



Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro¹

Applied geoprocessing for soil loss estimation in a Brazilian semiarid watershed

Fernando Bezerra Lopes², Eunice Maia de Andrade³, Adunias dos Santos Teixeira⁴,
Rafaela Ferreira Caitano⁵, Luiz Carlos Guerreiro Chaves⁶

Resumo- A perda de solo por erosão é um dos problemas ambientais mais sérios da atualidade e tem causado a degradação de vários recursos, principalmente do solo e da água. Objetivou-se com este trabalho, estimar a perda de solos por erosão em uma microbacia localizada no semiárido do Estado do Ceará, efetuada com a combinação de ferramentas de Sistemas Informações Geográficas (SIG) com modelo quantitativo de perda de solo, através da Equação Universal de Perdas de Solos, USLE. A microbacia foi delimitada através do modelo numérico do terreno. Usando a ferramenta ArcHydro do software ArcMap 9.1, estimou-se a rede de drenagem. A perda de solo em 74% da microbacia estudada, apresenta valor menor que 11 t ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas mais planas e vegetadas. Observou-se que mais de 90% da área apresentou perda de solo abaixo de 37 t ha⁻¹ ano⁻¹, sendo esta característica bastante influenciada pelo relevo, visto que a microbacia apresenta relevo suave - ondulado em mais de 83% da área total. 66% da área apresenta baixa susceptibilidade à erosão (<10 t ha⁻¹ ano⁻¹), estando associada a esta região cobertura vegetal e baixos valores do fator topográfico. A utilização de integrada de SIG e USLE permitiu a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo, além de apontar as áreas de maior vulnerabilidade ao processo de perda de solo dentro da Bacia.

Palavras-chave - Erosão. Relevo. Cobertura Vegetal. SIG.

Abstract - Nowadays soil loss by erosion is one of the most serious environmental problems which has caused the degradation of various resources, especially soil and water. The aim of this study was to predict the soil loss due to erosion at a small watershed located in the Semiarid region of Ceara State, Brazil, through an arrangement of Geographic Information System tools with a quantitative model of soil loss, by the Universal Soil Loss Equation, USLE. The watershed delimitation was performed using the Digital Elevation Model. The density of drainage network was estimated using the extension ArcHydro/ArcMap 9.1. The soil loss in 74% of the studied small watershed presents a value smaller than 11 t ha⁻¹ year⁻¹ in more plain and vegetated areas. It was observe that more than 90% of the area presented a soil loss below 37 t ha⁻¹ year⁻¹, this characteristic being severely influenced by the local geography, which is smooth and low sloped in more than 83% of the area of the small watershed. 66% of the area presents a low vulnerability to erosion (<10 t ha⁻¹ year⁻¹), this being associated with cover vegetation of this region and low values of slope factors. The integrated use of GIS and USLE has allowed a fast and dynamic analysis of the study area, beyond identifying most vulnerable areas to the soil loss process within the basin.

Key words - Erosion. Relief. Vegetation cover. GIS.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 15/06/2011 e aprovado em 24/08/2011

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, lopesfb@yahoo.com.br

³Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, eandrade@ufc.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, adunias@ufc.br

⁵Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, rafaela_caitano@yahoo.com.br

⁶Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, luizcarlosguerreiro@gmail.com

Introdução

O uso e a ocupação adequados do solo são considerados os principais fatores responsáveis pela conservação de bacias hidrográficas. As práticas de conservação, os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perda de solos têm sido amplamente utilizados como subsídios no planejamento agroambiental. Como parte do planejamento de controle da erosão, a quantificação da perda de solo pelo processo é importante não apenas para a identificação de áreas críticas, mas também para o planejamento conservacionista regional (MELLO *et al.*, 2005).

Nas regiões secas, principalmente dos países pobres ou em desenvolvimento, a conservação e recuperação dos recursos naturais são dificultadas pela própria questão social. Famílias pobres, sem a possibilidade de deslocamento para áreas mais prósperas, acabam explorando os ambientes semiáridos além da sua capacidade de suporte (GOMES, 2005). A exploração desenfreada do recurso solo contribui para a sua degradação, comprometendo o desenvolvimento sustentável e gerando resultados negativos à economia e à qualidade de vida do seu povo (GOMES, 2005).

A erosão do solo pode ser estimada de forma qualitativa ou quantitativa sendo que as duas formas apresentam vantagens e desvantagens (CHAVES, 1995). A análise qualitativa tem como principal vantagem a facilidade de manipulação dos fatores selecionados em termos de grau de risco à erosão e sua posterior combinação para a obtenção dos graus de severidade erosiva. Já a análise quantitativa permite a estimativa da erosão absoluta, facilitando o planejamento conservacionista. Entretanto, os modelos quantitativos exigem maior conhecimento por parte do usuário, além de requererem mais informações do que os modelos qualitativos (BRITO *et al.*, 1998).

A aplicação de modelos quantitativos foi intensamente facilitada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Como exemplo deste tipo de aplicação de modelos quantitativos pode-se citar as estimativas da perda de solo por erosão laminar realizadas por Silva (2004), Pereira e Teixeira (2005), Farinasso *et al.* (2006), Aquino *et al.* (2007), Rodrigues *et al.* (2008a), Serio *et al.* (2008) e Vale Júnior *et al.* (2009). Dentre esses modelos, a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1978), quando espacializada por meio do SIG, permite a análise da perda de solo por erosão laminar além da contextualização dos resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras.

Dentro desse contexto, o estudo da erosão dos solos se torna fundamental, pois o conhecimento antecipado do potencial de erosão pode direcionar a atividade humana no sentido de um uso sustentável.

Objetivou-se com o presente trabalho estimar a perda de solo de forma laminar com aplicação do modelo quantitativo USLE e do uso de ferramentas SIG em uma microbacia localizada no semiárido do Estado do Ceará.

Material e métodos

Descrição geral da área

A área de estudo corresponde à microbacia do riacho Varjota (70,73 km²) que está inserida na parte alta da bacia hidrográfica do Rio Acaraú. O riacho Varjota é tributário da margem esquerda do rio Acaraú, porção meridional do Estado do Ceará (Figura 1).

Características edafo-climáticas

O clima da parte alta da bacia do Acaraú, segundo a classificação de Koppen é do tipo BSw'h', semiárido quente com chuvas de verão-outono (Tabela 1) com distribuição anual unimodal e temperaturas médias mensais superiores a 18°C.

As classes de solo predominantes na microbacia em estudo são: Luvisolos e Neossolos Litólicos conforme Figura 2 (EMBRAPA, 2006).

Delimitação da bacia

Delimitou-se a micro bacia através do Modelo Numérico Digital do Terreno, usando-se o Datum WGS 84, Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 24S. Com o emprego da ferramenta ArcHydro do software ArcMap 9.1, estimou-se a rede de drenagem (Figura 1).

Método da USLE para estimativa das perdas de solo com o uso do SIG

A estimativa das perdas de solo foi determinada através da Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE), Equação 1 (WISCHMEIER; SMITH, 1978): $A = R \times K \times LS \times C \times P$, em que: A é a perda de solos em t ha⁻¹ ano⁻¹, R é o fator de erosividade das chuvas, em MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, K é o fator de erodibilidade do solo em t h MJ⁻¹ mm⁻¹, L é o fator comprimento de rampa, (adimensional), S é a declividade com valores em porcentagem, C é o fator uso e manejo do solo, (adimensional) e P o fator práticas conservacionistas, (adimensional).

Os valores dos parâmetros R, K, LS e C, foram estimados a partir de mapas temáticos elaborados com ferramentas de Sistema de Informações Geográficas. Os softwares utilizados no SIG foram o ArcMap 9.1, o Global Mapper 5.0 e o Envi 4.2, processados no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Ceará.

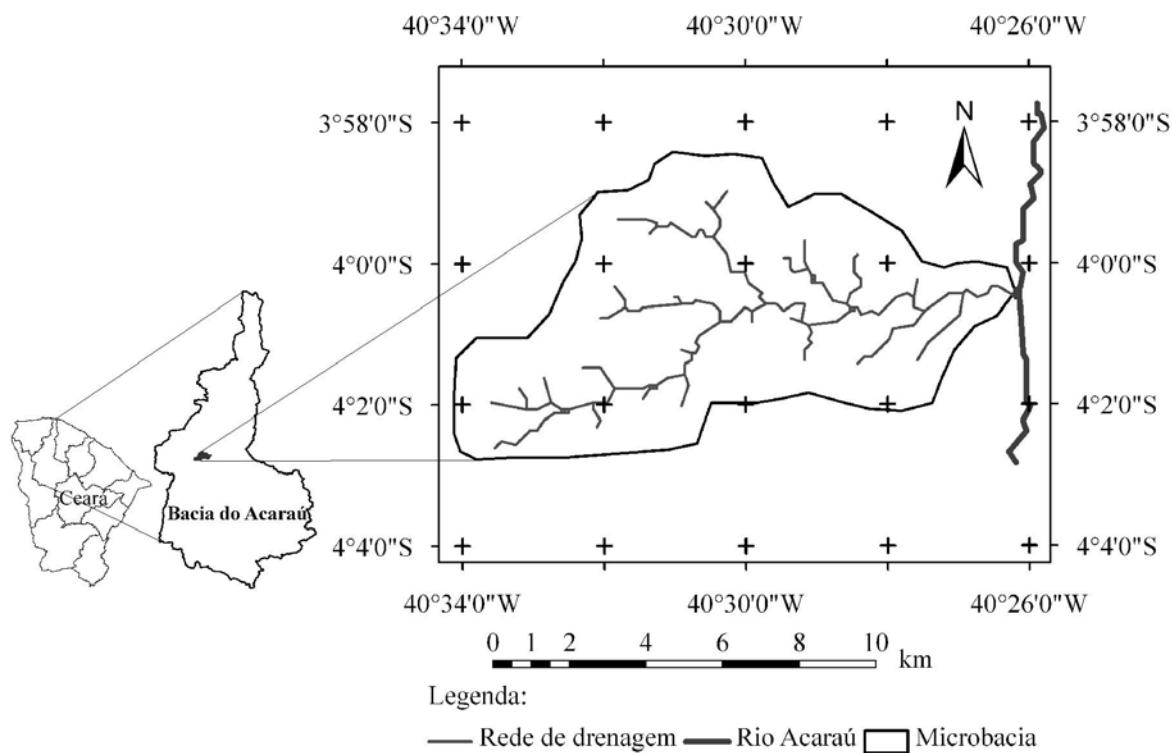


Figura 1 – Localização da microbacia estudada no Estado do Ceará e sua rede de drenagem.

Tabela 1 – Média de precipitação mensal e total em mm ano⁻¹ para uma série histórica (FUNCEME, 2010).

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Muncambo*	135	199	192	199	113	45	13	1	0	1	3	26	927
Cariré*	141	142	175	201	83	37	13	0	0	0	0	35	828
Pacuja**	136	162	266	203	98	39	13	1	0	1	11	47	976
Groaíras**	100	128	200	207	84	31	8	1	1	0	1	17	778
Varjota***	137	138	235	201	91	25	6	0	0	4	9	30	875
Sobral*	108	220	195	210	102	43	18	0	0	0	0	24	920
Santa Quitéria*	129	155	174	170	76	7	1	0	0	0	1	20	734
Reriuataba*	139	181	218	174	103	30	4	0	0	1	2	34	886

* Série histórica de 33 anos (1977 – 2010); ** Série histórica de 26 anos (1984 – 2010) e *** Série histórica de 19 anos (1991 – 2010).

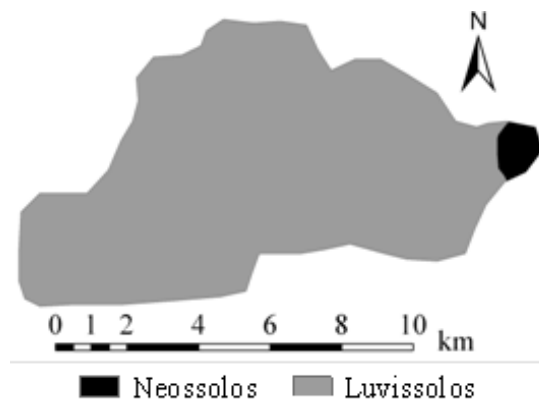


Figura 2 – Classes de solo predominantes na microbacia do riacho Varjota.

Para a obtenção do fator de erosividade (R), utilizou-se a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1993), a qual é expressa pela Equação II:

$$R = \sum \left[67,355 \left(\frac{P^2}{P} \right)^{0,85} \right]$$

em que R expressa a erosividade (MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹), p é a precipitação total média mensal (mm) e P representa a precipitação total média anual (mm).

Utilizou-se a técnica dos polígonos de Thiessen no ArcMap 9.1 na obtenção do mapa de erosividade, usando os dados da Tabela 1. Os valores de erodibilidade do solo (Tabela 2) foram estabelecidos por Silva (1978), fundamentados em estudo de campo, laboratório e análise de regressão. Os referidos valores de K foram associados às respectivas classes no mapa de solos (Figura 2) da bacia em estudo. Utilizando as funções do SIG, gerou-se um raster com os fatores de erodibilidade da microbacia estudada e através destes valores, determinou-se um mapa temático da erodibilidade dos solos para a área de estudo.

O mapa temático do fator topográfico LS, foi gerado empregando-se os dados do Modelo Numérico do Terreno fornecidos pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da NASA (NASA, 2010), e posteriormente processados no software Global Mapper 5.0. Dessa forma, o fator LS foi obtido através da equação proposta por Chair (2005):

$$LS = 16 \times \left(\frac{FAC \times Res}{22,1} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen}(\text{decliv} \times 0,01745)}{0,09} \right)^{1,1}$$

em que: FAC é o acúmulo de fluxo de escoamento superficial (Figura 3); Res é a base do SRTM com uma resolução espacial de 92 m e Decliv representa a declividade das células (gerado no ArcMap) (Figura 4).

Para a determinação dos valores relativos à cobertura vegetal (C), fez-se inicialmente a classificação digital da imagem através do emprego de um algoritmo de classificação supervisionada, denominado “Paralelepípedo” (Figura 5). Foi utilizada a imagem do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, datada de 01/09/2004. Para se obter a classificação da imagem foram utilizadas as bandas 4,

Tabela 2 – Valores de erodibilidade de solos K em t h MJ⁻¹ mm⁻¹ segundo a classe de solo (SILVA, 1978)

Tipo de Solo	Fator K	Tipo de Solo	Fator K	Tipo de Solo	Fator K
LVd	0,024	NCV	0,028	Re*	0,028
LVe	0,035	PL	0,027	REd	0,012
LVE	0,021	Ce	0,042	REe	0,011
PV	0,020	V	0,039	AQD	0,014
PE	0,026	SS	0,026	BV	0,042
Ter	0,032	SK	0,019	-	-
NC*	0,036	Ae	0,036	-	-

*Tipos de solos encontrados na microbacia em estudo

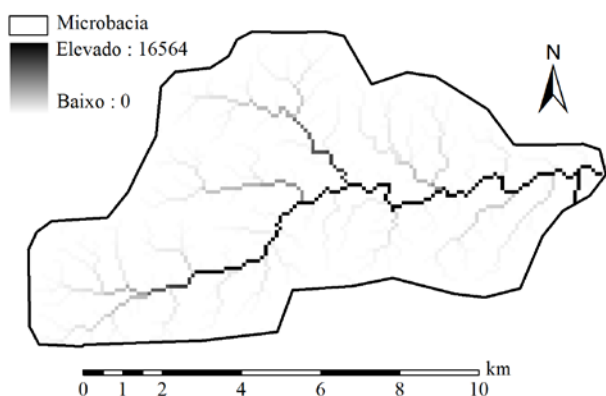


Figura 3 – Mapa da frequência acumulada dos fluxos (m) gerado através do ArcHydro.

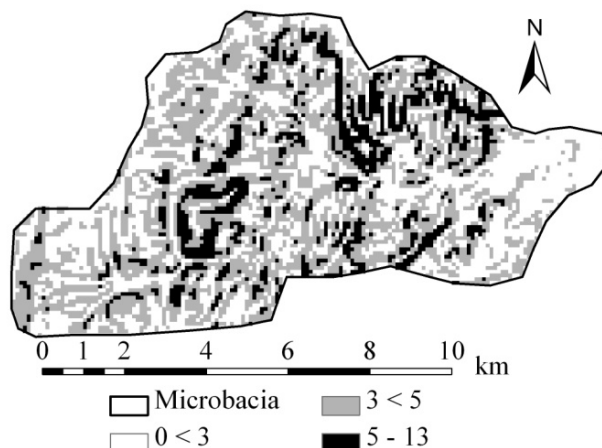


Figura 4 – Mapa temático da declividade (%) para a sub-bacia hidrográfica do riacho Varjota.



Figura 5 – Classificação da cobertura vegetal da microbacia em estudo, usando o software ENVI versão 4.2.

3 e 2 as quais correspondem às faixas do infravermelho, vermelho e verde do espectro, respectivamente, do satélite TM/Landsat-5, na órbita 218 e ponto 63. Na etapa seguinte caracterizaram-se os padrões de uso e manejo do solo empregados na microbacia em estudo com o auxílio do software ENVI 4.2. Conhecendo-se o fator C e considerando os padrões de cobertura vegetal, adicionou-se na tabela de atributos do mapa de cobertura vegetal o valor correspondente a cada padrão de cobertura da vegetação (Tabela 3). Posteriormente, converteu-se cada classe do formato vetor (*shapefile*) para raster, utilizando a coluna do fator C, cobertura vegetal, definindo-se assim a componente relacionada ao fator cobertura na Equação Universal de Perdas de Solo.

Tabela 3 – Valores de C usados em função do tipo de cobertura do solo

Cobertura vegetal	Valor de C
Superfícies com água	0,000
Vegetação intensa	0,010
Vegetação rala	0,250
Solo descoberto	1,000

Fonte: Fujihara, 2002.

Para a microbacia em estudo considerou-se que não existia a adoção das práticas conservacionistas de controle à erosão, pois na região é comum o plantio no estilo morro abaixo, sendo P igual a 1 (FUJIHARA, 2002). Visando avaliar o enquadramento dos resultados obtidos de perda de solo com susceptibilidade à erosão (Tabela 4) adotou-se a classificação proposta por Galdino *et al.* (2003).

Tabela 4 – Susceptibilidade do solo à erosão.

Perda de Solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$)	Grau de Erosão
< 10	Baixa
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muito alta

Fonte: Galdino *et al.* (2003).

Resultados e discussão

Erosividade da chuva - R

Os resultados da análise da erosividade das chuvas (R) na microbacia em estudo (Figura 6), mostram que o valor médio anual encontrado para a área de estudo foi de $6.328\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, os quais foram superiores em 22% aos observados por Albuquerque *et al.* (2004), em estudo na bacia de Sumé, Paraíba e inferior em 18% aos valores de erosividade encontrados por Pedro e Lorandi (2004), em uma área urbana no Estado de São Paulo.

De forma geral, a área em estudo apresentou baixa variabilidade espacial da erosividade das chuvas para a microbacia em estudo, variando de 6.138 a 6.405 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ (Figura 6). Acredita-se que essa constância da erosividade possa ser explicada pelo tamanho da área estudada ($70,73\ km^2$), tornando possível maior uniformidade da distribuição da chuva sobre a mesma. Aquino *et al.* (2006) encontraram valores de erosividade das chuvas nas terras secas do Estado do Piauí ($252.378,49\ km^2$) variando de 3.316 a 6.877 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

Os valores de erosividade, de modo geral, apresentam estreita e direta relação com o aumento da

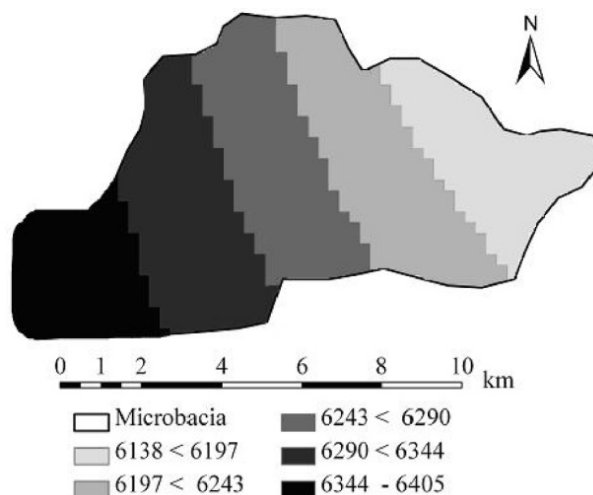


Figura 6 – Erosividade das chuvas para a microbacia do riacho Varjota ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

intensidade e duração da precipitação (BERTOL, 1994). Como a área de estudo está situada na parte semiárida do estado as chuvas caracterizam-se por serem de altas intensidades em curtas durações, enquanto que para as áreas situadas no litoral cearense, normalmente as chuvas apresentam longa duração, contribuindo para os valores de intensidades em eventos de maior duração (RODRIGUES *et al.*, 2008a). Os valores de erosividade obtidos foram empregados na geração da carta de isoerodentes, onde as classes de erosividade estão representadas espacialmente (Figura 6).

Erodibilidade dos solos - K

O resultado da espacialização do fator de erodibilidade do solo (K) está diretamente relacionado ao mapeamento de solos do Estado do Ceará, uma vez que esse parâmetro é uma propriedade intrínseca de cada classe de solo (Figura 7). Observou-se na microbacia a predominância de Luvissoles ($K = 0,036 \text{ em t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), representando 97,79% da área total estudada, e Neossolo Litólico ($K = 0,028 \text{ em t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) em apenas, 2,21%. Os Luvissoles são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e alta saturação por bases. Já os Neossolos Litólicos são caracterizados por afloramentos rochosos, pouco evoluídos, rasos e pouca capacidade de retenção de umidade. Em decorrência dessas características, esses solos contribuem para maiores escoamentos superficiais sob uma mesma faixa de altura pluviométrica, quando comparado com os primeiros (EMBRAPA, 2006). Serio *et al.* (2008) encontraram valores do fator K de 0,012 (Neossolo Litólico) e 0,026 $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Argissolo vermelho-amarelo), na região semiárida cearense. Já Farinasso *et al.* (2006) observaram valores de K variando da ordem de 0,11 a 0,57 $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para as áreas com menor erodibilidade correspondendo aos Nitossolos e para solos com maior capacidade de sofrer erosão laminar que correspondem principalmente aos Planossolos, respectivamente.

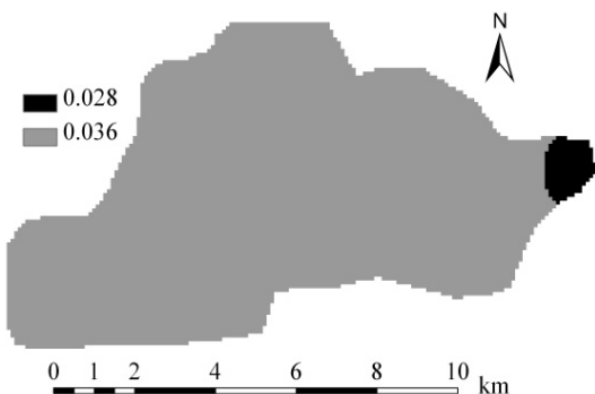


Figura 7 – Erodibilidade – K ($\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) dos solos da microbacia do Riacho Varjota.

Fator topográfico – LS

A microbacia em estudo apresenta relevo suave a ondulado predominando em mais de 83% da área, classe de declive variando de 0 a 5% (Figura 4). O fator LS constitui um parâmetro de difícil avaliação em vista da diversidade de situações topográficas e de manejo do local (Figura 8). Uma área sem proteção de cobertura vegetal é geralmente mais suscetível ao processo da erosão, do que aquela cujo solo apresenta cobertura vegetal. Bertoni e Lombardi Neto (1993) comentam que o efeito de proteção da cobertura vegetal dependem do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à seqüência de culturas e ao manejo adotado.

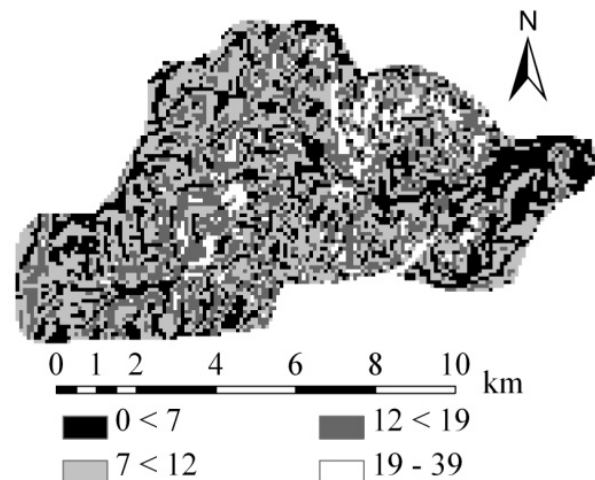


Figura 8 – Fator LS para microbacia do Riacho Varjota.

O fator LS dos solos drenados pelo riacho Varjota variou de 0 a 39. Silva (2004), estimando a erosão atual da bacia hidrográfica do rio Paracatu, uma das principais sub-bacias do rio São Francisco identificou valores de LS superior aos encontrados neste trabalho. Observa-se que o valor de LS (Figura 8) é baixo nos interflúvios (topos de morros e chapadas), uma vez que o comprimento de vertente e a declividade são reduzidos. Por outro lado, onde há distâncias significativas do divisor de águas e onde há convergência de fluxo (vertentes côncavas), bem como altas declividades, o valor de LS tende a ser elevado (Figura 8).

Fator uso e manejo – C

Através da classificação supervisionada da imagem, quatro classes de cobertura do solo (vegetação intensa, água, solo descoberto e vegetação rala) foram definidas (Figura 9). De acordo com os padrões de cobertura, uso e manejo dos solos praticados na área investigada atribuíram-se os respectivos valores do fator C (Tabela 3) para cada classe. Investigando a Figura 9, observa-se que a classe predominante é a de vegetação rala correspondendo a 72%

(50,93 km²) da área da microbacia do riacho Varjota; a segunda classe mais expressiva é aquela que identifica a vegetação intensa, a qual abrange 21,5% (15,21 km²) da área total. A terceira classe mais expressiva foi a de solo descoberto, correspondendo a 5,75% (4,06 km²) da área da microbacia. A última classe, expressa pelos corpos hídricos, representa menos de 1%. Por se tratar de uma região em que o armazenamento hídrico é o de lagos artificiais, a classificação aponta para uma região de escassez hídrica.

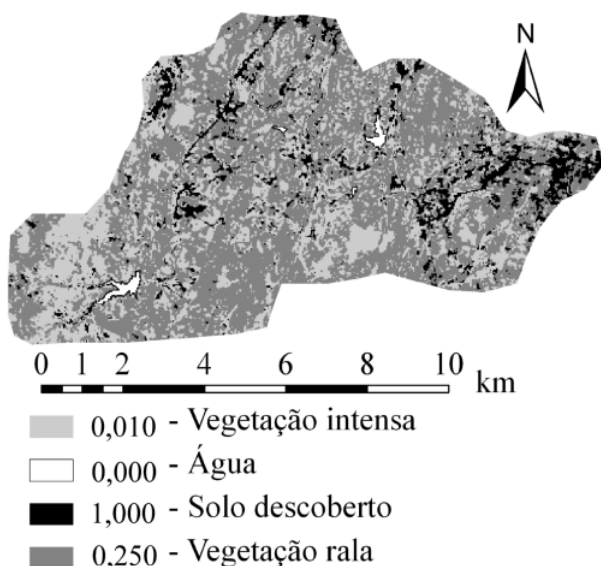


Figura 9 – Fator cobertura para a microbacia do Riacho Varjota.

Perda de solo por erosão laminar - A

As perdas de solo (A) estimadas para a microbacia em estudo é apresentada na Figura 10. Verifica-se que a perda de solo, em 74% da área apresenta valor menor que 11 t ha⁻¹ ano⁻¹, o que corresponde às áreas mais planas e/ou vegetadas. Observa-se que mais de 90% da área apresentou perdas de solos abaixo de 37 t ha⁻¹ ano⁻¹, sendo esta característica influenciada pelo relevo, visto que a microbacia apresenta relevo suave a suave ondulado em mais de 83% da área total (Figura 4). Observa-se ainda, na Figura 10, que a perda de solo em 20% da área apresenta valor entre 11 e 37 t ha⁻¹ ano⁻¹; 5% da área apresenta valor entre 37 e 92 t ha⁻¹ e apenas 1% da área total apresentam valor maior que 92 t ha⁻¹.

Pode-se verificar que as maiores perdas de solo estimadas estão nas linhas de drenagens dos riachos e nas regiões degradadas. As perdas de solo na área em estudo se assemelham aos resultados observados por Aquino *et al.* (2007), em estudo de microbacia da região central do

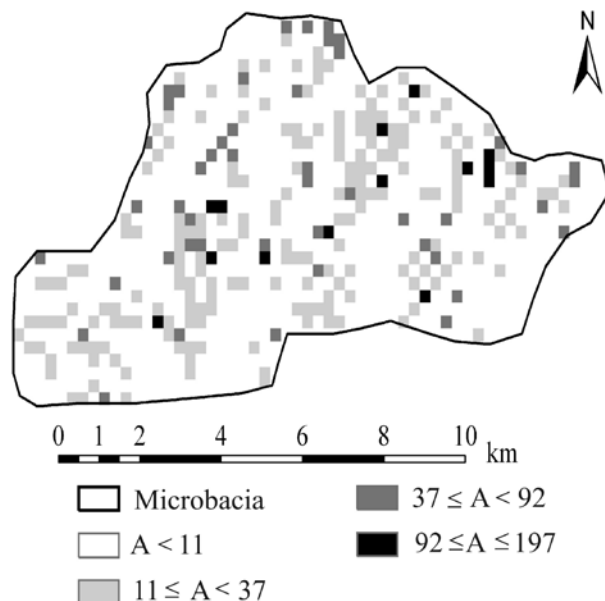


Figura 10 – Perda de solo em t ha⁻¹ ano⁻¹ para microbacia do Riacho Varjota.

Estado do Ceará. No entanto, pesquisadores, como Pereira e Teixeira (2005) e Rodrigues *et al.* (2008b), encontraram valores superiores, avaliando a erosão do solo usando SIG na Fazenda Experimental Vale do Curu, Ceará, e para a bacia do rio Trussu, Ceará, respectivamente. Essa diferença pode ser decorrente da declividade e da cobertura vegetal. Silva *et al.* (2007) ao encontrar valores de A entre 5,5 e 12,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ relacionou-o à distribuição espacial das frações granulométricas, uma vez que os menores valores foram determinados na parte superior e os maiores na parte inferior da área estudada. Enquanto isso, Fornelos e Neves (2007), comparando as perdas de solo estimada a partir das cartas topográficas e do modelo digital de elevação (MDE), para uma bacia hidrográfica situada no sudoeste do Mato Grosso, obtiveram 189,8 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o primeiro método e 189,4 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o segundo.

Os valores resultantes do mapa de perdas de solo foram enquadrados na classificação proposta por Galdino *et al.* (2003) e apresentados na Tabela 4. Na Figura 11 verifica-se a susceptibilidade da microbacia do riacho Varjota a erosão. Apenas 5% da área total foi classificada como de alta susceptibilidade à erosão laminar (50 – 200 t ha⁻¹ ano⁻¹) enquanto que 29% foram enquadradas como de susceptibilidade moderada com perdas variando de 10 a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 11). A alta susceptibilidade se mostrou associada ao solo descoberto e ao fator topográfico. Da área total da bacia do riacho Varjota, 66% foi enquadrada como solo de baixa susceptibilidade à erosão (Figura 11) estando associada a esta região valores baixos do fator topográfico e à presença de uma vegetação mais intensa.

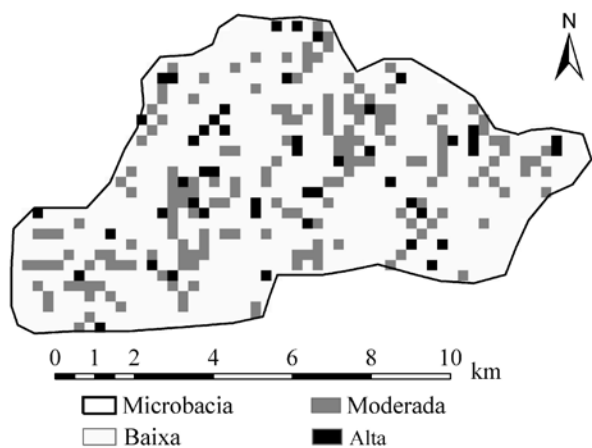


Figura 11 – Susceptibilidade da microbacia à erosão.

Conclusão

A utilização de imagem de satélite Landsat TM permitiu identificar e mapear as classes de uso de solo, tornando possível prever perdas de solo em uma escala em nível de bacia hidrográfica. As informações de topografia, obtidas a partir dos dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e cobertura vegetal, foram mais determinantes nos critérios utilizados para predição dos riscos de erosão do que as informações de clima e geologia. A utilização integrada de SIG e USLE permitiu a realização de uma análise rápida e dinâmica da área em estudo, além de apontar as áreas de maior vulnerabilidade ao processo de perda de solo dentro da Bacia.

Literatura científica citada

ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Determinação de fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.153-160, 2004.

AQUINO, C. M. S. *et al.* Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.287-291, 2006.

AQUINO, D. N. *et al.* Aplicação da USLE e SIG na Estimativa da Perda de Solos em uma Micro Bacia Hidrográfica do Semiárido do Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., Bonito. **Anais...** Mato Grosso do Sul: CONBEA. 2007. 1CD.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981 – 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.453–1458, 1994.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo. 3. ed. Editora: Ícone. 1993. 355p.

BRITO J. L. S. *et al.* Uso do geoprocessamento na estimativa da perda de solos por erosão laminar em Iraí de Minas – MG. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Santos. **Anais...** 1998, INPE, p. 501-512.

CHAIR, L. Z. **Soil erosion modeling using the revised universal soil loss equation (rusle) in a drainage basin in eastern Mexico**. 2005. Disponível no site: <http://www.utexas.edu/depts/grg/hudson/grg360g/EGIS/labs_04/Lab9/lab9_soil_erosion_05.htm>. Acesso em: 07 jun. 2010.

CHAVES, H. M. L. *et al.* Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: O Caso do Vale do São Francisco. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Viçosa. **Anais...** 1995. p. 1961-1963.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Produção de Informações. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2 ed. 2006, 306p.

FARINASSO, M. *et al.* Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. n. 2 p. 73-85, 2006.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. S. 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**, v.1, n.59, p.25-33, 2007.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte em geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Classificações técnicas e a representação cartográfica dos solos do estado do Ceará**. Disponível em: <<http://www.funcceme.br/DERAN/index.htm>> Acesso em: 21 mai. 2010.

GALDINO, S. *et al.* **Perdas de solo na bacia do alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 40 p.(Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 44).

GOMES, A. R. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semiárida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento – área piloto de Parnamirim (PE)**. São José dos Campos, São Paulo. 2005. 163f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.315–322, 2005.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. California Institute of Technology (2006). Disponível no site: <www2.jpl.nasa.gov/srtm/> Acesso em: 15 nov. 2010.

PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial Natural de Erosão na Área Periurbana de São Paulo – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.26, n.1, p.28-33, 2004.

- PEREIRA, S. P.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação espacial da Erosão Através do Uso de SIG – Sistema de Informações Geográficas. **Revista Tecnologia da UNIFOR**, v.26, n.2, p.186-195, 2005.
- RODRIGUES, J. O. *et al.* Equações de intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agrária**, v.9, n.4, p.511-519, 2008a.
- RODRIGUES, J. O. *et al.* Estimativa espacial da perda de solo com auxílio do sistema de informações geográficas. II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação & I Simpósio Brasileira sobre o Uso Múltiplo da Água. Fortaleza – CE. **Anais...** 2008b. 98-103.
- SERIO, J. *et al.* Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 6, n. 2, p. 213-221, 2008.
- SILVA, J. R. C. **Perdas de solo e produção de sedimentos. Piracicaba, São Paulo**. 1978. 125 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo.
- SILVA, S. A. *et al.* Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agrônômica**, v.34, n.4, p.335-342, 2007.
- SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n.3, p.147-159, 2004.
- VALE JÚNIOR, J. R. *et al.* Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima. **Revista Agroambiente On line**. v. 3, n. 1, p. 1-8, 2009.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537).