

Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo

Leonardo Franklin Fornelos¹
Sandra Mara Alves da Silva Neves²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Escola Politécnica - Faculdade de Engenharia Civil
Av. Brigadeiro Trompowski, S/nº - B1 – S/012
21941-590 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil
leofranklin@poli.ufrj.br

² Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
Campus Universitário de Cáceres - Departamento de Geografia
Av. São João, S/nº. Bairro: Cavallhada. Caixa Postal 242.
78200-000 – Cáceres/MT, Brasil
ssneves@unemat.br

Resumo. Considerando os avanços na geração dos produtos de Sensoriamento Remoto, este trabalho propõe a utilização de MDE gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na geração de um dos fatores da USLE, o fator topográfico (LS), que considera a relação entre o comprimento da encosta e sua declividade. Convencionalmente, este fator é gerado a partir de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), obtido da digitalização da hipsometria das cartas topográficas. A área escolhida foi a bacia do Córrego Cachoeirinha, situada nos municípios de Cáceres e Porto Estrela/MT. Foram elaborados mapas de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, fator topográfico e uso/manejo do solo e práticas conservacionistas. Gerou-se dois mapas de fator LS, um a partir do Modelo Numérico de Terreno (MNT) e outro através do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido das imagens SRTM. Esses mapas foram elaborados e cruzados no SIG ArcGis, gerando os mapas de perdas de solo, que foram quantificadas e comparadas, conforme classificação do grau de erosão hídrica proposta pela FAO, UNEP e UNESCO (1980). Ao se analisar os mapas de LS, percebeu-se maiores detalhamentos das formas das vertentes no modelo gerado pelo SRTM, o que mostra uma maior definição oferecida por esse produto e maior agilidade na produção dos mapas de perdas de solo, uma vez que dispensa trabalhos relativos a digitalização da hipsometria, além da geração do próprio MDT a partir do MNT. Esta sugestão de alteração na metodologia visa a execução de análises ambientais em áreas que não possuem mapeamentos sistemáticos compatíveis até a escala 1:100.000.

Palavras-chave: SRTM, USLE, fator topográfico, fragilidade ambiental, BAP/MT.

Abstract. Considering the advances in the generation of Remote Sensing products, this work proposes the utilization of DEM derived from Interferometric radar images (SRTM) to generate one of the factors of USLE, the length-slope factor (LS). This factor considers the relation between the length of the hillside and its slope. Usually, it's generated from the digitizing of topographic maps contours. The chosen area was Córrego Cachoeirinha watershed, located in the cities of Cáceres and Porto Estrela/MT. Maps of rainfall erosivity, soil erodibility, length-slope factor, land cover and conservation practices have been made. It generated two maps of LS factor, one from the hypsometry and another from the Digital Elevation Model (DEM) obtained from the SRTM images. These maps were made and crossed in the software ArcGis, generating maps of soil losses, which were quantified and compared, according to the classification proposed by FAO, UNEP and UNESCO (1980). Analyzing the LS Maps, the model generated by SRTM showed larger details of the slope shape, that shows a bigger definition offered by that product and less time in the production of soil losses maps, since it avoids not only the job of the hypsometric digitizing, but also the DEM generation from the contours. This proposal of methodology changing aims the execution of environmental analyses in areas that do not own compatible systematic mappings up to the scale of 1:100.000.

Key-words: SRTM, USLE, length-slope factor, environmental fragility, BAP/MT.

1- Introdução

A avaliação da distribuição espacial dos principais fatores responsáveis pela erosão, provocadas pelas chuvas, pode ser realizada via operacionalização da Equação Universal de Perda de Solo em ambiente SIG. Segundo Larson *et. al.* (1991) o plano básico da USLE “ é prever a médio e longo prazo a erosão do solo, com base em séries de longos períodos de coleta de dados, e a partir daí promover o planejamento de práticas conservacionistas para reduzir as perdas de solos a níveis aceitáveis.”

A 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 01**).

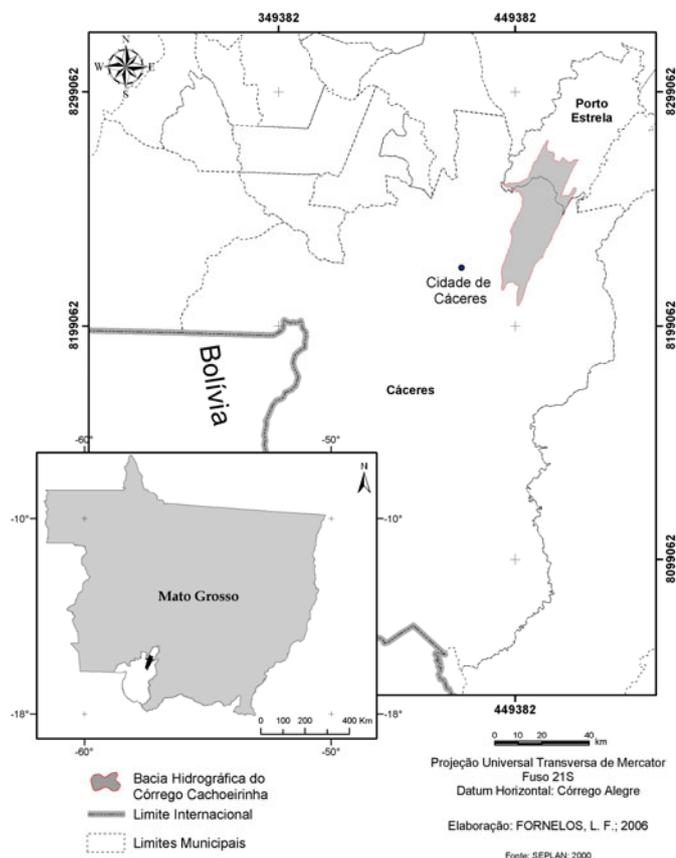


Figura 01- Localização da área de estudo

Tendo rio principal o córrego Cachoeirinha, tendo como principais afluentes, da margem direita, os córregos do Desperdício, Mato Grande, Pindeívar, Formiga, Fundo e Barreiro Grande; e margem esquerda, os córregos Anhumas e Figueirinha. A bacia está inserida em duas unidades geomorfológicas, Província Serrana e 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 da Região são do tipo: Cambissolo, Gleí Pouco húmico, Latossolo Vermelho Escuro, Planossolo Vermelho Escuro e Solos Litólicos. A vegetação é de Savana, apresentando variações de fisionomias. O clima é tropical de altitude, terceiro megatérmico (a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C), 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 1200mm, e no sentido centro-sul, de varia de 1200 a 1500mm. A pecuária é a principal atividade econômica, embora exista potencial para exploração do turismo. Na bacia encontra-se situado o distrito de Bezerra Branco, que possui: correio, escola municipal de ensino fundamental e médio, telefone, luz, água tratada, entre outros.

2- Objetivos

Esta pesquisa objetiva estimar a perda de solo através do uso do MDE derivado de imagens de SRTM para obtenção do fator topográfico da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), comparando o resultado obtido com a perda estimada a partir do MDE derivado de curvas hipsométricas.

3- Material e Métodos

Visando estimar a perda de solo da Bacia do Córrego Cahoeirinha para o ano de 2000 foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation – USLE*), proposta por Wischmeier e Smith (1978). A equação da USLE é composta pelos seguintes parâmetros: $A = R \times K \times LS \times CP$. 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 $Mj \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

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.

A determinação do fator LS pode ser efetuada a partir de mapas de declividade e de comprimento de rampa obtidos por meio de SIG. Os mapas de declividade são facilmente gerados a partir de MDE, mas os mapas de comprimento de rampa exigem certas operações para serem obtidos (Rocha et al., 1996).

A discretização espacial do fator LS é um dos maiores desafios para a modelagem matemática da erosão principalmente, tendo em vista a grande complexidade do relevo em uma bacia hidrográfica (Mansor et al., 2002). Para Weill (2001), a estimativa automatizada dos comprimentos de vertente dentro do SIG, especialmente nas áreas com vegetação natural ou em áreas de cultura sem terraceamento, continua sendo um fator limitante da modelagem da erosão.

Buscando contribuir na minimização das dificuldades de se calcular o fator topográfico (LS), procurou-se nesse trabalho desenvolver uma metodologia e/ou rotina para o cálculo

desse fator no SIG ArcGIS, software amplamente utilizado na atualidade em estudos ambientais (**figura 02**).

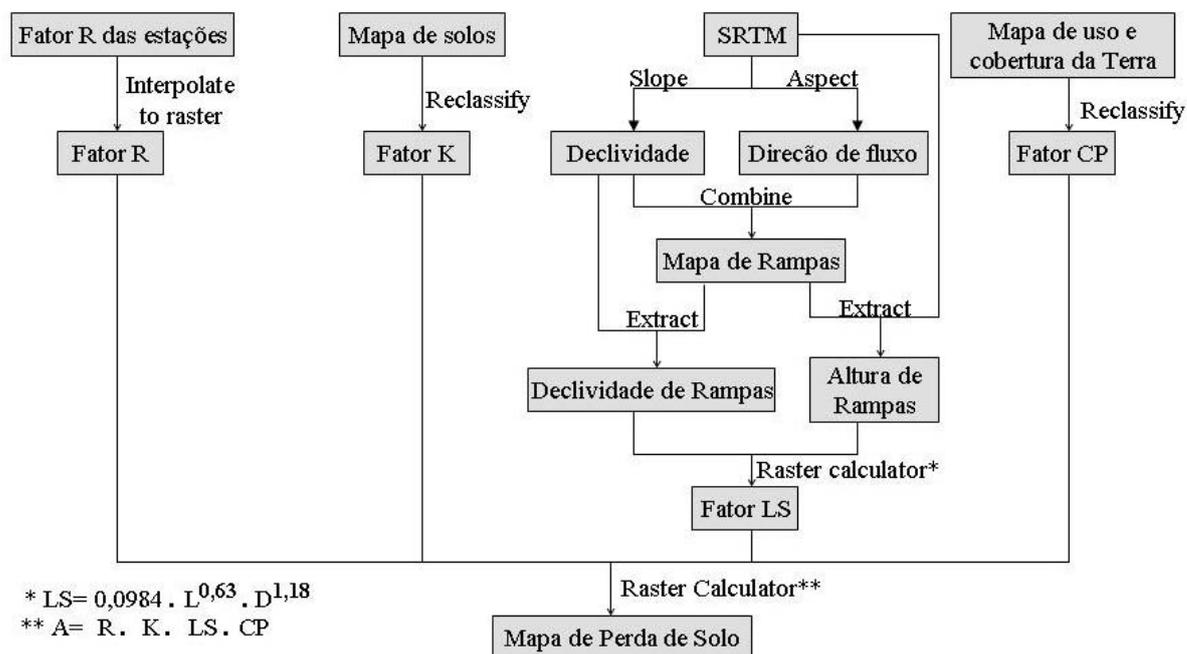


Figura 02 - Esquema metodológico da operacionalização da USLE.

A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para cada fator da USLE.

3.1-Fator R (Erosividade das chuvas)

Decorrente da ausência de pluviógrafos nas estações meteorológicas da Bacia hidrográfica do Alto rio Paraguai - BHARP foi adotada a metodologia proposta por Lombardi Neto (1977) para determinar a erosividade anual das chuvas, utilizando os dados de chuva coletados através de pluviômetros das estações pluviométricas contidas na BHARP. O período de 1994 a 2003, dez anos sucessivos, foi definido por não conter falhas de dados de precipitação na série superiores a 30% da amostra. O preenchimento das falhas foi realizado através de regressão linear simples, utilizando o *software* Origin 7.5.

A erosividade média mensal das chuvas foi calculada através da fórmula $EI = 6,866 \cdot (p^2/P)^{0,86}$, onde p = precipitação média mensal e P = precipitação média anual. Essa equação foi adaptada para a Bacia do Alto Paraguai (BAP) no âmbito do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997). A erosividade média anual das chuvas (fator R) é obtida pela soma das erosividades médias mensais de cada estação da Bacia. O mapa de fator R foi gerado no SIG Arcgis, a partir da inserção da tabela (formato *dbase*) com distribuição espacial das estações (coordenadas UTM das estações) e seus respectivos valores de erosividade. A interpolação dos valores que representam à variação espacial da erosividade foi efetuada através do método de *Spline*. A interpolação foi gerada na extensão *Spatial Analyst*, obtendo como resultado um arquivo matricial de curvas iso-erodentes da bacia, a ser utilizado na geração do mapa final de perda de solo.

3.2- Fator K (Erodibilidade do solo)

Para a avaliação da erodibilidade dos solos partiu-se do levantamento de solos realizados pela Secretaria de Planejamento do estado de Mato Grosso – SEPLAN (2000), na escala de

1:250.000, no formato digital. As classes de solos foram agrupadas, ignorando os aspectos ligados à fertilidade (álícos, distróficos e eutróficos), gerando um mapa de tipos de solos, onde foi associado para cada tipo o valor de K, compilados do relatório do PCBAP (1997).

2.3- Fator LS (Fator topográfico)

O fator LS 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). O comprimento da vertente L 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 de declividade em intervalos de vertentes, 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: $LS = 0,00984.C^{0,63}.D^{1,18}$, 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 utilizado um MNT elaborado a partir da digitalização das curvas de nível das cartas topográficas. Na perspectiva desta pesquisa, o MDE utilizado foi o gerado a partir do mosaico das cenas 057640 e 057678, do radar interferométrico (SRTM), banda C, 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 MDE, no formato raster, foi trabalhado no módulo *ArcMap* do ArcGIS, na extensão *Spatial Analyst*, resultando nos mapas clinográfico (declividade) e de orientação (aspecto). Esses mapas foram reclassificados e combinados de modo a gerar o mapa de rampas homogêneas. O mapa gerado foi agrupado em polígonos, gerando o mapa de rampas.

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 $C = h/\text{sen}\alpha$, onde C é o comprimento de rampa em metros, h é a diferença de altura da rampa em metros e α é a declividade média do polígono em graus. O mapa do fator LS foi gerado usando o algoritmo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (1985). O procedimento descrito acima foi analogamente utilizado para a geração do fator LS a partir do MNT.

2.4- Fatores C (uso/manejo do solo) e P (Práticas conservacionistas)

Para Bertoni e Lombardi Neto (2005) 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.

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. Para elaboração do mapa de fator C, foi necessário obter os arquivos digitais das cartas do mapeamento de uso e

cobertura da Terra do estado de Mato Grosso junto a SEPLAN (2000), na escala de 1:250.000. As cartas passaram pelo processo de edição entre folhas e recorte pela máscara da bacia, resultando em um arquivo único. Neste arquivo foram associados os valores de C e P para cada tipo de uso ocorrente, conforme proposto no PCBAP(1997). O arquivo foi convertido para o formato raster, utilizando o valor de CP, onde $CP = C \cdot P$.

A integração de todos os fatores da USLE para a obtenção da perda de solo para o ano de 2000, foi realizada separadamente para cada um dos procedimentos.

4- Resultados e Discussão

Os mapas de faixas hipsométricas, clinográfico e direção de fluxo (**figuras 03, 04 e 05**) mostram as diferenças qualitativas, entre os modelos digitais de elevação gerados pelo MNT e pelo SRTM. Observa-se ganho de informação nos produtos derivados do SRTM, que pode ser observado detalhadamente nos recortes nas partes inferiores das figuras.

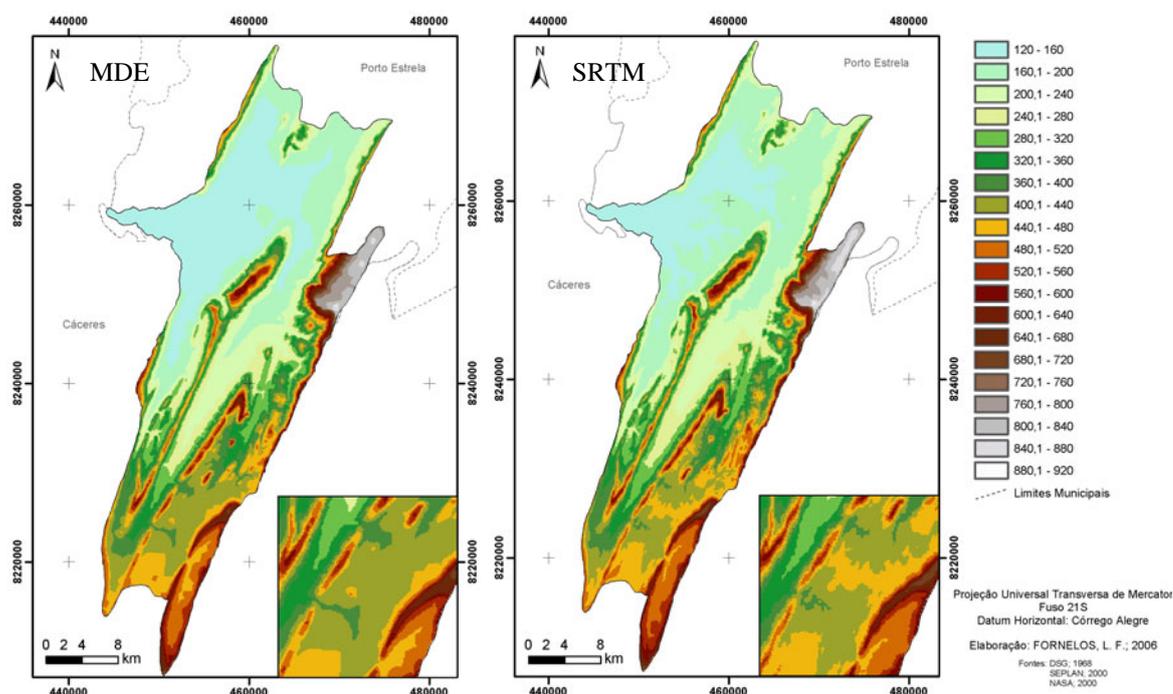


Figura 03 – mapas de faixas hipsométricas.

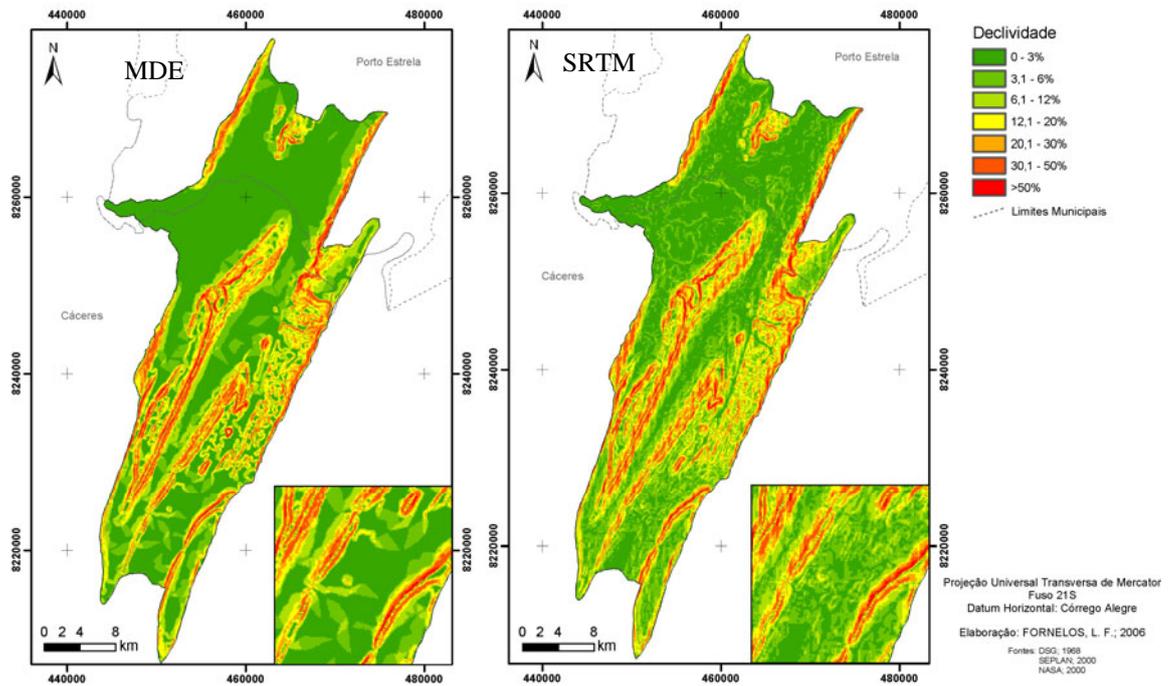


Figura 04 – mapas clinográficos.

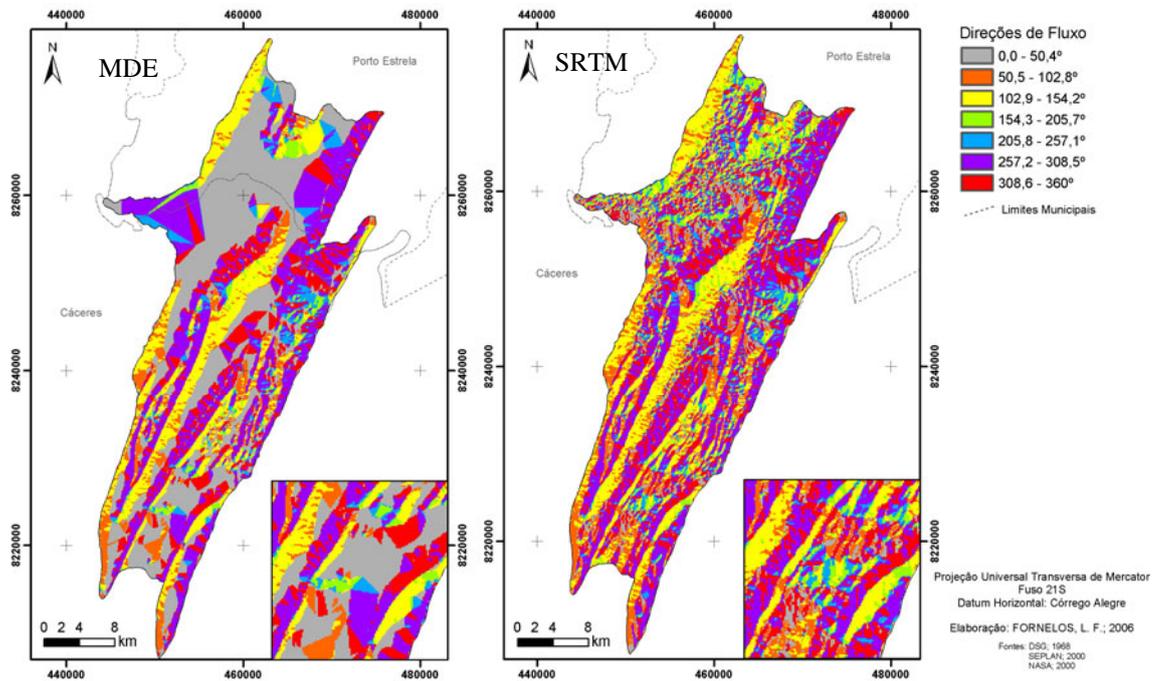


Figura 05 – mapas de direção de fluxo.

Na **figura 06** é apresentado os mapas de LS onde percebe-se o maior detalhamento do obtido pelo SRTM, evidenciando faixas de LS mais baixas. Essa diferença é devida ao maior detalhamento em áreas mais planas, onde o LS é mais baixo (altura de rampa < que 40 m, com baixas declividades).

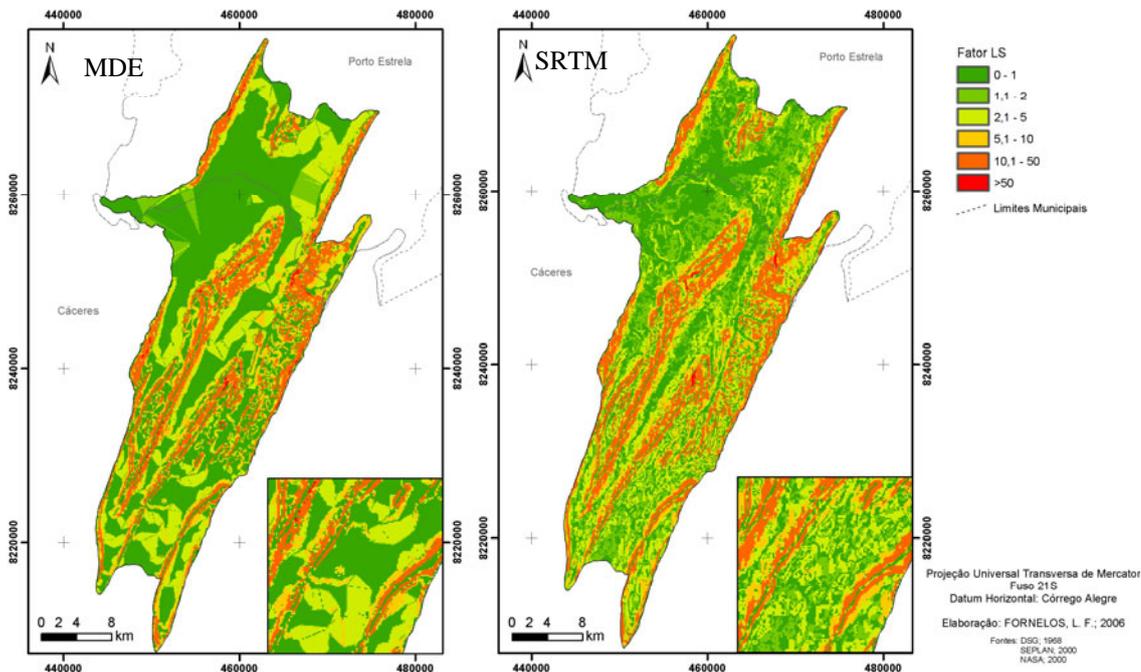


Figura 06 – mapas de fator topográfico.

Na **tabela 01**, essas faixas foram quantificadas, e os percentuais referentes às classes de LS Muito baixo e baixo evidenciam a seguinte situação: no modelo a partir do MNT, onde a equidistância entre curvas hipsométricas é de 40m, implica em que as vertentes de altura de rampa menores a este valor não são devidamente representadas, sendo classificadas como áreas perfeitamente planas (LS=0). No LS do SRTM, devido ao maior detalhamento proporcionado pelo DEM, as pequenas variações no LS (baixas variações altimétricas - LS 0-1,0 e 1,1-2,0) são representadas. Os percentuais das classes Muito baixo e Baixo retratam esta situação (**figura 07**).

Tabela 01 - Percentuais de classes do fator topográfico.

| LS | Classe | porcentagem | |
|---------|---------------------|-------------|-------|
| | | SRTM | MDT |
| 0-1 | Muito Baixo | 33,15 | 48,60 |
| 1,1-2,0 | Baixo | 16,85 | 4,18 |
| 2,1-5,0 | Moderado | 19,98 | 19,26 |
| 5,1-10 | Moderadamente forte | 11,13 | 11,63 |
| 10,1-50 | Forte | 18,72 | 15,96 |
| >50 | Muito forte | 0,16 | 0,37 |

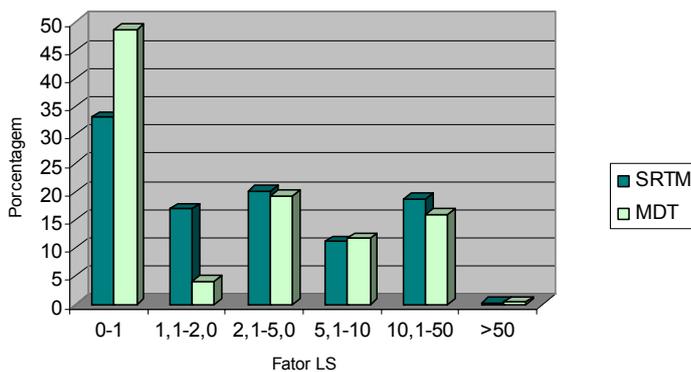


Figura 07 – Classes do fator topográfico.

A perda média estimada a partir do modelo gerado pelas curvas hipsométricas (cartas topográficas) foi de 189,8 T/ha.ano enquanto a perda média estimada no modelo gerado a partir das imagens de radar interferométrico (SRTM) foi de 189,4 T/ha.ano. A discrepância entre os valores obtidos foi de 0,21%, não evidenciando diferença significativa entre os valores apresentados pelos procedimentos. Porém, uma análise quantitativa das classes de perdas de solo (**tabela 02 e figura 08**) mostra que a distribuição das perdas por classe não se dá de forma homogênea. Inferiu-se que essa variação nos percentuais de perda seja

decorrente da influência maior do fator topográfico no modelo. A **figura 09** mostra a distribuição da perda de solo na bacia do córrego Cachoeirinha no ano de 2000.

Tabela 02 – Percentuais das classes de perda de solo.

| Perdas | Classe | SRTM | MDT |
|----------|------------|-------|-------|
| 0-10 | Baixa | 44,59 | 53,81 |
| 10,1-50 | Moderada | 18,55 | 13,02 |
| 50,1-200 | Alta | 15,97 | 11,45 |
| >200 | Muito alta | 20,89 | 21,72 |

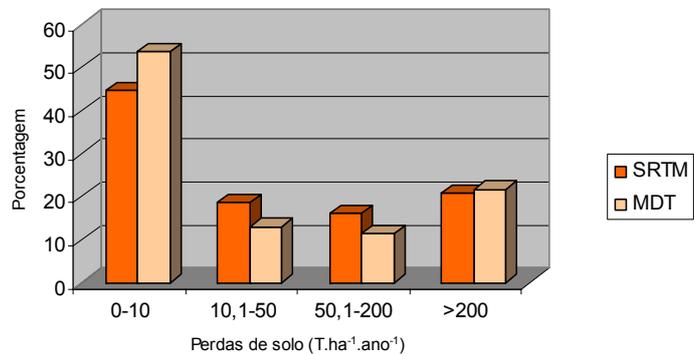


Figura 08 – diferenças entre as classes de perda de solo.

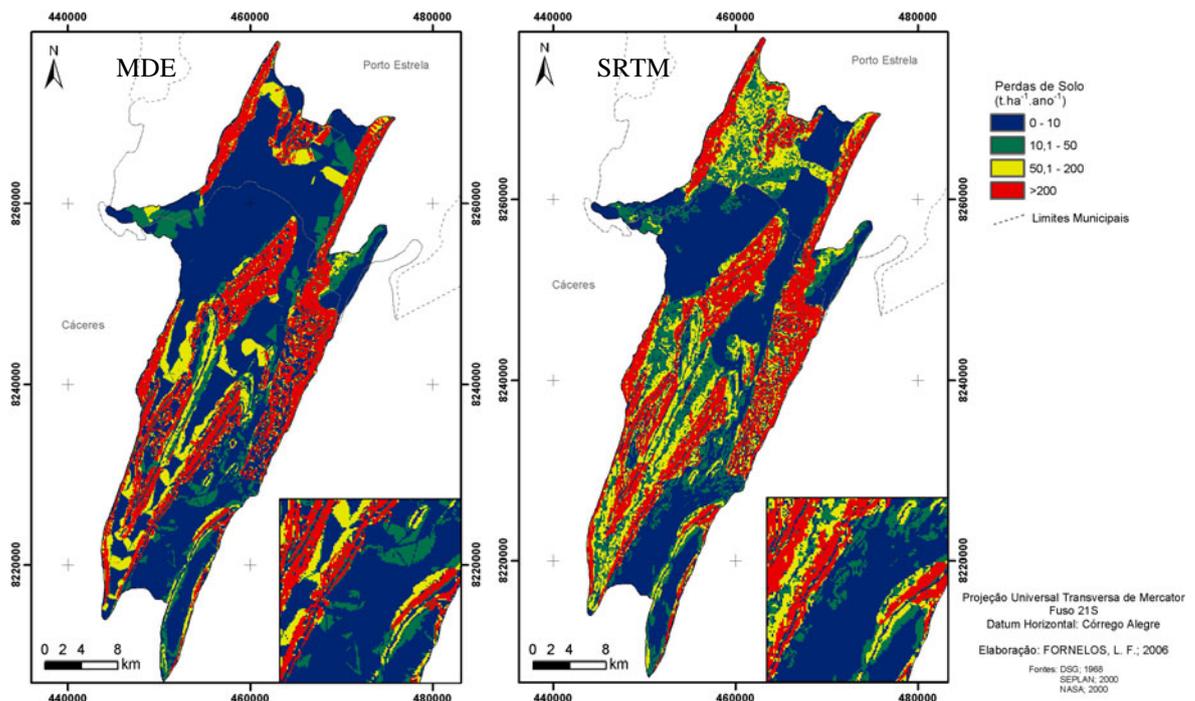


Figura 09 – mapas de perdas de solo.

5- Conclusões e Sugestões

A adoção das imagens de SRTM na obtenção do fator topográfico da USLE, através da geração dos mapeamentos de faixas hipsométricas, direção de fluxo e clinográfico, se mostra uma alternativa prática e viável ao minimizar custos e tempo de execução dos trabalhos; além de tais produtos apresentarem maior detalhamento em relação aos gerados pelo MNT.

O intento maior em propor a utilização do SRTM na geração de produtos necessários à execução de análises ambientais, é decorrente de somente 69,9% do território brasileiro a ser recoberto por mapeamentos sistemáticos (cartas topográficas) na escala de 1:100.000,

escala esta máxima compatível com os produtos obtidos a partir do SRTM, conforme verificado no trabalho de Barros (2006).

Relativo ao fator topográfico, devido à sua maior influência dentre os fatores que compõem a USLE, entende-se como condição imprescindível para continuidade das investigações nessa linha sua validação em campo.

A estimativa de perda média de solo obtidas através dos dois procedimentos (MNT e SRTM) se mostrou praticamente idêntica, sugerindo que para o uso de trabalhos que objetivam somente a utilização da perda média o procedimento do SRTM é válido. Porém, necessitam-se maiores estudos referentes às perdas por cada classe, uma vez que nas comparações entre os procedimentos essas se mostraram discrepantes.

6- Agradecimentos

O referido estudo, desenvolvido em caráter de iniciação científica, foi realizado no âmbito do projeto de qualificação institucional (PQI), financiado pela Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), intitulado “Estudos sócio-geográficos e ambientais na região de Cáceres/MT”, sob coordenação da Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz (Grupo Espaço – UFRJ).

Os autores agradecem às discussões e contribuições da pesquisadora da EMBRAPA Solos Maria José Zaroni.

7-Referências

- Barros, R. S., **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos Através de Sensores Orbitais**. 2006.172 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. **Conservação do solo**. 5 ed. Piracicaba/SP: Ícone editora 355 p. 2005.FAO. Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos. Roma: FAO/PNUMA:Unesco. 1980. 86p.
- Larson, W. E.; Lindstrom, M. J.; Schumacher, T. E. The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration. **Journal of Soil and Water Conservation**. mar/apr . vol.52, no 2, 1997. p. 90 -95.
- Lombardi Neto, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. Master of Science, Purdue University, West Lafayette, 53 p. 1977.
- Mansor, M. T. C.; Ferreira, L.; Roston, D. M.; Teixeira Filho, J. Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão. In: I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Anais...** Aracaju/SE. 2002.
- Ross, J. L. S.; Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do departamento de geografia**, n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994. p. 63-74. Tricart, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: Supren/IBGE, 1977. 97p.
- Weill, M. A. M.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (SP). In: Simpósio nacional de controle de erosão, 7, 2001, Goiânia. **Anais...** CD ROM.
- Williams, J. R.; Berndt, H. D. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds. In. SCSA (ed): **Soil erosion: prediction and control**, Ankeny, p. 217-225, 1977. Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agricultural Handbook, 537. USDA, Washington, D.C., 1978. 57p.