

APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE RAZÃO DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO GAMELEIRA COM SUPORTE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Richarde Marques da Silva¹; Fernanda Maria de L. Paiva²; Suzana M. Gico de L. Montenegro³ & Celso Augusto Guimarães Santos⁴

RESUMO – A região nordeste do Brasil apresenta um processo erosivo extremamente acentuado nas áreas rurais. Neste contexto, este estudo teve como objetivo principal estimar a produção de sedimentos na Bacia Experimental do Riacho Gameleira, localizada no Estado de Pernambuco, utilizando o modelo de perdas de solo (USLE) associado ao índice de transferência de sedimentos (SDR) em ambiente SIG. O procedimento consistiu na estimativa de perdas de solo por meio do modelo USLE a partir da taxa de transferência de sedimentos SDR pelos métodos propostos por: Vanoni, Renfro, USDA, USDA-NRCS, Maner, Roehl e Williams-Berndt. Foi determinada a produção de sedimentos na bacia usando cada equação de SDR e a USLE, pelo método do Forest Service. Os resultados de perdas de solo foram iguais a 107,56 ton/km², índice de SDR médio igual a 0,90 e produção de sedimentos média estimada de 82,14 ton/ha/mês para a Bacia Experimental do Riacho Gameleira. O uso do modelo USLE associado ao índice SDR permite uma análise quantitativa do aporte de sedimentos na bacia, uma importante ferramenta para o gerenciamento dos processos erosivos em bacias hidrográficas.

ABSTRACT – The northeast of Brazil presents intensive soil erosion processes, particularly in the rural areas. In this context, this study aimed to estimate the sediment yield in Gameleira Experimental River Basin, using soil erosion model, named USLE, combined with sediment delivery ratio (SDR), within a GIS framework. The estimation of sediment yield was based on USLE application USLE starting from the rate of transfer of sediments SDR using the proposed methods by Vanoni, Renfro, USDA, Maner, Roehl and Williams-Berndt. It was used to determine the sediment yield using each SDR equation, the USLE and the Forest Service method. The results suggest soil loss of 107,56 ton/km², SDR of 0,90 and estimates of sediment yield of 82,14 ton/ha/month, for Gameleira Experimental River Basin. The use of the USLE model combined with four SDR index approach allowed a quantitative analysis of sediment delivery in the basin, an important tool for water resources and erosion process management in rivers basin.

Palavras-chave: SDR, perdas de solos, bacia experimental.

¹ Doutorando em Engenharia Civil - Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, (DECIV/CTG/UFPE). Bolsista da FACEPE – Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. E-mail: richarde.silva@ufpe.br

² Doutoranda em Engenharia Civil - Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, (DECIV/CTG/UFPE). Bolsista da FACEPE – Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. E-mail: fernandalimpaiva@yahoo.com.br

³ Professora Associada da UFPE, CTG, Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 8709. E-mail: suzanam@ufpe.br

⁴ Professor Adjunto da UFPB, CT, João Pessoa-PB, 58051-900, Telefax: (83)3216-7684. E-mail: celso@ct.ufpb.br

1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é entendida como um ciclo de alteração, desagregação, transporte e sedimentação dos constituintes do solo, que são influenciados pela ação da água e do vento. A erosão, enquanto agente transformador da superfície terrestre, não se restringe ao mero impacto da chuva no solo. Os fatores interventores que agem na modelagem do terreno podem classificar-se em dois grandes grupos: (a) os que determinam ou caracterizam a ação erosiva da chuva e do escoamento superficial, e (b) os que determinam ou caracterizam a erodibilidade do solo no seu conjunto (tipo de solo e cobertura).

A topografia, o tipo de solo, a vegetação, a ação humana e o tempo, atuam conjuntamente nas bacias hidrográficas no sentido de alterar e modelar a paisagem. Outro fator interveniente e muito importante na modificação da paisagem é o uso inadequado do solo, que causa profundos impactos aos recursos naturais através da degradação da qualidade do solo e da água. Como consequências do uso inadequado do solo pode-se citar a degradação dos solos, a diminuição da produtividade agrícola, o assoreamento dos rios e reservatórios e o aumento da concentração de elementos tóxicos nas águas, como os problemas mais importantes que merecem ser estudados.

Neste trabalho será enfocado a degradação do solo, a partir da aplicação de diferentes equações de taxa de transferência de sedimentos para se determinar o aporte de sedimentos na Bacia Experimental do Riacho Gameleira. Para tanto, modelos matemáticos vêm sendo usados extensivamente desde a década de 1950 com objetivo de investigar os problemas relacionados a estimativa de vazão e erosão e produção de sedimentos, entre outros processos relacionados aos recursos hídricos (Bobba *et al.*, 2000). Atualmente, há uma enorme quantidade de métodos para se estimar a produção de sedimentos, seja através de forma direta, como, por exemplo, a coleta de dados em campo ou de métodos indiretos, por meio de modelos matemáticos.

Nesse sentido, para estudar a erosão dos solos, alguns modelos foram desenvolvidos com o propósito de estimar a taxa de transferência de sedimentos e a produção de sedimentos. Os modelos podem ser divididos em dois tipos: (a) empíricos e (b) base física. O primeiro são os chamados modelos estatísticos ou empíricos, como a USLE. Estes tipos de modelos são estabelecidos com base em estatísticas baseados em dados observados, que são usualmente de fácil manuseio e computacionalmente eficientes. O segundo tipo de modelo é chamado de paramétricos, determinísticos, ou modelos de base física, que são desenvolvidos e baseados em processos hidrológicos e sedimentológicos. Esses modelos requerem grande número de parâmetros de entrada.

Com evolução computacional e a disseminação das técnicas de Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto, os modelos hidrológicos foram incorporados ao ambiente SIG, permitindo a integração de bases de dados espaciais e não espaciais e, conseqüentemente, análises espaciais dos processos hidrossedimentológicos (João e Walsh, 1992; Pullar e Springer, 2000; He, 2003).

A integração entre modelos de simulação hidrossedimentológica com o SIG permite a manipulação e a construção de bases espaciais de diversos tipos de dados de forma integrada num mesmo sistema de referência. Segundo Rocha (2000), o SIG permite conexões entre diferentes atividades, baseado em sua proximidade geográfica. De modo simplificado, um SIG combina diversos níveis de informação sobre um lugar fornecendo-lhe uma melhor compreensão sobre o mesmo. Este trabalho busca comparar diversas equações de taxa de transferência de sedimentos (SDR) e estimar a produção de sedimentos na Bacia Experimental do Rio Gameleira mediante o suporte de Sistemas de Informação Geográfica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

Para este estudo escolheu-se a Bacia Experimental do Rio Gameleira, localizada no município de Vitória de Santo Antão, na Zona da Mata de Pernambuco, aproximadamente entre 8° 08' de latitude sul e 35° 31' de longitude oeste (Figura 1). A Bacia Experimental do Rio Gameleira possui uma área de drenagem de 16,31 km², e está inserida em uma área de transição entre a zona da mata e o agreste. A bacia do Rio Gameleira faz limite ao norte com os municípios de Glória de Goitá e Chã de Alegria, ao sul com Primavera e Escada, ao leste com Moreno, Cabo e São Lourenço da Mata e a oeste com Pombos (Paiva *et al.*, 2008).

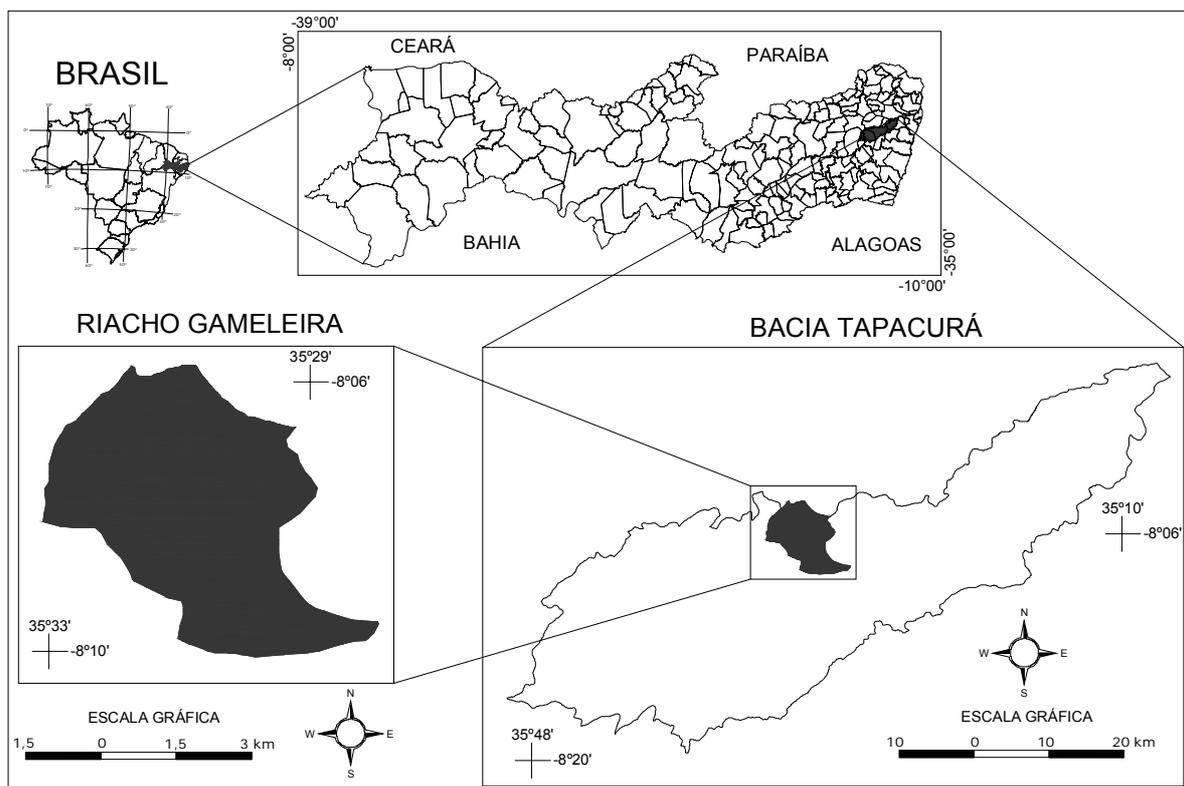


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica da Bacia Experimental do Rio Gameleira

O Rio Gameleira é afluente do Rio Tapacurá e está situada na bacia hidrográfica do rio Capibaribe. A Bacia do Rio Tapacurá é de grande importância para o abastecimento e controle de enchentes da região metropolitana do Recife (Araújo Filho, 2004). O relevo da Bacia do Rio Gameleira é representado por morros de declividade elevada, tendo seu ponto mais alto situado na cota de 430 m e o ponto mais baixo na seção do exutório do Rio Gameleira, com 140 m.

Os solos na bacia são predominantemente do tipo Argissolos e Gleissolos. Os solos Argissolos possuem ótima condição de drenagem, estrutura desenvolvida em blocos e grande porção de argila na sua composição, com porcentagem de silte superior 20%. Os solos do tipo Gleissolo ocorrem nas faixas marginais aos cursos d'água, se caracterizam por baixo coeficiente de infiltração quando saturados, basicamente são constituídos por perfis com uma camada que impede o movimento de água em profundidade ou com textura média a argilosa e baixa condutividade hidráulica (Braga, 2001).

2.2 Determinação da razão de transferência de sedimentos (*SDR - Sediment Delivery Ratio*)

O SDR estima a taxa de transferência de sedimentos que passa pelo exutório da bacia, usando algumas características da bacia, tais como: a distância que percorre o fluxo entre a área fonte e a saída da bacia; forma da encosta; porcentagem da cobertura vegetal no caminho percorrido pelo fluxo entre a área fonte à saída da bacia; textura do material.

Assim, com base na área da bacia, através de aproximações matemáticas empíricas o SDR, significa a porcentagem de erosão bruta que irá passar pela seção de controle da bacia, sendo que a diferença entre o que passou e a erosão bruta corresponde ao material erodido que ficou depositado.

O SDR foi calculado segundo sete autores através das equações abaixo:

1. Vanoni (1975)

$$SDR = 0,42 * A^{-0.125}$$

sendo A igual a área de drenagem em milhas quadradas.

2. Renfro (1978)

$$\log(SDR) = 1,7935 - 0,14191 \times \log(A)$$

onde A é a área da drenagem em km^2 .

3. USDA (1979)

$$SDR = 0,51 * A^{-0.11}$$

sendo A a área de drenagem também em milhas quadradas.

4. USDA-NRCS (1983)

$$SDR = 0,417762 \times A^{-0,134958} - 0,127097$$

onde A é a área de drenagem em milhas quadradas.

5. Maner (1952)

$$\log(SDR) = 2,943 - 0,824 \times \log\left(\frac{L_m}{F_r}\right)$$

A equação de Maner considera o efeito da declividade do terreno para o cálculo do transporte difuso em que, L_m representa o maior comprimento na bacia paralelo ao rio principal (m) e F_r o desnível entre a cota média do divisor e a cota do exutório.

6. Roehl (1968)

$$\log(SDR) = 4,27 - 0,23 \times \log(A) - 0,51 \times \log\left(\frac{L_m}{F_r}\right) - 2,79 \times \log(B)$$

Além dos parâmetros utilizados por Maner, Roehl considera a razão de bifurcação e a área da bacia na determinação da taxa de transporte difuso em que, A representa a área da bacia (milhas quadradas) e B a razão de bifurcação da bacia.

7. Williams-Berndt (1977)

$$SDR = 62,7 \times S_o^{0,403}$$

A equação de Williams-Berndt por sua vez, utiliza apenas a declividade do curso d'água principal como parâmetro para cálculo de SDR, em que S_o é a declividade média do rio principal.

2.3 O modelo EUPS: conceituação e aplicação

A EUPS é um modelo de base empírica que calcula a erosão do solo através de valores determinados por índices que representam os principais fatores, i.e., chuva, do solo, da topografia e do uso do solo. A EUPS foi inicialmente desenvolvida para parcelas agrícolas, mas atualmente vem sendo usada para estimar as perdas de solo em bacias hidrográficas, e mais recentemente incorporada ao SIG, para calcular a distribuição espacial das perdas de solo. A EUPS é expressa pela Equação 1:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \tag{1}$$

em que:

A = perda de solo por unidade de área no tempo (t/ha/ano);

R = fator de chuva ou índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = fator de erodibilidade do solo, isto é, a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico;

LS = fator comprimento do declive, ou seja, a relação de perdas de solo entre uma declividade e um comprimento de rampa para o mesmo solo e grau de declive;

C = fator uso e manejo, isto é, a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto;

P = fator de prática conservacionista, entendido como a relação entre as perdas do solo de um terreno cultivado com determinada prática.

2.3.1 O fator de erosividade da chuva

O fator de erosividade da chuva (R) foi calculado pela Equação 2 de Lombardi Neto & Moldenhauer (1980), a partir de dados diários observados de precipitação da estação pluviométrica localizadas na bacia experimental.

$$EI_{mensal} = 89,823(P_m^2 / P_a)^{0,759} \quad (2)$$

em que EI_{mensal} = média mensal do índice de erosão (MJ.mm/(h.ha)), P_m é a precipitação mensal (mm) do mês considerado e P_a é a precipitação média anual (mm). A espacialização da chuva foi determinada através do Método de Thiessen. Para a determinação do fator R , foram somados os valores das médias mensais do índice de erosividade para toda a série mensal.

2.3.2 O fator de erodibilidade do solo

O fator de erodibilidade do solo (K) foi obtido a partir dos mapas de solo baseados no Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (EMBRAPA, 1999). Os mapas de solos foram georreferenciados e digitalizados em ambiente CAD e exportados para ambiente SIG. A Tabela 1 apresenta os valores de K para os tipos de solo encontrados na bacia.

Tabela 1 – Valores do fator K para a Bacia Experimental do rio Gameleira

Tipos de Solos	Textura	K
		(t·ha·h/ha·MJ·mm)
Argissolos	Franco-Arenosa	0,032
Gleissolos	Argilosa	0,004

2.3.4 O fator de declividade e comprimento de vertente (LS)

A topografia da bacia foi gerada na escala 1:10.000, com equidistância de 5 m, a partir da interpolação de imagens SRTM. A identificação do uso do solo da bacia foi realizada a partir de imagens do satélite Landsat5/TM. A Figura 2 apresenta o modelo de elevação da bacia sob a forma de grade triangular.

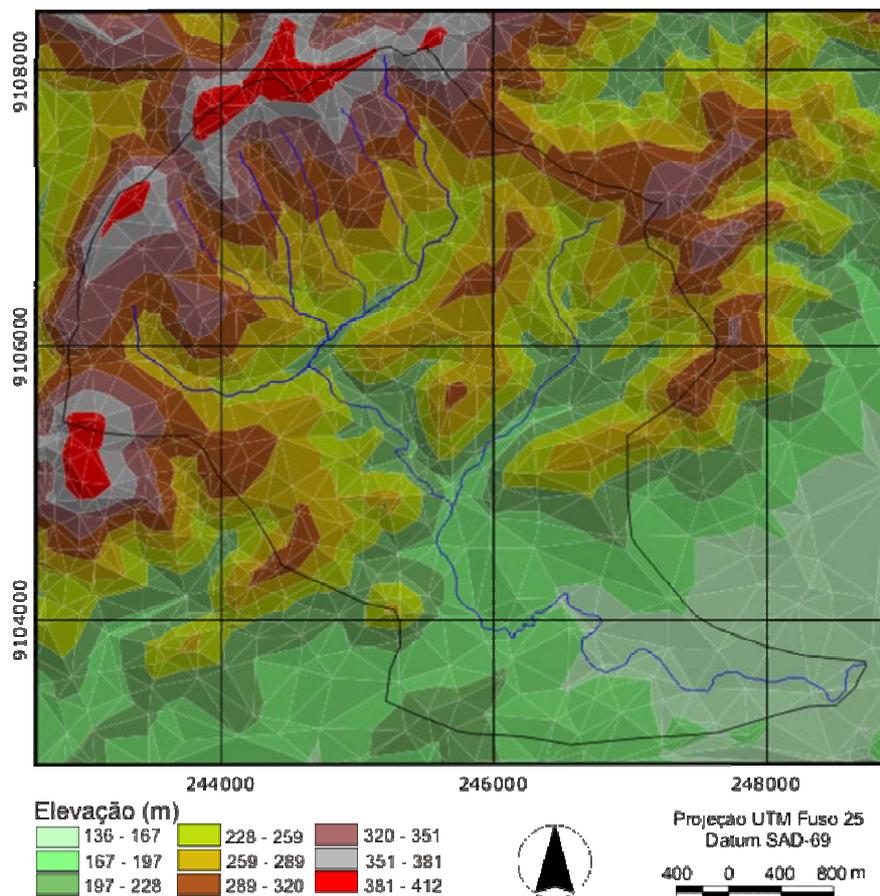


Figura 2 – Modelo digital de elevação da Bacia do Riacho Gameleira

Existem diversos métodos para a determinação do fator LS (Williams e Berndt, 1976; Moore e Burch, 1986; Desmet e Govers, 1996). Neste trabalho, utilizou-se o modelo proposto por Moore e Burch (1986), também utilizado por Engel e Mohtar (2006) para a estimativa desse fator, cuja formulação é dada na Equação 3:

$$LS = \left(\frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin\theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

sendo V o fluxo acumulado do escoamento na bacia multiplicado pelo tamanho da célula, e θ é o ângulo da declividade em graus.

2.3.5 Os fatores de uso, manejo e práticas conservacionistas (C e P)

O fator uso e manejo do solo (fator C) é a relação entre a perda de solo de um terreno cultivado em dadas condições e a perda correspondente de um terreno mantido continuamente descoberto. O fator P representa a razão entre a perda de solo que ocorre para uma dada prática conservacionista e aquela que ocorre para cultivos no sentido do declive máximo do terreno ou, como denominados usualmente, plantio morro abaixo (Bertoni e Lombardi Neto, 1985). As práticas conservacionistas mais utilizadas são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas.

A determinação dos fatores C e P da EUPS para a bacia foi baseada em imagens do sensor TM do satélite Landsat5, da órbita 214/ponto 65, com resolução espacial de 30 m. Foram identificadas na imagem a presença dos seguintes usos e manejos do solo: (a) policulturas, (b) horticultura, (c) áreas de mata, (d) áreas urbanas, (e) granjas, e (f) mata capoeira. No que tange existência de práticas conservacionistas na bacia, foram mapeadas as seguintes ocorrências: (a) plantios morro a baixo, (b) plantios em contorno, (c) áreas com cordões de vegetação nas áreas com presença de mata, e (d) áreas urbanas.

Os valores para cada tipo de uso e manejo do solo e suas práticas conservacionistas existentes na bacia, foram baseados nos recomendados por Bertoni e Lombardi Neto (1985), e podem ser encontrados em Silva *et al.* (2008).

Para analisar as perdas de solo na bacia utilizou-se a interpretação de perdas de solo proposta por Carvalho (2000), que define seis classes para análise de perdas de solo em bacias hidrográficas (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de interpretação de perdas de solo em bacias hidrográficas, segundo Carvalho (2000)

Taxa de Perda de Solo (t/ha/ano)	Interpretação
< 10	Nula a pequena
10 – 15	Moderada
15 – 50	Média
50 – 120	Média a forte
120 – 200	Forte
> 200	Muito Forte

2.3.6 Determinação do aporte de sedimentos na bacia

A partir das perdas de solo pelo modelo USLE e do índice SDR procedeu-se à estimativa da produção de sedimentos em função da área das bacias, segundo Forest Service (1980):

$$Y = SDR \times A \times A_b \quad (4)$$

sendo Y o aporte de sedimentos ton/km^2 , SDR a taxa de transferência de sedimentos, adimensional, A a perda de solo pela USLE ($\text{ton}/\text{ha}/\text{mês}$) e A_b a área da bacia em km^2 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação da perda de solo na bacia

Foram identificados na bacia dois tipos de solo Argissolos com textura Franco-Arenosa e Gleissolos com textura argilosa. A Figura 3 apresenta a espacialização dos solos e os valores do Fator K na bacia.

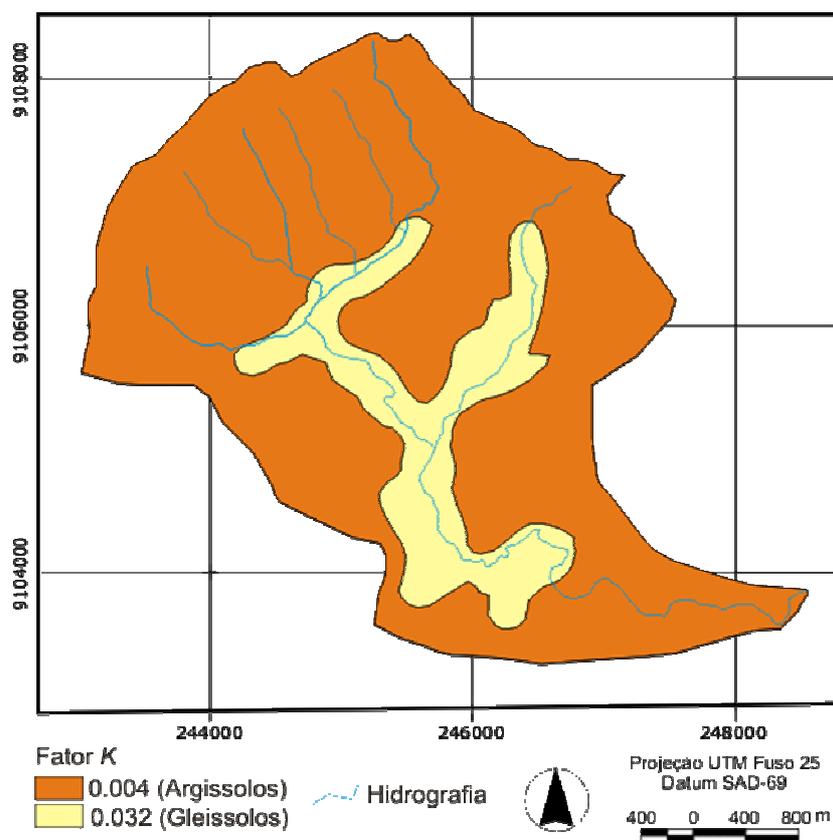


Figura 3 – Espacialização do Fator K para Bacia Experimental do Gameleira

O fator conjunto de comprimento e grau de declive (LS) foi calculado a partir da Equação 3, cujos resultados obtidos para esse fator estão apresentados na Figura 4. A avaliação desse fator apresentou uma variação na área de estudo, com valores entre 0 e 6, apresentando baixa amplitude das declividades. Nota-se que em grande parte da área da bacia o fator LS é igual ou inferior a 0,88. A Bacia do Rio Gameleira possui 90% da área com Fator LS inferior a 8 e 10% da área com esse fator maior que 10%. Ainda com relação ao Fator LS , deve-se observar que, na quantificação do processo erosivo, considerou-se esse fator como natural; portanto, o comprimento de rampa (linha em desnível do divisor de água até o rio) foi considerado na sua totalidade, mas sabe-se que é

fragmentado pela presença de matas ou por práticas conservacionistas que alteram a dinâmica da água.

A Figura 5 mostra a espacialização do fator de uso e manejo do solo (Fator C). Na bacia foram identificadas a presença de policulturas, horticultura (que ocupam maior parte da bacia), remanescentes de mata e pequenas porções de áreas urbanas e mata do tipo capoeira. A partir de métodos em ambiente SIG foi possível determinar as perdas de solo anual para cada tipo de uso do solo existentes na bacia após a aplicação da USLE, como pode ser conferido na Tabela 3. Percebe-se que o uso do solo do tipo Horticultura apresentou a maior média anual de perdas de solo estimada de 20,77 ton/km², mesmo não possuindo a maior área de ocorrência na bacia. Esse fato deve-se que esse uso é caracterizado por intenso uso de vários ciclos de culturas.

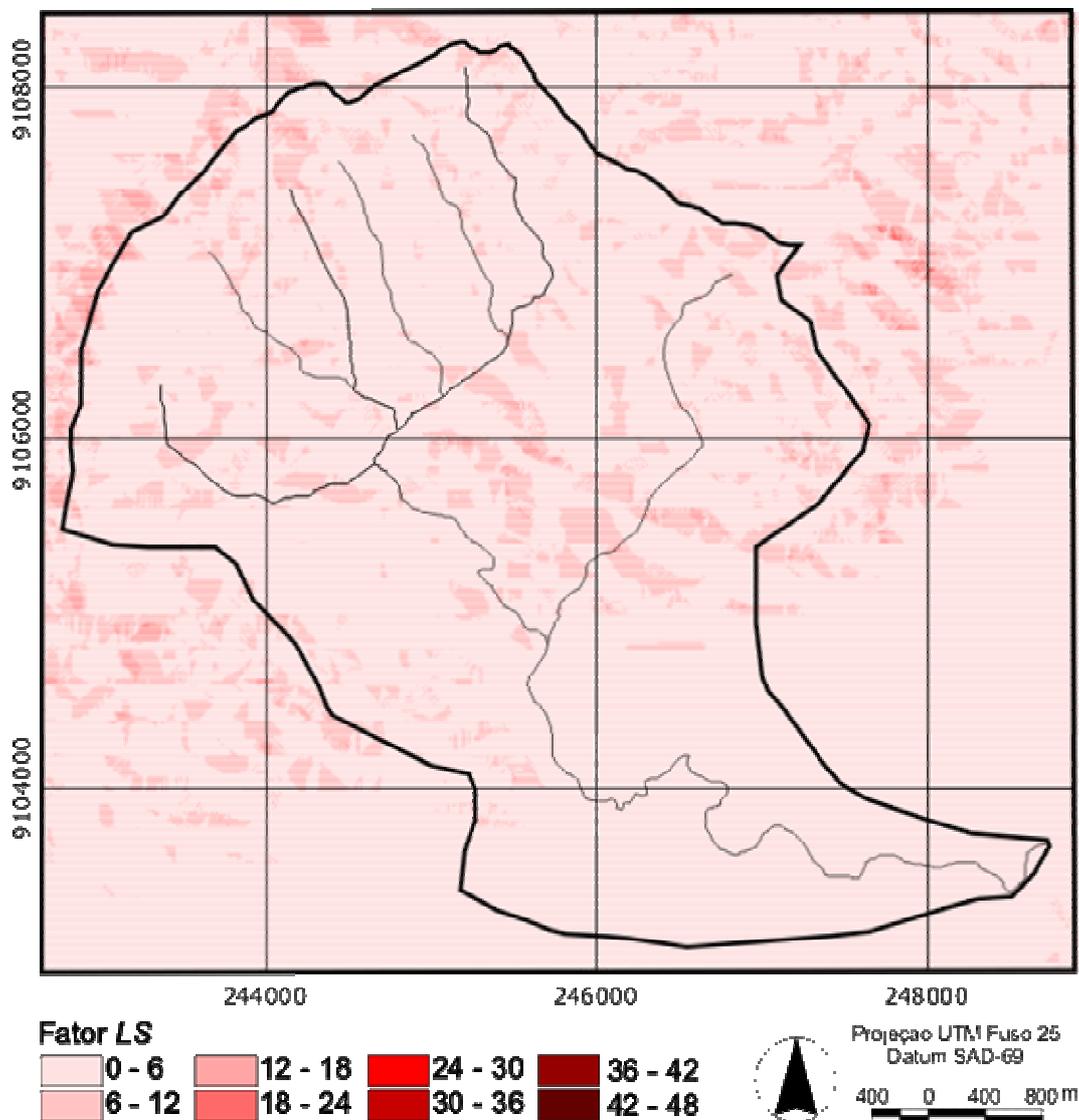


Figura 4 – Espacialização do Fator *LS* para Bacia Experimental do Gameleira

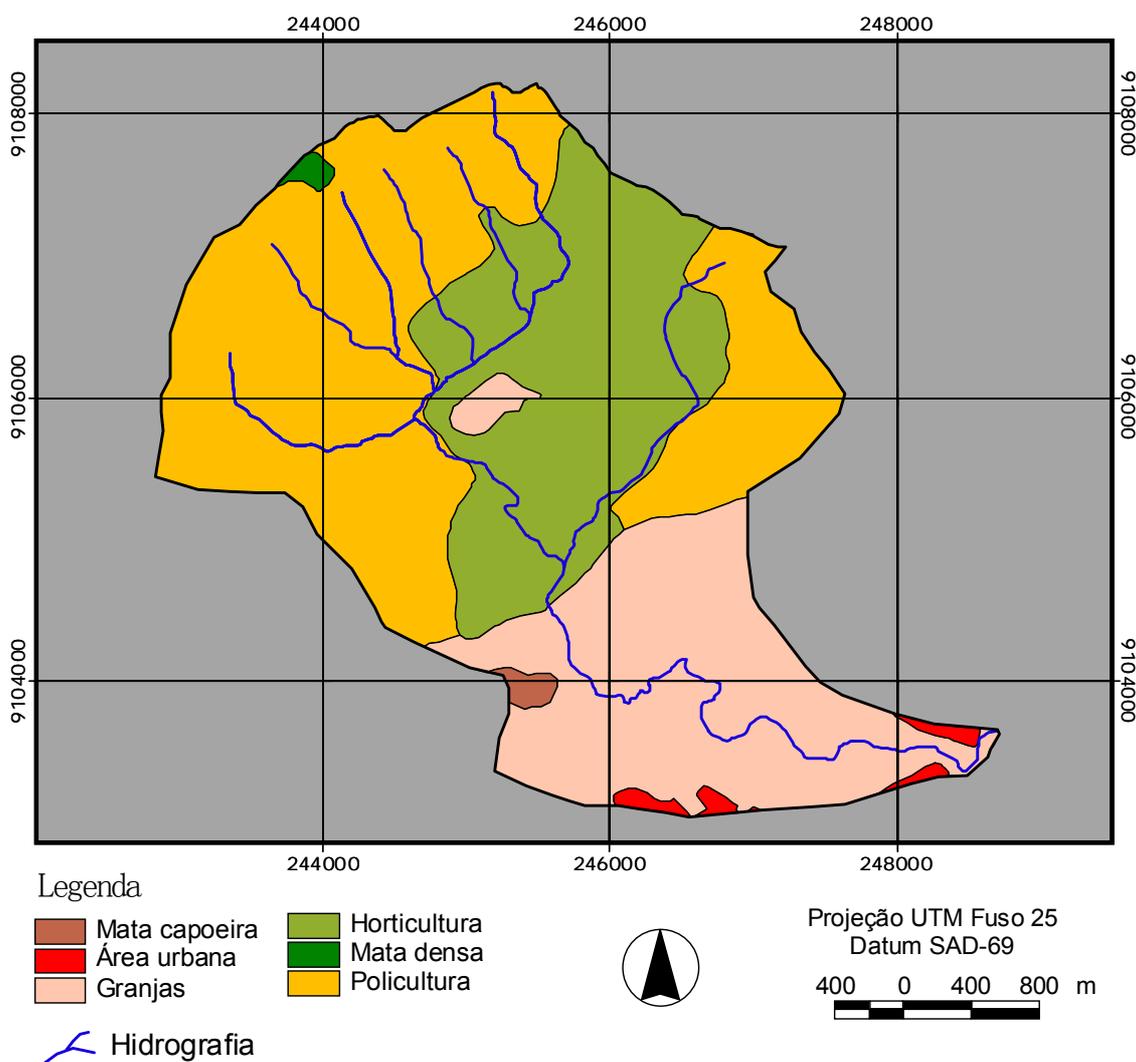


Figura 5 – Espacialização do Fator C

Tabela 3 – Estatística das perdas de solo segundo os tipos de uso do solo

Uso do solo	Área (km ²)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Perdas de solo (ton/km ² /ano)
Mata	0,06	0,00	33,04	2,09	2,55	20,91
Policultura	7,25	0,00	77,74	8,04	6,10	80,43
Horticultura	4,45	0,00	141,96	20,77	21,36	207,67
Granja	4,30	0,00	116,51	5,63	7,12	56,32
Área urbana	0,16	0,00	2,22	0,01	0,11	0,10
Capoeira	0,09	0,00	24,71	3,69	4,30	36,89

A Figura 6 apresenta um exemplo de plantação de horticultura presente na bacia e a Figura 7 mostra a espacialização do fator de práticas conservacionistas (Fator P). Na bacia há a presença de práticas conservacionistas de plantios morro a baixo, em contorno e pequenas áreas de cordões de vegetação nas áreas com presença de mata.

No que tange a espacialização das perdas de solo segundo as áreas de práticas conservacionistas, nota-se que nas áreas de Plantio morro abaixo são as áreas com maior média e perdas de solo anual de 21,36 e 207,67, respectivamente. As áreas com práticas conservacionistas

do tipo cordões de vegetação, devido ao fato da influência da cobertura vegetal de porte médio na bacia, podem ser consideradas como responsáveis pelos valores mais baixos, apresentando perdas de solo média de 2,55 e anual de 20,91 ton/km². A Figura 8 exemplifica um resquício de mata na bacia considerada como prática conservacionista do tipo cordões de vegetação.



Figura 6 – Exemplo de plantação de horticultura na bacia

A Tabela 4 apresenta informações sobre as perdas de solo segundo cada prática conservacionistas presente na bacia. Percebe-se que a área com Plantio em contorno possui área total de 11,64 km², o que representa 71% da área total da bacia. Nessa prática conservacionista a perda de solo estimada foi de 71,18 (ton/km²). De acordo com os resultados obtidos, destaca-se ainda que a área com presença de Plantio morro a abaixo ocorre em 4,45 km², o que representa 27% da área total da bacia, e a perda de solo estimada nessa prática conservacionista foi calculada como sendo igual a 207,67 (ton/km²).

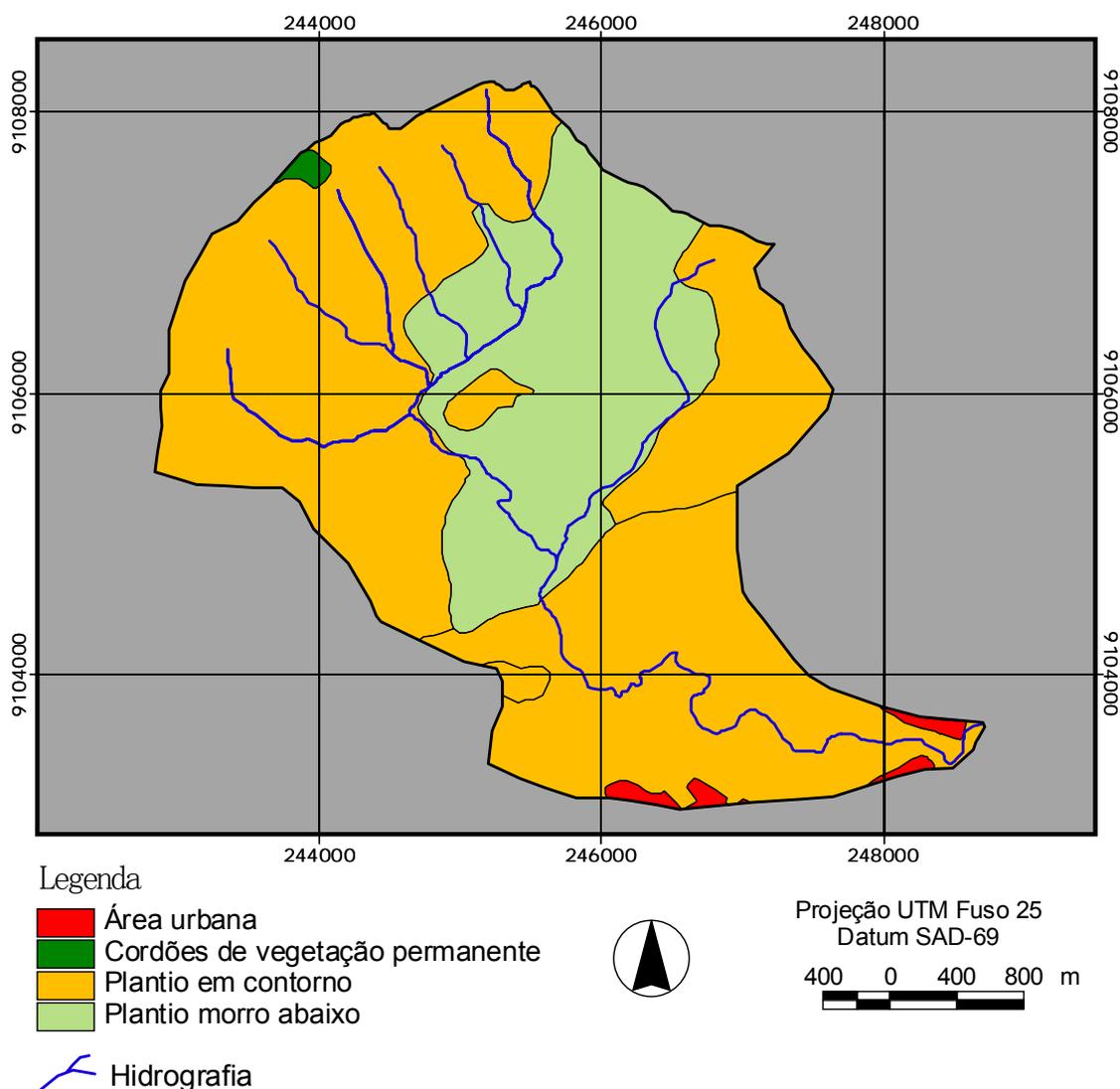


Figura 7 – Espacialização do Fator P

Tabela 4 – Estatística das perdas de solo segundo as práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	Área (km ²)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Perdas de solo (ton/km ²)
Cordões de vegetação	0,06	0,00	33,04	2,09	2,55	20,91
Plantio em contorno	11,64	0,00	116,51	7,12	6,60	71,18
Plantio morro a abaixo	4,45	0,00	141,96	20,77	21,36	207,67
Área urbana	0,16	0,00	2,22	0,01	0,11	0,10

A partir do mapeamento das perdas de solo na Bacia Experimental do Rio Gameleira foi determinada a ocorrência de diferentes graus de perdas de solo. A Figura 9 apresenta a espacialização das perdas de solo na bacia obtida pelo cálculo da EUPS em ambiente SIG. Analisando os dados, pode-se constatar que grande parte da mesma apresenta um potencial de perdas de solo considerado como moderado, baseado nas classes de interpretação de perdas de solo. Percebe-se que poucas porções da bacia apresentam susceptibilidade a perdas de solo que merecem maior controle no uso de práticas conservacionistas para o controle da gestão ambiental da bacia.



Figura 8 – Exemplo de mata na bacia considerada como cordões de vegetação.

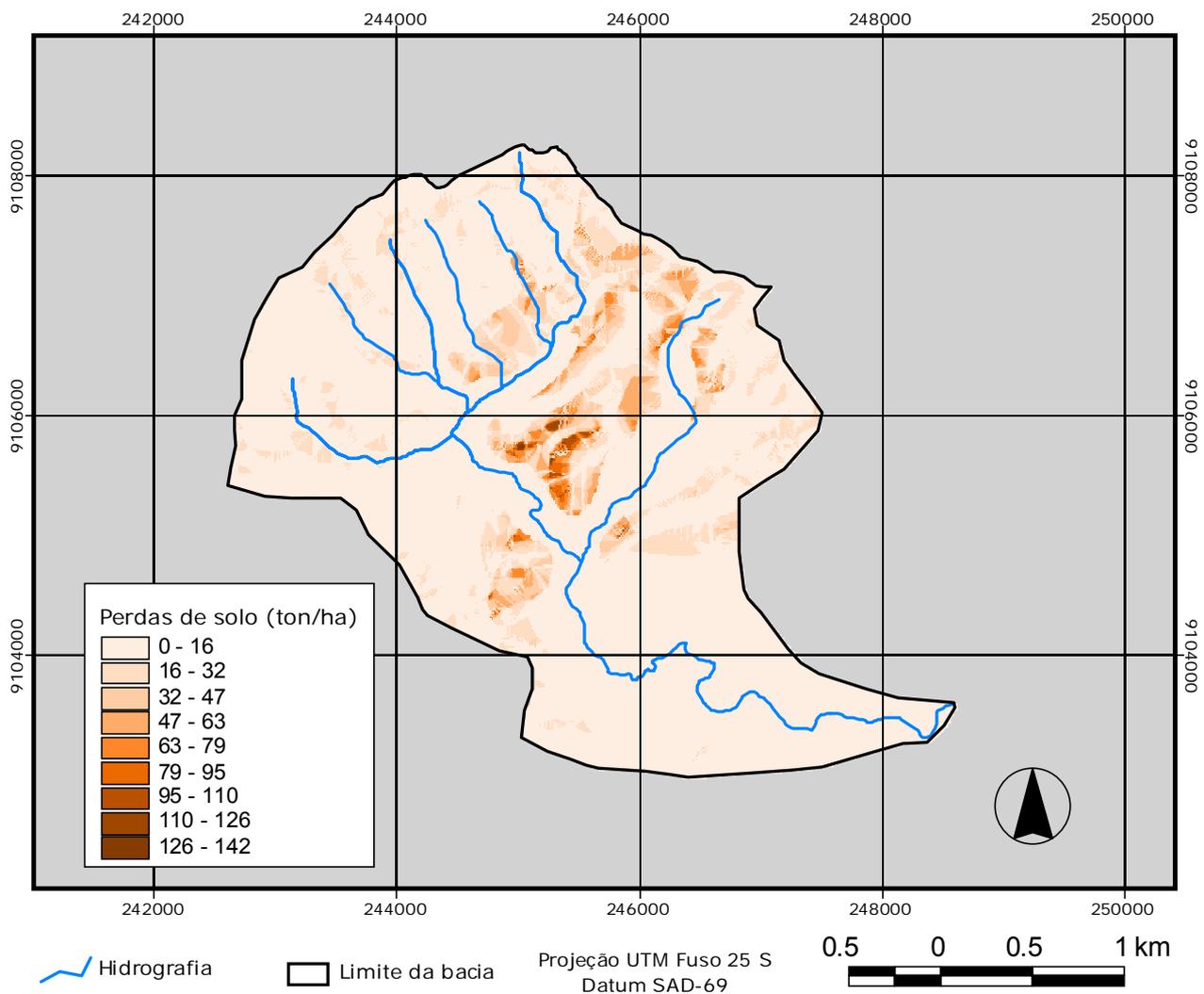


Figura 9 – Estimativa das perdas de solo para a Bacia Experimental Gameleira

3.2 Razão de transferência de sedimentos (SDR) e aporte de sedimentos na bacia

O SDR obtido através da aplicação das equações apresentadas, a diferença de cada SDR em relação a média, e a produção de sedimentos para cada método empírico na bacia de estudo, são apresentados na Tabela 5. A partir do valor do SDR e do valor médio mensal da perda de solo obtido, foi estimada a carga de sedimentos que potencialmente chegaria ao exutório da bacia.

Tabela 5 – Valores de SDR e produção de sedimentos correspondente

Métodos	Taxa de Transferência de Sedimentos (SDR)	Diferença em relação a média	Aporte de sedimentos na bacia (ton/ha/mês)
Vanoni	0,33	-0,57	30,40
Renfro	1,62	0,72	147,48
USDA	0,42	-0,48	37,94
USDA-NRCS	0,20	-0,70	18,11
Maner	1,43	0,53	130,36
Roehl	1,41	0,51	128,58
Williams-Berndt	0,90	0,00	82,145

Os métodos aplicados na bacia que apresentaram maiores diferenças com relação a média calculada de SDR foram o de Renfro (0,72) e USDA-NRCS (-0,70). Em contrapartida o método de Williams-Berndt não apresentou diferença em relação a média calculada. Comparando com resultados de diversas equações empíricas de SDR obtidos por Farias *et al.* (2005) na bacia do Aiuaba, localizada em área semiárida do Ceará, concluíram que as equações empíricas superestimaram a produção de sedimentos na bacia em relação ao observado. As equações que apresentaram os maiores erros foram a de Maner, Roehl e Williams-Berndt. As demais equações usadas no presente estudo não foram avaliadas por Farias *et al.* (2005).

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a aplicação de diferentes equações de razão de transferência de sedimentos com suporte de Sistemas de Informação Geográfica, para a Bacia Experimental do Rio Gameleira, localizada no Estado de Pernambuco. Foram utilizadas as equações de Vanoni, Renfro, USDA, USDA-NRCS, Maner, Roehl e Williams-Berndt.

Constatou-se que os resultados de perdas de solo foram iguais a 107,56 ton/km², comparado com as classes de interpretação de perdas de solo em bacias hidrográficas, segundo Carvalho (2000), a Bacia Experimental do Riacho Gameleira apresenta perda de solo considerada como Média a forte. O índice de SDR médio calculada para a bacia foi igual a 0,90. A produção de sedimentos média estimada obtida pela determinação do aporte de sedimentos na bacia, segundo Forest Service (1980) foi de 82,14 ton/ha/mês.

O modelo preditivo de erosão USLE, embora projetado para estimar as perdas anuais de solo em encostas, quando associado ao índice de transferência de sedimentos pode ser aplicado para estimar a produção de sedimentos em bacias hidrográficas principalmente com o apoio de Sistemas de Informação Geográfica hoje disponíveis. Entretanto, embora a sua aplicação na espacialização de áreas críticas de perdas de solo e de produção de sedimentos possa subsidiar a implementação de um manejo conservacionista no uso das terras, para estimativas quantitativas são necessárias além da validação dos resultados, maiores pesquisas dos métodos inseridos nos modelos para o cálculo dos seus parâmetros e dados observados de produção de sedimentos, que possam permitir a validação do modelo. Além disso, por se tratar de um modelo empírico baseado em resultados de amostras locais apresenta limitações para a extrapolação dos resultados obtidos para a bacia representativa.

O trabalho foi importante para uma investigação inicial sobre a aplicabilidade e grau de sensibilidade dos métodos disponíveis e, sobretudo, a incorporação das equações de razão de transferência de sedimentos com suporte de SIG.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CT-HIDRO/CNPq, CNPq, Projeto BEER/FINEP e FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pelos incentivos proporcionados através dos auxílios financeiros e das bolsas de doutorado para a realização desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO FILHO, P. F. (2004). *“Modelagem hidrológica, com implantação de um limite máximo no déficit hídrico do modelo TOPMODEL, e aplicação na região de transição entre a Zona da Mata e o Agreste pernambucano”*. Tese de doutorado do Departamento de Energia Nuclear da UFPE.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do Solo*. São Paulo: Icone.

BOBBA, A. G.; SINGH, V. P.; BENGTSSON, L. (2000). *“Application of environmental models to different hydrological systems”*. *Ecological Modelling* 125, pp. 15 – 49.

BRAGA, R. A. P. (2001) *“Gestão ambiental da bacia do rio Tapacurá – Plano de ação*. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 101 p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. (2000). *“Guia de práticas sedimentométricas”*. ANEEL Brasília - DF, 154 p.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. (1996). *“A GIS procedure for automatically calculating the EUPS LS factor on topographically complex landscape units”*. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(5), pp. 427 – 433.

- EMBRAPA (1999). *“Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco”*. Recife: Embrapa, 1999.
- ENGEL, B.; MOHTAR, R. (2006). *“Estimating soil erosion using REUPS and the ArcView GIS”*. Acesso em: 01 de março de 2007. Acesso em: 06/05/2007. Disponível em: <http://pasture.ecn.purdue.edu/~abe526/resources1/workshop/gisrEUPS2.doc>.
- PAIVA, F. M. L.; SILVA, R. M.; FURTUNATO, O. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. (2008). *“Modelagem hidrológica e estimativa preliminar da produção de sedimentos na Bacia Experimental Gameleira, Pernambuco”* in Anais do IX Simpósio Nordestino de Recursos Hídricos, Salvador.
- FARIAS, T. R. L.; COSTA, A. C.; ARAÚJO, J. C. (2005). *“Produção de sedimentos em uma bacia experimental do semi-árido: medida e modelagem”* in Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa.
- FOREST SERVICE (1980). *“An Approach to Water Resources Evaluation of Non-Point Silvicultural Sources”*. Environmental protection Agency (EPA-600/8-80-012).
- HE, C. (2003). *“Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management”*. Environmental Modelling & Software 18, pp. 809 – 813.
- JOÃO, E. M.; WALSH, S. J. (1992). *“GIS implications for hydrologic modeling: simulation of nonpoint pollution generated as a consequence of watershed development scenarios”*. Comput. Environment & Urban Systems 16, pp. 43 – 63.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. (1980). *“Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP”* in Anais do III Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação do Solo, Campinas: SBCS, p. 13 – 25.
- MANER, S.B. (1958) *“Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area”*. Transaction of American Geophysics 39, 669 – 675.
- MOORE, I.D.; BURCH, G. (1986). *“Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation”*. Soil Science Society of America Journal 50, pp. 1294 – 1298.
- PULLAR, D.; SPRINGER, D. (2000). *“Towards integrating GIS and catchment models”*. Journal of Hydrology. 15(5), pp. 451 – 459.
- RENFRO, G. W. (1975). *“Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield”*. In Present and Prospective technology for Predicting Sediment Yields and Sources, Agricultural Resources Services, ARS-S-40, US Dept. Agric., Washington, D.C., p. 33-45.
- ROCHA, C. H B. (2000). *“Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar”*. Juiz de Fora: Ed. do autor, 2000. 220 p.
- ROEHL, J.E. (1962). *“Sediment source areas, and delivery ratios influencing morphological factors”*. International Association of Hydrological Sciences 59, pp. 202 – 213.

SILVA R. M.; PAIVA, F. M. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; FURTUNATO, O. M.; SANTOS, C. A. G. (2008). “*Comparação entre dois modelos de perdas de solo na Bacia Experimental do Rio Gameleira*” in Anais do VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Campo Grande.

USDA (1979). “*Universal standards for grade of American upland cotton*”. Washington: USDA, 1979.

USDA-NRCS (1983). “*Channel evaluation Workshop*”. Ventura, California, November 14-18, 1983. Presented at U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center training session by Lyle J. Steffen, Geologist, Soil Conservation Service, Davis, CA. December 14, 1982.

VANONI, V. A. (1975). “*Sedimentation Engineering*”. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.54. American Society of Civil Engineers, New York.

WILLIAMS, J.R.; BERNDT, H.D. (1977). “*Sediment yield prediction based on watershed hydrology*”. American Society Agric. Eng. 20, pp. 1100 – 1104.