

Determinação de processos erosivos laminares por ferramentas de geoprocessamento.

Daiana Lira de Araujo ¹
Wagner Santos de Almeida ¹

¹ Universidade de Brasília – UnB/ENC
CEP 70910-900 – Brasília – DF, Brasil
daiana_lira@hotmail.com
wagnersa@unb.br

Abstract. The watershed of Paranoá is important for the federal district of Brazil's capital, especially to the city of Plano Piloto/DF, for holding the reservoir of Paranoá Lake, which has multiple local uses. Therefore, it is fundamental to know the laminar erosion process in the Paranoá watershed, objective of this study, because it is relevant to the analysis of the rate of siltation of its reservoir, used, for example, to generate electricity. To study the soil loss by laminar erosion process was used the empirical model of Universal Soil Loss Equation (USLE), with the determination of its parameters through geoprocessing tools inside ArcGIS and Spring Systems, applied to images of the ALOS satellite and data available on online web sites and in literature itself. Furthermore, to confirm the soil loss values obtained by the USLE, geotechnical laboratory tests were performed on soil samples, which were collected in two points of the study area. By analyzing the results of the USLE parameters, was observed a marked influence of local relief together with inadequate soil management in laminar erosion, contributing to a severe loss of soil in the study area. This severe loss of soil increases the processes of sediment supply in the reservoir Paranoá Lake, what may jeopardize its lifespan.

Palavras-chave: Universal Soil Loss Equation (USLE), laminar erosion process, Geographic Information Systems, Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), processo de erosão laminar, Sistemas de Informação Geográfica. Remote Sensing images processing.

1. Introdução

O solo é um recurso natural indispensável para a sociedade e sempre passou pelo processo natural de erosão laminar, causado pela água da chuva, que garante, inclusive, a dinâmica topográfica ao longo dos anos. No entanto, o uso antrópico tem intensificado tais processos, por alterar as condições naturais da cobertura vegetal e as propriedades dos solos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Dentre as diversas consequências da intensificação dos processos erosivos laminares, por ação antrópica, está o assoreamento acelerado de corpos d'água, causado, principalmente, pelo aporte de sedimentos em reservatórios e lagos.

Um exemplo de reservatório que tem sofrido com o assoreamento acelerado é o Lago Paranoá, localizado no centro-oeste do Distrito Federal. Isso ocorre devido ao fato de sua bacia contribuinte (cuja área é cerca de 1000 km²) apresentar grande concentração populacional e acentuado desmatamento da vegetação nativa.

O lago artificial do Paranoá foi criado em 1961 e tem 38 km² de área superficial e com múltiplos usos, como a geração de energia elétrica através da Usina Hidrelétrica do Paranoá (UHE Paranoá), recreação da população, entre outros.

Com o objetivo de garantir a manutenção de sua vida útil é necessária a realização de monitoramentos do reservatório, no sentido de se verificar a vulnerabilidade da sua bacia contribuinte aos processos erosivos laminares que aumentam o aporte de sedimentos e, consequentemente, o seu assoreamento.

Os modelos empíricos de previsão de perdas de solo por erosão laminar são ferramentas importantes para identificar os locais que necessitam de práticas conservacionistas adequadas para evitar essas perdas. Um desses modelos empregados é o da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS – Wischmeier & Smith 1978), que incorpora os principais fatores que influem na erosão laminar do solo, a saber: a chuva, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A aplicação da EUPS com auxílio de sistemas de informações geográficas (SIG) permite a elaboração de mapas geotécnicos que indicam graficamente as áreas com maior potencial de perda de solo na área de estudo.

2. Metodologia

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas de latitude 15° 40' e 15° 56' de latitude sul e 47° 46' e 47° 57' de longitude oeste, na bacia do Lago Paranoá, Brasília (DF). A Figura 1 abaixo é uma composição colorida obtida de uma imagem do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) que representa a área de estudo.

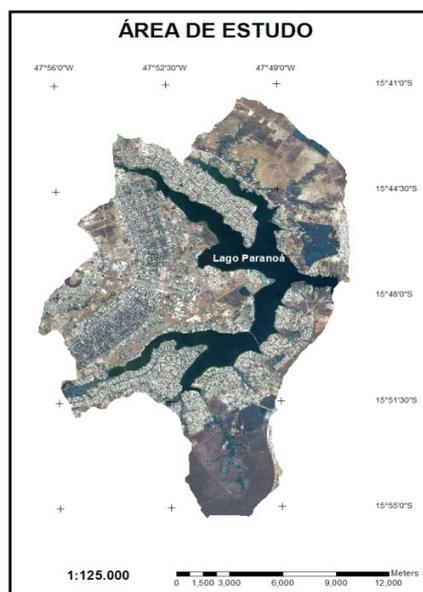


Figura 1. Área de estudo (Composição colorida das bandas da imagem ALOS).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizados foram o ArcGis 10 da Esri, e o SIG Spring 5.2.6, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Alguns dos algoritmos de geoprocessamento presentes nos sistemas ArcGis e Spring foram utilizados no cálculo dos parâmetros da EUPS.

O modelo empírico da EUPS, utilizado para previsão de perdas de solo por erosão laminar, exprime a ação dos principais fatores que influenciam nesses processos, sendo definida pela seguinte equação (Wischmeier & Smith, 1965):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Onde "A" é a perda de solo, em ton/ha.ano; "R" é o fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h); "K" é o fator de erodibilidade do solo, em ton. ha.h. / ha.(MJ.mm); "L" é o fator de comprimento de rampa (adimensional); "S" é o fator de declividade, baseado em % de declividade; "C" é o fator de uso e manejo do solo (adimensional) e "P" é o fator de prática conservacionista.

Para a determinação da erosividade da chuva foram utilizados dados diários de precipitação pluviométrica de 24 estações com séries históricas abrangendo um período de até 34 anos, pertencentes à rede da Agência Nacional de Águas – ANA. Tais informações pluviométricas foram transformadas em fatores R, segundo a metodologia proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1980), que depois de inseridos no SIG sofreram interpolação por Krigagem Ordinária através do módulo "Geostatistical Analyst System", do ArcGis.

O parâmetro de erodibilidade, referente às características inerentes ao tipo de solo, foi obtido pela atribuição de valores pré-determinados por Calixto (2013), aos solos presentes no mapa pedológico da área de estudo, gerando ao final um mapa de erodibilidade dos solos da região.

O fator de relevo, de marcante influência nos processos erosivos, foi representado pelo parâmetro LS cujo cálculo foi feito a partir de equações propostas por Bertoni & Lombardi Neto (1990) (Equações 2, 3 e 4).

$$T = 0,145 \cdot D^{1,18} \quad (2)$$

$$T = 0,166 \cdot C^{1,63} \quad (3)$$

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (4)$$

Onde “LS” é o fator de relevo, “T” é a perda de solo em Kg/m², “D” é o grau de declive do terreno, em porcentagem e “C” é o comprimento de rampa do terreno, em metros. Essas equações foram aplicadas a dados de declividade do terreno, que, por sua vez, foram calculados através de ferramentas do ArcGis partindo do Modelo Numérico de Terreno (MNT) da área.

Os fatores de uso-manejo do solo e práticas conservacionistas foram adquiridos por meio da classificação temática das imagens do satélite ALOS referentes ao ano de 2009. A classificação e o processamento das imagens foram feitos através do ambiente computacional do sistema Spring, conforme metodologia proposta por Almeida et al. (2012), na qual se aplica o algoritmo de classificação supervisionada Bhattacharya a uma imagem segmentada por regiões.

Posteriormente, foram atribuídos valores do fator de uso-manejo do solo (fator C), descritos em Silva (2004), à já citada classificação temática, obtendo, ao final, o fator C da EUPS. Tal atribuição foi feita através do SIG ArcGis. Com relação ao parâmetro de práticas conservacionistas, toda a área da bacia apresentou valor igual a 1, devido a ausência de áreas de agricultura mecanizada na região, o que fez com que esse fator não tivesse interferência alguma no cálculo da perda de solo por meio da EUPS.

Calculados, por fim, todos os os fatores da EUPS, foi, então, executada a operação da equação 1, realizada por meio da ferramenta “Raster Calculator” do ArcGis para a obtenção da imagem de perda de solo na bacia do Lago Paranoá.

Como complemento ao estudo, foi realizado o ensaio geotécnico de análise granulométrica de duas amostras de solo coletadas na área da bacia, conforme a norma NBR/ABNT 7181/1984. Os dois pontos de amostragem foram: a) Ponto 1 - Instituto Federal de Brasília – IFB, localizado na coordenada 15° 45’ 16.67” sul e 47° 52’ 41.86” oeste; b) Ponto 2 – Observatório sismológico da Universidade de Brasília, na coordenada 15° 45’ 57.41” sul e 47° 52’ 21.92” oeste. Esse ensaio permitiu a categorização dos solos segundo a classificação TRB (Transportation Research Board), possibilitando determinar, conforme a classe do solo, qual é a sua susceptibilidade do mesmo em sofrer processo de erosão laminar.

3. Resultados e Discussão

Cada fator da EUPS obtido apresentou resultados diversos, conforme ilustrado na Figura 2. Tais resultados, quando unidos, geram efeitos diversificados na dinâmica de perda de solo por processo de erosão laminar na bacia do Lago Paranoá.

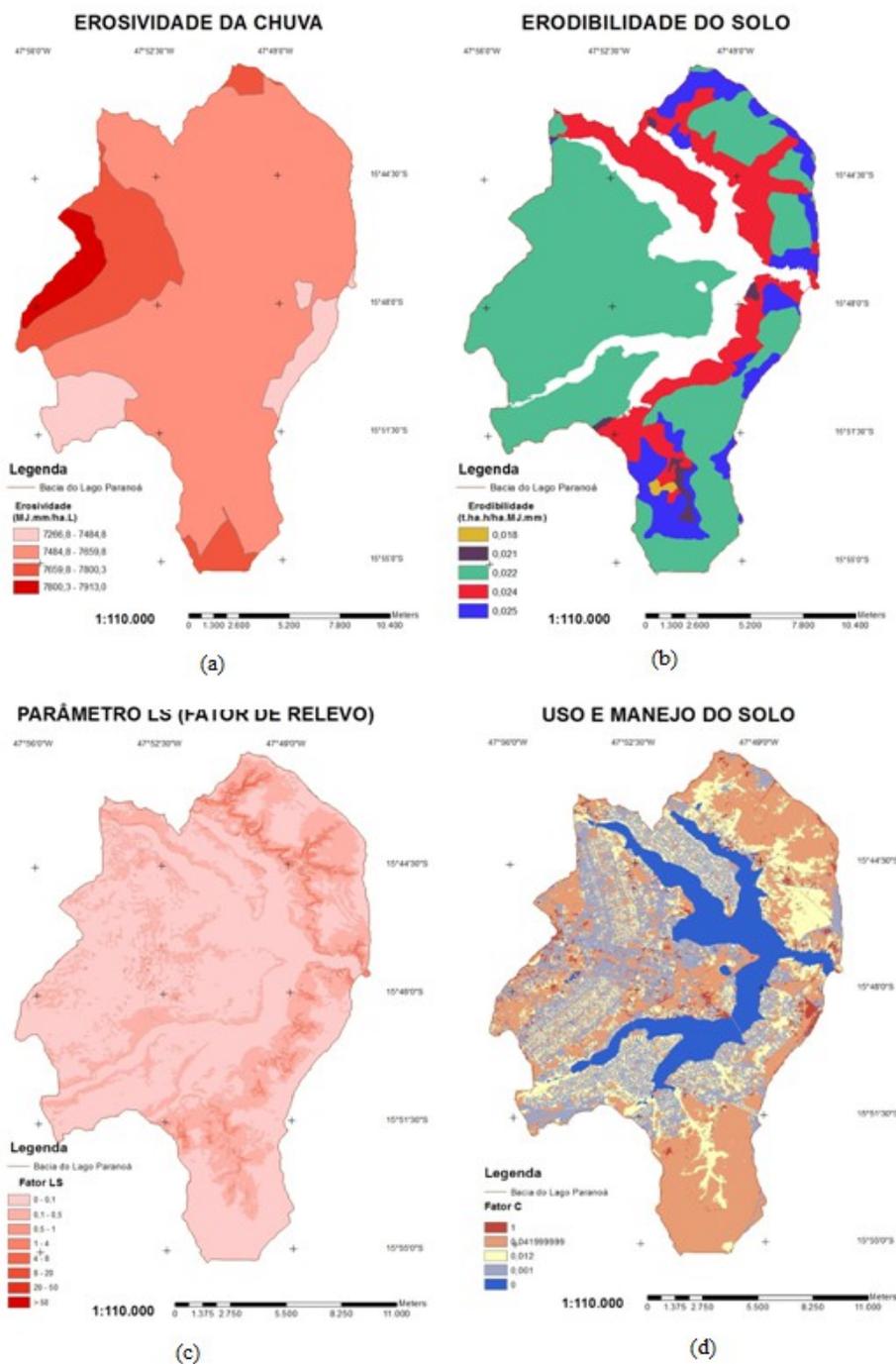


Figura 2 - Imagem dos fatores da EUPS: (a) P - Erosividade da chuva, (b) K -Erodibilidade do solo (c) LS - Fator de relevo, (d) C - Uso e manejo do solo.

A imagem do fator R (Figura 2(a)) foi produzida através do método de Krigagem Ordinária, melhor método para esse fim segundo Farinasso (2006). Por meio da imagem observou-se que o maior índice de erosividade da bacia se encontra no extremo oeste, com 7913,0 MJ.mm/ha.L, no entanto o fator P predominante é, em média, de 7572,3 MJ.mm/ha.L, para a série analisada.

A pedologia da bacia do Lago Paranoá é formada, principalmente, por solos do tipo Latossolo Vermelho com a presença pontual de Cambissolo, em especial nas margens do Lago Paranoá, tais informações estão em acordo com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Ambos os tipos de solo mencionados, como a bacia em

geral, apresentaram propensão a sofrer erosão laminar quando comparados a outros solos encontrados na região do DF, e conforme os valores da tabela 1 determinados por Calixto (2013), e espacializados na Figura 2(b).

Tabela 1. Valores de erodibilidade do solo (K).

Classe de solo	Uso	K (Chaves, 1994) (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Cambissolo	Pastagem/ cerrado	0,024
Gleissolo Háptico	Pastagem	0,021
Latossolo Vermelho	Pastagem	0,022
Latossolo Vermelho Amarelo	Cerrado	0,025
Neossolo Quartzarênico	Pastagem	0,032
Nitossolo Vermelho	Pastagem	0,033
Plitossolo Pétrico	Pastagem	0,018

Outra característica da bacia do Lago Paranoá determinante no processo de perda de solo foi a sua topografia (Figura 2(c)), quase totalmente plana com grandes declividades apenas em zonas que margeiam córregos ou rios que alimentam ao Lago Paranoá, concentrando, assim, as perdas máximas de solo nessas regiões.

Por meio da classificação temática executada pelo SPRING sobre as imagens ALOS da área de estudo, observou-se que o uso predominante do solo é de ocupação urbana, com cerca de 25% da área total, seguido pela formação campestre. No entanto, quanto a esse fator foram as áreas de solo exposto que obtiveram maior destaque, pois, apesar de só ocorrerem em áreas pequenas e bem distribuídas na bacia, são bem mais propensas a processos erosivos laminares que as demais. Os valores do fator utilizados para a obtenção da figura 2(d) estão descritos em Silva (2004) e apresentados na Tabela 2, enquanto que o mapa de classificação temática ao qual foram atribuídos esses valores está ilustrado na Figura 3.

Tabela 2. Valores de Parâmetro C para as classes temáticas.

Classe de uso e ocupação do solo	Fator C
Agricultura	0,18
Água	0,000
Área Urbana	0,001
Campo	0,042
Cerrado	0,042
Mata	0,012
Silvicultura	0,012
Solo exposto	1,000

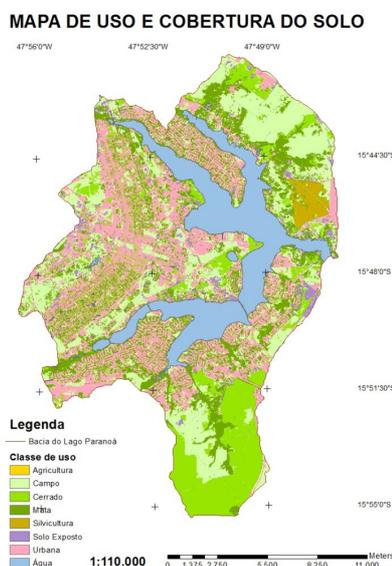


Figura 3 - Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo.

O mapa de perda do solo (Figura 4), obtido após a multiplicação dos diferentes fatores da EUPS revelou que a distribuição espacial da perda do solo está fortemente associada à geomorfologia do terreno que, por ser predominantemente plano, levou a valores de perda de solo relativamente baixos. Entretanto, é necessária a aplicação de técnicas de manejo de solo, por observar-se uma acentuada perda de solo nos pontos sul e nordeste da bacia, o que implica na estimativa de maior taxa de assoreamento nos braços do córrego de Santa Maria e do Ribeirão do Gama e também próximo ao exutório do Lago Paranoá, onde há uma região de solo exposto intenso, outro fator de grande relevância para o processo de perda de solo por erosão laminar.

Apesar de o fator de erodibilidade ter apresentado baixa relevância para o resultado final, é importante salientar a sua influência, em especial, do Latossolo Vermelho Amarelo, presente na região próxima à barragem do Lago Paranoá e na extremidade norte da bacia do Lago Paranoá sobre a perda de solo obtida.

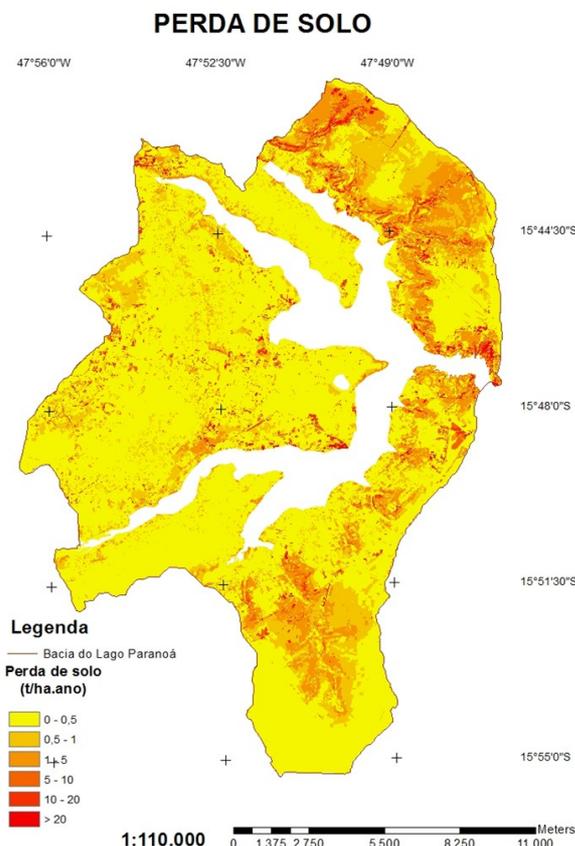


Figura 4 - Perda de solo da área de estudo.

Os resultados do ensaio geotécnico podem ser observados nas curvas de granulometria contidas na Figura 5. As curvas revelam que as duas amostras de solos coletadas dos dois pontos de amostragem explicitados acima são bem semelhantes, apresentando-se muito finos. Porém, o solo do ponto 1 é um pouco mais granular que o do ponto 2, tendo maior parcela retida na peneira #10 (2,0 mm) que é quem marca a divisão de peneiramento grosso e fino.

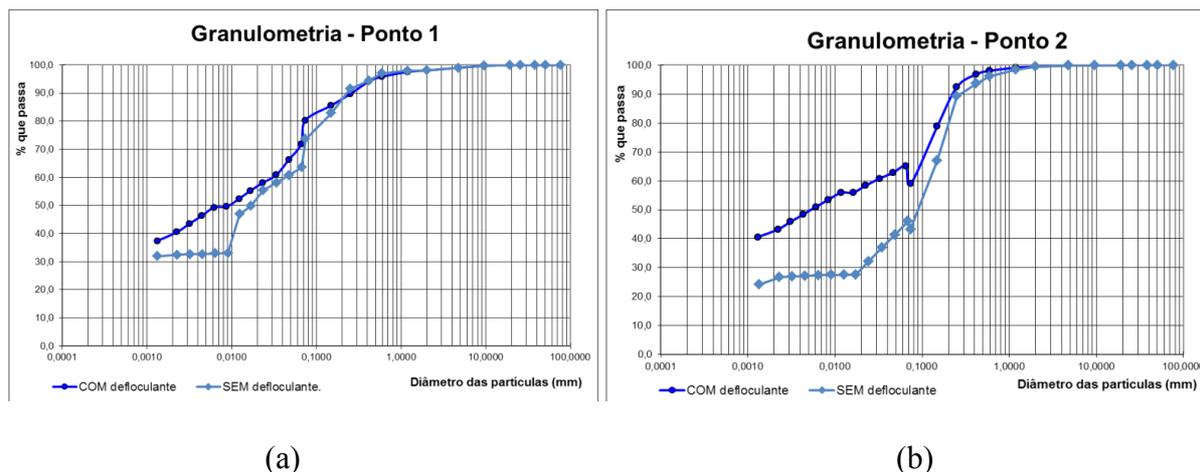


Figura 5. Curvas de granulometria: (a) no ponto 1 e (b) no ponto 2.

A diferença entre as curvas com e sem o uso de defloculante atesta a presença de agregados ou pacotes de argila que podem ser erodidos pelos componentes químicos existentes nos fertilizantes e defensivos agrícolas. Dessa forma, o ponto 2 tende a apresentar mais argila que no ponto 1.

Segundo o sistema de classificação TRB, que fundamenta-se na granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade, ambos os solos são classificados como solos Silto-Argilosos, por apresentarem $P_{200} > 35\%$. Contudo, a classificação fica restrita já que não foi efetuado o ensaio de limite de liquidez e índice de plasticidade, podendo ele se encaixar em qualquer das classes dessa categoria.

Porém como os solos são bem mais argilosos do que siltosos, faz-se boa estimativa classificá-los no grupo A-7, grupo esse que, segundo Almeida et al. (2012), apresenta erodibilidade média. O que não está acordo com o resultado obtido por geoprocessamento, classificando a região como sendo de muito baixo potencial de perda de solo. A razão de tais discrepâncias está no fato de que o fator LS tem uma preponderância maior na perda de solo em relação à erodibilidade em si, devido tanto às baixas declividades do terreno, quanto ao peso atribuído a esse fator.

4. Considerações Finais

O modelo da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), por meio da aplicação dos SIGs ArcGis e Spring demonstrou ser eficiente para o objetivo determinado, já que os softwares utilizados apresentam algoritmos que se complementam, resultando em maior eficiência na produção da carta geotécnica de perda de solo.

Apesar da bacia hidrográfica estudada apresentar, em geral, baixa taxa de erosão laminar, verificou-se a presença de algumas áreas críticas de perda de solo, inclusive a localizada próxima à barragem do lago Paranoá que apresentaram valores considerados acima da tolerância de perda máxima de solo (Bertoni & Lombardi Neto 1990), sendo necessário que sejam tomadas medidas de mitigação dos processos de erosão laminar, sob pena de se aumentar o aporte de sedimentos para o reservatório do Lago Paranoá, diminuindo a sua vida útil na geração de energia elétrica.

Agradecimentos: Ao CNPq e à UnB pelo apoio financeiro dado durante a execução desse projeto. Ao Laboratório de Geotecnia da UnB pelo apoio e espaço cedido durante os ensaios experimentais referentes ao projeto. E também à ANA, à EMBRAPA e ao INPE pelos dados disponibilizados.

5. Referências

Almeida, W. S.; Souza, N.M.; De Carvalho, J. C. Produção de carta geotécnica preliminar e capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO). In: De Carvalho, J. C (Org.). **Livro Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2012, v. 4, p. 587-612.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica**. São Paulo, 1984. 13 p.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

Calixto, B. B. **Estimativa indireta da erodibilidade (K) dos solos da bacia do ribeirão Pipiripau – DF usando dados pedológicos locais**. 2013. 67 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal.

Farinasso, M et al.; Carvalho, O. A.; Guimarães, R. F.; Gomes, R. A. T. (2006). Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUUPS – Equação Universal de Perdas de Solo utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto-Parnaíba – PI/MA. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2. Anais..., Marília, São Paulo. p. 73-84.

Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. (1980) Erosividade da chuva, sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa de Conservação de Solo, 3. Anais..., Recife.

Silva, V. C. **Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF)**. 2004. 13f. Resumo tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, 2004.

Transportation Research Board (TRB). 2014. Disponível em: <<http://www.trb.org/Main/Home.aspx>>. Acesso em: 22 Jul. 2014.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1978. 58p.

Wischmeier, W.H.; Smith, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains**. Washington, USDA, 1965. 47p.