

MODELAGEM DO POTENCIAL DE EROÇÃO COMO SUPORTE A PROGRAMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS:

o caso da Bacia Experimental do Córrego Sarandi – DF

Jorge Enoch Furquim Werneck Lima¹; Walszon Terlizzie Araújo Lopes²; Fabiana de Gois Aquino¹; Eduardo Cyrino Oliveira-Filho¹; Edson Eyji Sano¹; Felipe Damião Mello di Silva³

RESUMO - O pagamento por serviços ambientais (PSA) tem assumido importância crescente nas discussões em torno das estratégias de desenvolvimento sustentável. Muitos dos programas de PSA Hídrico são baseados no controle da erosão e nos respectivos benefícios gerados ao meio ambiente e aos usuários do solo e da água nas bacias onde são implantados. O principal objetivo deste trabalho foi mostrar como a modelagem da susceptibilidade à erosão pode subsidiar programas de PSA com foco no controle da erosão hídrica. A aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) na Bacia Experimental do Córrego Sarandi (32,7 km²), localizada no Distrito Federal, foi utilizada como estudo de caso. A aplicação da EUPS de forma espacialmente distribuída se mostrou como uma importante ferramenta de suporte à gestão territorial e à implantação de políticas de PSA Hídrico. Os resultados mostram que grande parte da bacia de estudo apresenta baixa susceptibilidade à erosão, o que é ótimo em termos de aproveitamento e preservação dos serviços ecossistêmicos, e um indicativo de que programas de PSA para controle de erosão na área não é prioridade imediata. A manutenção da vegetação nas áreas de alta susceptibilidade à erosão tem o maior potencial para programas de PSA na bacia.

ABSTRACT - Payment for Environmental Services (PES) has assumed increasing importance in discussions about sustainable development strategies. Many of the PES programs are based on water erosion control and the corresponding environmental and economic benefits generated in the basins where they are implemented. The main objective of this study was to show how erosion susceptibility models can support PES programs. The application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the Sarandi Experimental River Basin (32.7 km²), located in the Federal District, Brazil, was used as a study case. The USLE application in a spatially distributed form proved to be an important support tool for land management and the implementation of PSE policies. The results show that a large part of the studied basin (90%) presents “Low” susceptibility to erosion, what is great in terms of use and conservation of ecosystem services, as well as a limitation regarding the need for implantation of PES programs for erosion control. Incentives for maintaining the natural vegetation in areas with higher erosion susceptibility have the greatest potential to justify PES programs in the basin.

Palavras-chave: PSA, USLE, geoprocessamento.

-
- 1) Pesquisador da Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Planaltina, DF. jorge.werneck-lima@embrapa.br; eduardo.cyrino@embrapa.br; fabiana.aquino@embrapa.br; edson.sano@embrapa.br.
 - 2) Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas – ANA e Professor do IESPlan/DF, Dep. Eng. Civil. walszon@ana.gov.br.
 - 3) Estagiário da Embrapa Cerrados. felipedamiao@hotmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O pagamento por serviços ambientais (PSA) tem assumido uma importância crescente nas discussões em torno das estratégias de desenvolvimento ambientalmente sustentável no mundo. No Brasil, o tema tem gerado discussões e ações como o Programa Produtor de Águas, capitaneado pela Agência Nacional de Águas (ANA), e que vem sendo replicado ou adaptado em municípios e pequenas bacias hidrográficas de diversas regiões do país. No caso desses programas o objetivo principal é a preservação e/ou a restauração dos serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos, quais sejam: os de regulação; os de suporte; os de provisão; e os culturais. Para tal, são incentivadas, por meio de mecanismos econômicos, ações que o Homem pode promover para a manutenção ou a melhoria da quantidade e da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de bacias hidrográficas, como o controle da erosão, do assoreamento, das enchentes, do escoamento superficial, da infiltração da água no solo, do fluxo de nutrientes e de outros processos hidrológicos.

Neste trabalho o enfoque principal está nas relações existentes entre os processos erosivos, os recursos hídricos, os serviços ecossistêmicos, a aplicação de ferramentas de apoio à gestão territorial, o uso do solo e os instrumentos de PSA.

No Programa Produtor de Águas (PPA), por exemplo, os incentivos financeiros são proporcionais aos benefícios ambientais relacionados à redução da erosão advinda da implantação de projetos de manejo e conservação de solo e água em propriedades rurais e áreas adjacentes. Dentre essas ações estão: construção de terraços e bacias de infiltração, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento das áreas de proteção permanente e reserva legal e saneamento ambiental, entre outros. Nos Estados Unidos também existem importantes programas de PSA relacionados ao controle de erosão em áreas agrícolas, como o *Conservation Reserve Program (CRP)* e o *Environmental Quality Incentives Program (EQIP)*, ambos tendo por objetivo a melhoria das condições dos recursos hídricos em lagos, rios, reservatórios, nascentes e no subsolo, por meio da redução do escoamento superficial e da erosão em áreas agrícolas. No CRP, o proprietário rural recebe incentivos financeiros para alterar o uso de áreas com alto potencial de erosão, de lavoura para vegetação natural. Já no EQIP, o pagamento é para que os agricultores adotem práticas conservacionistas nas áreas de lavoura mais susceptíveis à erosão. Esses são apenas três exemplos de programas de PSA Hídrico baseados no controle da erosão. No caso brasileiro, os parâmetros C (cobertura) e P (prática) da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) são utilizados para o cálculo do PSA, enquanto nos casos americanos a EUPS é utilizada na definição das áreas passíveis de serem inseridas nos programas.

Como se pode notar, apesar de suas reconhecidas limitações, discutidas por Cohen *et al.* (2005), a EUPS, desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), continua sendo uma ferramenta muito utilizada na modelagem do potencial e da taxa de erosão em bacias hidrográficas, inclusive para subsidiar programas atuais de PSA Hídrico. Indubitavelmente, a simplicidade de aplicação dessa equação em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) contribui significativamente para a sua popularidade. Outro fator importante está na dificuldade ainda existente em expressar, por meio de modelos matemáticos mais estruturados, a complexidade e as incertezas inerentes ao fenômeno e aos métodos relativos ao estudo de processos erosivos. Além da grande quantidade de dados e informações necessários para a simulação da erosão, o transporte e a deposição de sedimentos com modelos matemáticos de base física, seus resultados ainda não são suficientemente satisfatórios, em muitos casos, para substituir o uso da EUPS para a gestão territorial.

A aplicação da EUPS com o auxílio de SIGs resulta em um mapa que indica o potencial ou a taxa de erosão na área de estudo, constituindo importante ferramenta de apoio ao planejamento das formas de utilização e ocupação do solo, como apresentado por Mellerowicz *et al.* (1994) e Manh-Há (2011). Assim, essas informações geradas são de grande utilidade para a implantação de programas de PSA Hídrico em escala de bacia hidrográfica, permitindo a identificação das zonas com maior risco de erosão ou, analisando sob a ótica das políticas de PSA, onde a substituição da vegetação natural e a nova forma de uso solo podem resultar na redução dos serviços ecossistêmicos relacionados ao controle de erosão e aos demais processos ambientais associados.

A Bacia Experimental do Córrego Sarandi está inserida em região agrícola do Distrito Federal, porém com grande parte de sua área ainda preservada com vegetação natural de Cerrado. Destaca-se que, em razão da proximidade de Brasília e ao alto valor da terra na região, a bacia é submetida a uma forte pressão para ocupação agrícola e urbana. Além dos usos do solo e da água para o desenvolvimento agrícola na bacia (sequeiro, irrigação, piscicultura e pecuária), logo a jusante da confluência do Córrego Sarandi com o Ribeirão Mestre D'Armas existe uma captação de água para abastecimento humano da Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB), que faz dessa bacia uma Área de Proteção de Manancial (APM). Nesse caso, a geração do mapa de erosão da bacia pode ser útil para definir em quais áreas devem-se priorizar o uso de práticas conservacionistas, a preservação de áreas naturais ou mesmo a reconstituição da cobertura vegetal original do terreno, podendo ser utilizado como uma primeira referência para a implantação de políticas de PSA.

Diante do exposto, este trabalho objetivou a apresentação de uma estimativa da susceptibilidade à erosão na Bacia Experimental do Córrego Sarandi – DF, bem como a discussão dos resultados obtidos sob a ótica dos programas de PSA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Bacia do Córrego Sarandi

A Bacia do Córrego Sarandi está localizada na parte norte do Distrito Federal, entre as cidades de Sobradinho e Planaltina, com exutório nas coordenadas 15°35'58,76''S e 47°41'48,91''O e área de drenagem total de 32,7 km² (Figura 1).

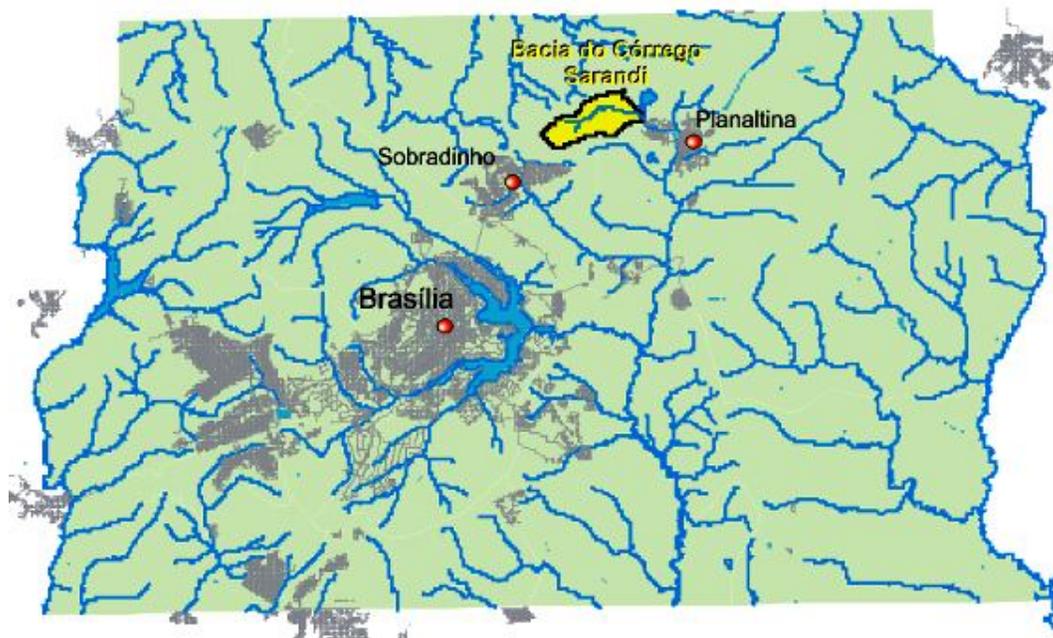


Figura 1. Localização da área de estudo no Distrito Federal.

O Córrego Sarandi é afluente do Ribeirão Mestre D'Armas, que joga suas águas no Rio São Bartolomeu, inserido na parte do Distrito Federal que verte para a Bacia do Rio Paraná.

As características climáticas da bacia são típicas da ecorregião do Planalto Central, no Bioma Cerrado, apresentando duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro-outubro e se estende até os meses de março-abril, e outra estação seca, compreendendo os demais meses do ano.

O mapa pedológico da Bacia Experimental do Córrego Sarandi é apresentado na Figura 2, conforme Embrapa (1978).

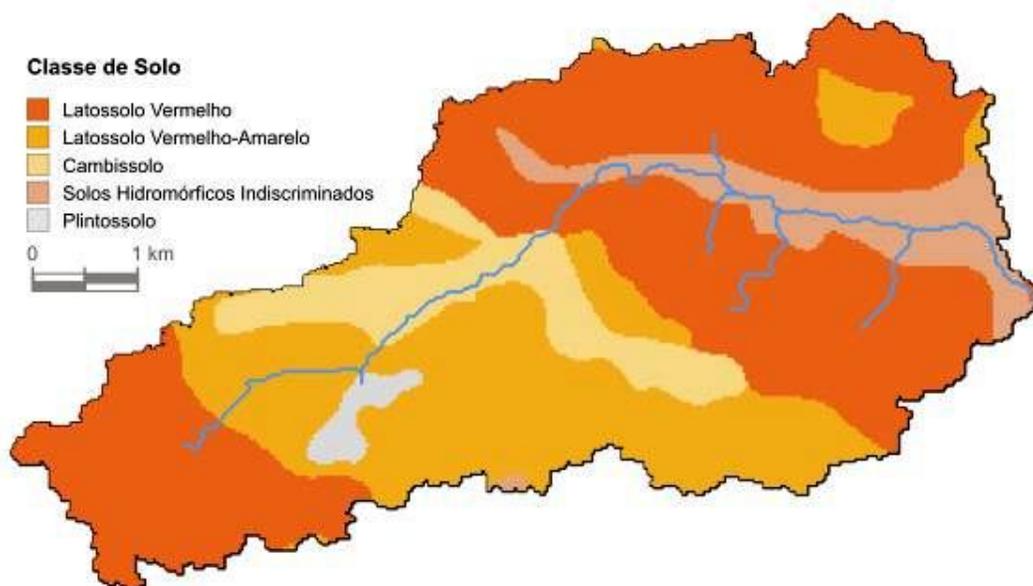


Figura 2. Mapa de solos da Bacia Experimental do Córrego Sarandi, realizado por Embrapa (1978).

Na Figura 3 é mostrado o mapa planialtimétrico da região de estudo, gerado com base no Modelo Digital de Elevação do Terreno obtido por meio do satélite ASTER, apresentado por ERSDAC (2011), conhecido por ASTER GDEM - *Global Digital Elevation Model*. Observando-se este mapa, tem-se que a parte mais baixa da área de estudo, no exutório da Bacia Experimental do Córrego Sarandi, está a uma cota de 953 m, enquanto a altitude máxima da bacia, próximo às suas nascentes, é de aproximadamente 1.262 m.

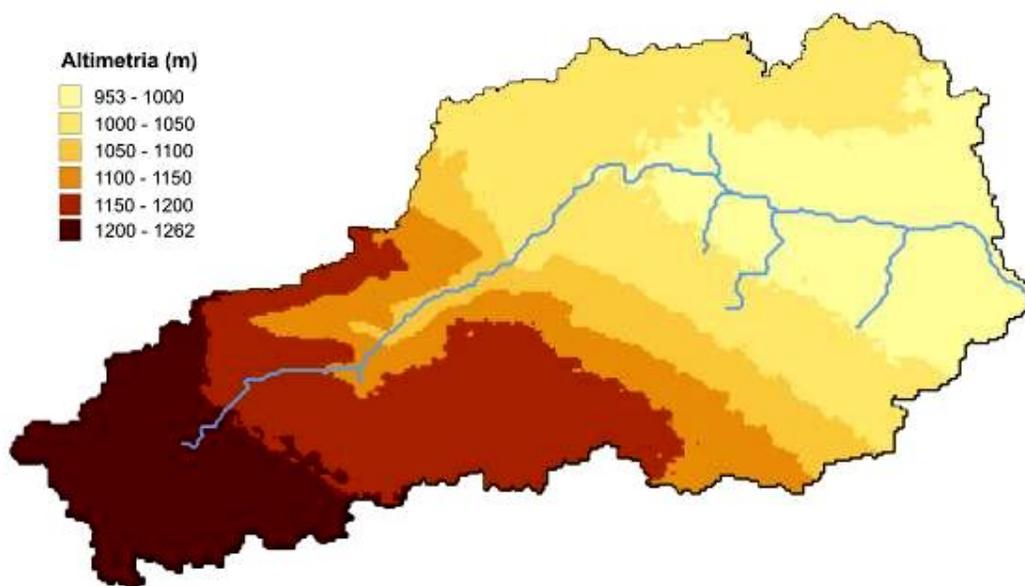


Figura 3. Modelo digital de elevação do terreno (MDT) da Bacia Experimental do Córrego Sarandi com base nos dados ASTER GDEM, de ERSDAC (2011).

Na Figura 4, que tem como base imagem disponível no GoogleEarth®, além da representação da cobertura e do uso atual do solo, são indicadas informações sobre os principais usos da água na Bacia Experimental do Córrego Sarandi.



Figura 4. Imagem extraída do GoogleEarth, de 30/08/2011, mostrando os principais usos do solo e da água na região da Bacia Experimental do Córrego Sarandi.

Grande parte das atividades agrícolas na bacia é desenvolvida nos campos experimentais da Embrapa Cerrados, que ocupa quase toda a área compreendida na margem/vertente direita do Córrego Sarandi (porção sul da bacia). Os principais usos do solo na área da Embrapa são: pasto, soja, trigo, café, cana, pinhão manso, dendê, milho, sorgo, frutas diversas, além de plantas nativas, como o pequi. Destaca-se que as áreas naturais de Cerrado na bacia ainda são bem preservadas em função da tutela da Embrapa, pois, como se pode observar na imagem, tanto na região leste quanto na oeste da bacia já existe avanço de zonas urbanas, parte consolidada (leste) e parte em processo de consolidação (oeste). Na Embrapa Cerrados, as áreas agrícolas a jusante da barragem são quase todas irrigadas, enquanto os experimentos desenvolvidos na chapada, parte mais alta da bacia, são predominantemente de sequeiro. Além das captações da Embrapa para irrigação e manutenção de sua unidade de pesquisa, existem duas outras captações significativas na bacia, por meio de canais de terra, para abastecimento de diversas chácaras. Em duas das propriedades o principal uso da água é a piscicultura, enquanto parte das demais possui pequenas áreas irrigadas. Logo a jusante da confluência do Sarandi com o Mestre D'Armas existe uma captação de água para abastecimento humano e, principalmente em razão da recente urbanização no entorno de sua Estação de Tratamento de Água (ETA) e consequente impacto na qualidade da água nesse local, a CAESB vem buscando alternativas para aumentar a viabilidade técnica e econômica deste ponto de captação.

Estimativa da susceptibilidade à erosão na bacia

O potencial de erosão na bacia foi estimado por meio da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a qual foi simulada em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas).

A EUPS pode ser apresentada da seguinte forma:

$$E = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

em que:

E – Taxa média anual de erosão (t/ha/ano);

R - fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano);

K - fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm);

LS - fator topográfico (adimensional);

C - fator de uso e manejo (adimensional);

P - fator de prática conservacionista (adimensional).

A equação foi simulada em ambiente de SIG, tendo como base informações espaciais da Bacia do Experimental do Córrego Sarandi organizadas em mapas temáticos com resolução (*pixel*) de 30 metros.

Obtenção dos parâmetros da EUPS

Estimativa da Erosividade da Chuva (R)

Neste trabalho, utilizou-se um valor constante de erosividade anual da chuva (R) para toda a área de estudo. Como esta ainda se trata de uma aplicação preliminar da EUPS na bacia, o valor adotado será igual ao de Dedeczek *et al.* (1986), que obtiveram um índice erosivo anual de 8.050 MJ.ha⁻¹mm.h⁻¹ utilizando dados da estação pluviométrica da Embrapa Cerrados, inserida na área de drenagem da Bacia Experimental do Córrego Sarandi.

Em outro estudo, Dedeczek (1978) estimou a erosividade da chuva no Distrito Federal como sendo igual a 8.319 MJ.ha⁻¹mm.h⁻¹. Bloise *et al.* (2001) obtiveram uma erosividade anual da chuva de 8.146 MJ.ha⁻¹mm.h⁻¹ para uma outra área do Distrito Federal, a menos de 60 km de distância da Bacia do Córrego Sarandi. Esses resultados indicam que há certa coerência no valor considerado para a realização deste estudo (8.050 MJ.ha⁻¹mm.h⁻¹), que é considerado como um valor alto de erosividade da chuva. O monitoramento da chuva nessa bacia foi iniciado há mais de 30 anos, em dois locais, nas partes alta e baixa da bacia, e os dados já se encontram em processamento para a discretização espacial desse fator para trabalhos posteriores mais voltados à tentativa de quantificação da erosão e do fluxo de sedimentos na área de estudo.

Estimativa da Erodibilidade do Solo (K)

Os valores do fator K da EUPS na bacia foram obtidos com base no mapa de solos apresentado na Figura 3 e em dados de bibliografias correlatas, como Dedecek (1986), Bertoni e Lombardi Neto (1990), Denardin (1990), Silva et al. (1994), Chaves (1994), Farinasso (2005); Lima et al. (2007); Silva et al. (2009), Lima et al. (2009). Os valores de K adotados na confecção do presente trabalho estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Erodibilidade (Fator K) atribuída para as diferentes classes de solo.

| Classe de solo | Fator K |
|-------------------------------|---------|
| Latossolo Vermelho | 0,013 |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | 0,033 |
| Neossolo Quartzarênico | 0,032 |
| Cambissolo | 0,037 |
| Plintossolo | 0,057 |
| Hidromórficos Indiscriminados | 0,038 |

Apesar das limitações inerentes à estimativa dos valores de K e da sua utilização por classe de solo, discutido por Lima et al. (2007), assim com na maioria dos trabalhos com aplicação da USLE, foram utilizados valores obtidos na bibliografia, por tipo de solo.

Estimativa dos Fatores de Relevância (LS)

Com base no modelo digital de elevação (MDE) da área obtido do ASTER GDEM, foram geradas as grades de informações numéricas (grids/raster) do fluxo acumulado (Flow Accumulation) e da declividade em cada célula de 30x30m em que foi discretizada a bacia.

Existem diversos métodos para a determinação do fator topográfico LS, como os de Williams e Berndt (1976), Wischmeier e Smith (1978), Moore e Burch (1986), Desmet e Grovers (1996), Kinnell (2001), Kinnell (2005). Neste trabalho, utilizou-se o modelo proposto por Moore e Burch (1986), também utilizado por Engel e Mohtar (2006) e Huang e Harding (2006) para a estimativa do fator LS da EUPS, cuja formulação é apresentada na Equação 2.

$$LS = \left(\frac{\text{Fluxo_Acumulado} * \text{Tamanho_da_Célula}}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{seno(Declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Estimativa dos Fatores de Cobertura e Práticas (CP)

Como o objetivo do trabalho é fazer uma estimativa preliminar da susceptibilidade à erosão na bacia, os valores de CP foram desconsiderados nessa análise, ou seja, considerados como sendo iguais a 1 (solo exposto arado no sentido da vertente).

Procedimento de Cálculo

Em posse de todos os parâmetros da EUPS como mapas temáticos digitais no formato “Grid”, utilizando-se a ferramenta “Raster Calculator” efetuou-se o cálculo do potencial de erosão em cada célula (30 x 30m) na área da Bacia Experimental do Córrego Sarandi.

Discussão dos resultados obtidos sob a ótica dos programas de PSA

Inicialmente, efetuou-se um esquema para organização do conhecimento sobre os serviços ecossistêmicos, diretos e indiretos, que podem ser auferidos por meio do controle da erosão, ação que pode ser subsidiada pelos resultados extraídos da aplicação da EUPS em ambiente de SIG. Em seguida, como exemplo, foi realizada uma análise integrada dos dados e informações referentes ao uso do solo e da água na região de estudo, os resultados da simulação da susceptibilidade à erosão na Bacia Experimental do Córrego Sarandi utilizando a EUPS, e as possibilidades de estabelecimento de programas de PSA com base nas relações entre provedores/mantenedores dos serviços ecossistêmicos e aqueles que se beneficiam desses serviços.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulação da susceptibilidade à erosão na bacia

Neste trabalho preliminar em relação à simulação, não foi considerada a variabilidade espacial da erosividade da chuva (Fator R) na bacia, sendo a esta atribuído o valor constante de $8.050 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, determinado por Dedeczek et al. (1986).

Em relação ao Fator K da EUPS, correspondente à erodibilidade do solo, a distribuição espacial desse parâmetro na bacia é idêntico ao mapa de solos apresentado na Figura 2, substituindo-se as classes de solo pelos respectivos valores apresentados na Tabela 1.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os mapas de declividade do terreno e da acumulação do fluxo na Bacia Experimental do Córrego Sarandi, informações extraídas do modelo digital de elevação do terreno (Figura 2).

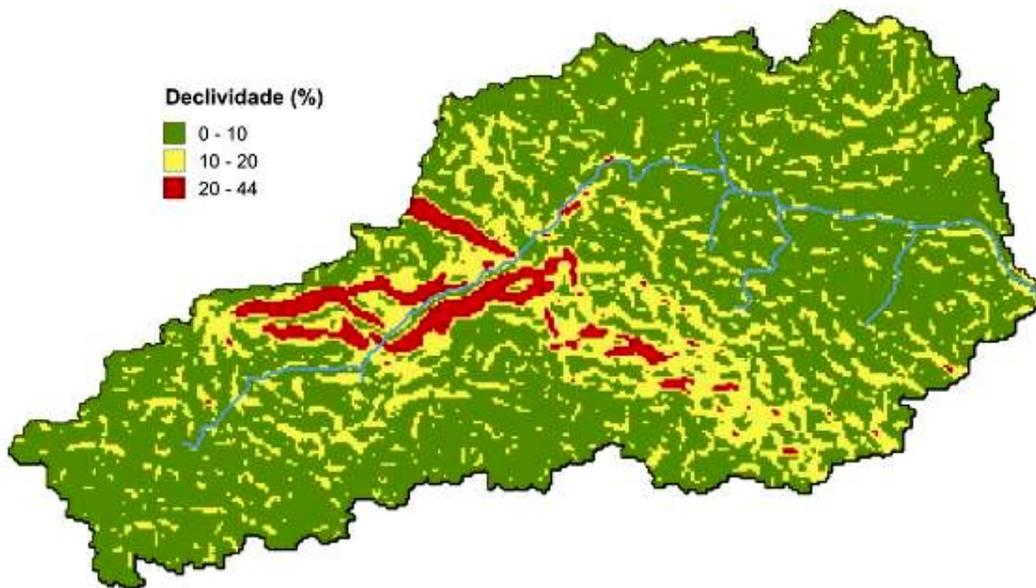


Figura 5. Mapa de declividade da Bacia Experimental do Córrego Sarandi (%).

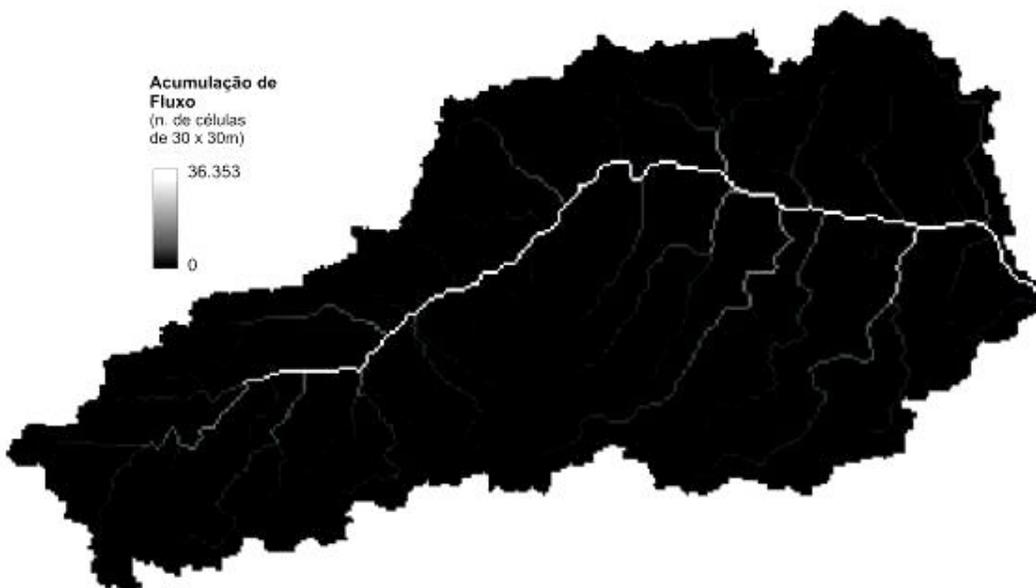


Figura 6. Mapa de acumulação do fluxo Bacia Experimental do Córrego Sarandi (número de células de 30 x 30m).

Aplicando os dados apresentados nas Figuras 5 e 6 na Equação 2, obteve-se a distribuição dos valores do Fator LS na bacia (Figura 7).

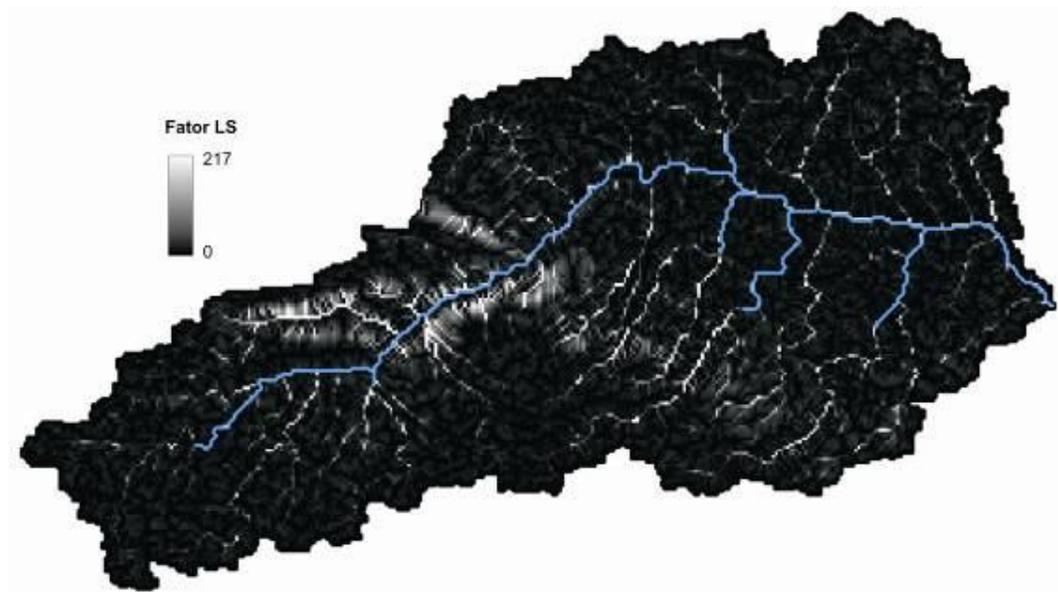


Figura 7. Distribuição espacial do Fator LS da EUPS na Bacia Experimental do Córrego Sarandi.

Aplicando-se a EUPS para a determinação do potencial de erosão, ou seja, multiplicando-se os Fatores R, K e LS, têm-se o mapa de susceptibilidade à erosão na Bacia Experimental do Córrego Sarandi (Figura 8).

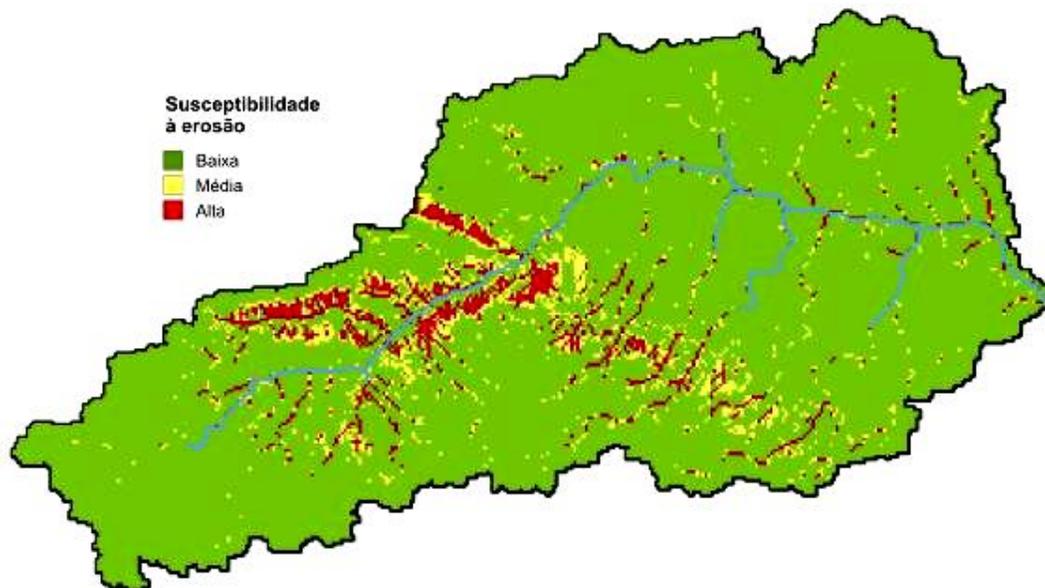


Figura 8. Mapa de susceptibilidade à erosão da Bacia Experimental do Córrego Sarandi.

Na Figura 8 são apresentados os locais com maior ou menor susceptibilidade à erosão na bacia, discretizados espacialmente em células de 30 x 30 metros. Como se observa no mapa, além de áreas próximas à drenagem na parte mais alta da bacia, na transição entre a chapada e parte mais baixa da bacia há uma faixa de área com alta susceptibilidade à erosão. Destaca-se a similaridade

entre as Figuras 8 e 5, demonstrando a forte influência da declividade sobre potencial de erosão de determinada região.

Na Tabela 2 estão os dados extraídos do mapa (Figura 8) referentes às áreas da bacia identificadas como sendo de baixa, média ou alta susceptibilidade à erosão.

Tabela 2. Quantificação das áreas da Bacia Experimental do Córrego Sarandi com baixa, alta ou média susceptibilidade à erosão.

| Classificação | Potencial de Perda de Solo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) | Número de Células | Área (km^2) | Área (%) |
|----------------------|---|--------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Baixa | 0 – 1.000 | 32482 | 29,2 | 89,3 |
| Média | 1.000 – 2.000 | 1977 | 1,8 | 5,5 |
| Alta | > 2.000 | 1895 | 1,7 | 5,2 |
| Σ | | 36354 | 32,7 | 100,0 |

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que grande parte da Bacia Experimental do Córrego Sarandi, cerca de 90%, tem baixa susceptibilidade à erosão, e apenas 5% de sua área tem alta susceptibilidade.

A resolução espacial da imagem de satélite utilizada (30 metros) não permitiu a identificação e o tratamento da questão da erosão em estradas vicinais, que é um dos principais problemas relativos à erosão em áreas rurais, como é o caso da Bacia do Córrego Sarandi (Figura 9).



Figura 9. Fluxo de sedimentos pela rede de estradas (pavimentadas e não pavimentadas) na Bacia Experimental do Córrego Sarandi (25/04/2012).

Na Figura 9, a foto da esquerda destaca-se que, no final da estrada asfaltada, à esquerda, existe outra estrada, contudo, sem asfaltamento. À direita, o asfalto só chega até a entrada da UPIS, que está a cerca de 500 m do ponto ainda visível na foto. Na segunda foto, verifica-se o momento de coleta de amostra para avaliação da concentração de sedimentos no escoamento. Ainda nesta foto, pode-se visualizar o ponto em que a estrada atravessa o Córrego Sarandi, zona mais baixa da

estrada e com vegetação mais densa em seu entorno, onde há uma ponte e toda essa carga de sedimentos chega ao referido curso d'água.

Análise dos resultados sob a ótica dos programas de PSA

O mapa de susceptibilidade à erosão da Bacia Experimental do Córrego Sarandi apresentado na Figura 8, bem como os dados explicitados na Tabela 2, trazem informações fundamentais para a adequada gestão do uso do solo na área.

Os locais com maior susceptibilidade à erosão também podem ser entendidos como às áreas com maior sensibilidade ou risco de gerar impactos negativos sobre os serviços ecossistêmicos, como, por exemplo, o controle da erosão, a retenção dos sedimentos, a formação dos solos, a ciclagem de nutrientes, a manutenção do ciclo hidrológico natural, o suprimento de água, energia, fibras, alimentos, a produtividade da terra, entre outros. Assim sendo, onde há opção, melhor seria não alterar esses ambientes mais frágeis, mantendo seu equilíbrio natural e seu potencial máximo de provimento de serviços ecossistêmicos. Entretanto, uma vez tomada a decisão de alterar a cobertura e o uso do solo nesses locais, o uso de práticas de conservação do solo é fundamental. Isso implica em maior custo relacionado ao uso da terra, tanto para manter a produtividade e a sua viabilidade de uso (econômica, social e ambiental), quanto para evitar a geração de externalidades negativas aos demais beneficiários dos serviços ecossistêmicos prestados naturalmente por esses ambientes.

O que ocorre é que, muitas vezes, seja por falta de opção ou de conhecimento, essas áreas mais sensíveis são alteradas para o uso humano, os cuidados necessários são negligenciados e geram problemas ao próprio dono da terra, aos demais usuários da bacia hidrográfica e ao meio ambiente. Dessa forma, o mapa de potencial de erosão nas bacias hidrográficas se apresenta como uma importante ferramenta de gestão do uso da terra, priorizando áreas para uso ou para preservação *a priori*, ajudando a identificar causas de problemas econômicos, sociais e ambientais, bem como subsidiando ações para a solução desses problemas (*a posteriori*), seja por meio de instrumentos de comando e controle, ou econômicos, como é o caso dos programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Conforme constatado por Bennet et al. (2005), o primeiro passo na direção da adoção de políticas para gestão sustentável dos ecossistemas deve ser o de incrementar o conhecimento humano sobre a dinâmica ecológica e as complexidades que envolvem os ecossistemas.

Na Figura 10 é apresentado um esquema que busca a organização do conhecimento sobre os serviços ecossistêmicos que podem ser auferidos por meio do controle da erosão, ação que pode ser subsidiada pelos resultados extraídos da aplicação da EUPS em ambiente de SIG.



Figura 10. Modelo de representação das relações existentes entre os processos erosivos, os serviços ecossistêmicos vinculados aos recursos hídricos e a integração de ferramentas de apoio à gestão territorial como a EUPS e os programas de PSA.

Efetuando-se uma análise integrada dos dados e informações referentes ao uso do solo e da água na região de estudo, os resultados da simulação da susceptibilidade à erosão na Bacia Experimental do Córrego Sarandi utilizando a EUPS, e as possibilidades de estabelecimento de programas de PSA com base nas relações entre provedores/mantenedores dos serviços ecossistêmicos e aqueles que se beneficiam desses serviços, algumas perguntas básicas devem ser respondidas.

A primeira pergunta a ser respondida é se os processos erosivos configuram um problema relevante na Bacia do Córrego Sarandi. Os resultados da aplicação da EUPS para a avaliação da susceptibilidade à erosão na bacia (Figura 8 e Tabela 2) mostram que em cerca de 90% da bacia o risco baixo e que em apenas 5% da área o potencial de perda de solo é alto. Comparando-se o mapa de susceptibilidade à erosão com informações sobre a cobertura e o uso do solo constante na imagem de satélite apresentada na Figura 4, nota-se que as áreas com maior potencial de erosão ainda possuem sua vegetação natural preservada. Portanto, com as informações que se apresentam, em princípio, pode-se afirmar que o risco de ocorrência de problemas significativos com a questão da erosão e do fluxo de sedimentos na bacia, hoje, é pequeno. Os recentes resultados que temos do monitoramento hidrossedimentométrico do Córrego Sarandi, até o momento, corroboram essa assertiva.

Outra pergunta interessante é sobre quem são os provedores/mantenedores dos serviços ecossistêmicos na bacia e quem são seus respectivos beneficiários. No caso da Bacia do Sarandi, a terra está sob a tutela e a gestão da Embrapa Cerrados, do Governo do Distrito Federal, no caso da Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), de uma faculdade particular (UPIS), e de chacareiros, fundamentalmente. Na parte mais alta da bacia também começam a aparecer parcelamentos da terra para o estabelecimento de condomínios ou assentamentos urbanos (Figura 4). Tanto os usos urbanos quanto os agrícolas, dependendo do local e da forma como forem conduzidos, podem representar uma ameaça à manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Entre os beneficiários mais diretos desses serviços estão: os próprios usuários dos solos e dos recursos hídricos da bacia; a Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB); e a parte da comunidade de Planaltina abastecida por esta Captação da CAESB.

No caso da Embrapa, os benefícios diretos são: menor custo de manutenção de seu canal de captação de água; qualidade e quantidade de água para o abastecimento contínuo de sua sede, seus laboratórios, suas áreas irrigadas e suas áreas de produção animal; menor custo de produção e de desenvolvimento de seus projetos de pesquisa (menos práticas conservacionistas e menor perda de solo e nutrientes provocados pela erosão); maior vida útil e disponibilidade hídrica em seu reservatório instalado no Córrego Sarandi; e o menor custo de manutenção de seus sistemas de bombeamento de água para irrigação.

Em relação à ESECAE, a manutenção dos ecossistemas aquáticos e a da beleza cênica se enquadram perfeitamente às metas relacionadas à sua existência e, além disso, o Córrego Sarandi é fonte de água para a fauna ainda existente nessa estação ecológica já bastante pressionada pela expansão de atividades agrícolas e da urbanização de seu entorno.

A faculdade particular (UPIS), em função de sua maior distância do curso d'água, é abastecida basicamente com água de poço, contudo, é importante destacar a relação existente entre

os processos erosivos e a infiltração de água solo / recarga de aquíferos, o que pode comprometer o serviço ecossistêmico de suprimento de água (quantidade e qualidade).

Em relação aos chacareiros, além da água para abastecimento humano e dessedentação animal, existe a questão do custo de manutenção de seus canais e sistemas de bombeamento de água para irrigação e o provimento de ambiente adequado para desenvolvimento de projetos de piscicultura existentes na bacia.

Apesar da Captação Mestre D'Armas da CAESB estar fora da Bacia do Córrego Sarandi, as águas provenientes desta bacia são o principal insumo para o desenvolvimento dessa atividade, pois, no período seco, o aporte de água do Sarandi é bem superior ao proveniente do próprio Ribeirão Mestre D'Armas (Figura 11).



Figura 11. Confluência do Córrego Sarandi com o Ribeirão Mestre D'Armas (29/09/2011).

Como se observa na foto apresentada na Figura 11, além da área da seção do Córrego Sarandi ser maior, a deposição de folhas na junção do Ribeirão Mestre D'Armas é indicativo de que as velocidades da corrente naquele ponto e naquele momento são menores, podendo haver, inclusive, um represamento da água proveniente daquele curso d'água.

Além da questão quantitativa, as águas do Sarandi tem a importante função de diluição do efluente lançado pela comunidade Mestre D'Armas a montante da Captação da CAESB (Figura 4), o que tem dificultado a manutenção da viabilidade técnica e econômica desta atividade. O impacto é direto no custo de operação e manutenção do sistema, bem como no aumento no custo e na viabilidade de tratamento da água para transformá-la em um produto potável.

A sociedade abastecida na sequência do Mestre D'Armas e pela Captação da Caesb são beneficiários diretos dos referidos serviços ecossistêmicos gerados na Bacia do Sarandi, com destaque para as questões de segurança hídrica e de prevenção de doenças.

Diante do exposto, considerando a capacidade de suporte, os usos atuais da Bacia do Córrego Sarandi e logo a jusante de sua confluência com o Ribeirão Mestre D'Armas e os problemas relacionados aos processos erosivos e seus desdobramentos em termos de uso do solo e da água na região, tem-se que:

- Os processos erosivos ainda não causam impactos significativos aos serviços ecossistêmicos correlatos na bacia do Sarandi;
- Os solos da bacia do Córrego Sarandi vêm sendo utilizados de forma coerente com seu potencial erosivo, o que pode ser incentivado por meio de mecanismos econômicos como o PSA, principalmente em função da forte pressão pelo desenvolvimento urbano e agrícola a que a área está submetida;
- Hoje, em função dos problemas técnicos e econômicos vivenciados na Captação Mestre D'Armas, a Caesb seria um potencial pagador por serviços ambientais relacionados ao controle de erosão na Bacia do Córrego Sarandi. Contudo, diante do quadro que se apresenta, ações de saneamento ambiental e drenagem urbana na Comunidade Mestre D'Armas, bem como ações que visem a redução ou a otimização do uso da água no Sarandi trariam retorno mais imediato e direto para a melhoria da situação.

4. CONCLUSÕES

- a. A aplicação da EUPS de forma espacialmente distribuída em escala de bacia hidrográfica se mostrou como uma importante ferramenta de suporte à gestão territorial, capaz de mostrar as áreas com maior sensibilidade à perda de serviços ecossistêmicos vinculados aos recursos hídricos, sendo de grande utilidade para a avaliação e a implantação de políticas, programas e ações de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA);
- b. Grande parte da Bacia Experimental do Córrego Sarandi (90%) apresenta baixa susceptibilidade à erosão, o que é ótimo em termos de aproveitamento e preservação dos serviços ecossistêmicos, bem como uma limitação em relação à necessidade de implantação de programas de PSA para controle de erosão;
- c. A manutenção da vegetação natural nas áreas com maior susceptibilidade à erosão na bacia é recomendável para evitar o aumento de suas taxas de erosão para níveis indesejáveis, o que pode ser motivo de implantação de um programa de PSA na área caso a pressão sobre o uso da terra e da água na região continue se intensificando;

- d. Para subsidiar a decisão sobre a implantação de programas de PSA na Bacia Experimental do Córrego Sarandi, assim como em qualquer outra região, é importante avaliar o potencial de prestação de outros serviços ecossistêmicos na área, que não apenas o controle de erosão.

BIBLIOGRAFIA

- BENNET, E.M.; PETERSON, G.D.; LEVITT, E.A. (2005). *Looking to the future of ecosystem services*. Ecosystems, v. 8, p.125-132.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do solo*. 3ªed. São Paulo: Ícone. 355p.
- BLOISE, G.L.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; REATTO, A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F. (2001). *Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria-DF*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 33p. (Boletim de Pesq. e Desenv. n° 14).
- CHAVES, H.L.M. (1994). *Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco*. Brasília: CODEVASF/FAO. 35p. (Relatório Final de Consultoria).
- COHEN, M.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. (2005). *Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed*. Geoderma, v.124, p.235-252.
- DEDECEK, R.A. (1978). *Capacidade erosiva das chuvas de Brasília-DF*. In: Anais do II Encontro nacional de pesquisa sobre conservação do solo. Passo Fundo, RS: Embrapa-SNLCS, p.157-161.
- DEDECEK, R.A.; RESCK, D.V.S.; FREITAS JÚNIOR, E. (1986). *Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.265-272.
- DENARDIN, J.R. (1990). *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Piracicaba: ESALQ, 106p. (Tese de Doutorado).
- DESMET, P.J.J.; GROVERS, G. (1996). *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, Fairmont, W.Va., v.51, n.5, p.427-433.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. (1978). *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Escala 1:100.000*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, SNLCS, Boletim Técnico, 455p.
- ENGEL, B.; MOHTAR, R. (2006). *Estimating soil erosion using RUSLE and the ArcView GIS*. Disponível em: <pasture.ecn.purdue.edu/~abe526/resources1/workshop/gisrusle2.doc> Acesso em: 01 de março de 2006.

ERSDAC - Earth Remote Sensing Data Analysis Center. (2011). *ASTER GDEM Website*. Disponível em: <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>>. Acesso em: 15 de julho de 2012.

FARINASSO, M. (2005). *Avaliação qualitativa do potencial erosivo 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*. Dissertação de Mestrado.

HUANG, X.; HARDING, C. (2006). *Estimating soil erosion potential with the Universal Soil Loss Equation (USLE) using ArcGIS*. Proceedings of First Asia-Pacific Conference for ESRI Users – APUC. Hong Kong: ESRI. 2006. Disponível em: http://www.esrichina-hk.com/apuc2006/proceedings/papers/APUC2006-EMNC-Xianyi_Huang.pdf. Acesso em: 10 de março de 2006.

KINNELL, P.I.A. (2001). *Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells*. Soil and Tillage Research. v.58, pp.11-17.

KINNELL, P.I.A. (2005). *Alternative approaches for determining the USLE-M slope length factor for grid cells*. Soil Science Society of America Journal. v.69, pp.674-680.

LIMA, J. E. F. W. ; LOPES, W. T. A. (2009). *Estimativa da erosão no Estado do Tocantins utilizando a Equação Universal de Perda de Solo*. In: Carlos Nobuyoshi Ide; Luiz Augusto Araújo do Val; Maria Lúcia Ribeiro. (Org.). Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Campo Grande: Ed. Oeste, v. 1, p. 499-518.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. (2007). *Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio jardim DF*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, p. 21-34.

MANH-HA, N. (2011). *Application of Usle and Gis Tool to Predict Soil Erosion Potential and Proposal Land Cover Solutions to Reduce Soil Loss in Tay Nguyen*. Disponível em <http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts06c/ts06c_nguyen_manh_5011.pdf>. Acesso em 15 de agosto de 2012.

MELLEROWICZ, K.T.; REES, H.W.; CHOW, T.L.; GHANEM I. (1994). *Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: a case study*. Journal of Soil and Water Conservation, Fairmont, W.Va., v.49, n.2, pp.194-200.

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, v.50, pp. 1294-1298.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. (2009). *Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de lavras, sul de minas gerais*. R. Bras. Ci. Solo, v.3, p.1811-1820.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, M.M.; LOMBARDI NETO, F. (1994). *Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob Cerrado*. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.29, n.11, p.1751-1761.

WILLIAMS, J.R.; BERNDT, H.D. (1976). *Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds*. Proceedings of the National Soil Erosion Conference, West Lafayette, Indiana.

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