



APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA ESTIMATIVA DE EROSÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UNA - PERNAMBUCO

José Guimarães de Carvalho Neto¹, José Yure Gomes da Silva², Richarde Marques da Silva³ & Suzana Maria Gico Lima Montenegro⁴

RESUMO --- A perda de solo, diante da erosão hídrica, é um grave problema a nível global de degradação de terras agrícolas. As estimativas de perda de solo por erosão devem considerar diversos parâmetros, de tal modo que se busca um intervalo possível da massa de sedimentos perdida. Entre os diversos modelos que calculam a perda de solo, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é uma das aplicadas a nível mundial. Neste trabalho aplicou-se o modelo hidrológico SWAT, que contém a EUPS Modificada, na bacia hidrográfica do Rio Una, Estado de Pernambuco. O objetivo do presente trabalho foi o de averiguar as estimativas de perdas de solo obtidas para diferentes valores do Fator de Cobertura do Solo, da (EUPS). Inicialmente a vazão foi calibrada, obtendo resultados satisfatórios, ajudando na credibilidade das estimativas da erosão do solo. A aplicação de valores do Fator C encontrados na literatura nacional mostrou que as estimativas de perda de solo podem ser até 300 % superior que quando utilizado o valor do Fator C padrão do modelo SWAT.

ABSTRACT --- Soil loss, by water erosion, is a serious global problem in terms of degradation of agricultural land. The soil loss estimation should consider several parameters, such that a possible range of the erosion is the most reliable result. Among the various models that calculate soil loss, the Universal Soil Loss Equation (USLE) is one of the most applied worldwide. In this paper, the SWAT model was applied, which contains the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), in the River Una basin, state of Pernambuco. The aim of this study was to determine the of soil loss estimates obtained for different values of the Factor of Land Cover, one of the parameters of the USLE. Initially, the flow was calibrated, obtaining satisfactory results and thus enhancing the reliability of the estimates of soil erosion. Application of Factor C values found in Brazilian literature showed that estimates of soil loss can be up to 300% higher than when using the default value of Factor C of the SWAT model.

Palavras-chave: bacia do rio Una, EUPS, SWAT.

¹ Doutorando no programa de Engenharia Civil da UFPE. Email: ze.ambiental@gmail.com

² Professor na Universidade Federal do Oeste da Bahia. Email: joseyure@gmail.com

³ Professor na Universidade Federal da Paraíba. Email: richarde@geociencias.ufpb.br

⁴ Professor na Universidade Federal de Pernambuco. Email: suzanam@ufpe.br

INTRODUÇÃO

O Estado de Pernambuco é afetado anualmente por instabilidades climáticas, apresentando chuvas irregulares e mal distribuídas no tempo e no espaço, produzindo efeitos negativos, os quais são perceptíveis em todas as atividades econômicas e na sua disponibilidade hídrica. Principalmente, nas bacias localizadas em zonas de transição (semiárido e litoral), como é o caso da bacia do Rio Una.

Essa bacia é caracterizada por dois regimes climáticos, o que contribui para uma diversificação da paisagem natural ao longo da bacia, com uma variabilidade espacial de solos, vegetação e regimes hídricos. Esta diversificação da paisagem deve-se ao fato dessa bacia pertencer a duas regiões fisiográfica (Agreste e Zona da Mata), onde as atividades econômicas desenvolvidas são variadas e a demanda pela água (que na maior parte da bacia é escassa) torna-se cada vez mais crescente.

Aliado aos problemas da variabilidade pluvial e da ocorrência de eventos extremos, a intensificação do uso do solo tem se tornado um dos principais fatores que contribuem para o aumento de riscos naturais, sobretudo, no que diz respeito ao aumento das perdas de solo na região. Estima-se que a perda de solo anual em áreas agrícolas, no território brasileiro, seja na ordem de 822,7 milhões de toneladas de sedimentos, associadas a uma perda no âmbito da propriedade rural, de US\$ 2,93 bilhões por ano (Hernani, 2002). A busca por esta quantificação é essencial para um eficiente planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e do solo são de fundamental importância.

Neste sentido, o uso de ferramentas computacionais é de extrema valia para prever de maneira mais realista possível a transformação da precipitação nos mais diversos processos hidrossedimentológicos, muitas das vezes valendo do uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um Sistema de Informações Geográficas - SIG. Com isso, a espacialização de diversas variáveis que representam os processos do ciclo hidrológico em ambiente SIG permite estimar as perdas por erosão laminar em diferentes áreas inseridas em uma bacia hidrográfica. Contudo, um dos fatores da EUPS, o Fator de Uso e Ocupação do Solo (Fator C), carece de maiores estudos para regiões heterogêneas, como é o caso da bacia do Rio Una, caracterizada pelo intenso uso da agropecuária. Assim, o conhecimento da influência do uso e ocupação do solo na erosão é de fundamental importância para a modelagem dessa variável nas perdas de solo da região.

Vários são os modelos de base física e que consideram a variabilidade espacial, entre eles há o modelo “Soil and Water Assessment Tool” (SWAT). O SWAT foi desenvolvido com o objetivo de

estimar o impacto de diferentes práticas agrícolas na quantidade e qualidade da água, na perda do solo e carga de poluentes em uma bacia hidrográfica (Neitsch, 2005).

O modelo SWAT destaca-se devido a seu processamento, no qual, através de uma interface, é executado diretamente em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), considerando a variabilidade espacial da bacia hidrográfica estudada. De tal modo que os dados de entrada são Modelos Digitais de Elevação (MDEs) – referente a topografia do terreno –, e os mapas da cobertura e tipo de solo, são convertidos diretamente como informações para o modelo pela interface proporcionando a simulação. A aquisição das informações sobre a bacia hidrográfica simulada é necessária para parametrizar dados referentes a cobertura do solo e o tipo de solo. As formações que dizem respeito a topografia do terreno são obtidas diretamente pela leitura do modelo digital de elevação utilizado. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a produção e o transporte de sedimentos mediante aplicação do modelo SWAT perante modificações do Fator C para a Bacia do Rio Una (Pernambuco).

MÉTODOS E MATERIAIS

Caracterização da Área de estudo

A bacia do Rio Una possui uma área de 6.704 km² e está localizada na porção sul do Estado de Pernambuco, entre as latitudes sul 8° 17' 14" e 8° 55' 28" e entre as longitudes oeste 35° 07' 48" e 36° 42' 10". Essa bacia possui 42 municípios inseridos total ou parcialmente na área, sendo que 19 possuem suas sedes na área da bacia (Pernambuco, 2006). A população residente na bacia é de cerca de 553,3 mil habitantes (Pernambuco, 2011). O Rio Una, com seus 255 km de extensão, apresenta em sua parte alta escoamento intermitente devido aos baixos índices pluviométricos (Pernambuco, 2006). A Figura 1 apresenta a área de estudo e define as estações pluviométricas analisadas e as estações fluviométricas utilizadas no processo de análise de correlação.

A bacia do rio Una apresenta duas regiões climáticas distintas, o clima semi-árido e quente úmido. A primeira região com índices de precipitação total média anual entre 500 a 800 mm, cuja abrangência vai até proximidades da estação fluviométrica de Capivara (Figura 1) e a segunda com totais anuais superiores a 1000 mm, toda área a jusante da estação de Capivara. Dessa maneira, a vegetação também busca adaptação ao clima, com existência da Caatinga na porção semiárida e manchas de Mata Atlântica na região quente úmida. Inclusive, há diversas Áreas de Proteção Ambiental na área da bacia do Rio Una (Pernambuco, 2006).

Quase toda área da referida bacia é representada por rochas cristalinas, enquanto que área sedimentar apresenta-se próximo ao litoral. Os solos da região são pouco desenvolvidos,

medianamente a pouco profundos, com baixa permeabilidade e capacidade de retenção (Pernambuco, 2006).

A bacia do Rio Una tem apresentado um histórico de enchentes, de tal modo que estão em fase de construção quatro barragens visando contenção de enchentes. Nos últimos anos a frequência de desastres foi intensa, com ocorrência nos anos de 2000, 2004, 2005, 2010 e 2011. Dados oficiais existem para o ano de 2000, quando no estado de Pernambuco houveram 27 municípios afetados, na bacia de estudo, dos quais apenas cinco não emitiram estado de emergência ou calamidade pública. Aproximadamente 47 mil pessoas estavam desabrigadas ou desalojadas, com cerca de 37,5 mil apenas na Zona da Mata e Agreste – o que significava 7,8% da população (Senado Federal, 2000). Os custos diante dos gastos de recuperação de estradas, habitações, infraestrutura urbana (incluindo equipamentos sociais de saúde e educação) e mesmo apoio a comerciantes e agricultores, atingiu cerca de R\$ 128 milhões de reais (Senado Federal, 2000).

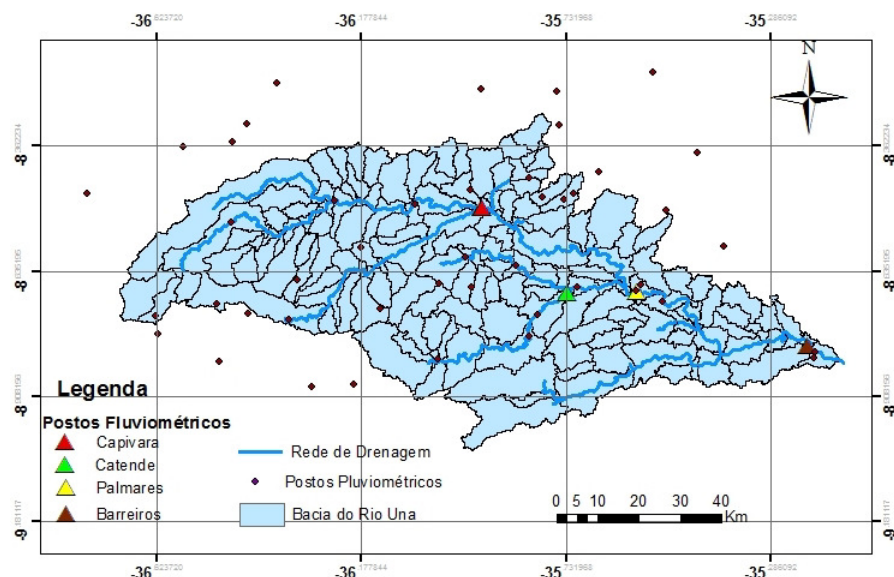


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Una e das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas neste estudo.

Para melhor estabelecer o cenário do desastre, expõe-se a vazão média das estações de Capivara e Palmares, para o período entre 1977 a 2006 que foi de 3,45 m³/s, enquanto que a segunda no período de 1967 a 2006 tem uma vazão média de 31,6 m³/s. Contudo, no evento do desastre, a estação de Capivara registrou uma vazão de 404 m³/s e a de Palmares 1.134 m³/s.

Equação Universal de Perda do Solo Modificada

A equação da EUPS-M, utilizada no modelo SWAT, nas unidades métricas é escrita na forma da equação (1) (Williams, 1995):

$$sed = a(H_{sup} \times q_{pico} \times area_{URH})^b \times K \times C \times LS \times P \times CFRG \quad (1.0)$$

No qual:

- *sed*: produção de sedimento, após evento de precipitação, no dia (ton);
- *a, b*: coeficientes de ajuste adimensionais;
- *H_{sup}*: altura do escoamento superficial (mm H₂O/ha);
- *q_{pico}*: vazão de escoamento de pico do evento (m³/s);
- *area_{URH}*: área da unidade de resposta hidrológica na qual é estimada o aporte de sedimentos (ha);
- *K*: erodibilidade do solo [(0,013ton/m²/hr)/(m³/ton/cm)];
- *C*: fator de cobertura do solo (adimensional);
- *P*: fator das práticas conservacionistas (adimensional).
- *LS*: o produto do comprimento do declive e grau do declive proporciona o denominado “fator topográfico”, e
- *CFRG*: fator de fragmentação esparsa.

Os coeficientes de ajuste *a* e *b* não foram ajustados, permanecendo o valor padrão do modelo SWAT de 11,8 e 0,56, respectivamente, que conferem a transformação para unidades métricas. A multiplicação entre os termos *H_{sup}* e *area_{urh}* determina o cálculo o escoamento superficial direto para cada uma das URH estabelecidas na simulação. A vazão de pico é dada pelo Método Racional. Através da proposta de Williams (1995) foi calculado o valor do Fator K, relacionando-se a quantidade de areia grossa e fina, a quantidade de argila e silte além da fração de carbono orgânico contida no solo. O produto do comprimento do declive (*L*) e o grau de declive (*S*) origina o fator topográfico, que considera como a altimetria do terreno influencia no efeito da erosão. O comprimento do declive é a distância horizontal da origem do fluxo superficial até o ponto em que, o gradiente de declividade possibilita a deposição ou quando o escoamento alcança fluxo bem definido. Enquanto o grau de declividade reflete a influência da declividade na erosão (Wischmeier e Smith, 1978). O efeito cobertura do solo, de tal maneira que venha a proteger o solo, é dado pelo Fator C. O Fator P trata da relação da perda de solo, para uma cultura específica, de uma determinada prática de conservação do solo com a plantação “morro abaixo” (no sentido do declive) (Wischmeier e Smith, 1978). O fator de fragmentação esparsa considera o afloramento de rocha presente no solo.

O Fator C é conceituado enquanto a relação entre as perdas de solo de um determinado terreno cultivado sob dadas condições e as perdas correspondentes desse mesmo solo na parcela

padrão (Wischmeier e Smith, 1965). Com isto, para determinado solo desprovido de cobertura, este fator apresenta valor numérico 1 e conforme o grau de cobertura vegetal, provendo redução de erosão e a tendência deste valor para o zero. Tal fator é evidenciado uma vez que a cobertura dos vegetais reduz a energia do impacto das gotas de chuva, e a consequente desagregação das partículas – favorecendo a erosão. Fator C pode ser indicado como um dos mais difíceis de ser estimado, isto devido a grande dinâmica do uso do solo, a necessidade de determinar com precisão a sequência do estágio do crescimento da cultura cultural, além do manejo e as datas que envolvem a operação do cultivo em questão (Vázquez-Fernández, 1996). Vázquez-Fernández (1996) aponta a impossibilidade de tabelar todos os valores possíveis do Fator C diante das inúmeras sequências do processo de crescimento vegetal, fato este que não acontece com os demais fatores da EUPS. Neste sentido é apresentado, na próxima seção, diversos valores registrados na literatura nacional do Fator C para a cana de açúcar.

Dados de entrada e aplicação do modelo SWAT

Dados de precipitação no presente trabalho foram provenientes das estações pluviométricas representadas na figura 1. Tais dados foram interpolados utilizando o método de Krigagem, diante do qual foi estimado um valor, localizado no centroide para cada uma das 177 sub-bacias, discretizadas na Figura 1, no qual a bacia do rio Una foi dividida para a presente simulação.

Os dados de vazão foram analisados para quatro estações fluviométricas: Capivara, Catende, Palmares e Barreiros. Havia disponíveis dados até 2008, diante disto prezou-se trabalhar no período recente, de tal modo que a calibração se deu entre 2000 a 2004, abarcando assim dois eventos de cheia, e a verificação entre 2005 a 2008, averiguando a resposta do modelo para um terceiro evento de cheia. O software SWAT-CUP, versão 5.1.5.4, que trata do processo de auto-calibração, foi utilizado para a atividade de ajuste de 13 parâmetros no modelo SWAT versão 2012.1.15.

A integração do modelo SWAT ao ambiente SIG promove a necessidade de dados geoespaciais que caracterizem a área de estudo. Sendo assim, três dados são fundamentais são eles: modelo digital de elevação (MDE), mapa de solo e mapa de cobertura do solo. Com estas informações o modelo processa as Unidades de Respostas Hidrológica (URH) que são a base pela qual o é calculada o balanço hídrico. As URH são áreas que apresentam igual combinação de cobertura e tipo de solo obedecendo ainda um intervalo de classe de declividade imposta pelo usuário, na qual o modelo SWAT promove a simulação.

O MDE é utilizado para delimitação da bacia e sub-bacia e, por consequência, aquisição de todos os parâmetros referentes à topografia. Para o presente estudo foi utilizado o MDE, produto do projeto Topodata, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no sítio <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php> com resolução de 30 metros. O comprimento do declive (L) e o grau de declive (S) são obtidos pela leitura do MDE pelo modelo SWAT. A figura 2 apresenta o mapa de elevação da bacia do rio Una.

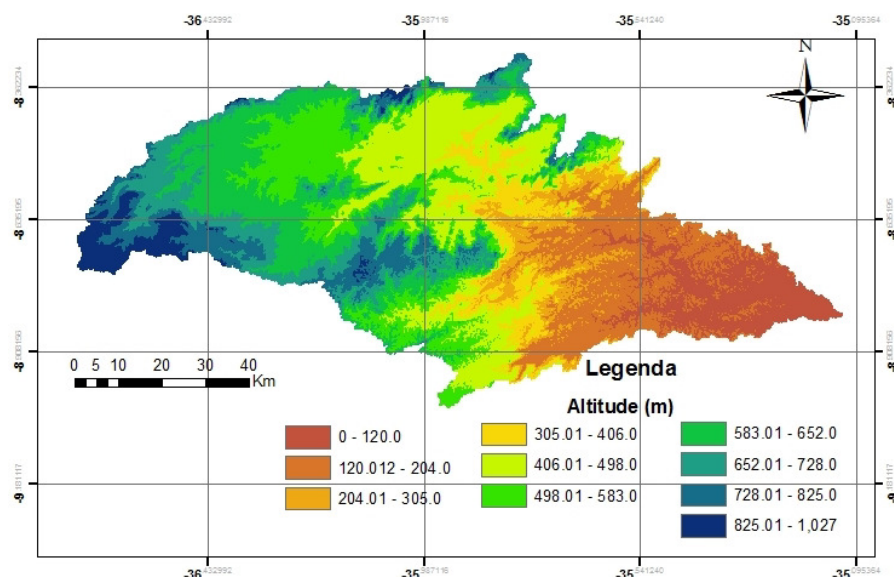


Figura 2 – Representação das altitudes na bacia do Rio Una pelo MDE do projeto Topodata.

O mapa de cobertura do solo utilizado neste trabalho foi confeccionado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, conforme a Figura 3. Para esta simulação, os valores dos parâmetros representativos de cada classe permaneceram sendo aqueles padrão do modelo SWAT, apenas os do Fator C da EUPS-M para a cana-de-açúcar foi modificado de modo a analisar os impactos nos resultados da estimativa da produção de sedimentos.

Diversos trabalhos da literatura foram analisados de modo a filtrar valores do Fator C para a cana de açúcar. Os valores encontrados encontram-se nas Tabelas 1 e 2. A Tabela 1 apresenta a atribuição de valores para diferentes condições, enquanto a Tabela 2 trata dos trabalhos que atribuíram apenas um valor ao Fator C.

Tabela 1 – Valores do Fator C considerando diferentes situações e a respectiva referência.

Cultura	Situação 1	Fator C-1	Situação 2	Fator C-2	Referência
Cana de Açúcar	Início de Crescimento	0,3066	Estágio	0,05	Fujihara, 2002
		0,4283	avançado de	0,3066	Demarchi, 2012
		0,11	crescimento	0,004	Leprun, 1994
	Sem Manejo	0,1	Com Manejo	0,05	Lourenço, 2013
		0,1124		0,0112	Braga da Silva, 2010

Tabela 2 – Valores únicos do Fator C adotados em diferentes trabalhos

Cultura	Fator C	Referência
Cana de Açúcar	0,018	Silva, 2012
		Xavier et al., 2013
	0,3066	Weill, 2008
		Ribeiro, 2007
	0,1743	Da Silva et al., 2007
	0,05	Vázquez-Fernández, 1996
	0,004	Silva et al., 2007

As Tabelas 1 e 2 mostram que o menor valor encontrado na literatura para o Fator C foi de 0,004. Nota-se que o valor padrão no banco de dados do SWAT é de 0,001. Definiram-se os valores de 0,05 e 0,3066 para o Fator C diante da maior frequência nos trabalhos analisados. Com isto, o objetivo deste trabalho reside na análise da quantidade média de erosão anual de sedimentos, entre os anos de 2000 a 2008 (todo o período simulado), perante aos valores do Fator C da cana de açúcar de 0,001, 0,05 e 0,3066.

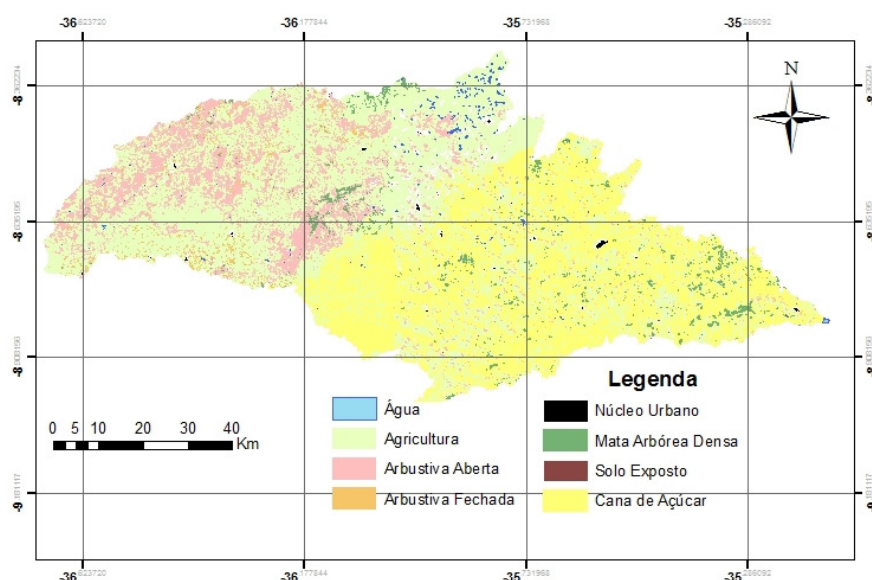


Figura 3 – Mapa de cobertura do solo da bacia do Rio Una utilizado na simulação.

O mapa de solo utilizado foi adaptado do produto do documento Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos dos Estados de Pernambuco (Embrapa, 2000), de escala 1:100.000. Utilizou-se o trabalho de Sartori (2005) para se agrupar os diversos tipos de solo de acordo com os Grupos Hidrológicos estabelecidos pelo método do SCS Curva Número, conforme a Figura 4. Esta consideração se fez necessária diante das inúmeras classes de solo que estão representados no referido mapa, facilitando a aquisição de informações e estimativa de dados de granulometria obtidos em da Embrapa (2000) e Sudene (1973), requisitados para a execução do modelo SWAT.

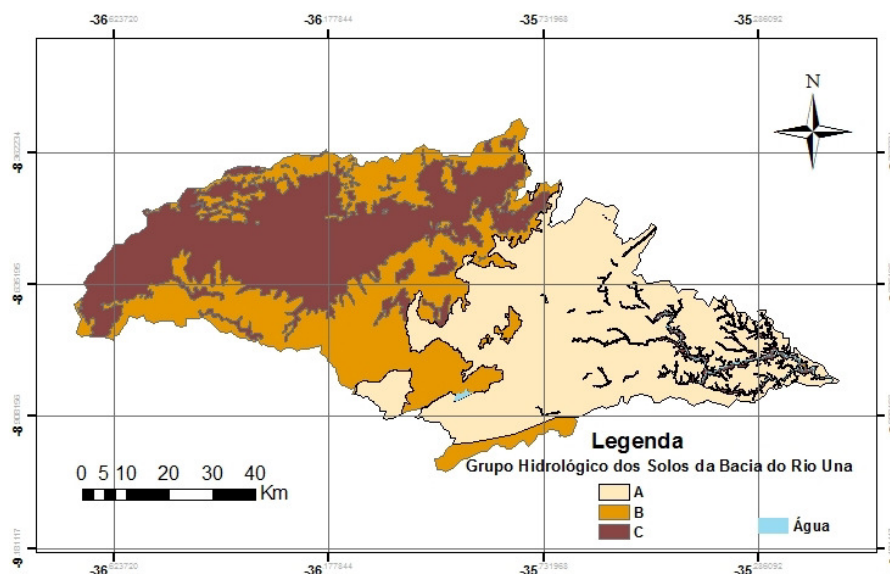


Figura 4 – Mapa do Grupo Hidrológico dos tipos de solo utilizado na simulação.

Coeficientes de Análise

A confiabilidade para com os resultados da estimativa da erosão de sedimentos deve se iniciar pela aprovação das estimativas das vazões simuladas. Por este motivo foi utilizados os coeficientes de Determinação de Pearson (R^2) e o de Nash-Sutcliffe (Nash). O coeficiente de determinação, R^2 , varia de 0 a 1, sendo os maiores valores indicativos de maior linearidade da relação entre dados observados e simulados. Valores superiores a 0.5 são considerados aceitáveis para a simulação, descrevendo uma proporção de dados observados que são medidos pelo modelo (Moriasi, 2007). Enquanto que o coeficiente de Nash-Sutcliffe é medidor estatístico adimensional que indica o quanto a simulação é melhor previsor que a média dos valores observados. Valores de Nash variam de menos infinito a +1, valores negativos indicam a média da vazão observada é melhor previsor que os resultados da simulação, por outro lado, os valores positivos indicam em menor ou maior

grau a satisfatoriedade da simulação – com o valor de 1 indicativo de um ajuste perfeito (Moriasi, 2007). As fórmulas das do R^2 e do Nash são apresentadas nas equações 2 e 3, respectivamente.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n [(Qobs_i - \overline{Qobs_i})(Qsim_i - \overline{Qsim_i})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs_i})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Qsim_i - \overline{Qsim_i})^2}} \right)^2 \quad (2)$$

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - Qsim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs_i})^2} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira inicial precisam-se atestar os resultados da simulação pela consonância dos valores das vazões observadas e simuladas. A Tabela 3 mostra os valores dos coeficientes R^2 e de Nash para as diferentes estações simuladas. Enquanto que as Figuras 5, 6 e 7 apresentam os hidrogramas das vazões observadas e simuladas para as estações de Capivara, Palmares e Barreiros.

Tabela 3 – Valores de R^2 e Nash para as diferentes estações e períodos considerados.

Período	Estação Fluviométrica	R^2	Nash
2000 a 2004	Capivara	0,913	0,907
	Catende	0,843	0,812
	Palmares	0,933	0,930
	Barreiros	0,951	0,754
2004 a 2008	Capivara	0,893	-0,735
	Catende	0,845	0,745
	Palmares	0,953	0,863
	Barreiros	0,957	0,550
2000 a 2008	Capivara	0,751	0,499
	Catende	0,838	0,784
	Palmares	0,929	0,903
	Barreiros	0,954	0,730

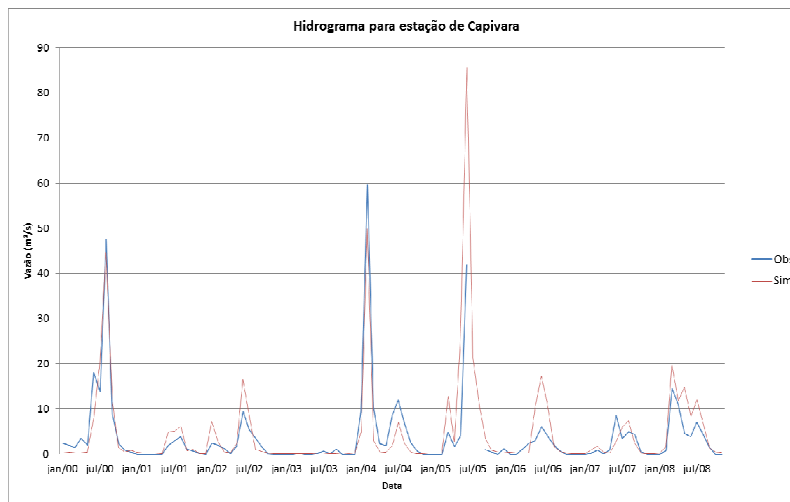


Figura 5 – Hidrograma das vazões observadas e simuladas para a estação de Capivara.

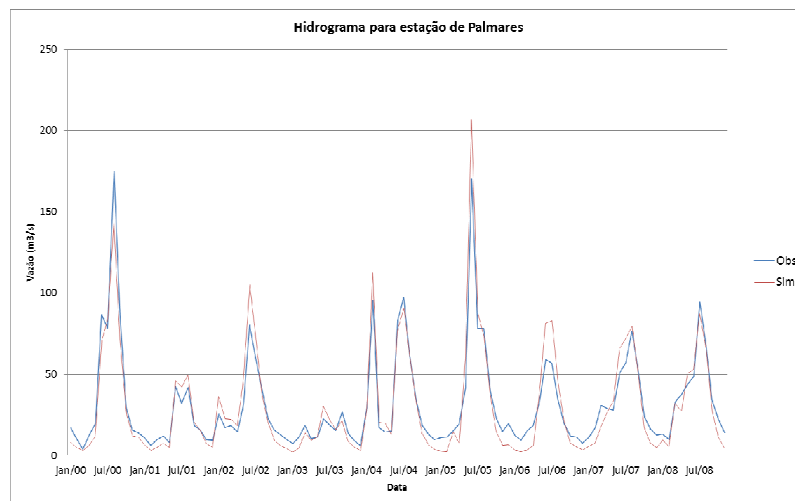


Figura 6 – Hidrograma das vazões observadas e simuladas para a estação de Palmares.

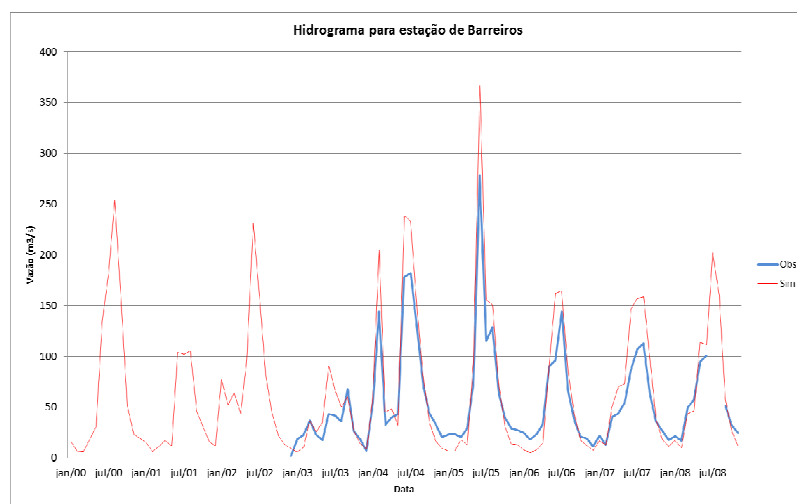


Figura 7 – Hidrograma das vazões observadas e simuladas para a estação de Barreiros.

Os valores dos coeficientes de eficiência asseguram os bons resultados da simulação, conforme intervalos sugeridos por Moriasi et al. (2007). A forma do hidrograma observado foi bem representada pela simulada, razão pelo qual o menor valor de R^2 foi de 0,751. As Figuras 5, 6 e 7 atestam os altos valores de R^2 . Por outro lado os altos valores de Nash no período de calibração vislumbram uma boa assimilação dos picos, apesar do comportamento menos satisfatório dos picos simulados no período de verificação. Os picos superestimados na estação de Capivara, entre 2005 a 2008, tornou o valor de Nash negativo, fazendo da simulação inadequada. Contudo ao se observar todo o período, mesmo a estação de Capivara apresentou resultados satisfatórios para os dois coeficientes, o que enaltece a análise da média da erosão do solo anual para todo o período simulado.

Diante dos tipos de solo e cobertura do solo, além dos intervalos de classes de declividades ao qual foram atribuídas, alcançou-se o número de 5.400 URHs. A Tabela 4 apresenta a estimativa da carga média anual de sedimentos, calculadas no âmbito de cada URH, que alcançou o rio.

Tabela 4 – Carga anual média de sedimentos que alcança o rio para cada valor do Fator C.

	Valores do Fator C		
	0,001	0,05	0,3066
Carga de Sedimentos (ton/há/ano)	3,588	4,833	11,347

A Tabela 4 aponta um crescimento da carga de sedimento de quase três vezes do valor padrão do SWAT para o valor do Fator C de 0,3066. Trata-se de um aumento significativo, na

ordem de 316%, enquanto que o aumento diante do valor de 0,05 foi de 135%. As Figuras 8, 9 e 10 atestam que tal aumento ocorreu exclusivamente nas sub-bacias em que há alguma cobertura de cana de açúcar, localizadas na parte baixa da bacia (a visualizar pela Figura 3).

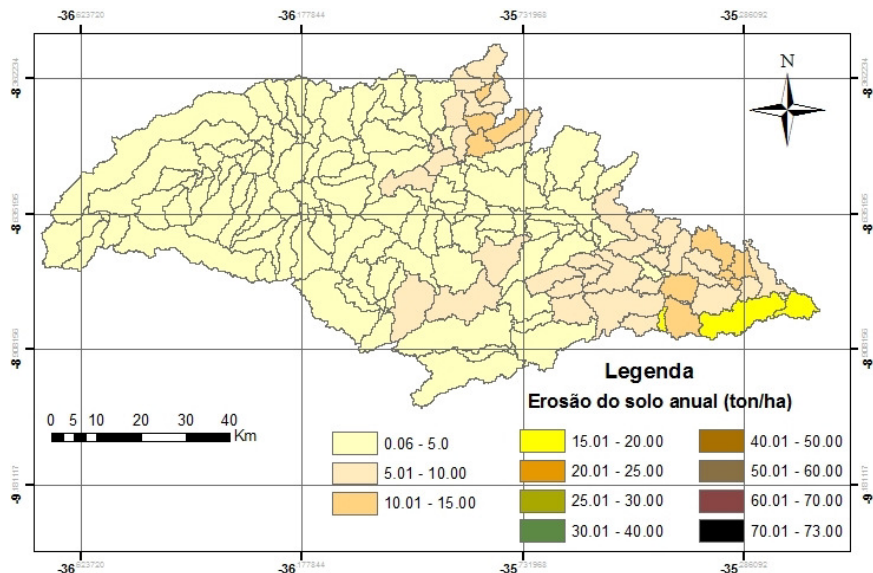


Figura 8 – Mapa da distribuição da erosão na bacia considerando Fator C de 0,001.

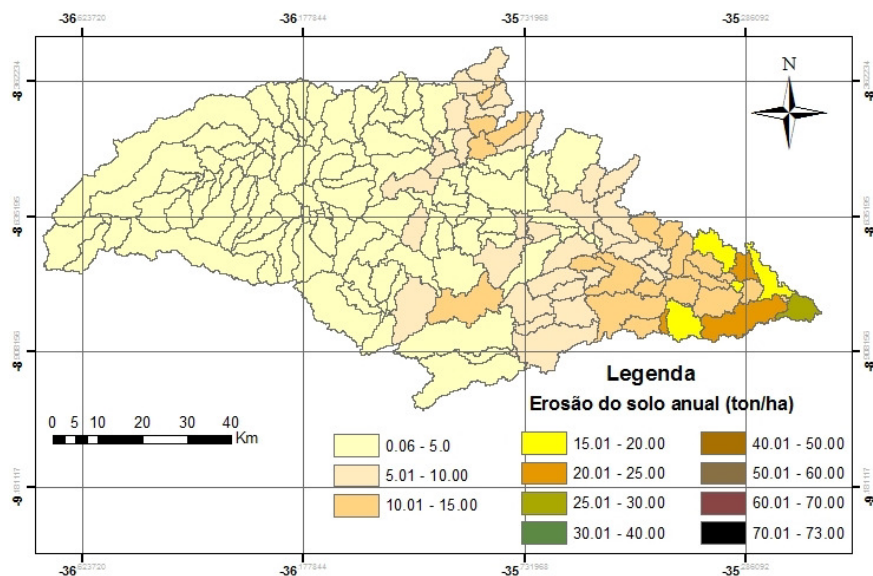


Figura 9 – Mapa da distribuição da erosão na bacia considerando Fator C de 0,05.

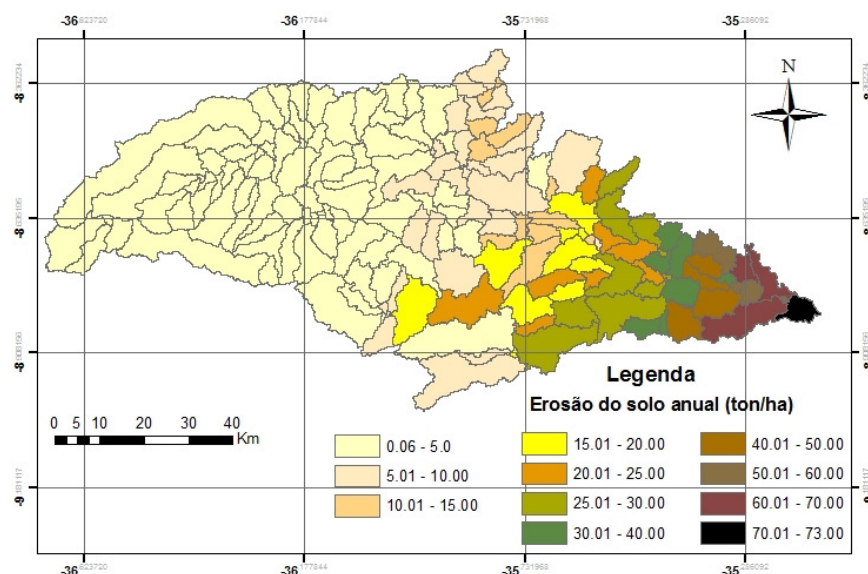


Figura 10 – Mapa da distribuição da erosão na bacia considerando Fator C de 0,3066.

Os resultados mostram um aumento da erosão do solo para algumas sub-bacias, enquanto outras apresentaram estimativa constante ou com pequena diferença. Esse fato pode ser explicado devido ao fato do acréscimo da aparente sensibilidade do Fator C, e pode ser atribuído a: (a) maior fração de área coberta por cana de açúcar, (b) maior fração de área com tipos de solo dos Grupos Hidrológicos C e D, (c) aumento de áreas de maior declive, e (d) o aumento da média anual de precipitação conforme se aproxima do exutório da bacia.

Algumas bacias com pouca fração da cobertura de cana de açúcar apresentou seu intervalo de erosão de sedimentos inalterado. O mesmo ocorreu para sub-bacias totalmente inseridas em solo do Grupo Hidrológico A, com baixas declividades: o baixo escoamento superficial gerado associado a condições de relevo suave não gerou uma mais significativa erosão do solo a ponto de se destacar nos intervalos de classe de erosão definidos para análise.

Contudo, foi o significativo aumento da média anual de precipitação que extrapolou os intervalos de erosão do solo estimados na parte baixa da bacia do rio Una. A Figura 11 apresenta as medidas de precipitação anual distribuídas na bacia do rio Una, pelo método da Krigagem. Percebem-se sub-bacias situadas a partir do limiar de precipitação média anual de 1.254 mm já apresentam diferenças no intervalo de erosão do solo exibidos nas Figuras 8, 9 e 10.

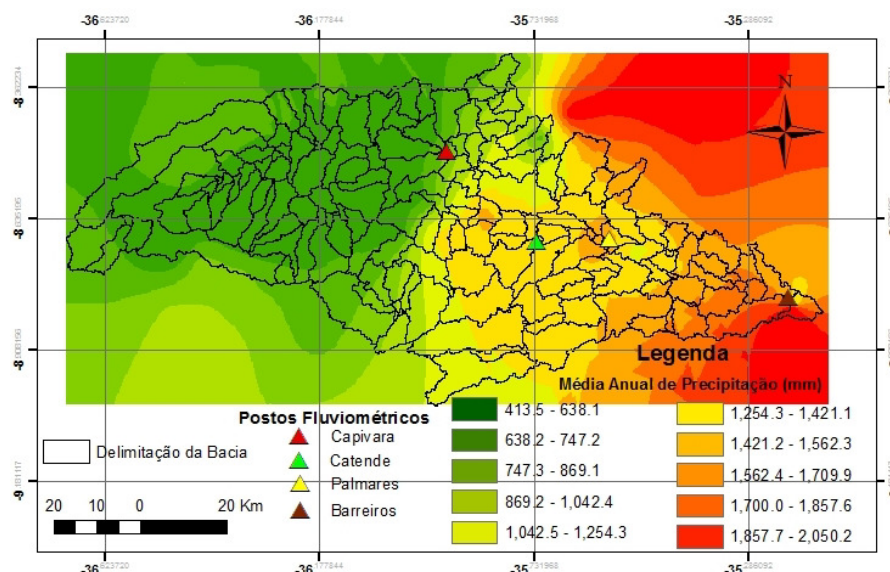


Figura 11 – Mapa da distribuição média anual da precipitação pelo método da Krigagem, entre 2000 a 2008.

CONCLUSÕES

O presente trabalho não buscou tratar de uma análise de sensibilidade do Fator C perante as características do terreno ou da sua resposta frente às condições de solo, mas sim vislumbrar o impacto do valor de este parâmetro que muitas vezes é utilizado diretamente, no âmbito da aplicação do modelo SWAT, sem maiores questões quando à sua calibração. Diante disto, conclui-se que a amplitude das estimativas de erosão obtidas enaltece a necessidade da atribuição de um valor de Fator C que mais bem represente as condições ao qual é aplicado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pela bolsa de doutorado do primeiro autor e ao CNPq, pela bolsa PQ do último autor.

BIBLIOGRAFIA

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. (2009). *Water Erosion Distribution in the Itutinga/Camargos Hydroelectric Plant Watershed (Minas Gerais, Brazil) using Distributed Modeling*. Catena, 79, pp. 49-59.

BRAGA da SILVA, F. G.; MINOTTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. (2010). *Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 15, pp. 141 – 148.

DEMARCHI, J. C. (2012). *Geotecnologias Aplicadas à Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP*. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, São Paulo. 167 pp.

FUJIHARA, A. K. (2002). *Predição da Erosão e Capacidade de Uso do Solo Numa Microbacia do Oeste Paulista com Suporte de Geoprocessamento*. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, São Paulo. 136pp.

HERNANI, L.C., FREITAS, P.L., PRUSKI, F.F., DE MARIA, I. C., CASTRO FILHO, C. & LANDERS, J.N. (2002). *A erosão e seu impacto, in Manzatto et al. (ed.): Uso agrícola dos solos brasileiros*. Embrapa, RJ, pp. 47-60.

LEPRUN, J.C; SILVA, F.B.R. (1994). *Avaliação das perdas de solo e água por erosão no Nordeste semi-árido. In: Projeto Áridas, GT-I-Recursos Naturais e Meio Ambiente (Vol, 1.2 condições do uso e perspectivas de uso sustentável dos geoambientes do semi-árido)*. Seplan/PR.

LOURENÇO, R. W. ; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; CRESPO, G. C. (2013). *Utilização da Equação Universal de Perda de Solo Revisada Para Estudos de Bacias Hidrográficas*. In: XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Bento Gonçalves. Água - Desenvolvimento econômico e socioambiental. Disponível em <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/92d68e628e893ebf92c119cd18f30876_709b84efb8c6f760cfdcb95cb2a4ccd2.pdf> .

Da SILVA, A. M.; CASATTI, L.; ALVARES, C. A.; LEITE, A. M.; MARTINELLI, L. A.; DURRANT, S. F. (2007). *Soil Loss Risk and Habitat Quality in Streams of a Meso-Scale River Basin*. Scientia Agricola, 64, pp. 336 – 343.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G., SILVA, J. F. C. B.; SILVA, L. P. (2007). *Avaliação Espacial e Temporal de Perdas de Solo Usando o Sistema de Informações Geográficas (SIG)*. Revista OKARA: Geografia em debate, 2, pp. 24 – 37.

SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. (2012). *Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment*. Natural Hazards (Dordrecht), 62, pp. 953 - 970.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L., 2007. *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*. American Society of Agricultural and Bio-logical Engineers 50:3, 885-900.

PERNAMBUCO (2006). *Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL4 e Gl 5*. SEPLAN, Recife, 84p.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. (2007). *Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento*. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. pp. 3039-3046.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. (2005). *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, Parte 1: Classificação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10, pp. 05-18.

SENADO FEDERAL (2000). *Comissão Especial Externa, Criada por Intermédio do Requerimento Nº 426, de 2000-SF “Destinada a Acompanhar o Drama das Enchentes nos Estados de Pernambuco e Alagoas, que já Ocasionaram Morte de Vítimas”*. Disponível em <http://www.senado.gov.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=56458&tp=1> . Acessado em: 01/09/2014.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G. A.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M. (1996). *Determinação de Sequências Culturais em Microbacia Hidrográfica para Caracterização do Fator C da EUPS, Utilizando Fotografia Aérea*. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador. pp. 63 – 67.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, K. (2008). *Estudo da Erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, Sp). I - Estimativa das Taxas de Perda de Solo e Estudo de Sensibilidade dos Fatores do Modelo EUPS*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 32, pp. 801 – 814.

WILLIAMS, J. R. (1975). *Sediment-yield prediction with Universal Equation using Runoff Energy Factor*. Transactions os the ASAE, 12, pp. 100-103

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1965) *Predicting rainfall erosion losses from a cropland east of the Rocky Mountains* Agriculture Handbook. Agriculture Research Service. 282p.

XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; SILVA, R. M. (2013). *Mudanças Espaço-Temporais da Variabilidade da Precipitação e Perdas de Solo na Bacia do Rio Mamuaba, Brasil*. Cadernos do Logepa, 8, pp. 79 – 102.