



**Estimativas de Perdas de Solo para Diferentes Cenários de Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga-SE**  
Soil Loss Estimates for Different Vegetation Cover Scenarios in the Piauitinga-SE River Basin

Robson Batista dos Santos; André Quintão de Almeida & Weslei Almeida Santos

*Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Avenida Marechal Rondon, s/n, 49100-000, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil.*

*E-mails: rob.dja@hotmail.com; andreqa@gmail.com; weslei-reggaeroots@hotmail.com*

Recebido em: 15/10/2018      Aprovado em: 27/02/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_1\\_672\\_681](http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_672_681)

## Resumo

O objetivo do trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Piauitinga-SE em razão das mudanças no uso e ocupação da terra. Para isso, utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) associada à várias técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Também foram utilizadas para a região séries históricas de precipitação mensal (mm), informações pedológicas, mapas de hidrografia, Modelo Numérico do Terreno (*Shuttle Radar Topography Mission*) e imagens *RapidEye* (5 m). Dois cenários foram avaliados: Cenário 1 (C1), considerando o mapa de uso e ocupação do solo do ano de 2013; e o Cenário 2 (C2), com uso do solo considerando as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) preservadas, segundo a legislação federal (Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012). Maiores perdas de solo estiveram associados a valores elevados de declividade e do fator LS. As APPs (C1) contribuíram para a redução das perdas de solo na bacia do rio Piauitinga, entretanto, os dois cenários (C1 e C2) apresentaram maior parte da área da bacia com erosão entre as classes Muito Baixa (0-5 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano), Baixa (5-10 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano) e Moderada (10-50 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano).

**Palavras-Chave:** Erosão; APPs; USLE.

## Abstract

The objective of this paper was to estimate soil loss by extensive erosion in the basin of Piauitinga-SE River due to changes in the use and occupation of the land. For this, we used the Universal Soil Loss Equation (USLE) associated with geoprocessing and remote sensing techniques. Were also used historical series of monthly precipitation (mm), soil information, hydrographic maps, Numerical Model of Terrain (*Shuttle Radar Topography Mission*) and *RapidEye* images (5 m). Two scenarios were evaluated: Scenario 1 (C1), considering the usage of soil to year of 2013; and Scenario 2 (C2), with land use considering the Permanent Preservation Areas (APPs) preserved under federal law (Law No. 12,651, of May 25, 2012). It was observed greater soil loss associated with higher slope and high values of the LS factor. The APPs (C1) contributed to the reduction of soil loss in the watershed, however, the two scenarios (C1 and C2) had most of the basin area with erosion between classes Very Low (0-5 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.year), Low (5-10 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.year) and Moderate (10-50 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.year).

**Keywords:** Erosion ; APPs; USLE.

## 1 Introdução

A erosão é um processo natural e consiste no desprendimento e transporte das partículas do solo, sendo a principal causa da degradação e depauperamento acelerado das terras. Esse processo é intensificado devido à supressão de extensas áreas vegetadas, aumento da urbanização, atividades agropecuárias e manejo inadequado do solo (Lombardi Neto & Bertoni, 1975).

A identificação de áreas de suscetibilidade à erosão do solo pode ser obtida pelo uso de modelos matemáticos, os quais permitem que os processos erosivos sejam previstos e estudados. Assim, o gerenciamento ambiental e a implementação de manejo em bacias hidrográficas devem incluir estudos quantitativos de expectativa de erosão hídrica superficial, sendo a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ferramentas eficazes neste processo (Wischmeier & Smith, 1978; Stein *et al.*, 1987; Silva, 2004; Farinasso *et al.*, 2006; Coutinho, 2010; Aragão *et al.*, 2011).

A USLE é um modelo empírico que envolve seis variáveis explicativas relacionadas às características climáticas, pedológicas, geográficas e de ação antrópica sobre o ambiente (Wischmeier & Smith, 1978): R – Erosividade, K – Erodibilidade, L – Comprimento de rampa, S – Declividade das encostas, C – Cobertura do solo, P – Práticas conservacionistas. Com ampla divulgação, principalmente pela facilidade de uso e simplicidade, a USLE conjuntamente com os SIGs, apresenta-se como uma importante ferramenta de quantificação e espacialização das perdas de solo, estimativas de áreas de risco, formulação de prognósticos e diagnósticos, assim como a análise de cenários conservacionistas (Taddese, 2001; Farinasso, *et al.*, 2006; Coutinho, 2010).

A bacia hidrográfica do Rio Piauitinga apresenta uma importância estratégica para o estado de Sergipe, já que o rio principal e seus afluentes são utilizados para o abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola de municípios como Estância, Salgado e Lagarto. Porém, esta região encontra-se atualmente com grande parte dos seus mananciais em avançado estado de degradação,

ocasionado, principalmente, pela produção agrícola irracional, não adoção de práticas conservacionistas e a criação de gado sem manejo adequado nas APPs (Oliveira *et al.*, 2012a). Neste contexto, surge a necessidade de gerar informações úteis à identificação de áreas com maior susceptibilidade erosiva através de mapas de expectativa de perda de solo e zoneamento básico das áreas de restrição à ocupação antrópica. Assim, o objetivo desse trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão laminar para o uso do solo atual e comparar com o cenário adequado (Lei 12.651/2012) para as APP's na bacia hidrográfica do rio Piauitinga, utilizando para isso, a USLE e ferramentas de geotecnologias.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Piauitinga, localizada no estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, entre o agreste e o litoral úmido (Figura 1). Com clima Megatérmico Subúmido (Thorntwaite & Mather, 1955), esta região apresenta temperaturas médias anuais variando entre 24,2°C e 25°C, precipitações anuais entre 1100 mm e 1400 mm com período chuvoso compreendido entre os meses de março e agosto (SEMARH, 2010). Possui uma área geográfica aproximada de 412,14 km<sup>2</sup>, abrange parte do território dos municípios de Lagarto, Boquim, Itaporanga D'Ajuda, Salgado e Estância e sua população é estimada em aproximadamente 300.000 habitantes (IBGE, 2012).

O rio Piauitinga mede 59,28 km, possui uma disponibilidade de água (superficial e subterrânea) de 9.355.280m<sup>3</sup>/ano e sua foz localiza-se próximo à sede do município de Estância, desembocando no rio Piauí (SEMARH, 2010). O relevo da região é caracterizado pela presença de um planalto de topografia suave sulcado por vales fluviais, com maior altitude (195 m) localizada na cabeceira do rio Piauitinga, no povoado Brasília.

### 2.2 Determinação dos fatores da USLE

#### 2.2.1 Erosividade (R)

Considerando que na bacia do rio Piauitinga existem duas regiões climáticas, Agreste (36,89%) e Litoral Úmido (63,11%), a determinação do fator de erosividade das chuvas foi feita utilizando o modelo de potência ( $Y = ax^b$ ) desenvolvido por Cantalice

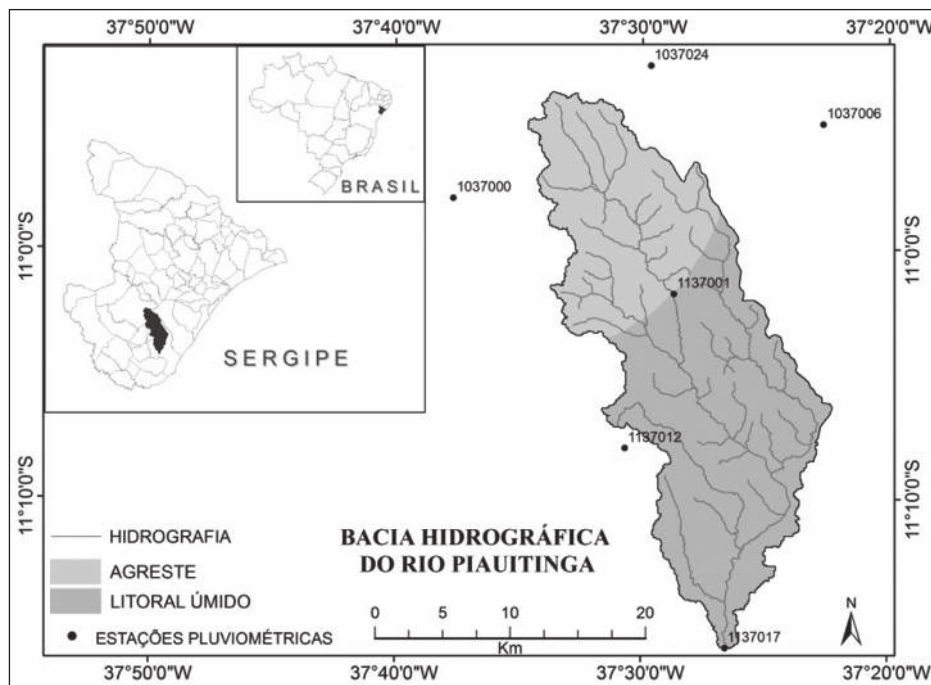


Figura 1  
 Localização da área de estudo, diferentes tipos climáticos e estações pluviométricas da região.

et al. (2009), o qual foi ajustado para as regiões do Agreste ( $EI_{30i} = 1,22.p_i^{1,18}$ ) e Zona da Mata ( $EI_{30i} = 0,216p_i^{1,547}$ ) de Pernambuco, apresentando boas estimativas de erosividade para estas regiões, com  $r^2$  de 0,67 e 0,89, respectivamente. Para a determinação deste fator foram utilizados dados históricos de precipitação pluviométrica mensal em milímetro ( $p_i$ ), sendo a somatória dada em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> pela expressão  $R = \Sigma EI$ .

A erosividade da chuva foi interpolada pelo método IDW, especializando assim, o fator R em formato matricial para toda a bacia estudada. Em seguida, os valores de Erosividade anual foram avaliados conforme classificação proposta por Silva (2004): erosividade Baixa  $R < 2452$ , erosividade Média  $2452 < R < 4905$ , erosividade Média-Forte  $4905 < R < 7357$ , erosividade Forte  $7357 < R < 9810$ , erosividade Muito Forte  $R > 9810$ .

## 2.2.2 Erodibilidade dos Solos (K)

Foram adotados fatores de Erodibilidade (MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.t.h) determinados para os solos semelhantes aos encontrados na região de estudo (Tabela 1). Para isso, utilizou-se o mapa base de solos para o estado de Sergipe na escala de 1:400.000 produzido pela EMBRAPA (1973).

Tipo de Solo	Fator K	Fonte
Latossolo vermelho amarelo (LV)	0,02	Chaves (1994)
Argissolo vermelho amarelo (PV)	0,044	Farinasso et al. (2006)
Planossolos (PLS)	0,012	Silva e Andrade (1994)
Neossolos Flúvicos (A)	0,047	Chaves (1994)

Tabela 1 Fator de Erodibilidade (K) para os solos da bacia do Rio Piauitinga.

## 2.2.3 Fator Topográfico (LS)

O fator L foi determinado conforme modelo matemático desenvolvido por Desmet & Govers (1996) (Equação 1).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m} \quad (1)$$

sendo  $L_{i,j}$ : fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j);  $A_{i,j-in}$ : área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m<sup>2</sup>); D: tamanho da grade de células (m);  $x_{i,j}$ : valor da direção do fluxo dado por:  $x = \text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha$ , onde  $\alpha$  = ângulo da direção de fluxo. O coeficiente  $m$  assume os valores: 0,5, se  $s \geq 5\%$  ( $s$  é o grau de declividade); 0,4, se  $3\% \leq s < 5\%$ ; 0,3, se  $1\% \leq s < 3\%$ ; e 0,2, se  $s < 1\%$ . Já o fator S foi definido de acordo com McCool et al. (1987), em que  $S = 10,8\text{sen}\theta + 0,03$  (para  $\tan\theta < 0,09$ ) e  $S = 16,8\text{sen}\theta - 0,50$  (para  $\tan\theta \geq 0,09$ ).

A determinação deste fator foi viabilizada pela utilização de dados de altimetria (Modelo Numérico do Terreno – MNT), obtidos pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros.

### 2.2.4 Uso e Manejo do Solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

O fator *CP* da USLE foi determinado a partir da classificação manual do uso e ocupação do solo na bacia do rio Piauitinga (Figura 2). Esta classificação foi auxiliada por SIG mediante fotointerpretação em tela sobre as imagens *RapidEye* (RE2 e RE4) fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Figura 2B).

Utilizou-se o índice *Kappa* (Landis & Koch, 1977) para avaliar o resultado da classificação a partir da tomada de pontos de controle em campo com auxílio de GPS (Figura 2A e Equação 2).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (2)$$

em que:  $\hat{K}$  - é o índice de concordância *Kappa*;  $r$  - o número de linhas na matriz;  $x_{ii}$  - o número de observações na linha  $[i]$  e coluna  $[i]$ ;  $x_{i+}$  e  $x_{+i}$  - totais marginais da linha  $[i]$  e coluna  $[i]$ , respectivamente e  $N$  - o número total de observações.

Com base nas diferentes classes de uso do solo, os fatores *CP* foram determinados para cada classe, adaptando-se os valores propostos por Stein *et al.* (1987) e Farinasso *et al.* (2006) (Tabela 2).

Uso do Solo	Fator CP	Autores
Mata Nativa	0,00004	Stein et al. (1987)
Pastagem	0,01	Stein et al. (1987)
Eucalipto	0,0001	Stein et al. (1987)
Cultura Agrícola	0,02	Stein et al. (1987)
Solo Exposto	1	Stein et al. (1987)
Área Urbana	0,000001	Farinasso et al. (2006)
APPs	0,00004	Stein et al. (1987)
Corpos d'água	0	Stein et al. (1987)

Tabela 2 Valores dos fatores CP adaptados de Stein *et al.* (1987) e Farinasso *et al.* (2006).

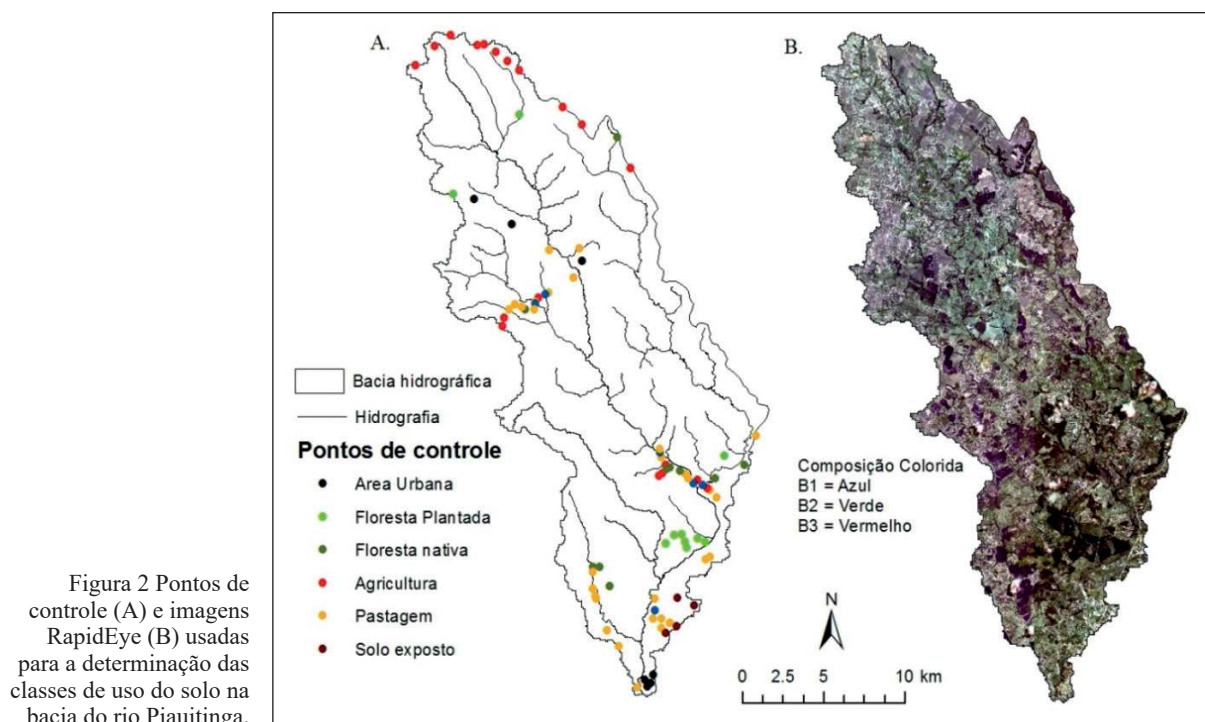


Figura 2 Pontos de controle (A) e imagens RapidEye (B) usadas para a determinação das classes de uso do solo na bacia do rio Piauitinga.

### 2.3 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

As APPs foram delimitadas pela faixa de influência em torno de cada elemento protegido legalmente, conforme as especificações do Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012). Todo procedimento foi realizado em ambiente SIG, sendo delimitadas apenas as APPs nascentes (Buffers de 50 metros) e cursos d'água (Buffers de 30) através da utilização do mapa de hidrografia (na escala de 1:100.000; ANA, 2014) da região de estudo. Apenas estas classes de APPs foram delimitadas em razão da identificação prévia da inexpressividade das demais classes de APPs na região de estudo. O conflito de uso do solo nas APPs foi obtido a partir da sobreposição do mapa das categorias de APPs com o mapa de uso do solo gerado através das imagens *RapidEye*.

### 2.4 Cenários para Estimativas de Perda de Solo

De posse de todos os fatores da USLE e das classes de APPs mapeadas, foram estimadas as perdas de solo por erosão laminar considerando dois cenários dos fatores CP. O primeiro cenário (C1) correspondeu às condições de uso e cobertura da terra para a data de captura das imagens *RapidEye*. No cenário dois (C2), a modelagem de perdas de solo foi realizada considerando as APPs preservadas (Lei 12.651/2012).

Para a realização destas estimativas, todos os fatores da USLE foram convertidos em planos de informação no formato matricial (raster) e cruzados em ambiente SIG. Os resultados foram classificados conforme adaptações da Food and Agriculture Organization (FAO,1967), sendo 0 – 5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (perda Muito Baixa); 5 – 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Baixa); 10 – 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Moderada), 50 - 200 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Alta) e > 200 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Muito Alta).

## 3 Resultados e Discussão

Foram encontradas precipitações médias anuais de 1373,55 mm para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga, sendo os maiores índices pluviométricos registrados para os meses de maio, junho e julho. Já

os valores de erosividade encontrados para a bacia apresentaram média de 4677,56 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, obtendo uma variação mínima e máxima de 2821,29 e 5660,54 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3).

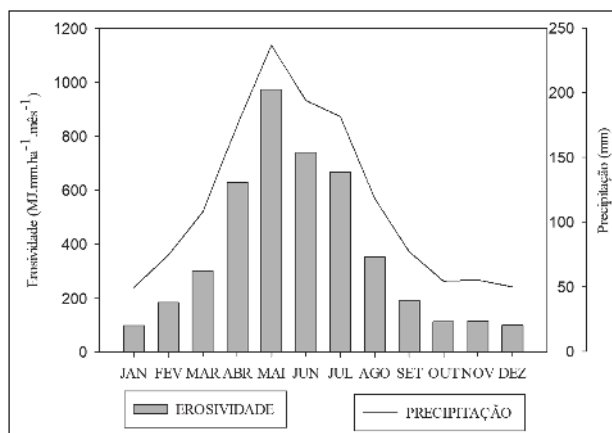


Figura 3 Precipitação (mm) e erosividade (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) na bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

Alguns trabalhos também encontraram, para o estado de Sergipe, valores de erosividade similares aos da região estudada (Silva, 2004; Aragão *et al.*, 2011). Por outro lado, Oliveira *et al.* (2012b) encontraram valores entre 1672 a 2000 54 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o estado de Sergipe e parte da região Nordeste. Tal diferença pode, no entanto, estar relacionada ao uso de dados de poucas estações pluviométricas no trabalho destes autores, com sua maioria concentrada no estado de Pernambuco.

A bacia apresentou erosividade Média em 51,56% da área (213,23 km<sup>2</sup>) e erosividade Média-Forte em 48,43% (200,61 km<sup>2</sup>). Nesta amplitude de variação, o mês que apresentou o maior valor de erosividade média foi maio (973,9 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) e o mês de dezembro indicou a menor erosividade média (99,83 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>), o que corresponde aos meses de maior e menor precipitação, respectivamente (Figura 3). Resultados semelhantes também foram encontrados por Aragão *et al.* (2011) na bacia do rio Japarutuba - Sergipe, com maior erosividade no mês de maio (1260,5 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) e menor no mês de dezembro (67,3 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>).

As declividades da bacia (fator S) foram agrupadas em quatro classes (EMBRAPA, 2013): 0 a

3% (Relevo Plano) 3 a 8% (Relevo Suave), 8 a 20% (Relevo Ondulado) e 20 a 45% (Relevo Forte Ondulado). As áreas que apresentaram relevos Plano e Suave, representando, portanto, classes de declividade que não favorecem os processos erosivos, totalizaram, juntas, 261,82 km<sup>2</sup> (63,3% da bacia). A classe de declividade entre 8 a 20% estão associadas a um escoamento superficial lento a médio e corresponderam a 136,77 km<sup>2</sup> (33,1% da bacia). Para a classe de declividade de 20 a 45%, que favorece um escoamento superficial de médio a rápido, foi totalizada uma área de 14,86 km<sup>2</sup> (3,69% da bacia) (Figura 4B). Junto com o fator comprimento de declive (L) foi determinado o fator topográfico (LS), apresentando valores entre 0,03 a 71,63 (Figura 4C).

Foram identificadas sete classes de uso e ocupação do solo para o cenário 1 (C1), obtendo uma excelente acurácia pelo índice *Kappa* de 0,89. Já para o cenário 2 (C2), a inclusão das APPs totalizaram nove classes de uso do solo identificadas (Tabela 3 e Figura 5).

Cenários	Uso do Solo	Área (km <sup>2</sup> )	%
Cenário 1	Mata Nativa	98,24	23,76
	Pastagem	207,92	50,29
	Eucalipto	4,32	1,05
	Agricultura	76,77	18,57
	Área Urbana	7,71	1,87
	Corpos d'água	1,56	0,38
	Nuvem	7,72	1,87
	Solo exposto	9,16	2,22
Cenário 2	Mata Nativa	88,93	21,51
	APP Nascentes	0,32	0,08
	APP Cursos de água	15,75	3,81
	Pastagem	202,398	48,96
	Eucalipto	4,3	1,04
	Agricultura	76,223	18,44
	Área Urbana	7,661	1,85
	Corpos d'água	1,411	0,34
	Nuvem	7,501	1,81
Solo exposto	8,924	2,16	

Tabela 3 Classes de uso e ocupação do solo para os diferentes cenários analisados: C1 (Uso do solo atual) e C2 (Uso do solo com APPs).

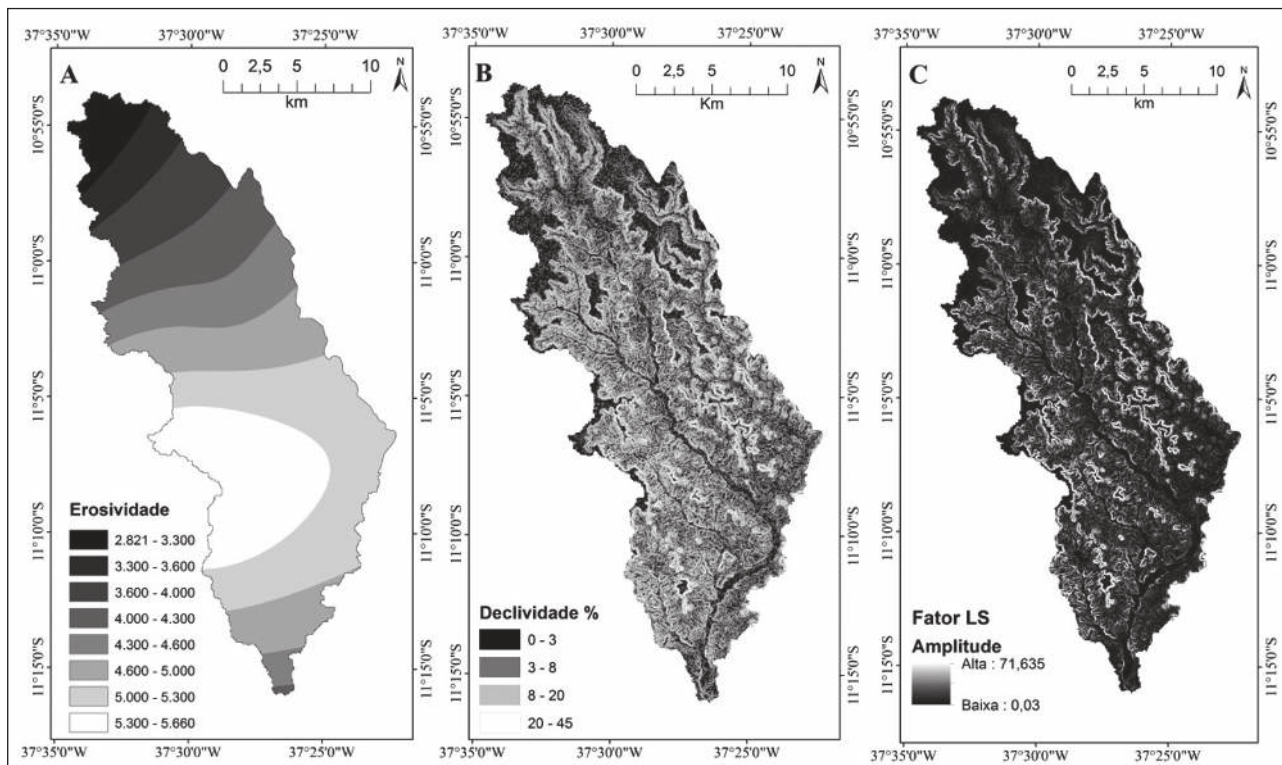


Figura 4 Mapas de Erosividade (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) da chuva (A); Declividade (B) e Fator Topográfico LS (C) para a bacia hidrográfica do rio Piauitinga.

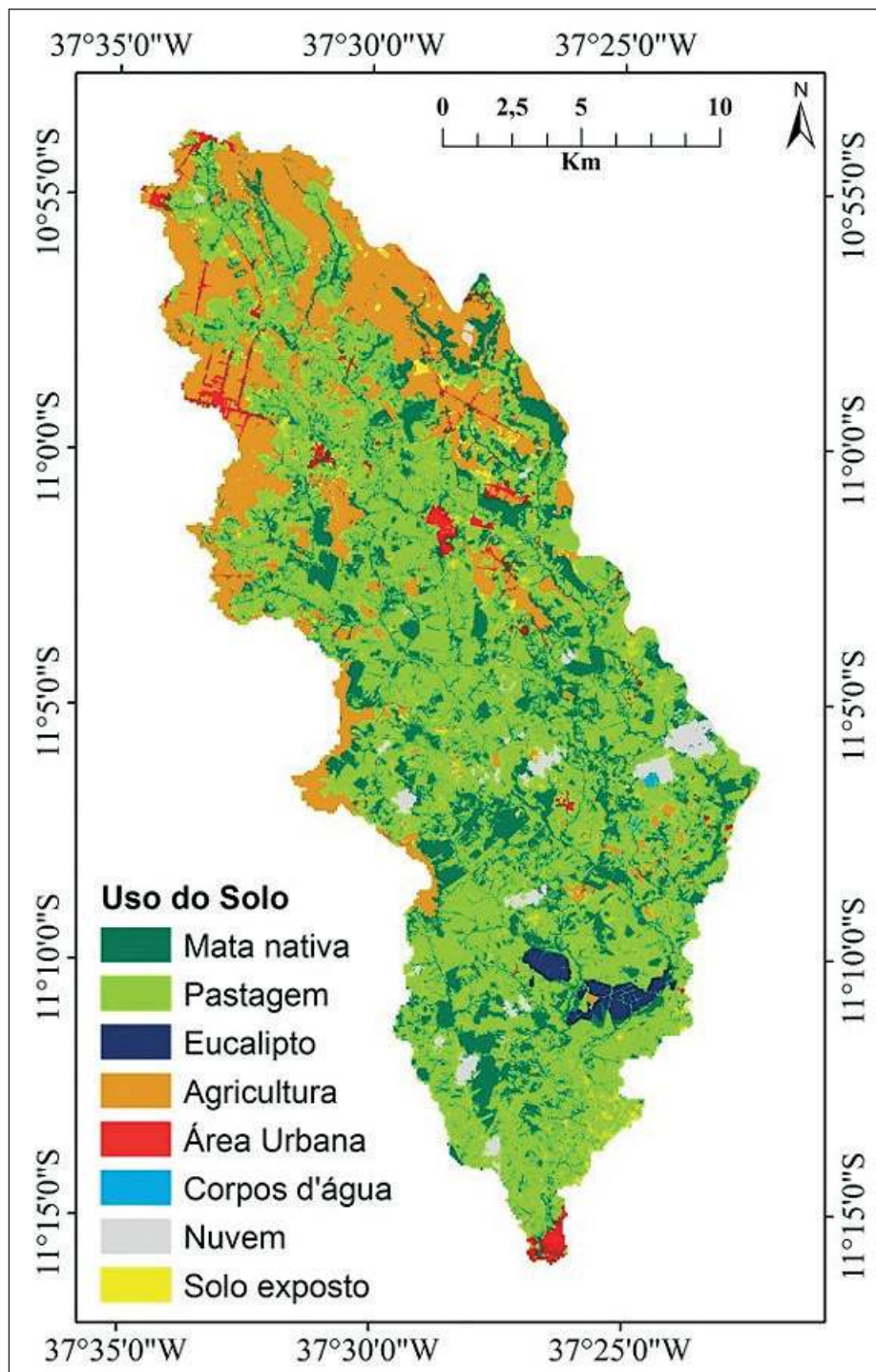


Figura 5 Mapa de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Piauitinga - Sergipe.

As mudanças na vegetação natural pelas atividades antrópicas na bacia do rio Piauitinga revelaram uma presença marcante da atividade agropecuária, com 50,29% da área (207,92 km<sup>2</sup>) transformada em pastagem e aproximadamente 18,44% (76,22 km<sup>2</sup>)

utilizada para a agricultura, com predominância da citricultura, principalmente na região norte da bacia.

As classes de uso e ocupação do solo mapeadas que representam as ações antrópicas na transformação da paisagem, como Pastagem, Agricultura,

Eucalipto, Área Urbana e Solo Exposto estão parcialmente situadas nas áreas legalmente protegidas, o que, neste caso, caracterizam o conflito de uso do solo (Tabela 4). Assim, em uma área de 1607 ha de APPs mapeadas (o que corresponde a 3,89% do total da bacia estudada), cerca de 637 ha (39,76%) das APPs estão ocupadas por uso indevido e aproximadamente 931 ha (57,91%) estão em conformidade com o uso regulamentado por lei federal (Lei 12.651/2012).

Uso do Solo nas APPs	Área (ha)	%
Mata Nativa	931	57,91
Eucalipto	2	0,13
Pastagem	552	34,38
Agricultura	54	3,4
Solo exposto	24	1,49
Área Urbana	5	0,35
Aquíferos	15	0,93
Nuvem	22	1,37
<b>Total</b>	<b>1607</b>	<b>100</b>

Tabela 4 Conflito de uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente (APP) na bacia do rio Piauitinga.

As classes Pastagem e Agricultura foram as que apresentaram maior representatividade no conflito de uso do solo, ocupando cerca de 552,00 ha (34,38%) e 54,00 ha (3,40%) da área das APPs, respectivamente. Já para o conflito Área Urbana, foi observado uma área de 5 ha (0,35%), o que indica a existência, ainda que discreta, de um crescimento urbano que não atentou para um planejamento prévio levando em consideração as APPs.

Barros (2012) encontrou para a microbacia hidrográfica do Ceveiro – SP, 38,54% das APPs ocupadas pela agricultura (monocultura canavieira) e 21,41% por pastagem. Paes (2010) analisando as bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí – MG, também encontrou os maiores conflitos de uso para as classes Pastagem (46,8%) e agricultura (22,8%). Do mesmo modo, Rodrigues *et al.* (2013) também encontraram altas porcentagens das APPs em conflitos com pastagem (27,94%) e agricultura (4,84%) na bacia do rio Pajeú, estado de Pernambuco. Assim, os resultados obtidos no presente trabalho e nos trabalhos supracitados indicam que o descumprimento da legislação ambiental pode ser uma problemática de escala nacional.

Com relação às perdas de solo, os dois cenários estudados (C1 e C2) apresentaram média de erosão na classe moderada (10-50 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano). Todavia, foi verificada maior parte da área com erosão entre as classes Muito Baixa (0-5 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano), Baixa (5-10 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano) e Moderada (10-50 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano) (Tabela 5 e Figura 6). Estes valores correspondem à média encontrada nas áreas tropicais e subtropicais da Ásia, América do Sul e África, onde a perda de solo foi estimada em aproximadamente 30-40 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano (Taddese, 2001).

Cenários	Classes de Erosão (ton <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano)	Classificação	Área (km <sup>2</sup> )	%
Cenário 1	0-5	Muito Baixa	168,23	40,82
	05/out	Baixa	65,98	16,01
	out/50	Moderada	147,3	35,74
	50-200	Alta	20,13	4,88
	> 200	Muito Alta	3,13	0,76
	Sombra	Nuvem	7,3	1,8
Cenário 2	0-5	Muito Baixa	171,78	41,68
	05/out	Baixa	64,71	15,7
	out/50	Moderada	145,46	35,29
	50-200	Alta	19,94	4,84
	> 200	Muito Alta	3,02	0,73
	Sombra	Nuvem	7,3	1,8

Tabela 5 Classes de perdas de solo na bacia hidrográfica do rio Piauitinga para diferentes cenários analisados: C1 (Uso do solo atual) e C2 (Uso do solo com APPs).

Para os Estados Unidos da América, Wischmeier & Smith (1978) estabeleceram níveis de tolerância de perdas de solo da ordem de 4,5 a 11,5 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano. Já para o Brasil, os estudos pioneiros realizados por Lombardi Neto & Bertoni (1975) apontaram valores de tolerância de perda de solo entre 4,5 a 13,4 e de 9,6 a 15,0 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano para solos de São Paulo, com horizontes B textural e B latossólico, respectivamente. Em comparação a isso, as perdas de solo menores do que 10 ton<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano, corresponderam a 56,83% no Cenário 1 e 57,38% para o Cenário 2 da área da bacia. Deste modo, verifica-se que as perdas de solo na maior parte da bacia estão compatíveis com a taxa de formação desses solos.



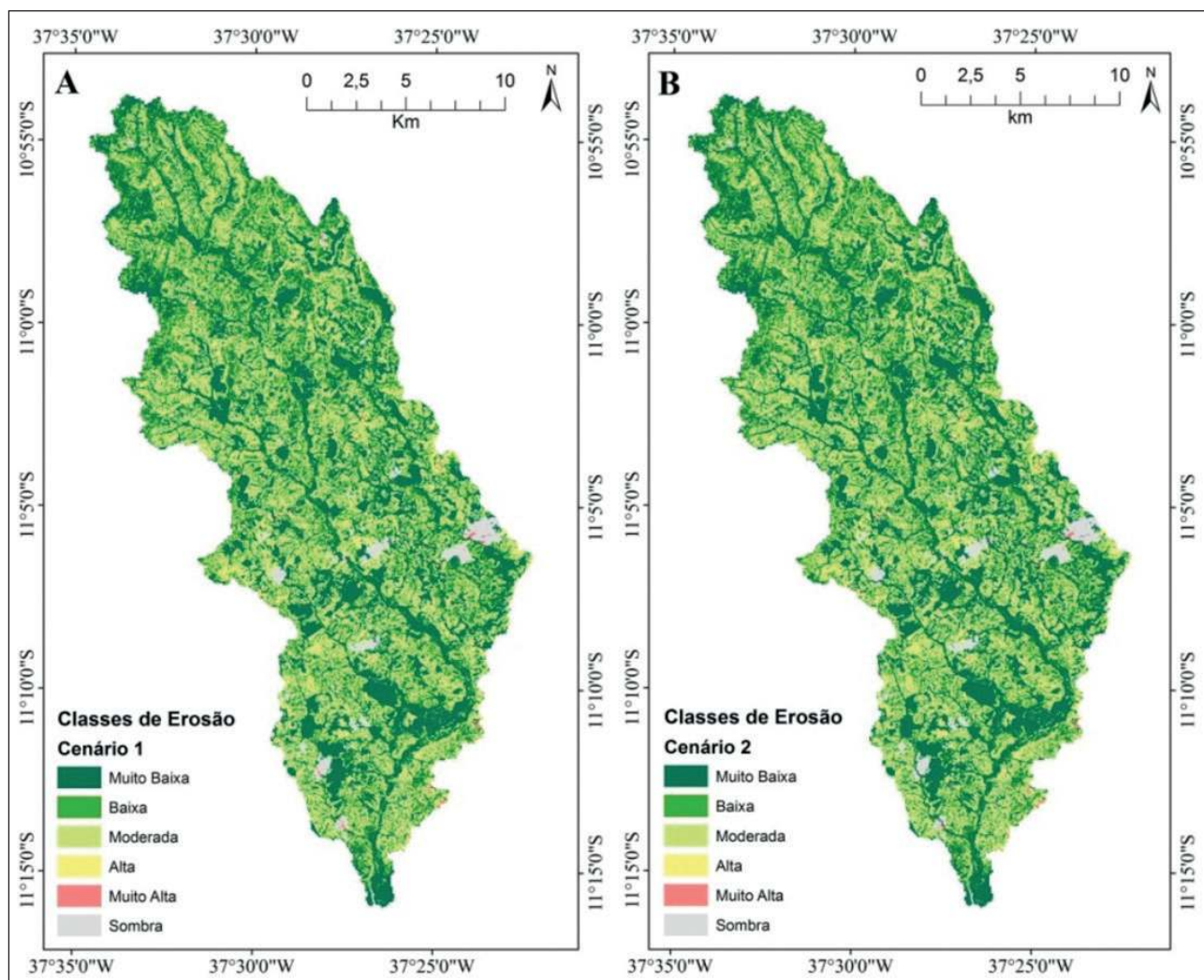


Figura 6 A. Classes de perdas de solo para o Cenário 1; e B. Classes de perdas de solo para o Cenário 2.

Por outro lado, as classes de erosão onde há mais perda de solo do que a taxa de formação (Classe Moderada, Alta e Muito Alta) representam 41,38% para o Cenário 1 e 40,86% para o Cenário 2. Assim, essas áreas merecem atenção especial, principalmente quando a elas são incorporados manejo agrícola e pastagens.

Em termos quantitativos, houve uma diferença discreta nas perdas de solo entre os Cenários 1 e 2, isso quando comparado à bacia hidrográfica como um todo. Por outro lado, quando analisadas apenas as áreas de APPs, houve uma visível redução nas estimativas de erosão, sendo observado que, para o Cenário 1, as classes de erosão Moderada, Alta e Muito

Alta corresponderam a 12%, 1,2% e 0,7% das APPs mapeadas, respectivamente. Já para o cenário 2 estas classes corresponderam a 2,8%, 0,24% e 0,11% das APPs. As classes Muito Baixa e Baixa para o Cenário 1 representaram, juntas, 85,1% da área das APPs e 96,6% para o Cenário 2.

Barros (2012) observou eficácia das APPs na redução da erosão para a microbacia hidrográfica do Ceveiro - SP, obtendo um aumento de 11,83% na classe de erosão 0-20 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano e uma redução de 12,54%, 9,21% e 10,24% para as classes 20-50, 50-100 e >100 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano, respectivamente. Coutinho (2010) e Junior *et al.* (2012) também observaram redução média de 32,2% e 99,85%, respecti-

vamente, nas perdas de solo considerando as APPs regeneradas para duas bacias hidrográfica no estado do Espírito Santo. Assim, é importante destacar a observância à legislação ambiental, já que áreas ocupadas com usos menos intensivos, como mata, reflorestamento e vegetação ciliar podem reduzir as taxas estimadas de perdas de solo (Coutinho, 2010; Paes, 2010; Barros, 2012; Junior *et al.*, 2012), principalmente em áreas declivosas.

#### 4 Conclusões

Os dados coletados pelo sensor *RapidEye* e as técnicas de geoprocessamento geraram informações confiáveis sobre os diferentes alvos de ocupação do solo.

Grande parte da bacia do rio Piauitinga (41,38% para o Cenário 1 e 40,86% para o Cenário 2) merece atenção especial quanto a incorporação de processos produtivos, principalmente manejo agrícola e pastagens, já que estas áreas apresentaram erosão do solo nas classes Moderada, Alta e Muito Alta.

A simulação do cenário legal (C2) mostrou eficácia na mitigação das perdas de solo nas áreas de APPs, o que indica a necessidade de promover a recuperação destas áreas e controlar o processo de ocupação desordenada, reduzindo assim os processos erosivos.

#### 5 Referências

ANA - Agência Nacional das Águas. 2014. *Hidroweb*. Séries históricas de precipitações. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 10/jan/2014.

Aragão, R.; Almeida, J.A.P.; Figueiredo, E.E. & Srinivasan, V.S. 2011. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7): 731-740.

Barros, P.P.S. 2012. *Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro*. Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Dissertação de Mestrado, 127p.

Cantalice, J.R.B.; Bezerra, S.A.; Figueira, S.B.; Inácio, E. dos S.B. & Silva, M.D.R. de O. 2009. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco – 1ª Aproximação. *Revista Caatinga*, 22(2): 75-80.

Chaves, H.M.L. 1994. *Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco*. Relatório Final de Consultoria. Brasília, CO-DEVASF/FAO. 34 p.

Coutinho, L.M. 2010. *Impacto das Áreas de Preservação Permanente sobre a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo - ES*. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Dissertação de Mestrado, 86p.

Desmet, P.J.J. & Govers, G.G. 1996. Comparison of routing algorithms

for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. *Int. Journal Geographical Information Systems*, 10(3): 311-331.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1973. Levantamento Exploratório de Reconhecimento de Solos do Estado de Sergipe. In: Boletim técnico, Recife, EMPRABA, 506 p. (Série Recursos de solos, 6).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, EM-PRAPA. 353 p.

FAO - Food and Agriculture Organization. 1967. La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. In: Cuadernos de fomento agropecuária Organización De Las Naciones Unidas, Roma, FAO, 207 p.

Farinasso, M.; Júnior, O.A. de C.; Guimarães, R.F.; Gomes, R.A.T. & Ramos, V.M. 2006. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da USLE - Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(2): 73-85.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. *Censo 2012*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 de dezembro de 2014.

Junior, B.S.G.; Couto, D.R.; Souza, F.B.C.; Junior, G.N. dos S. & Santos, A.R. 2012. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica córrego do horizonte, Alegre, Espírito Santo. *Engenharia Ambiental*, 9(2): 21-34.

Landis, J. & Koch, G.G. 1977. The measurements of agreement for categorical data *Biometrics*. *Washington*, 33(3): 159-179.

Lombardi Neto, F. & Bertoni, J. 1975. Tolerância de perdas de terra para alguns solos do Estado de São Paulo (Boletim Técnico 28). Campinas, Instituto Agrônomo, 12p.

Mccool, D.K.; Brown, L.C. & Foster, G.R. 1987. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30: 1387-1396.

Oliveira, D.G.; Ferreira, R.A.; Mello, A. A.; Oliveira, R.S.C. & Oliveira, R.S.C. 2012a. Análise da vegetação em nascentes da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Salgado, SE. *Revista Árvore*, 36(1): 127-141.

Oliveira, P.T.S.; Wendland, E. & Nearing, M.A. 2012b. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, 100: 139-147.

Paes, F.S. 2010. Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão. Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Dissertação de Mestrado, 73p.

Rodrigues, C.T.A.; Almeida, A.Q.; Silva, T.G.F. & Reis, D.P. 2013. Conflict of land use in permanent preservation areas of the Pajeu river Basin-PE, Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 3: 071-080.

SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. 2010. *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe (PERH-SE)*. Aracaju, SEMARH/PROÁGUA. 68 p.

Silva, A.M. 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, 57: 251-259.

Silva, I.F. & Andrade, A.P. 1994. Relatório de pesquisa sobre conservação do solo: 1977-1978. Areia, SUDENE/UFPB, 1, n.p.

Stein, D.P.; Donzelli, P.L.; Gimenez, A.F.; Ponçano, W.L. & Lombardi-Neto, F. 1987. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe-Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, Marília, 1987. Resumos Expandidos, Marília, ABGE/DAEE, p. 105-135.

Taddese, G. 2001. Land Degradation: A Challenge to Ethiopia. *Environmental Management*. 27(6): 815-824.

Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. Centerton, NJ: *Drexel Institute of Technology* - Laboratory of Climatology. 104 p.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Washington, U.S. Department of Agriculture. 67p.