

---

# APLICAÇÃO DA USLE E SIG NA CARACTERIZAÇÃO DE TRÊS MICRO BACIAS HIDROGRÁFICAS NO BRASIL<sup>1</sup>

*Application of USLE and SIG in the characterization of three small watersheds in Brazil*

Juliana Serio<sup>a</sup>, Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>b</sup>, Adunias dos Santos Teixeira<sup>c</sup>, Enrique Ortega<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Engenheira de Alimentos, Dra., Professora do Depto. de Engenharia de Alimentos do CEFET-RV. Rio Verde, GO - Brasil, e-mail: juserio@fea.unicamp.br

<sup>b</sup> Engenheiro Agrônomo. Mestrando, bolsista CNPq. Fortaleza, CE - Brasil, e-mail: alexandreagronomia@hotmail.com

<sup>c</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Dr. do Depto. de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE - Brasil, e-mail: adunias@ufc.br

<sup>d</sup> Engenheiro químico. Professor Dr. do Depto. de Engenharia de Alimentos da Unicamp. Campinas, SP - Brasil, e-mail: ortega@fea.unicamp.br

---

## Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de aplicar a ferramenta SIG para identificar os recursos naturais em áreas de micro bacias para elaborar um sistema de classificação de suporte do meio físico. Foram selecionados três projetos de assentamentos rurais na região leste do Estado do Ceará, caracterizada por regime de semi-aridez, nos quais foram identificados parâmetros qualitativos e quantitativos dos recursos naturais de cada área. A avaliação dos resultados se deu a partir de uma comparação entre os mapas temáticos e cada um dos parâmetros utilizados, tendo-se concluído que a metodologia gerou bons resultados, pois foi observada a ocorrência de áreas de maior fragilidade, com maiores declividades e com maior grau de influência nos processos erosivos.

**Palavras-chave:** Assentamentos rurais; Erosão; Álgebra de mapas; SRTM.

---

<sup>1</sup> Resultados preliminares da Tese de doutorado do primeiro autor apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos DEA/Unicamp.

## **Abstract**

*This work was conducted to apply the GIS tool in order to identify the natural resources in areas of watershed basins aiming at the creation of an environmental classification system. Three projects were selected in the east region of Ceara state, which is characterized as a semi-arid climate. Qualitative and quantitative parameters of natural resources of each area were identified in the projects. The results were evaluated by comparison between the thematic maps and each used parameters, which made it possible to conclude that the methodology used offer good results, because it was observed the occurrence of fragile areas, with highest slopes and influence on the erosive processes.*

**Keywords:** Rural communities; Soil erosion; Map algebra; SRTM.

## **INTRODUÇÃO**

O Estado do Ceará concentra uma boa parte da distribuição dos assentamentos da região Nordeste e vem apresentando, ao longo do tempo, uma crescente expansão e diversificação nas formas de ocupação do seu espaço físico, principalmente pela ação do homem, o que pode ser perfeitamente observado e interpretado por meio dos produtos de sensores orbitais, obtidos em diferentes épocas. Na grande maioria dos casos, o uso e a ocupação das terras têm sido incompatíveis com a aptidão do solo, registrando graves problemas de degradação ambiental.

O aproveitamento de forma duradoura dos recursos naturais só é possível por meio da transição de um modelo convencional para um modelo sustentável de produção, ou seja, pelo estabelecimento de formas mais produtivas e igualitárias, e também por melhores maneiras de convivência social e de relação com a natureza. A agricultura é uma atividade que depende, necessariamente, dos recursos naturais e dos processos ecológicos e, na mesma medida, dos desenvolvimentos técnicos (FERNÁNDEZ; GARCIA, 2001).

O estudo da erosão dos solos se torna importante, pois o conhecimento antecipado do potencial de erosão de um solo em área pré-estabelecida pode direcionar a atividade humana no sentido de um uso e manejo sustentável dos recursos naturais ali contidos (AQUINO et al., 2007).

Rocha (2006) chama a atenção para a importância do tomador de decisão, pois o Sistema de Informação Geográfica SIG apenas fornece informações para essas pessoas: “É evidente que o sistema depende de sua interação com o analista e o tomador de decisão, que é quem interpreta os resultados gerados; coloca toda sua experiência, juntamente com um processo de discussão com a comunidade ou seus representantes, para sintetizá-los e analisá-los; gera informações e decisões que afetam esta comunidade e o meio ambiente ao seu redor, podendo ser caracterizado como um importante sistema de suporte à decisão.”

Assim, o objetivo deste trabalho é a aplicação do SIG como uma ferramenta prática, utilizando-o na caracterização das micro bacias onde estão situados os assentamentos rurais, localizadas no semi-árido do Estado do Ceará, por meio de um levantamento dos recursos naturais e das condições ambientais da região estudada; quantificar as perdas de solo por erosão hídrica comparando-as com diferentes classes de declividade.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A primeira etapa do trabalho consistiu na construção de uma base cartográfica da área de estudo, utilizando-se no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Ceará – UFC, o software ArcGIS 9.1. Esse aplicativo de geoprocessamento, por meio de seus módulos, permite a

realização, por meio da álgebra de mapas, de múltiplas tarefas necessárias para obter uma análise e posterior tomada de decisão para planejamentos fundiários e agrícolas.

Para realização desse estudo foram utilizados dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 92 metros, copiados da rede mundial de computadores diretamente do endereço <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>. Para tratamento e análise dos dados, foi realizado o delineamento das bacias que compõem a área abrangida pelo mapa do Modelo Numérico do Terreno (MNT), utilizando o software Arcmap 9.1, através da extensão ARCHYDRO. O primeiro passo foi retirar as possíveis depressões (Fill Sinks) dos dados SRTM. Essas depressões são consideradas impedimentos ao escoamento, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de poluentes de origem difusa, sendo preenchidas levando-se em consideração as altitudes dos pixels vizinhos (MENDES; CIRILO, 2001). Em seguida, foram feitos os processos que possibilitaram a delimitação da bacia como: direção de fluxo de água, fluxo acumulado, sendo este obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (MENDES; CIRILO, 2001).

A definição de curso, dependente do valor mínimo de área de acumulação (Threshold), foi obtida com valor 25 de células acumuladas ou 0,21 km<sup>2</sup> de área de acumulação, devido à melhor justaposição com início do curso principal da carta topográfica da SUDENE. A geração das sub-bacias que compõem a bacia foi obtida a partir dos trechos determinados automaticamente e a união delas permitiu a delimitação da bacia de interesse (COSTA et al., 2007).

Os pontos foram identificados no campo com auxílio de um GPS na área de estudo, que compreende três assentamentos rurais com suas respectivas micro bacias hidrográficas situadas no Ceará (Figura 1).



FIGURA 1 - Localização da área de estudo

Figure 1 - Study area localization

### Cálculo da perda de solo por erosão

A perda de solo foi calculada por meio da Equação Universal de Perda de Solo por Erosão USLE (Universal Soil Loess Erosion), proposta por Wischmeier e Smith (1978).

$$USLE = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

onde: USLE = perda de solo por erosão (ton/ha/ano); R = erosividade da chuva; K = erodibilidade do solo; L x S = topografia; C x P = cobertura vegetal, uso e ocupação do solo.

O cálculo da USLE foi realizado pixel a pixel com álgebra de mapas por meio do uso de SIG, com o software ArcGis 9.1.

A base de informações para o cálculo da USLE (fatores R, K, LS E C) para as micro bacias em questão foi obtida conforme descrito na Tabela 1:

TABELA 1 - Dados de entrada da equação universal de perda de solo (USLE)

*Table 1 - Input data of the Universal Soil Loss Equation (USLE)*

Fator	Origem	Observações
R - erosividade	Equação: Hj = precipitação efetiva média mensal Ha = precipitação efetiva média anual (LOMBARDINETO; MOLDENHAUER, 1992)	Obtido por meio da média histórica para a região (FUNCEME, 2007)
K - erodibilidade	Mapa de solos do Estado do Ceará	Pesquisa bibliográfica dos índices para as manchas encontradas (SILVA, 1978)
L - Comprimento da rampa S - Classe de declividade	Rede de drenagem: a partir da direção de fluxo acumulado. Tanto a acumulação como a declividade pixel a pixel (NASA, 2007)	Equação sugerida por Chair (2005)
C - uso e cobertura do solo P - práticas conservacionistas	Imagens obtidas pelo satélite CBERS (INPE, 2007)	C - Mapa de uso e ocupação do solo (SILVA, 1978). P - O fator P=1 (valor máximo). Indica a não existência de práticas conservacionistas; condição mais crítica no processo de erosão (COSTA et al., 2007)

### Classificação do uso e ocupação do solo

A identificação e o mapeamento do uso da terra e a sua quantificação por meio da classificação supervisionada foram feitos a partir de dados coletados pelo satélite Sino-Brasileiro CBERS-2, nas bandas 2, 3 e 4, com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente. Após o georeferenciamento da imagem, utilizando o software ENVI 4.3, realizou-se a classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança (MAXVER). O uso e ocupação do solo foram identificados e diferenciados em quatro classes de usos das terras denominadas: antropizada (área construída), agricultura, caatinga e água, pelos seus respectivos padrões de resposta espectral.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o fator erosividade (R) a partir da equação de Lombardi e Moldenhauer (1992), para as três micro bacias estudadas variaram de 210 a 650 MJ.mm.ha-1. Por meio da espacialização do fator erodibilidade (K), observou-se a predominância de solos do tipo Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e Neossolo Litólico eutrófico e distrófico (Tabela 2).

TABELA 2 - Classificação a partir do fator erodibilidade (K)

Table 2 - Classification using the erodibility (K) factor

Sigla	Tipo de solo	Fator (k)	Características
PE40	Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	0,026	Possuem média e alta fertilidade natural (culturas adaptadas às condições de pouca umidade).
Red3	Neossolo Litólico eutrófico distrófico	0,012	Elevada susceptibilidade à erosão e risco de salinização.

Considerando a topografia da região em estudo (Figura 2), pode-se considerar que para as regiões A e B mais de 80% da área apresenta declividade inferior a 5% e em C 100% da área mostrou-se possuir declividade variando entre 0 a 5%.

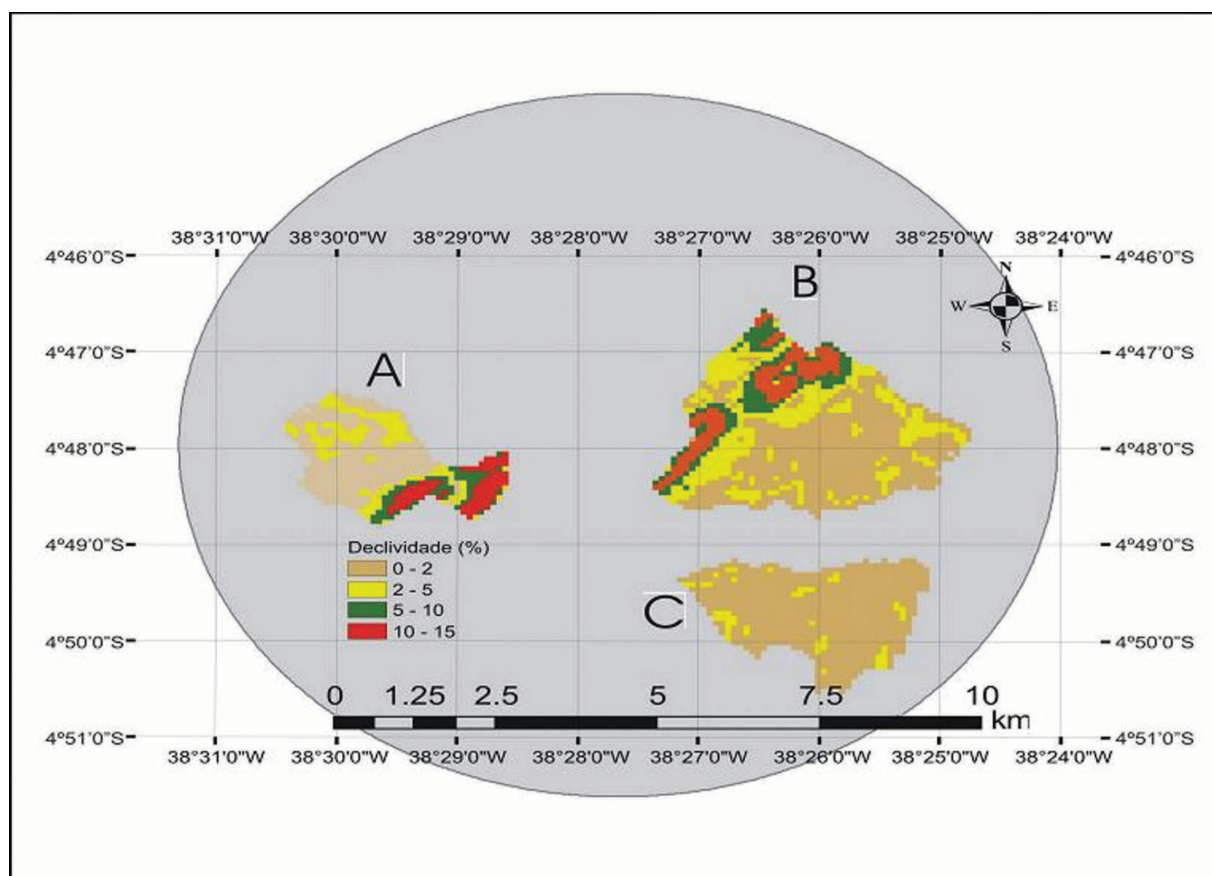


FIGURA 2 - Mapa de declividade para as micro bacias estudadas

Figure 2 - Declivity map for the studied watershed basins

Na Figura 3 pode-se observar a distribuição das classes (água, caatinga, agricultura e antropizada) em que estão divididas as micro bacias.

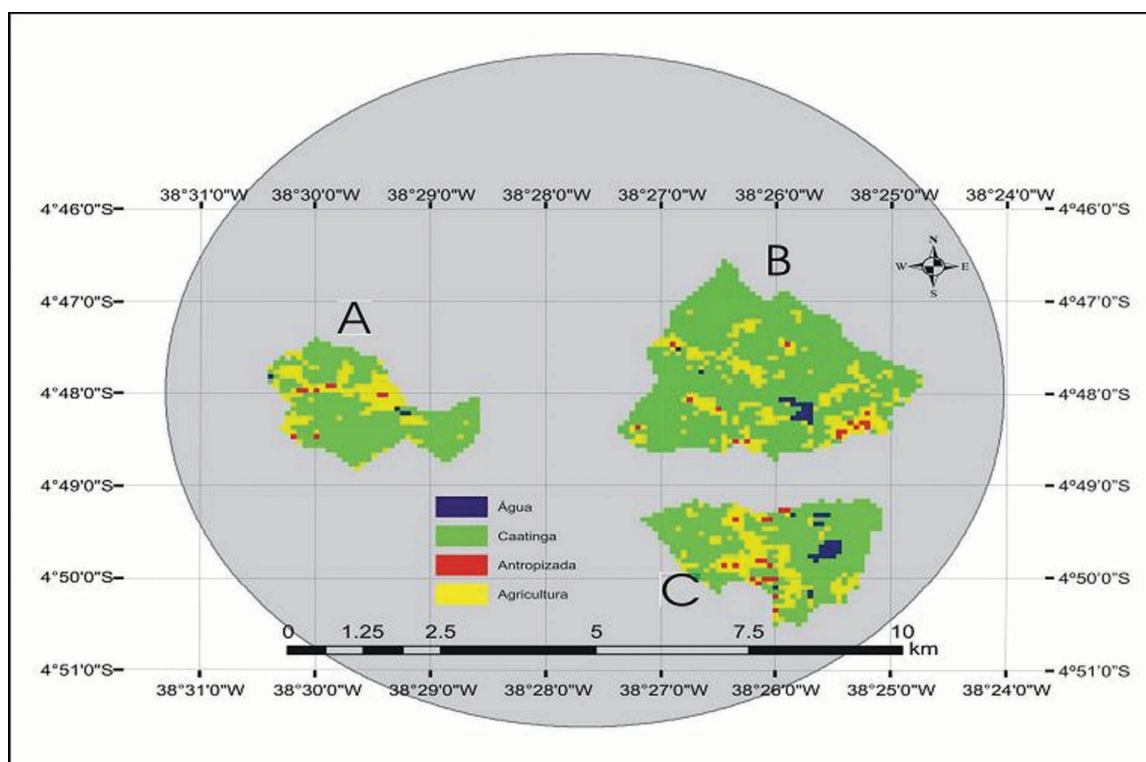


FIGURA 3 - Mapa de classificação das micro bacias estudadas

Figure 3 - Classification map of the studied watershed basins

Os resultados obtidos a partir da metodologia de classificação supervisionada, onde se definiram quatro classes de cobertura atribuindo-lhes valores para o fator C, segundo os padrões de cobertura, uso e manejo dos solos contidos nas micro bacias em estudo conforme Tabela 3.

TABELA 3 - Classificação do uso e ocupação do solo para as micro bacias estudadas

Table 3 - Soil use and occupation classification of the studied watershed basins

Classe de uso e ocupação	Valores de C*	Área das micro bacias (km <sup>2</sup> )					
		A		B		C	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Água	0	0,03	0,69	0,16	1,42	0,22	3,69
Caatinga	0,001	3,59	73,36	8,84	78,55	4,16	69,74
Antropizada	0,04	0,08	1,56	0,14	1,20	0,14	2,41
Agricultura	0,18	1,19	24,39	2,11	18,81	1,44	24,15
Total		4,89	100,00	11,25	100,00	5,96	100,00

\* SILVA, 1978

Ainda na Tabela 3 pode-se observar os valores utilizados por Silva, (1978) para a estimativa da perda potencial do solo, através da equação universal. Por meio de uma metodologia semelhante, Mendonça, Lombardi Neto e Viégas (2006) conseguiram, em seu trabalho, classificar a área de estudo quanto a localização de terras cultiváveis (57,7%); a indicação de terras em atividades menos intensivas (pastagem e/ou florestamento e/ou vida silvestre) da ordem de 37,6% e áreas de preservação de fauna e flora, por restrição por solo e relevo foram indicadas como 1,7% das terras da micro bacia estudada.

A Figura 4 mostra o mapa de perda de solo para micro bacias, onde estas variaram: 0 a 1372 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para A; de 0 a 3680 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para B e de 0 a 1575 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para C.

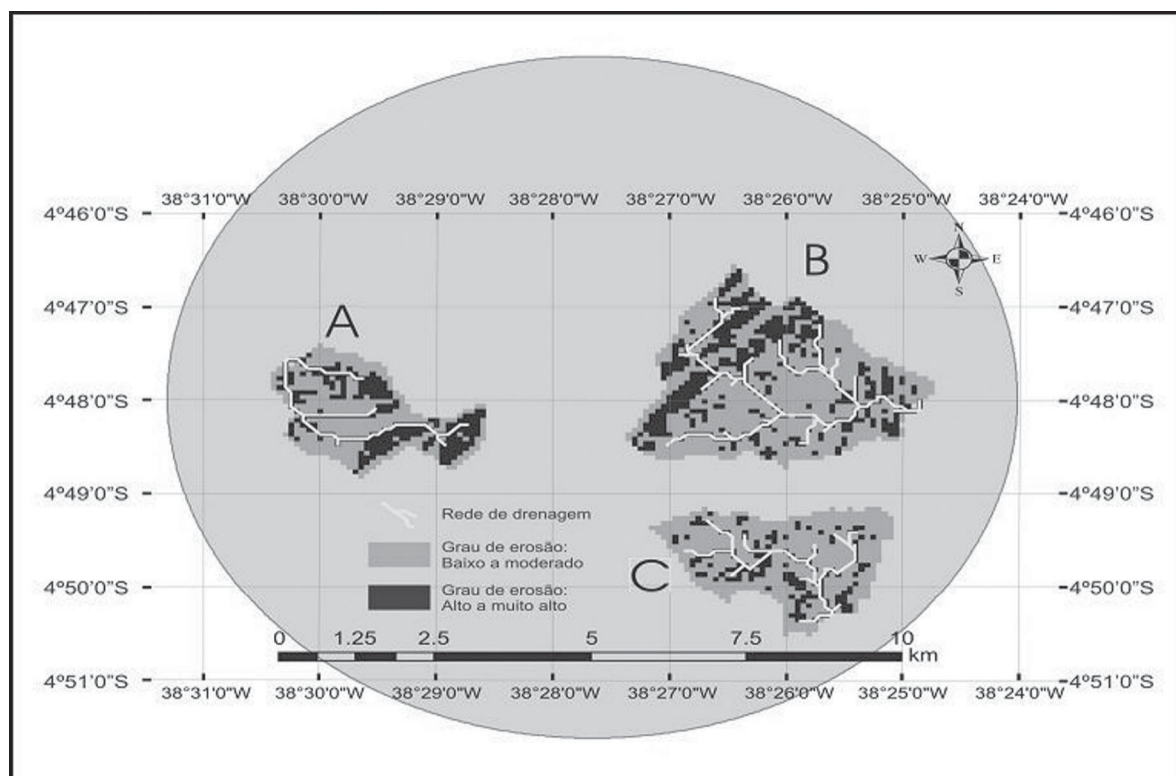


FIGURA 4 - Mapa de perda de solo das micro bacias estudadas

Figure 4 - Soil loss map of the studied watershed basins

A Tabela 4 apresenta os valores para potencial de perda de solo que foram divididos em 2 classes: baixo a moderado e alto a muito alto, potencial de erosão, obtendo-se a partir daí o mapa de perda de solo por erosão em ton/ha/ano (Figura 4).

TABELA 4 - Classificação do grau de erosão

Table 4 - Erosion degree classification

Perda de Solo (ton/ha/ano)	Grau de erosão
<50	Baixo a moderado
>50	Alto a muito alto

Fonte: Adaptado de ALONSO et al., 1994 apud CAVALCANTE; TEIXEIRA, 2005

Segundo Alonso (Tabela 4), pode-se observar que os percentuais onde o potencial de erosão foi considerado alto/muito alto (acima de 50 ton/ha/ano) são de 41,89%, 34,31%, e 21,87%, respectivamente, para os assentamentos A, B e C (Tabela 5). A região B que apresentou os maiores valores para perda de solo, também pode ser observada como a que apresenta os maiores percentuais de declividade em seu relevo.

TABELA 5 - Classificação do grau de erosão das micro bacias estudadas

*Table 5 - Erosion degree classification of the studied watershed basins*

Classe de erosão	A		B		C	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Baixo a moderado	2,84	58,16	7,39	65,68	4,66	78,11
Alto a muito alto	2,05	41,89	3,86	34,31	1,30	21,87
Total	4,89	100,00	11,25	100,00	5,96	100,00

Inácio et al. (2007), ao qualificar a erosão em pastagens com diferentes declives, concluiu que a cobertura do solo por pastagem foi eficiente quanto a proteger o solo da erosão em relação ao solo sem cobertura e que ocorreu aumento das perdas de solo com o aumento dos valores das classes de declividade do terreno, as quais foram maiores no tratamento sem cobertura do que no tratamento com cobertura. No tocante a este trabalho, destaca-se a importância de analisar as áreas com maiores potências de perda de solo para que sejam aplicados manejos adequados a conter e evitar essa perda.

## CONCLUSÕES

- O uso de dados SRTM para a obtenção do fator topográfico da USLE, através da geração de mapas temáticos, mostrou ser uma alternativa prática e viável, minimizando custos e tempo de execução dos trabalhos;
- Para trabalhos que envolvam comunidades rurais, o uso de SIG auxilia o emprego de outras metodologias, uma vez que permite um rápido levantamento das características ambientais;
- O uso da tecnologia SIG não elimina a necessidade de profissionais qualificados, mas simplifica a manipulação dos dados pela redução do tempo necessário para a conclusão do trabalho, possibilitando, no futuro, uma rápida atualização desses dados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, D. N. et al. A aplicação da USLE e SIG na estimativa da perda de solos em uma micro bacia hidrográfica do semi-árido do estado do ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007. Bonito, MG. **Anais...** Bonito, MS: Acqua Consultoria, 2007.
- CAVALCANTE, S. de P. P.; TEIXEIRA, A. dos S. Avaliação espacial da erosão através do uso de SIG - Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Tecnológica**, Fortaleza, v. 26, n. 2, p. 186-195, dez. 2005.



CHAIR, L. Z. Soil erosion modeling using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a drainage basin in eastern Mexico, 2005. Disponível em: <[http://www.utexas.edu/depts/grg/ HUDSON/grg360g/EGIS/labs\\_04/Lab9/lab9\\_soil\\_erosion\\_05.htm](http://www.utexas.edu/depts/grg/ HUDSON/grg360g/EGIS/labs_04/Lab9/lab9_soil_erosion_05.htm)>. Acesso em: 02 dez. 2006.

COSTA, C. A. G. et al. Uso do SRTM para delimitação automática e caracterização fisiográfica de uma meso-bacia hidrográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 36., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2007. v. 1. p. 1-4.

FERNANDÉZ, X. S.; GARCIA, D. D. Desenvolvimento rural sustentável: uma perspectiva agroecológica. **Agronomia e desenvolvimento rural sustentável**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 17-26. abr./jun. 2001.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEPAM/chuvas/chuvas.php>>. Acesso em: 16 maio 2007.

INÁCIO, E. S. B. et al. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na micro bacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 355-360, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/português/index>>. Acesso em: 16 maio 2007.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Equação de erosividade da chuva do município de Campinas**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas, 1992.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 2, p. 57-111.

MENDONÇA, I. F. C.; LOMBARDI NETO, F.; VIÉGAS, R. A. Classificação da capacidade de uso das terras da Microbacia do Riacho Una Sapé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 888-895, 2006.

NASA. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível em: <[www2.jpl.nasa.gov/srtm](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm)>. Acesso em: 12 fev. 2007.

ROCHA, J. V.; Sistema de informações geográficas no contexto do planejamento integrado de bacias hidrográficas. In: ORTEGA, E. (Org.). **Engenharia ecológica e agricultura sustentável**. Campinas: [s.n.], 2003. cap. 20, p. 1-13.

SILVA, J. R. C. **Perda de solo e produção de sedimentos**. 1978. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C: USDA, 1978.

Recebido: 02/09/2007

*Received:* 09/02/2007

Aprovado: 15/01/2008

*Approved:* 01/15/2008