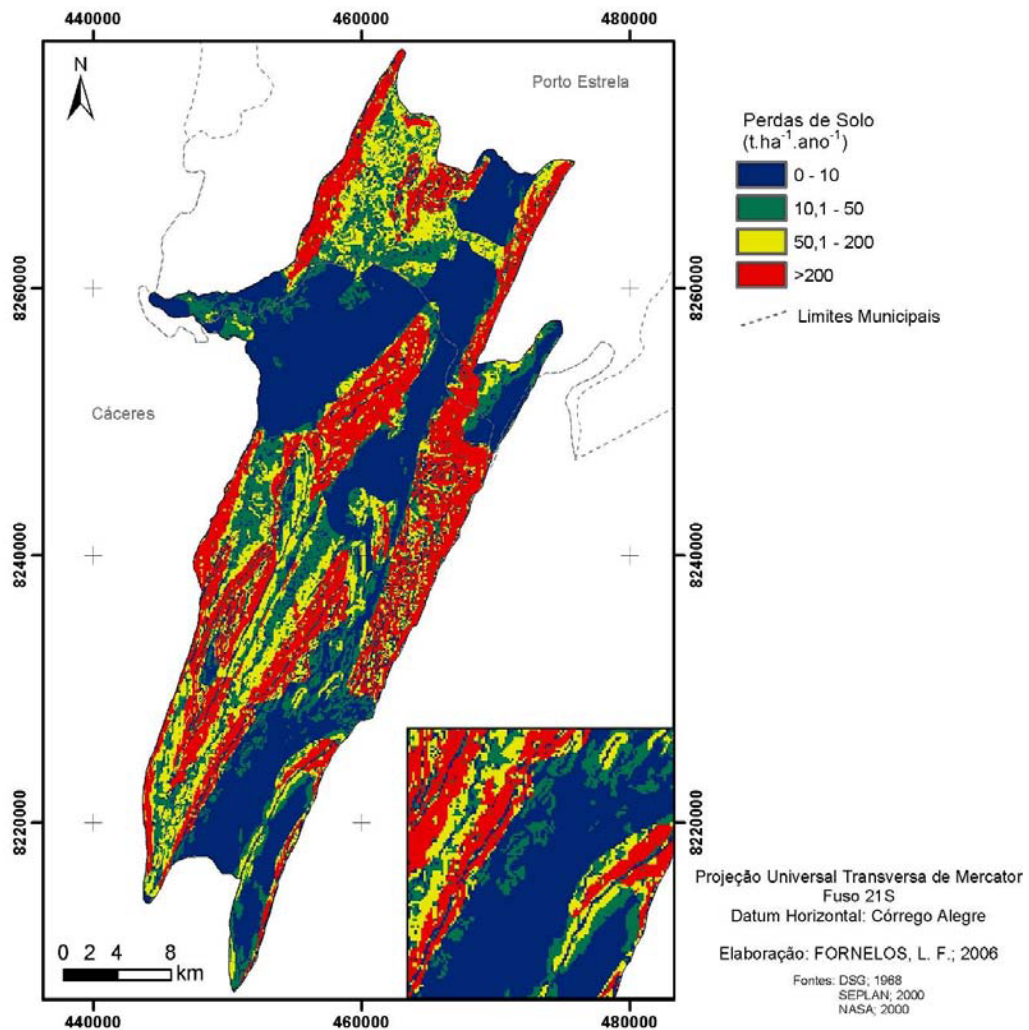
**Figura 9-** Mapa clinográfico gerado a partir das imagens de SRTM. No canto esquerdo, parte da imagem foi ampliada com a finalidade de evidenciar os detalhes, estes não são representados no mapa gerado a partir das curvas hipsométricas das cartas topográficas (1:100.000), conforme testes realizados por Fornelos e Neves (2007).

Ao associar as classes de uso da terra e cobertura vegetal (Figura 10) os valores do fator C, referente às práticas conservacionistas, foi possível gerar o produto cartográfico que representa os fatores C e P ou simplesmente “CP” da equação para a bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha.



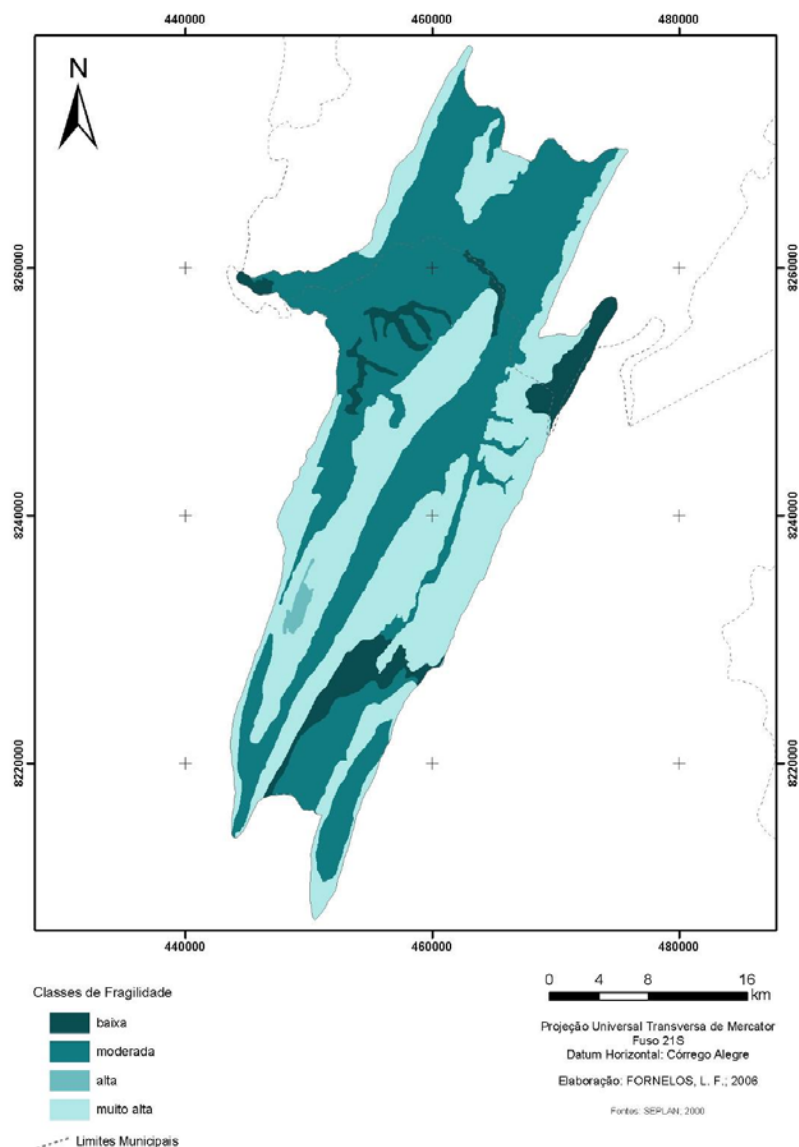
**Figura 10-** Uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.

A perda estimada através da USLE utilizando as imagens do radar interferométrico foi de 219,6 T/ha.ano (Figura 11). Nesse sentido, vale lembrar que os valores quantitativos de perda estimada por esse modelo de simulação é uma primeira aproximação, pois trata-se de uma análise preliminar da distribuição espacial da erosão hídrica laminar da área de estudo. Para estudos futuros, é necessário uma verificação em campo, através de experimentos, os quais irão contribuir para obtenção de dados mais precisos desta primeira análise quantitativa da estimativa de perda de solo com o uso da técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.



**Figura 11**-Distribuição das perdas de solo da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha/MT.

No mapa (Figura 12) estão representadas as classes de fragilidade da área de estudo obtidas a partir da classificação do grau de erosão hídrica laminar (perda de solo) segundo critérios propostos pela FAO, UNEP e UNESCO (1980).



**Figura 12-** Mapa de fragilidade da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha gerado a partir do grau de erosão hídrica laminar

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Verificou-se a viabilidade de uso das imagens do radar interferométrico (SRTM) na operacionalização da USLE, tendo como ponto favorável a praticidade e a minimização de custos e tempo na execução dos trabalhos e pelos produtos gerados a partir do SRTM apresentarem maior detalhamento em relação aos gerados pelo MNT (carta topográfica) para grandes áreas.

No intuito de atender o objetivo proposto, mostrar a aplicação do SRTM no estudo da fragilidade, viabilizado através da USLE, não foi possível discorrer satisfatoriamente a respeito dos resultados gerados pelos produtos cartográficos e percentuais estimados via geoprocessamento. Nesse sentido, sugere-se numa próxima oportunidade apresentar um artigo que os apresente e discuta.

### Nota

Este artigo foi gerado no âmbito da pesquisa: “*Erosão laminar do solo e qualidade da água na Bacia do Alto Rio Paraguai – MT: Procedimentos metodológicos de educação e avaliação ambiental*”, com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – Fapemat.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, R. S. 2006. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos Através de Sensores Orbitais. 172 f. Tese (Doutorado) - Programa de pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 2005. Conservação do solo. 5 ed. Piracicaba/SP: Ícone editora. 355 p.
- FAO. 1980. Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos. Roma: FAO/PNUMA: UNESCO. 86p.
- Fornelos, L. F.; Neves, S. M. A. S. 2007. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. *Revista Brasileira de Cartografia*, abr, nº. 59/01, p. 25-33.
- Larson, W. E.; Lindstrom, M. J.; Schumacher, T. E. 1997. The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration. *Journal of Soil and Water Conservation*, mar/apr. vol.52, nº 2, p. 90 - 95.
- Lombardi Neto, F. 1977. *Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil*. Master of Science, Purdue University, West Lafayette, 53 p.
- Mansor, M. T. C.; Ferreira, L.; Roston, D. M.; Teixeira Filho, J. 2002. Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão. In: *I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*. Aracaju/SE. *Anais...* CD ROM.
- Ross, J. L. S.; 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do departamento de geografia*, n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, p. 63-74.
- Tricart, J. *Ecodinâmica*. 1977. Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE, 97p.
- Weill, M. A. M.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. 2001. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (SP). In: *Simpósio nacional de controle de erosão, 7*, Goiânia. *Anais...* CD ROM.
- WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. 1977. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds. In. SCSA (ed): *Soil erosion: prediction and control*, Ankeny, p. 217-225.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook*, 537. USDA, Washington, D.C., 57p.
-