

Artigo recebido em: 01/02/12
Revisado em: 05/05/12
Aprovado em: 25/05/12

Samir G. Fernandes Costa¹

Richarde Marques da Silva²

POTENCIAL NATURAL E ANTRÓPICO DE EROÇÃO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA

RESUMO

A intensificação das práticas agrícolas e expansão urbana em bacias hidrográficas têm acelerado os processos de erosão. Dessa forma, há uma necessidade de estudos que estimem e analisem perdas de solo através do uso de modelos empíricos de perdas de solo acoplados a Sistemas de Informações Geográficas. Este trabalho analisou a evolução das perdas de solo através da USLE e identifica as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra em dois períodos (1974 e 2011). Com os valores dos fatores antrópicos foi estimada a expectativa de erosão. As perdas de solo acima de 20 ton/ha/ano se concentraram nas regiões com presença de cana-de-açúcar e solo exposto, além disso, são áreas de relevo ondulado e de tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo. Pode-se concluir que a utilização integrada entre a USLE e a ferramenta SIG se mostrou uma ferramenta eficaz e promissora na representação espacial das perdas de solo e na identificação das áreas mais vulneráveis à erosão.

Palavras-chave: Modelagem, perda de solo, SIG.

ANTHROPIC AND NATURAL POTENTIAL OF EROSION IN THE GUARAÍRA BASIN EXPERIMENTAL

ABSTRACT

The intensification of agricultural practices and urban sprawl in watersheds has accelerated erosion processes. Thus, there is a need for studies that estimate and analyze soil losses through the use of empirical models of soil loss coupled with Geographic Information Systems. This paper analyzed the evolution of soil loss by USLE and identifies the areas most susceptible to erosion in the Guaraíra River Experimental Basin in two periods (1974 and 2011). In addition, the values of anthropic factors for erosion expectation were estimated. Soil loss above 20 t/ha/year it is concentrated in the regions with the presence of sugarcane and bare land, moreover, these areas possess steep slope and soil type Acrisol Yellow-Red. Thus, can be concluded that the integrated use of the USLE and GIS tool proved an effective and promising tool in the spatial representation of soil losses and to identify areas most vulnerable for soil erosion.

Keywords: Modeling, soil loss, GIS.

¹ Universidade Federal da Paraíba
Bolsista IC/Pibic/CNPq
samir_fernan10@hotmail.com

² Universidade Federal da Paraíba
richarde@geociencias.ufpb.br

Correspondência:

Richarde Marques da Silva
Departamento de Geociências
Cidade Universitária
João Pessoa-PB, Brasil
CEP 58051-900



INTRODUÇÃO

A ocupação e manejo inadequados em bacias hidrográficas vêm atingindo níveis críticos em todo o mundo, refletindo em grandes prejuízos para a fauna e flora, dependendo das características físicas e da capacidade de recomposição vegetal desses ambientes.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999) o processo de retirada da cobertura vegetal, além de modificar aspectos da paisagem, diminui a estabilidade do solo e ocasiona a produção de sedimentos impulsionados pela erosão laminar, impermeabilizando e reduzindo a fertilidade do solo. Vanzela et al. (2010) afirmam que além desses impactos ocorre também o assoreamento de rios e reservatórios, deteriorando a qualidade da água e reduzindo a disponibilidade hídrica.

Nesse sentido, Mello et al. (2005) discorrem que a introdução de geotecnologias que resultem em informações espaciais sobre a evolução histórica do uso e ocupação do solo diante de seu quadro atual, é primordial não apenas para a quantificação das perdas de solo e identificação de áreas críticas, mas também para o planejamento conservacionista. Segundo Carvalho (2006), a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aliados a técnicas de Sensoriamento Remoto e modelagem matemática possibilita obter informações de maneira rápida e com baixo custo econômico e servem na elaboração de ações de planejamento e manejo adequado do solo. Integrando-se essas geotecnologias, é possível estimar e analisar perdas de solo a partir de fatores que exercem forte influência nos processos de erosão de solos. Essas estimativas em análise de perdas de solo são realizadas por modelos de predição que ao serem aplicados em ambiente SIG produzem dados espaciais valiosos na identificação e avaliação da suscetibilidade à erosão em diferentes tipos de solo.

Um dos métodos mais utilizados na estimativa de perdas de solos por erosão laminar é aplicando a USLE – Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier e Smith, 1978), desenvolvida nos Estados Unidos. Os primeiros trabalhos empregando essa equação no Brasil foram desenvolvidos por Lombardi Neto e Bertoni (1975), no Estado de São Paulo. Na Paraíba podem ser citados os trabalhos de Albuquerque et al. (2004) em uma área representativa a

suscetibilidade natural e o risco de erosão e Silva et al. (2007) utilizando a USLE modificada (RUSLE) no estudo da Bacia Guaraíra.

Este trabalho tem por objetivo analisar os impactos da mudança no uso do solo nas perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra em dois períodos (1974 e 2011), visando assim fornecer subsídios para um manejo adequado do uso e ocupação dos solos e dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da Bacia Experimental Riacho Guaraíra

A Bacia Experimental Riacho Guaraíra possui uma área de drenagem de 5,73 km² e está localizada entre as coordenadas 9.191.000 mN a 9.195.000 mN e 275.000 mE a 276000 mE, entre os municípios de Alhandra e Pedras de Fogo, na Microrregião Litoral Sul do Estado da Paraíba.

Essa bacia faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, uma das bacias mais importantes por ser a matriz fornecedora de água para os municípios de João Pessoa, Conde, Santa Rita, Bayeux e Cabedelo que compõem a Região Metropolitana denominada de Grande João Pessoa. De acordo com a classificação de Köppen a bacia está em uma zona As', o que indica um clima tropical chuvoso. O regime de chuvas ocorre principalmente nos meses de Maio Junho e Julho, com precipitação média anual de 1615,45 mm/ano.

Na década de 70 com a crise do petróleo o governo brasileiro implementou um programa de incentivo a produção da cana-de-açúcar em todo o país, o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), esse programa apareceu como uma alternativa de substituir o combustível gasolina.

Na Paraíba o cultivo da cana veio a transformar principalmente as áreas rurais litorâneas com a edificação de usinas de açúcar e álcool, recobrando tanto a faixa norte quanto a faixa sul da Zona da Mata Paraibana. Antes da instalação deste programa, apenas 477 estabelecimentos rurais utilizavam adubos químicos nessa região. Em 1985, após dez anos de vigência do Proálcool, esse número já era superior a 5.000. As despesas com fertilizantes também cresceram muito nesse

período. Em 1970, elas perfaziam apenas 6,6% do total das despesas realizadas pelos estabelecimentos agrícolas, passando a representar 14,5% em 1985. (MOREIRA et al., 1997).

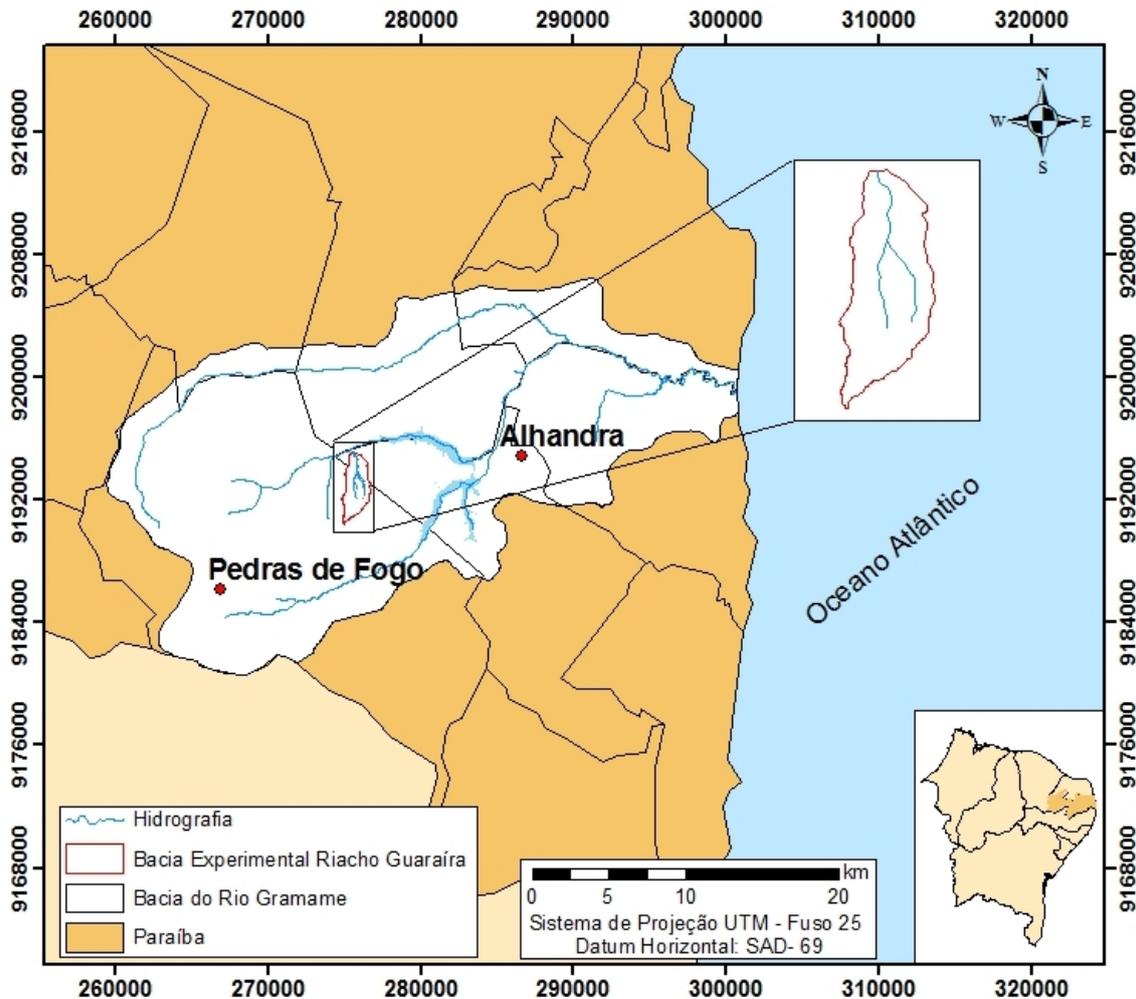


Figura 1. Localização da Bacia Experimental Riacho Guaraíra.

No caso específico do litoral sul paraibano, onde está inserida a Bacia Experimental Riacho Guaraíra, a cultura da cana-de-açúcar nos últimos 30 anos implicou em grandes alterações na paisagem. A intensificação dessa prática agrícola como monocultura, não oferece cobertura vegetal eficiente ao solo, que fica desprotegido, podendo ocasionar a retirada do horizonte superficial pela ação das águas da chuva. Além desses impactos há os impactos químicos, por aplicação de corretivos de solos, que podem infiltrar e impactar o lençol freático. Deste modo

a reconstituir a evolução do uso e ocupação do solo possibilitou acompanhar as transformações associadas às atividades existentes na bacia, que podem ser problemáticas, principalmente em termos ambientais.

Utilização de geotecnologias na análise do uso e ocupação do solo

Os estudos envolvendo o uso e ocupação do solo por imagens orbitais geradas de satélites surgiram com as primeiras tecnologias de Sensoriamento Remoto no começo da década de 1970 com o lançamento do LANDSAT 1 em 1972 até meados da década de 1980.

Segundo Almeida (2010), o Brasil foi pioneiro em termos de ciência espacial, pois apenas os Estados Unidos e Brasil dispunham de antenas para recepção dos dados, quando em 1972, foi lançado o primeiro satélite civil comercial de observação da Terra, o ERS (*Earth Resources Satellite*), que posteriormente veio a se chamar de LANDSAT 1. A partir do final da década de 1980 foram criados muitos modelos com a capacidade de utilizar todo o potencial do SIG como *Arc View Spatial Analyst*, *ArcView 3D Analyst*, *Er Mapper*, *Sprinter* e principalmente o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) (SILVA, 2010).

Com a evolução dos sistemas computacionais adquirida nas últimas três décadas no que se refere à disponibilização de imagens com alta resolução espacial, a integração de bases físicas em ambientes SIG ganhou grande impulso, proporcionando uma análise espacial dos processos naturais em qualquer parte do planeta. A produção científica aumentou consideravelmente nos últimos anos no Brasil ao que se refere da análise dos processos de erosão dos solos e modelagem hidrossedimentológica por meio de um SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Os avanços nesses estudos têm difundido uma série de métodos e técnicas que vem estabelecendo uma importante forma de se conhecer o comportamento hidrossedimentológico de bacias. Para Silva e Santos (2008) as aplicações de modelos hidrossedimentológicos incorporadas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilitam a representação espacial dos resultados obtidos da modelagem, principalmente na elaboração de mapas temáticos, o que auxilia nas

análises espaciais e no cruzamento de dados tabulares e de informações geográficas.

Essas informações permitem produzir um banco de dados das informações de uso e ocupação do solo; perda do solo; dinâmica hídrica; entre outros dados de base física. Assim, um sistema integrado de análise ambiental acoplado a um SIG torna-se extremamente vantajoso e pode ser utilizado para planejamento e gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos.

Para a Bacia Guaraíra o mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo da foi realizado em ambiente SIG utilizado primeiramente a carta topográfica do Rio Mamuaba na escala de 1: 25.000 (SB-25-Y-C-II-4-NE) de 1974. Já para o mapeamento de 2011 utilizou-se imagens pancromáticas de alta resolução espacial do satélite *QuickBird*. O uso do solo foi vetorizado em ambas as imagens, e de acordo Fitz (2008), esse processo é realizado por meio da identificação visual em tela de computador, utilizando uma imagem previamente tratada, a qual será desenhada com auxílio de um *mouse* com. Por meio das representações matemática da distribuição dos fenômenos espacial existentes criaram-se estruturas de representação, onde os valores dos atributos foram obtidos por procedimentos de interpolação a partir do conjunto de amostras do Modelo de Elevação do Terreno (MDE). Em seguida as classes foram fotointerpretadas manualmente em tela, proporcionando o agrupamento das mesmas.

Segundo Florenzano (2008) esse método de interpretar fotografias ou imagens orbitais é identificar objetos nelas representados e dar um significado a esses objetos. Quanto maior for a resolução, e mais adequada a escala, mais direta e fácil é a identificação dos objetos em uma imagem. Essas imagens orbitais além possibilitarem a fotointerpretação, tiveram grande importância nos mapeamentos, pois permitiram analisar as classes que pertenciam aos usos mais recentes da bacia Guaraíra.

Aplicação da USLE

Os modelos empíricos baseiam-se em experiências ou em conhecimentos obtidos por percepção dos fenômenos ambientais. Em geral são formulados por

regressões cujos coeficientes são definidos experimentalmente. Através das suas respostas há um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos favorecendo uma maior proximidade de como é o processo do ciclo hidrossedimentológico. A consideração da variação espacial da bacia e espaço-temporal da precipitação faz com que os mesmos possam ser utilizados para a análise dos impactos causados pelo uso da terra sobre os processos erosivos. O significado físico dos parâmetros permite analisar a variação do comportamento do sistema devido à variação em algum componente do mesmo (SANTOS, 2009).

Para análise das perdas de solo na Bacia Guaraíra foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo de Wischmeier e Smith (1978), aplicando os fatores que exercem influência na área de estudo. O cálculo foi realizado totalmente em ambiente SIG a partir de técnicas de geoprocessamento.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

sendo A as perdas de solo (t/ha/ano), R o fator de erosividade (Mj.mm/ha/h/ano), K o fator de erodibilidade dos solos (t.h/Mj/mm), LS (fator topográfico) e os fatores adimensionais C e P (Manejo e uso do solo e Práticas conservacionistas), foram gerados mapas temáticos, que serviram de base para análise das perdas de solo e identificação das áreas mais suscetíveis aos processos erosivos.

Fator R (erosividade)

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), o Fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da precipitação em causar erosão em uma área sem proteção (Equação 2). Para compor essa equação foram utilizados dados pluviométricos diários dos últimos 30 anos, obtidos de três postos de coleta que estão localizados nas proximidades da bacia, apresentados na Tabela 2. Os dados foram interpolados utilizando o método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW), esse método de interpolação global utiliza-se baseia no princípio de que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,759} \quad (2)$$

sendo R o fator de erosividade (MJ.mm/h/ha), P_m precipitação média mensal (mm) e P_a a precipitação média total anual (mm).

Tabela 1 – Localização geográfica e período de dados das estações pluviométricas

Postos	Latitude (m)	Longitude (m)	Período dos dados
Fazenda Mamuaba	9.196.187	276.378	1969–1989
Imbiribera	9.196.257	273.659	1969–1989
Riacho do Salto	9.190.734	275.524	1969–1989

Fator K (erodibilidade do solo)

O fator erodibilidade pode ser definido como a susceptibilidade do solo a erosão. Esse fator foi obtido por meio da associação do mapa de solos da EMBRAPA (1999) e da atribuição de valores de erodibilidade correspondentes a cada classe de tipos de solo, conforme o método proposto por Farinasso (2006).

Fator LS (fator topográfico)

Para obtenção do fator topográfico (fator LS), que representa o parâmetro de comprimento da encosta e o grau de declividade, este fator foi obtido pela equação desenvolvida por Moore e Burch (2006) e utilizada por Zhang et al. (2009).

$$LS = \left(\frac{V}{22.13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

sendo V a acumulação de fluxo pelo tamanho da célula e θ o ângulo da declividade em graus.

Fatores C e P (uso e manejo do solo e práticas conservacionistas)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), o fator uso e manejo do solo expressa a relação esperada entre perdas de solos em áreas com culturas agrícolas e vegetação, com áreas continuamente descobertas. Como a análise das perdas de solo é baseada em uma série espacial histórica, foi realizado uma análise dos usos do solo para 1974 e 2011. Quanto o fator práticas conservacionistas, Wischmeier e Smith (1978) explica que expressa uma relação entre a intensidade de perdas de solo com uma determinada prática conservacionista e as perdas quando a cultura esta plantada no sentido do declive, ou seja, morro abaixo.

Os valores para os dois fatores foram estipulados adotando os valores encontrados na literatura, onde estes foram integrados, uma vez que não se pode identificar em campo práticas conservacionistas na área de estudo diante da dificuldade em tabular tais informações. Os valores são adimensionais e estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Usos do solo na bacia e respectivos valores dos Fatores C e P

Usos do solo	Fatores C e P
Cana-de-açúcar	0,0012
Cerrado	0,01
Mata	0,019
Solo Exposto	1,0

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (1990).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quantificação das perdas de solo na Bacia Experimental Riacho Guaraíra possibilitou estimar a produção de sedimentos e gerar mapas temáticos de Erosividade, Erodibilidade, topografia, uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas, dos quais se obteve os mapas de perdas de solo de 1974 e 2011. Já para a estimativa do Potencial Natural de Erosão foram utilizados os fatores físicos que exercem influência na bacia (R, K, LS), a partir dos quais se realizou a espacialização das estimativas de perda de solo.

Erosividade das Chuvas

Os resultados da análise da erosividade das chuvas (fator R) na bacia revelam que o valor médio anual para a área foi de 7.739 Mj.mm/ha/h/ano, com um desvio padrão de 686,44 Mj.mm/ha/h/ano. As estimativas apresentaram uma variação de 7.485 a 8.516 Mj.mm/ha/h/ano, os maiores valores estiveram entre a classe de 7.486 a 8.516 Mj.mm/ha/h/ano.

Com base na classificação propostas por Carvalho (2008), os valores estimados de erosividade foram dispostos em classes de erosividade e fragilidade, como pode ser visto na Tabela 3. Os resultados revelam que para a classe 7.485 Mj.mm/ha/h/ano a fragilidade foi considerada como média forte, já a classe 8.516 foi considerada como alta.

Tabela 3 – Relação entre as classes de Erosividade e fragilidade dos solos da bacia

Classes de erosividade (Mj.mm/ha/h/ano)	Classes de fragilidade
7.485	Média Forte
8.516	Alta

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

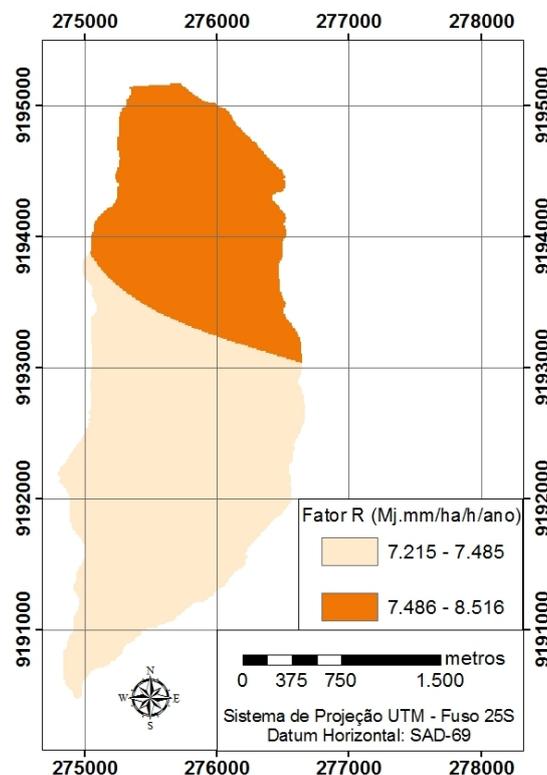


Figura 2. Mapa da Erosividade da Bacia Guaraíra.

Erodibilidade dos Solos

Na bacia foram identificados dois tipos de solos, o tipo Argissolo Vermelho Amarelo e o Podzol Hidromórficos. De acordo com a classificação de solos da EMBRAPA (1999), esses solos têm por característica uma considerável resistência à erosão, sendo que o tipo Podzol Hidromórfico é ainda mais resistente aos processos erosivos. A partir dos tipos de solo encontrados na bacia, a Tabela 3 apresenta os valores do fator k associados aos solos existentes, sendo estes divididos em duas classes.

Tabela 4 – Solos e respectivos valores de Erodibilidade da bacia

Classes	Tipos de Solo	Área (km²)	Erodibilidade (t.h/Mj/mm)
Pv19	Argissolo Vermelho Amarelo	4,68	0,044
HP3	Podzol Hidromórfico	1,05	0,014

Os valores de erodibilidade encontrados para os dois tipos de solo revelam que o tipo Argissolo Amarelo vermelho (classe Pv19) apresenta maior valor com 0,044 t.h/Mj/mm, enquanto que o tipo Podzol Hidromórfico (classe Pv19) apresenta menor valor com 0,014 t.h/Mj/mm. Dos resultados obtidos do fator k verificou-se que o tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo apresenta uma suscetibilidade erosiva superior em relação ao tipo de solo Podzol Hidromórfico.

Na espacialização dos dois tipos de solo encontrados (Figura 3), foi possível verificar que o tipo Argissolo Vermelho Amarelo ocupa quase que toda extensão da bacia, enquanto que o tipo Podzol Hidromórficos ocorre apenas na porção sudeste.

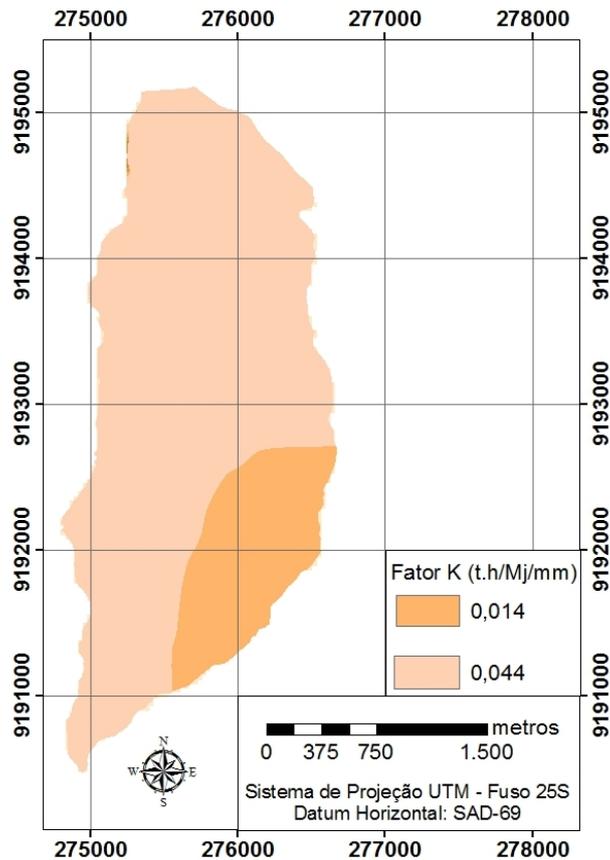


Figura 3. Mapa de Erodibilidade de solos da Bacia Experimental Riacho Guaraíra.

Fator Topográfico

A partir do fator topográfico (LS) identificou-se que nas áreas onde há convergência de acumulação de fluxo, ou seja, onde os sedimentos se acumulam e as declividades são mais acentuadas, o valor de LS tendeu a ser maior.

Conforme a tabela 4, os menores valores obtidos do fator LS compreendem a classe que varia de 0 a 1,048, esta classe ocupa uma área de 4,70 km², o que representa 80,6% da bacia. Os maiores valores variaram de 11,003 a 23,745, o que corresponde a 0,03 km², ou seja, 0,5% da área total da bacia.

Tabela 5 – Classes do Fator Topográfico na bacia

Classe de LS	Área (km ²)	%
0 – 1,048	4,70	80,6
1,049 – 2,933	0,55	9,6
2,933 – 5,446	0,29	6,3
5,447 – 11,002	0,16	3,0
11,003 – 23,745	0,03	0,5

Na espacialização do fator topográfico verificou-se que as classes cujos valores foram mais expressivos, localizam-se na porção norte da bacia, em áreas íngremes próximas ao curso do rio. Os resultados da declividade representados na tabela 7 demonstraram baixa amplitude, com variação de 0 a 12,3. Relacionando as declividades da bacia Guaraíra com a classificação da Embrapa (1999), a bacia apresenta classes de relevo de plano a ondulado, havendo um predomínio da classe 0 a 3,3, que ocupa 4,65 km² (81%) de área, o que demonstra que a bacia não apresenta grandes oscilações de relevo.

Tabela 6 – Distribuição das classes de declividades e áreas correspondentes

Declividade	Relevo	Área (km ²)	%
0 – 3,3	Plano	4,65	81,0
3,4 – 8,7	Suavemente ondulado	0,62	11,0
8,8 – 12,3	Ondulado	0,46	8,0

Fonte: Adaptado, EMBRAPA (1999).

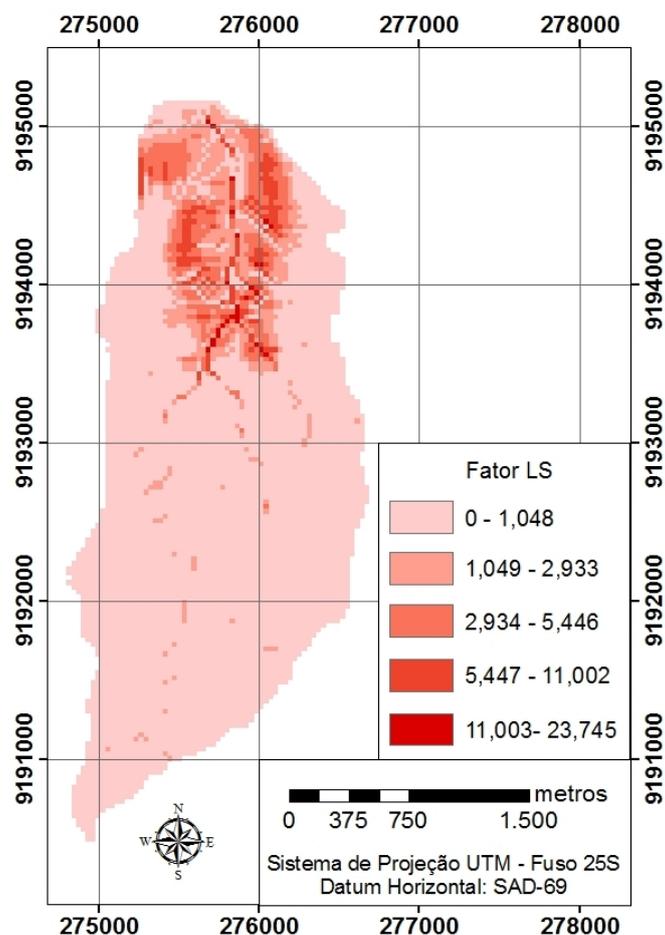


Figura 4 – Mapa do Fator LS para a Bacia Experimental Riacho Guaraíra.

Evolução do Uso e Ocupação do Solo

Conforme a Tabela 7, no mapeamento para o ano de 1974 foram encontradas as classes cana-de-açúcar, cerrado e mata. Já para o ano de 2011 foram encontradas as classes cana-de-açúcar, cerrado, mata e solo exposto. A composição vegetal representada pelas classes mata e cerrado recobriam juntas uma área bastante considerável da bacia em 1974, ocupando 5,29 km² (92,5%) da área total. Para o ano de 2011, as classes: mata e cerrado, juntas, ocupam atualmente uma área de 3,61 km² (63,1%).

No que se refere à classe solo exposto foi observado o seu aparecimento apenas para o ano de 2011 ocupando 0,22 km² (3,80%), tal ocorrência pode estar relacionado à ausência total da cobertura vegetal por ação erosiva ou com áreas preparadas para o plantio da cultura cana-de-açúcar.

As espacializações das classes de uso e ocupação representadas nas Figuras 7 e 8 possibilitaram a identificação das atividades existentes na bacia em 1974 e 2011, além de contribuir para a análise do processo de evolução das áreas mais vulneráveis a erosão.

Tabela 7 – Uso e ocupação do solo para os períodos de 1974 e 2011 em km²

Classe	1974		2011	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Cana-de-açúcar	0,44	7,5	1,90	33,1
Cerrado	3,80	66,8	2,69	46,8
Mata	1,49	25,7	0,92	16,3
Solo Exposto	-	-	0,22	3,80
TOTAL	5,73	100,0	5,73	100,0

Estimativa das Perdas de Solo

Os resultados obtidos das perdas de solo da bacia estão representados na tabela 8 e foram distribuídos em 6 classes de perda de solo, cujos intervalos variaram de 0 a > 20 ton/ha/ano, tanto para o período de 1974 quanto para o de 2011

No que se refere às perdas de solo para o ano de 1974 os resultados sugerem que a produção de sedimentos representada pela classe de 0 a 5 t/ha.ano

compreendia quase toda bacia, ocupando uma área de 5,29 km² (91,8%), enquanto que a classe de > 20 t/ha.ano tinha uma produção de sedimentos referente a uma área de apenas 0,13 km² (2,5%). Para o ano de 2011 houve um aumento considerável na produção de sedimentos no que se refere à classe com perdas de solo > 20 t/ha.ano, correspondendo a 5,6 % da bacia. Não foram encontradas perdas de solo superiores a 50 ton/ha/ano em ambos os períodos.

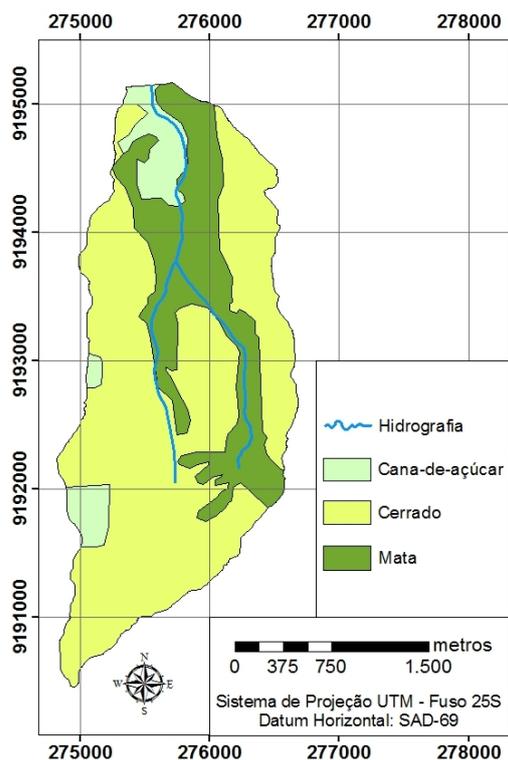


Figura 5. Classes de uso e ocupação do solo em 1974.

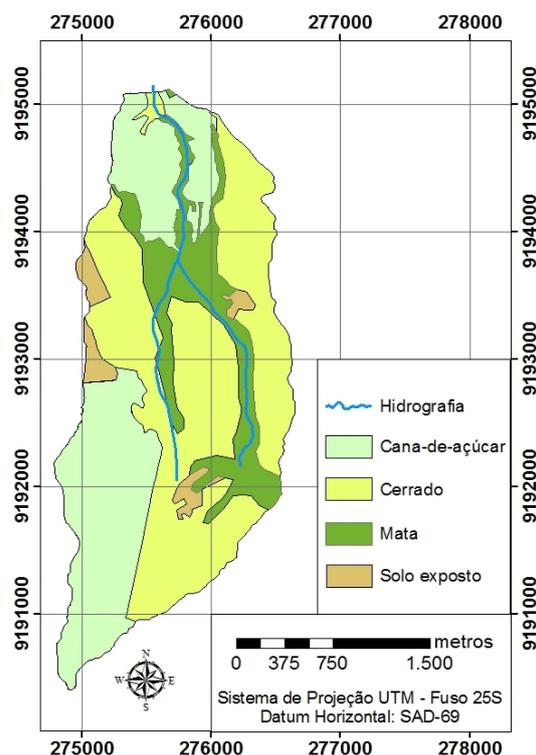


Figura 6. Classes de uso e ocupação do solo em 2011.

Em concordância com o mapeamento do uso e manejo dos solos da bacia, na análise evolutiva das classes de perdas de solo verificou-se que houve um aumento em 5 vezes da classe de > 20 t/ha.ano de 1974 a 2011. Isso pode estar relacionado ao aumento do desmatamento em faixas que possuem declividades mais acentuadas, próximas ao curso do rio que corta a bacia.

Nas Figuras 7 e 8 é representada a distribuição espacial das perdas de solo da bacia Guaraíra nos dois períodos estudados. Na espacialização das classes verificou-se que as altas perdas de solo (acima de 20 ton/ha/ano), concentraram-se nas regiões com cana-de-açúcar e solo exposto. Esses setores são

potencialmente mais suscetíveis aos processos de erosão, devido o conjugado das características erosividade, erodibilidade, e declividade, além disso, tem o agravamento da influência da ação antrópica com o cultivo da cana nessas parcelas.

Tabela 8 – Perdas de solo de 1974 e 2011 por área ocupada

Classes (t/ha.ano)	1974		2011	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
0 -5	5,29	91,8	4,94	86,6
6- 10	0,12	2,4	0,18	3,2
11- 15	0,10	1,7	0,15	2,4
16 - 20	0,09	1,6	0,12	2,2
> 20	0,13	2,5	0,34	5,6

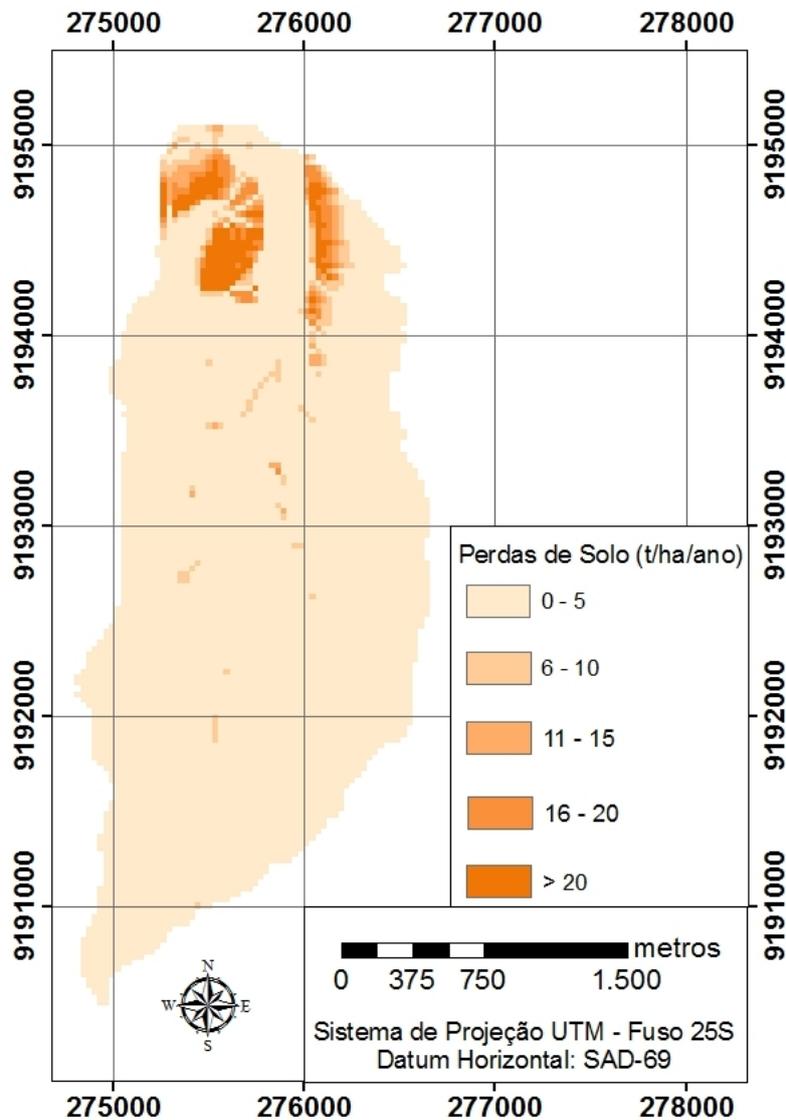


Figura 7. Mapa das Perdas de solos em 1974.

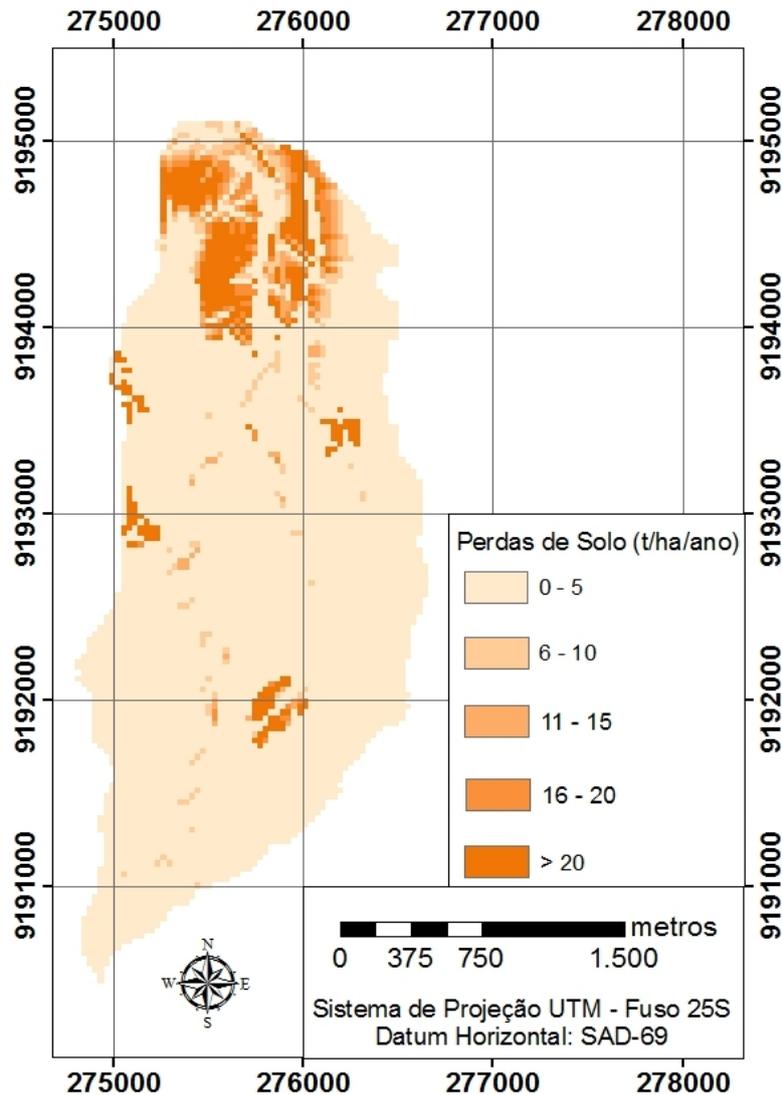


Figura 8. Mapa das Perdas de solo em 2011.

Com relação às perdas de solos segundo os tipos de solos, verificou-se que as maiores perdas de solo ocorrem onde estão presentes os solos Argissolo Vermelho Amarelo e onde também se concentra a classe cana-de-açúcar. Na porção onde se encontra o tipo Podzol Hidromórfico os maiores valores de perdas de solo foram encontrados nas áreas com solos expostos somente para o período de 2011.

Ao analisar os resultados dos dois períodos e baseando-se na classificação de FAO (1967), conforme a tabela 9, os valores de perdas de solo na bacia foram considerados de baixos a moderados.

Tabela 9 – Perda de solo por Grau de erosão

Perda de solo (t/ha.ano)	Grau de erosão
< 10	Baixo
10 – 50	Moderado
50 – 200	Alto
> 200	Muito alto

Fonte: Adaptado de FAO (1967).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização integrada entre SIG e a USLE se mostrou uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo na Bacia Experimental Riacho Guaraíra e na identificação das áreas mais suscetíveis a erosão.

Os valores estimados de perdas de solo para os dois períodos estudados sugerem que houve um aumento considerável do desmatamento durante os últimos 30 anos. Apesar de os tipos de solo encontrados na bacia oferecem certa resistência à erosão, a influência da ação antrópica com o plantio de cana-de-açúcar vem interferindo nas perdas de solo da bacia. Nas áreas de maiores valores de perda de solo, foram as que concentravam intensa influência da ação antrópica, além de possuírem os maiores valores de declividades e onde o solo tinha pouca ou nenhuma proteção.

Os dados analisados evidenciam também que para o controle do processo erosivo laminar na bacia é necessário um reordenamento do uso do solo, que pode ser efetivado adotando-se coberturas que sejam capazes de proteger o solo de forma apropriada e/ou adotando práticas conservacionistas por maquinais que rescindam o comprimento da rampa e diminuam o espaço de escoamento superficial da água. As informações coletadas que resultaram na construção de um Sistema Geográfico de Base de Dados – SGBD poderá servir de base nessas aplicações de gestão da bacia.

Além disso, há possibilidades futuras de compactação do solo na área da Bacia Guaraíra, caso continue com um manejo inadequado do solo e, conseqüentemente a isso, provoque impactos na região da Bacia do Rio Gramame, devido à produção de sedimentos e suas associações com agrotóxicos quando carregados pela ação das chuvas. Portanto, verifica-se a importância de novos

trabalhos relacionados com a temática apresentando alternativas a esses problemas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de pesquisa de IC do primeiro autor. Os autores agradecem ainda ao Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental –LARHENA e ao Laboratório de Ensino, Pesquisa e Projetos em Análise Espacial – LEPPAN, ambos da UFPB, pela disponibilização de dados e equipamentos utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, Gilson; SANTOS, José Roberto; COSTA, José Paulo Vieira da ; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo nas condições de Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 09, n. 02, p. 180-188, 2004.

ALMEIDA, C. M. Aplicação dos Sistemas de Sensoriamento Remoto por Imagens e o Planejamento Urbano e Regional. Arq.Urb - Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT), v. 3, p. 98-123, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação dos solos. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999, 335 p.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. 600 p.

CARVALHO, E. M.; PINTO, André Luiz ; SILVA, Priscila Vargas da . A evolução do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Porteira, Aquidauana/MS. In: I^o Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2006, Campo Grande. I^o Simpósio de Geotecnologias no Pantanal/Uso da terra e educação ambiental. Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2006. p. 438-446.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

F.A.O. 1967. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO, Roma, n. 81, 207 p.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. 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, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto, 2ª edição de Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. v. 1. 102 p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 12p. (Boletim Técnico, 28).

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade desolos paulistas. Campinas : Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 27).

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.

MOREIRA, E.; IVAN TARGINO; PEREIRA, M. P. B.; SOUZA, L. M.; PENHA, João Pereira da . Crise do Proalcool e Emprego Rural na Zona Canavieira da Paraíba, 1997.

MOORE, I. D.; BURCH, G. . Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Journal, n. 50, p. 1294-1298, 1986.

PINHEIRO, L. S.; CUNHA, C. M. L. Utilização do Fator Topográfico (Ls) da EUPS para predição de Processos Erosivos. In: 1º Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo, 2008, Rio Claro. 1º Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo. Rio Claro: Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008. p. 1182-1192.

SANTOS, L. L. Modelos Hidráulico-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, p. 1/3-19, 2009.

SILVA, V. de A. A utilização de técnicas de Geoprocessamento para modelagem de cenários de uso e perda de Solo na Bacia Hidrográfica do rio Colônia no Litoral Sul da Bahia (Brasil). VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

SILVA, R. M.; SANTOS, C.A.G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um equação hidrossedimentológico acoplado a um SIG. v. 12, n. 5, p. 520-526, 2008.

_____.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, L. P.; SILVA, J. F. C. B. C. Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin based on two erosion simulation models. *Revista Ambiente & Água*, v. 2, p. 19-33, 2007.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, v. 14, p. 55-64, 2010.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planting. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

ZHANG, Y. et al. Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GISframework to assess soil erosion risk. *Land Degradation & Development*, Iowa City, v.20, n.1, p. 84-91, 2009.