

# Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia

Effects of changes in soil use and occupation on soil losses in the Rio de Janeiro basin, West of Bahia

Efectos de las transformaciones en el uso y ocupación del suelo en las pérdidas de suelo en la cuenca del Río de Janeiro, Oeste de Bahia



José Yure Gomes dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Caicó –  
Rio Grande do Norte – Brasil

[inserir\\_email\\_do\\_autor](#)



Rafael Queirós Nascimento

Universidade Federal do Oeste da Bahia – Barreiras –  
Bahia – Brasil

[inserir\\_email\\_do\\_autor](#)

**Resumo:** O uso e ocupação do solo é um fator preponderante para a atenuação ou intensificação de processos erosivos, já que áreas que possuem uma cobertura do solo adequada apresentam menor potencial para a produção de sedimentos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise das perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro (Região Oeste da Bahia) para diferentes condições de uso e ocupação do solo, a partir da utilização da USLE em ambiente SIG. Constatou-se que a Bacia do Rio de Janeiro passou por uma intensa alteração no seu uso e ocupação do solo nos últimos 40 anos, com a supressão de cerca de 54% de área de vegetação nativa, o que influenciou

de maneira significativa o aumento das perdas de solo na bacia. A porção oeste da bacia apresentou uma maior suscetibilidade a perdas de solo em decorrência da maior concentração da classe agricultura de sequeiro. Em contrapartida, a região leste da bacia apresentou os menores valores de perdas de solo em decorrência da predominância da vegetação nativa nessa região, evidenciando, assim, a sua eficácia em atenuar os processos erosivos.

**Palavras-chave:** Uso e ocupação do solo. perdas de solo. USLE. SIG.

**Abstract:** The use and occupation of the soil is a preponderant factor for the attenuation or intensification of erosive processes, since areas that have an adequate soil cover present less potential to produce sediments. Thus, the present work aims to carry out an analysis of soil losses in the Rio de Janeiro Basin (Western Bahia Region) for different conditions of land use and occupation, using USLE in a GIS environment. In which it was found that the Rio de Janeiro Basin has undergone an intense change in its use and land occupation in the last 40 years, with suppression of about 54% of the area of native vegetation, which significantly influenced the increase soil losses in the basin. The western portion of the basin was more susceptible to soil losses due to the higher concentration of the dryland farming class. In contrast, the eastern region of the basin showed the lowest values of soil losses due to the predominance of native vegetation, thus showing its effectiveness in mitigating erosion processes.

**Keywords:** Use and occupation of the soil. soil losses. USLE. GIS.

**Resumen:** El uso y ocupación del suelo es un factor preponderante para la atenuación o intensificación de los procesos erosivos, ya que las áreas que poseen una adecuada cobertura de suelo presentan menor potencial para la producción de sedimentos. Así, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de pérdidas de suelo en la Cuenca de Río de Janeiro (Región Oeste de Bahia), para diferentes condiciones de uso y ocupación del suelo, utilizando USLE en un entorno SIG. Se constató que la Cuenca de Río de Janeiro ha experimentado una intensa alteración en su uso y ocupación del suelo en los últimos 40 años, con la supresión de alrededor del 54% del área de vegetación nativa, lo que influyó significativamente en el incremento de pérdidas de suelo en la Cuenca. La porción occidental de la cuenca fue más susceptible a las pérdidas de suelo debido a la mayor concentración de la clase de agricultura de secano. Por otro lado, la región oriental de la Cuenca tuvo los valores más bajos de pérdidas de suelo debido al predominio de vegetación nativa en esta región, mostrando, así, su efectividad en ablandar los procesos de erosión.

**Palabras clave:** Uso y ocupación del suelo. pérdidas de suelo. USLE. SIG

## Introdução

A erosão dos solos é considerada um dos principais problemas ambientais da atualidade em decorrência das crescentes alterações no uso e ocupação do solo para o desenvolvimento de atividades humanas. Dentre as formas de erosão do solo, a erosão hídrica se destaca como um dos principais processos responsáveis pelo desgaste físico do solo, uma vez que desagrega e transporta as partículas com maior facilidade.

O processo de erosão hídrica consiste no desprendimento, transporte e acumulação das partículas de sedimentos, sendo responsável pelo surgimento de sulcos, ravinas ou voçorocas, devido ao assoreamento de rios, reservatórios e empobrecimento dos solos pelo carreamento de nutrientes (SANTOS *et al.*, 2012).

Um fator preponderante para atenuação ou intensificação de processos erosivo é o uso e ocupação do solo, já que áreas que possuem cobertura do solo adequada, com mecanismos de atenuação dos impactos causados pelas gotas de chuva no solo, apresentam menor potencial para a produção de sedimentos. Em contrapartida, áreas com coberturas do solo inadequadas, desprotegidas e expostas aos impactos das gotas de chuva no solo apresentam elevados índices erosivos (SANTOS *et al.*, 2000).

Regiões localizadas no Nordeste brasileiro são bastante suscetíveis à ocorrência de processos erosivos pela alta variabilidade pluviométrica da região, com a ocorrência frequente de eventos extremos de precipitação com alta intensidade e as crescentes alterações no uso e ocupação do solo, como ocorre na região Oeste da Bahia, que se caracteriza na atualidade como um dos principais polos do agronegócio do Nordeste brasileiro e durante as últimas décadas tem passado por um acentuado processo de alteração no seu uso e ocupação do solo para a expansão de atividades agrícolas.

A expansão geográfica da agricultura mecanizada na região Oeste da Bahia teve como consequência a denudação de grandes extensões de áreas de vegetação nativa e o desenfreado e desordenado processo de urbanização (SOARES NETO, 2005).

Nesse sentido, é importante realizar análises de implicações de alterações do uso e cobertura do solo na produção de sedimentos de bacias hidrográficas dessa região. Análises desse tipo podem ser elaboradas a partir da utilização de modelos que estimam a produção de sedimentos em uma determinada área a

a partir de características fisiográficas predeterminadas. Dentre esses modelos, destaca-se a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), que estima as perdas de solo a partir da influência de fatores como pluviometria, tipo de solo, comprimento e declividade das encostas, uso do solo e práticas conservacionistas.

A integração de modelos desse tipo com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) potencializa ainda mais a análise da problemática em questão, pois permite a espacialização das propriedades físicas e características das bacias para a modelagem, além da visualização espacial da distribuição dos resultados dos processos hidrossedimentológicos.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise das perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro, para diferentes condições de uso e ocupação do solo (passado e presente), a partir da utilização da USLE em ambiente SIG, já que esta se trata de uma importante bacia hidrográfica da região Oeste da Bahia, que sofreu impactos da expansão das atividades agrícolas na região e que hoje possui uma das mais importantes Áreas de Proteção Ambiental (APA) da região Oeste da Bahia, a APA do Rio de Janeiro, repleta de belezas naturais, com destaque para as cachoeiras do Acaba Vida e do Redondo.

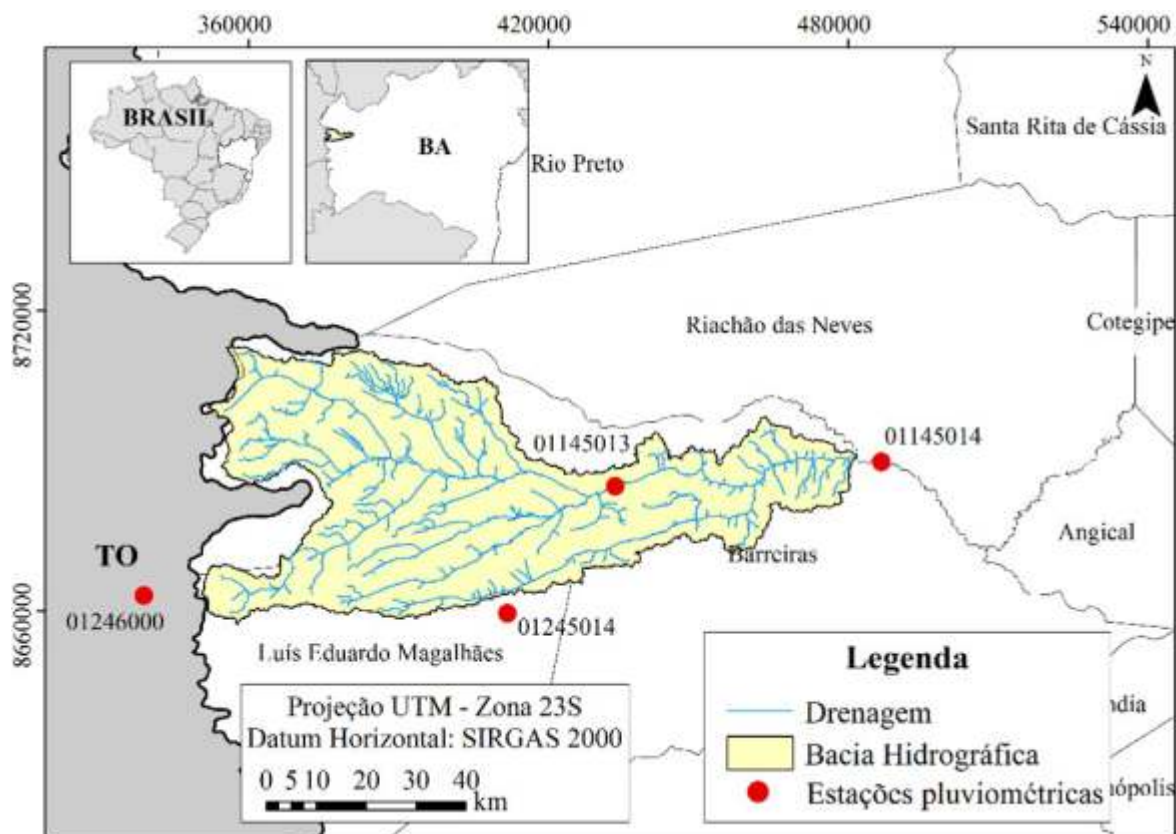
## Materiais e métodos

### Caracterização da área de estudo

A Bacia do Rio de Janeiro situa-se na região do extremo Oeste da Bahia, entre as coordenadas 11°40' e 12°10' de latitude sul e 45°10' e 46°20' de longitude oeste (Figura 1).

Possui uma área de drenagem de aproximadamente 3.790 km<sup>2</sup> (379.000 ha), que corresponde a 5,1% do total da área de abrangência da Bacia do Rio Grande, que é o último grande tributário da margem esquerda do Rio São Francisco e um dos principais para a manutenção da sua vazão nos períodos de estiagem.

Figura 1 - Localização da Bacia do Rio de Janeiro e estações pluviométricas utilizadas



O clima na região possui como predomínio os tipos úmido e subúmido seco, onde os períodos chuvosos se concentram no fim/início do ano (MOREIRA e SILVA, 2010). A vegetação nativa predominante na região é a vegetação de cerrado, subdividida em áreas abertas, destacando-se as gramíneas e herbáceas, como também áreas onde grandes vegetações arbóreas são predominantes, juntamente de matas de galeria e árvores tortuosas. Outro tipo de vegetação que também ocorre na bacia são as veredas, caracterizadas por seus buritis ao longo dos cursos d'água (INEMA, 2011).

Em termos geológicos, a Bacia do Rio de Janeiro está inserida no Cráton Amazônico, em sua porção ocidental, representada pelas unidades geológicas do Grupo Bambuí, de idade neoproterozóica, caracterizada por sedimentação marinho raso, composta essencialmente de carbonatos, que é sobreposta pelos arenitos do Grupo Urucuaia de idade neocretácea, caracterizada

pela sedimentação flúvio-eólica, sendo representada por arenitos quartzosos e, em pequena escala, por conglomerados matriz-suportados (SILVA, 1987).

Os solos da região são compostos predominantemente por Latossolos Amarelos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos. Os Latossolos predominam nos chapadões, em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado (REATTO *et al.*, 2005), o que lhes confere alta aptidão agrícola, uma vez que, embora sejam solos ácidos, com baixa fertilidade natural, podem ser facilmente corrigidos (BERNARDI *et al.*, 2003). Os Latossolos da região apresentam também elevada profundidade, friabilidade, porosidade e boa drenagem interna (KER *et al.* 1992), o que possibilita a mecanização e irrigação (FREITAS *et al.*, 2014).

Os municípios contidos na Bacia do Rio de Janeiro são Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, importantes polos agropecuários da região. O município de Barreiras possui uma população de 137.427 habitantes e o de Luís Eduardo Magalhães 60.105 (IBGE, 2010). Barreiras, além de ser um importante polo agropecuário, é o principal centro urbano, político, educacional, tecnológico, econômico, turístico e cultural da região Oeste da Bahia.

A Bacia do Rio de Janeiro possui ainda como relevância em termos ambientais e potencial turístico a existência das cachoeiras do Acaba Vida e do Redondo (Figura 2).

Figura 2 - Localização das cachoeiras do Acaba Vida (a) e do Redondo (b).



Fonte: José Yure G. dos Santos.

## Alterações no uso e ocupação do solo

Para a determinação das alterações no uso e ocupação do solo da bacia, utilizaram-se imagens de sensores orbitais dos anos de 1975 e 2018, o que possibilitou a análise da distribuição espacial dos diferentes usos e ocupação do solo para duas épocas distintas, compondo, assim, os cenários (i) passado e (ii) condições atuais.

As imagens utilizadas para caracterizar as classes de uso e ocupação do solo foram obtidas pelas missões Landsat 1 e 8. As do Landsat 1 com resolução espacial de 80 m, obtidas pelo sensor MSS e com data de 26/08/1975 e orbitas/pontos 236/68 e 238/68; e do Landsat 8 com resolução espacial de 30 m, obtidas pelo sensor OLI e com data de 21/08/2018 e orbitas/pontos 220/68, 220/69 e 221/68.

As imagens das missões Landsat passaram pelo processo de composição colorida RGB, utilizando as bandas 645, para na sequência ser realizada a classificação supervisionada de imagens utilizando o classificador *Support Vector Machine* (SVM) do ENVI 4.6.1.

## Estimativa das perdas de solo

As perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro foram estimadas a partir da utilização da USLE, desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978):

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

Em que  $A$  é a perda de solo por unidade de área no tempo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );  $R$  é a erosividade da chuva ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot hr^{-1} \cdot ano^{-1}$ );  $K$  é o fator de erodibilidade do solo, ( $t \cdot h \cdot ha \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ );  $LS$  é o fator topográfico (adimensional);  $C$  é o fator uso e ocupação do solo (adimensional); e  $P$  é o fator de práticas conservacionistas no uso do solo (adimensional).

Para análise qualitativa das perdas de solo da Bacia do Rio de Janeiro, utilizou-se a classificação proposta por Irvem *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2012), que define cinco classes para análise de perda de solo em bacias hidrográficas, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação das perdas de solo

Perda de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Classificação
< 5	Muito baixa
5 - 12	Baixa
12 - 50	Moderada
50 - 100	Forte
100 - 200	Muito forte
> 200	Extremamente forte

#### Fator *R*

O fator *R* consiste na capacidade da chuva de causar erosão no solo. Para a determinação desse parâmetro, obtiveram-se dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), para o período de 1978 a 2017, e utilizou-se a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985):

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left( \frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,759} \quad (2)$$

Em que *R* é a erosividade da chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); *P<sub>m</sub>* é a precipitação média mensal (mm); e *P<sub>a</sub>* é a precipitação total anual (mm).

A Tabela 2 apresenta os postos pluviométricos utilizados no estudo para determinação do fator *R* e a Figura 1 a sua localização espacial. Para o preenchimento de falhas mensais das estações pluviométricas, utilizou-se o método da Ponderação Regional (TUCCI, 1997).

Tabela 2 - Descrição das estações pluviométricas utilizadas



Código	Posto	Município	Responsável	Período de falhas
1145013	Ponte Serafim	Barreiras	ANA	fev/2016
1145014	Nova Vida	Barreiras	ANA	set a nov/2008; jan/2017; ago/2017
1245014	Fazenda Johá	Barreiras	ANA	jan/1978 a jun/1984
1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	Ponte Alta do Bom Jesus	ANA	jan/1978; set/1979; jan a fev/2000; out/2006 a set/2007; abr a mai/2008

Depois de obtidos os valores do fator  $R$  para cada posto pluviométrico, realizou-se uma interpolação pelo método de Ponderação do Inverso da Distância (IDW) visando estimar a variabilidade espacial do fator  $R$  para a Bacia do Rio de Janeiro.

#### Fator $K$

O fator  $K$  representa a suscetibilidade de um solo à erosão e pode ser obtido por meio da equação proposta por Williams (1975), que leva em consideração as frações de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono orgânico presentes no solo:

$$K = f_{areia\ g} \cdot f_{ar-si} \cdot f_{cOrg} \cdot f_{areia\ f} \quad (3)$$

Em que  $f_{areia\ g}$  é a fração de areia grossa contida na amostra de solo;  $f_{ar-si}$  é a fração de solo que contém argila e silte;  $f_{cOrg}$  é a estimativa da contribuição de carbono orgânico; e  $f_{areia\ f}$  é a fração de areia fina contida na amostra de solo. Os fatores são adimensionais e cada fator dessa equação é calculado separadamente por meio das seguintes equações:

$$f_{areia\ g} = \left\{ 0,2 + 0,3 e^{\left[-0,256 \cdot m_a \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)\right]} \right\} \quad (4)$$

$$f_{ar-si} = \left( \frac{m_s}{m_s + m_{arg}} \right)^{0,3} \quad (5)$$

$$f_{Corg} = 1 - \frac{0,25 \cdot Corg}{Corg + e^{(3,72 - 2,95 \cdot Corg)}} \quad (6)$$

$$f_{areiaf} = 1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{m_a}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_a}{100}\right) + e^{\left[-5,51 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_a}{100}\right)\right]}} \quad (7)$$

Sendo  $m_a$  a fração de areia da amostra de solo que representa granulometria de 0,05 – 2 mm;  $m_s$  a fração de silte da amostra de solo que representa granulometria de 0,002 – 0,05 mm;  $m_{arg}$  a fração de argila da amostra de solo que representa granulometria menor que 0,002 mm; e  $Corg$  o percentual de carbono orgânico no solo.

Cada valor do fator  $K$  foi associado à sua mancha de solo na bacia hidrográfica em ambiente SIG. O mapa de solos utilizado na Bacia do Rio de Janeiro, para associação dos valores do fator  $K$ , foi produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na escala de 1:5.000.000 e as informações físicas de cada tipo de solo obtidas no Sistema de Informações de Solos Brasileiros da EMBRAPA.

#### Fator $LS$

O fator  $LS$  foi obtido a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 m de resolução espacial, oriundo da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), e disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), considerando a adoção da Equação 8, proposta por Moore e Bruch (1986).

$$LS = \left( \frac{V \cdot \Delta}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (8)$$

Em que  $V$  é o fluxo acumulado de cada célula;  $\Delta$  é o tamanho de cada célula da imagem em metros;  $\theta$  é o ângulo da declividade em graus.

Para otimizar o cálculo do fator  $LS$ , utilizou-se a extensão *ArcMUSLE* para o *Arcgis 9.3*, disponibilizada por Zhang (2016), que realiza o cálculo de forma automatizada dessa variável a partir da Equação 8.

#### Fator C

As classes de uso e ocupação do solo, adquiridas por meio da metodologia descrita anteriormente, foram relacionadas aos valores do fator  $C$ , correspondentes a cada classe de uso do solo. Os valores do fator  $C$  adotados foram obtidos na literatura e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos valores do fator C

Classes de uso do solo	Fator C	Fonte
Agricultura de Sequeiro	0,2	Paranhas Filho et al. (2003)
Agricultura Irrigada	0,018	Farinasso et al. (2006)
Água	0	Farinasso et al. (2006)
Área Urbana	0,001	Farinasso et al. (2006)
Cerrado	0,0007	Paranhas Filho et al. (2003)
Queimadas	0,01	Paranhas Filho et al. (2003)
Veredas	0,012	Farinasso et al. (2006)

#### Fator P

O fator  $P$  representa a utilização de práticas que proporcionam uma maior proteção ao solo quanto a sua perda em áreas ocupadas. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), os valores do fator  $P$  variam de 1 a 0,1 de acordo com a prática conservacionista utilizada, tais como plantio morro abaixo; plantio em contorno; alternância de capinas mais plantio em contorno; cordões de vegetação permanente e terraços. Quanto mais eficiente for a prática adotada, menor será o valor do fator  $P$ .

Devido à falta de informações da realização de práticas conservacionistas na região da Bacia do Rio de Janeiro, atribuiu-se

o valor de 1, conforme realizado também nos estudos de Farinasso et al. (2006), Irvem et al. (2007) e Silva et al. (2012).

## Resultados e discussões

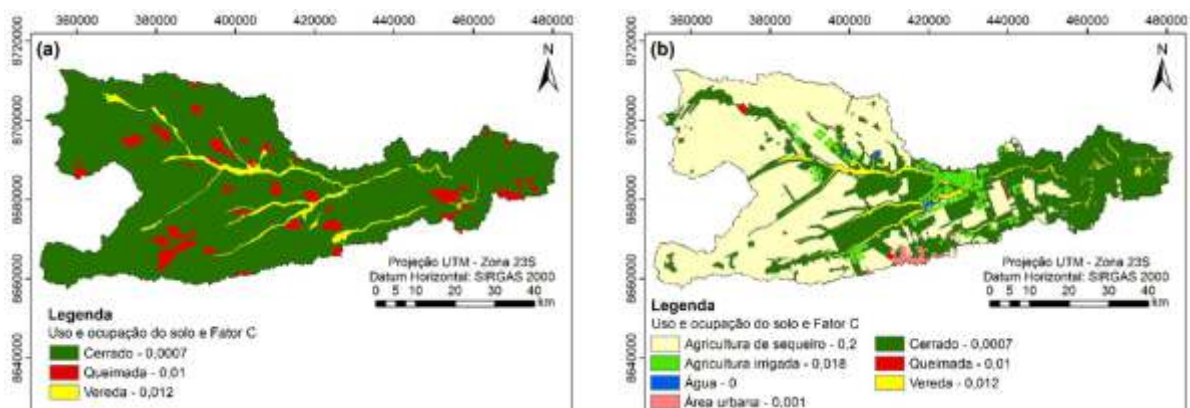
### Alterações ocorridas no uso e ocupação do solo da Bacia do Rio de Janeiro

Na classificação supervisionada do período de 1975, indentificaram-se as classes cerrado, queimada e vereda (Figura 3a), podendo haver pequenas propriedades com diferentes culturas sendo cultivadas, tais como cursos de água, entretanto de pequeno porte e indistinguíveis para o sensor do satélite *Landsat 1*, que possuía resolução espacial de 80 metros.

Para a imagem de 2018, na classificação supervisionada, identificaram-se sete classes distintas (Figura 3b): cerrado, queimada, vereda, água, pivô de irrigação, agricultura de sequeiro e área urbana.

No cenário de 1975, a classe de cerrado predomina em quase toda a bacia e em menor quantidade as classes vereda e queimada. A área de modificação antrópica é praticamente imperceptível para a época, podendo estar associada a algumas manchas de queimadas identificadas nas imagens de satélite. Embora as queimadas ocorram de forma natural em áreas com vegetação de cerrado, também se configura em uma técnica tradicional para a limpeza de áreas para o uso agrícola ou pecuário.

Figura 3 - Uso e ocupação do solo para a Bacia do Rio de Janeiro nos anos de 1975 (a) e 2018 (b) e os valores do fator C associados.



Já o cenário de 2018 apresenta alterações drásticas no uso e ocupação do solo da bacia, com uma expansão em larga escala da agricultura que passa a representar 58,85% do total da bacia (Tabela 4), com grande destaque para agricultura de sequeiro que ocupa 55,19% de toda a bacia. Por outro lado, a classe cerrado, que era a vegetação nativa que predominava na bacia, em decorrência do desmatamento e expansão agrícola, reduziu muito sua representatividade, ocupando agora 37,34% do total de área da bacia. A classe água agora pode ser identificada e individualizada em razão da maior resolução espacial do sistema (30 m), que permite distinguir com mais clareza os rios e pequenos corpos d'água represados dos demais tipos de cobertura, conforme se pode observar na Figura 3b.

Embora a classe de água seja identificada com maior clareza na resolução de 30m, em alguns pontos ela ainda se confunde com as áreas de vereda, tanto pelas características desse tipo de vegetação, que em algumas localidades ocupa o canal de drenagem, quanto pela largura do corpo d'água que é inferior à medida de resolução satélite. Nesses casos, a água foi englobada na classe de vereda.

A Tabela 4 apresenta um comparativo de cada classe nesse intervalo de tempo.

Tabela 4 - Classe de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio de Janeiro nos dois períodos de análise

Uso e ocupação do solo	1975		2018		Diferença por classe
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Água	-	-	899,73	0,24	*
Cerrado	341.992,63	90,24	141.499,86	37,34	-58,62%
Área urbana	-	-	2.840,12	0,75	+100%
Queimada	22.529,28	5,94	740,26	0,19	-96,80%
Vereda	14.455,94	3,82	9.959,58	2,63	-31,15%
Agricultura irrigada	-	-	13.869,04	3,66	+100%
Agricultura de sequeiro	-	-	209.256,14	55,19	+100%

\* O percentual da diferença da classe água para os dois períodos não é apresentada porque a mesma não foi detectada no ano de 1975 em decorrência das limitações da resolução espacial do satélite.

### Fatores da USLE

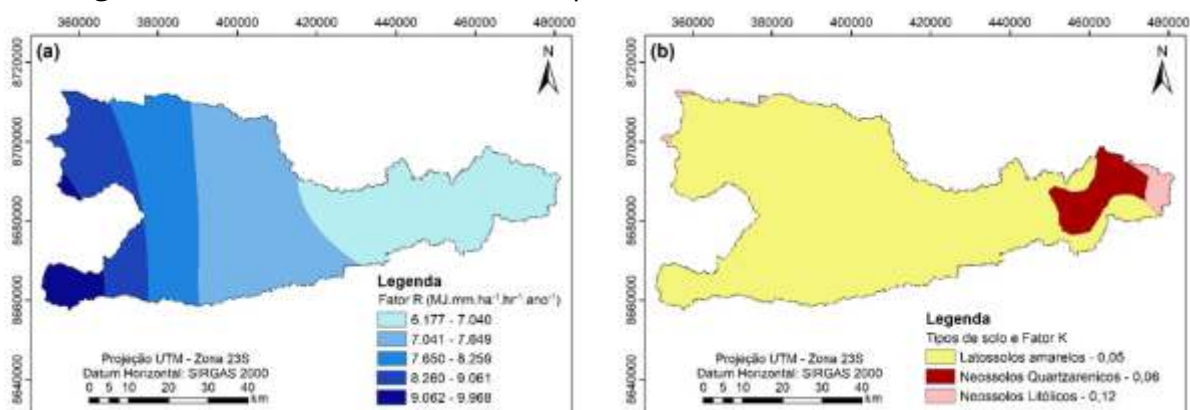
A média pluviométrica anual na Bacia do Rio de Janeiro é de 1.293 mm e a distribuição espacial do fator  $R$  na bacia (Figura 4a) variou de 6.178 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) a 9.968 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), com um valor médio de 7.552 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ). Valor este superior a 1.000 ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), sendo considerada uma erosividade muito forte segundo a classificação da Eletrobrás (1988), citada por Carvalho (2008), o que representa uma grande quantidade de transferência de energia cinética durante o impacto das gotas de chuva no solo, desagregando as partículas do solo de forma mais intensa.

A erosividade na bacia pelo impacto das gotas de chuva (fator  $R$ ) apresenta um sentido crescente de leste para oeste, coincidindo com a maior concentração das áreas agrícolas da bacia, que se encontra na porção oeste (Figura 3b), portanto mais suscetível à erosão bruta causada por esse fator.

Os tipos de solo e seus valores de erodibilidade (Fator  $K$ ) estão representados na Figura 4b. Esses valores são considerados de baixa erodibilidade segundo a classificação da Eletrobrás (1988), citada por Carvalho (2008).

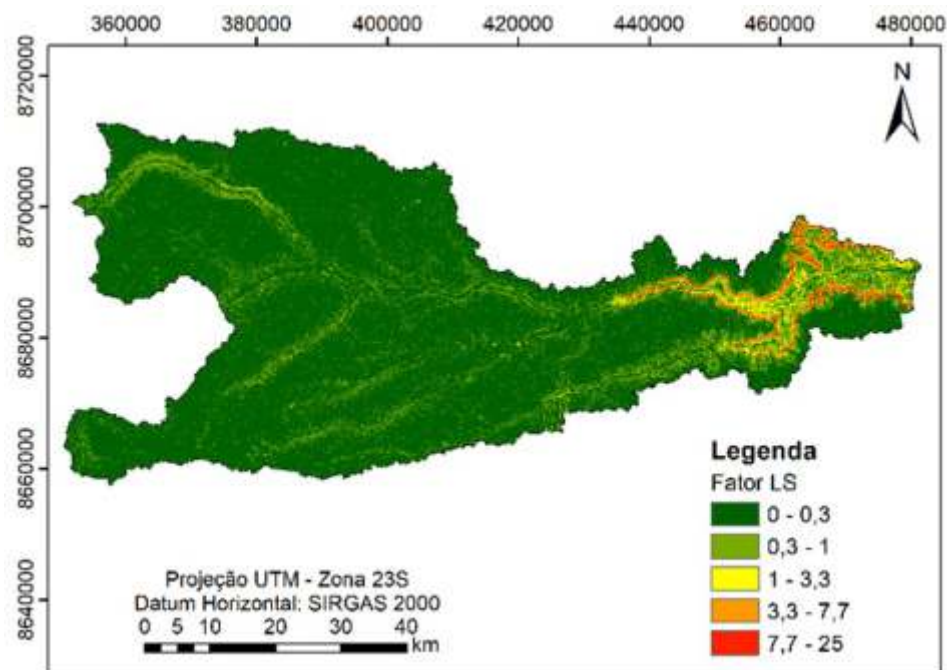
O Latossolo Amarelo possui a menor erodibilidade, dentre os solos presentes na Bacia do Rio de Janeiro, e uma área correspondente a 91,44% do total da bacia. O Neossolo Quartzarênico cobre uma área de 6,48% da bacia e possui valores ligeiramente superiores aos do Latossolo Amarelo. O Neossolo Litólico, localizado mais próximo da foz, detém a maior erodibilidade da bacia, entretanto possui a menor área, sendo responsável por somente 2,07% da cobertura da bacia. Portanto, seu alto valor não implica em uma alta erodibilidade na Bacia do Rio de Janeiro em decorrência da sua baixa representatividade.

Figura 4 - (a) Fator  $R$  e (b) Fator  $K$  espacializados na Bacia do Rio de Janeiro



A Figura 5 representa o fator *LS* na bacia que apresenta um valor médio de 0,33. Os valores de *LS* mais baixos (intervalos de 0 - 0,3 e 0,3 - 1,0) representam, somados, cerca de 98,03% da área total, o que mostra que a topografia no interior da bacia é predominantemente plana. Logo, o fator *LS* não é um agravante dos processos de erosão do solo na maior parte da bacia. Os intervalos de 1 - 3,3 e 3,3 - 7,7 detêm áreas de 0,59% e 0,63%, respectivamente. Na porção extremo leste da bacia, as feições geomorfológicas do tipo Planaltos em Patamares são responsáveis pelo aumento abrupto no fator *LS*, elevando o potencial de perda de solo, fazendo com que os valores atinjam de 7,7 - 25,0 e representando a parcela de 0,75% da área total da Bacia do Rio de Janeiro.

Figura 5 - Mapa de distribuição do fator *LS* na Bacia do Rio de Janeiro



No que diz respeito ao fator *C* (Tabela 3), a agricultura representa 58,86% do total da bacia, sendo que 93,78% do total da agricultura pertence à classe agricultura de sequeiro. Essa classe é mais vulnerável à perda de solo em decorrência da sua maior exposição aos impactos das gotas de chuva (efeito *splash*), já que no início do período chuvoso e até o pleno desenvolvimento da

cultura o solo não apresenta cobertura vegetal eficiente contra os impactos das gotas de chuva no solo e retardo do escoamento superficial, consequentemente o fluxo hídrico laminar nessa classe também é maior, contribuindo para a desagregação e carreamento dos sedimentos.

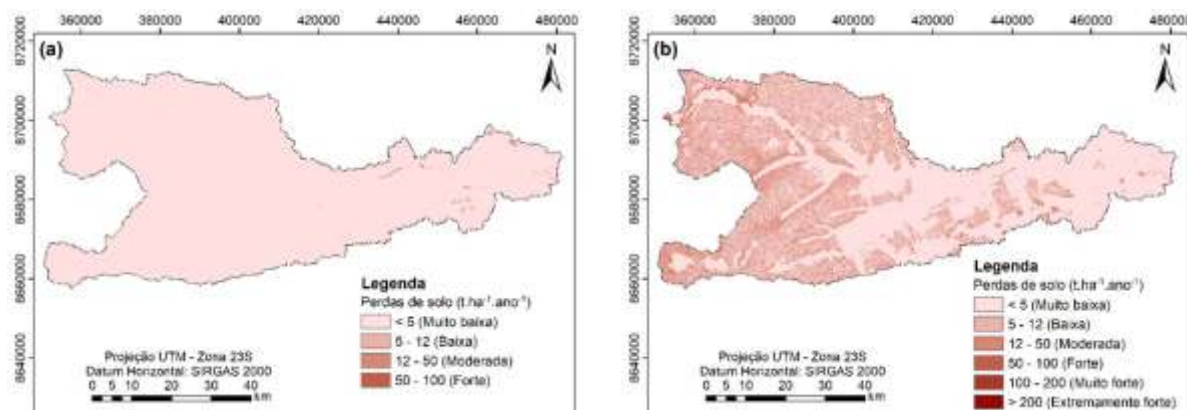
Os outros 6,22% do total da área pertencente à agricultura representam a classe agricultura irrigada (Figura 3b). Essa classe não é tão suscetível aos processos erosivos do solo (Tabela 3) quanto a agricultura de sequeiro devido a esse tipo de plantação representar uma cobertura e proteção do solo mais constante em relação à agricultura de sequeiro.

A classe cerrado (Figura 3b) possui uma área de abrangência de 37,33% do total da bacia e possui o menor fator *C* entre as classes identificadas (Tabela 3), com a exceção da água em virtude da cobertura vegetal ser um atenuante eficaz contra a transferência de energia cinética no contato das gotas de chuva com as partículas do solo, fazendo com que este possua uma trama de sedimentos mais consolidada, aumentando a estabilidade, o potencial de infiltração das águas e, consequentemente, diminuindo a carga de partículas transportada na erosão laminar.

### Perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro

A Figura 6 apresenta as estimativas das perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro para as duas condições de uso e ocupação do solo analisadas (1975 e 2018).

Figura 6 - (a) Perdas de solo para o cenário de 1975 e (b) Perdas de solo para o cenário de 2018





Para o cenário de 1975, as perdas de solo estimadas variaram de 0 a 83 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, com uma média de 0,16, que pode ser considerada muito baixa conforme classificação proposta por Irvem *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2012). Já para o cenário de 2018, os valores variaram de 0 até 268 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, apresentando uma média de 5,48 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que é considerada baixa.

As perdas de solo estimadas para o cenário de 1975 foram bem inferiores as do cenário de 2018 em decorrência do nível de preservação que a Bacia do Rio de Janeiro apresentava até a década de 1970. Com o desenvolvimento de atividades agrícolas e intensa alteração no seu uso e ocupação do solo, os processos erosivos se intensificaram conforme apresentado na Figura 6b.

A Tabela 5 apresenta a distribuição qualitativa das perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro para o cenário de 2018.

Tabela 5 - Distribuição qualitativa das perdas de solo para o cenário de 2018

Perdas de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	Classificação	Área (ha)	Área (%)
<5	Muito baixa	259.866,09	68,58 %
5 – 12	Baixa	52.792,56	13,93 %
12 – 50	Moderada	65.192,49	17,20 %
50 – 100	Forte	1.012,59	0,27 %
100 – 200	Muito forte	55,98	0,02%
>200	Extremamente forte	0,45	< 0,01%

A bacia apresenta em 68,58% de sua área total (Tabela 5) uma perda de solo considerada muito baixa. Isso se deve ao conjunto de fatores com fraca suscetibilidade à erosão bruta, como o fator *K* mais baixo no interior da bacia (Figura 4b) do Latossolo Amarelo, que representa uma cobertura de 91,44% da área total, a topografia da bacia considerada plana (Figura 5) na maior parte da bacia, sendo que apenas 0,75% da área da Bacia do Rio de Janeiro possui uma topografia que pode potencializar a desagregação das partículas, além da união de classes com fator *C* reduzidos, que compreendem a vegetação nativa e a área urbana do município de Luís Eduardo Magalhães (Figura 3b).

Em contrapartida, as áreas que apresentaram valores mais

elevados de perdas de solo foram aquelas que apresentaram um conjunto de fatores com maior potencial erosivo, tais como o elevado fator *R* na porção oeste da bacia (Figura 4a), aliado à agricultura de sequeiro (Figura 3b), classe cujo fator *C* é extremo (Tabela 3) e que também se concentra na região oeste da Bacia do Rio de Janeiro.

A Tabela 6 apresenta as perdas de solo associadas com cada classe de uso e ocupação do solo para o cenário de 2018. as perdas de solo na Bacia do Rio de Janeiro para o cenário de 2018.

Tabela 6 - Classificação das perdas de solo de acordo com uso e ocupação para o cenário de 2018

Uso do solo	Área (ha)	Área (%)	Perdas de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )		Classificação
			Média	Desvio Padrão	
Agricultura de sequeiro	209.256,14	55,20 %	9,62	10,02	Baixa
Cerrado	141.499,86	37,33 %	0,19	0,65	Muito baixa
Queimada	740,27	0,20 %	0,73	0,73	Muito baixa
Vereda	9.959,58	2,63 %	2,45	9,04	Muito baixa
Agricultura irrigada	13.869,04	3,66 %	0,99	1,16	Muito baixa
Água	899,73	0,24 %	0,00	0,00	-
Área urbana	2.840,12	0,75 %	0,5	0,5	Muito baixa

A agricultura de sequeiro, que ocupa uma área de 55,20% da bacia (Tabela 6) e apresenta o fator *C* mais elevado, apresentou uma média estimada de perda de solo na ordem de 9,62 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classificada como baixa. Em contrapartida, a classe cerrado, que possui a segunda maior área de ocupação da bacia, com 37,33% de abrangência (Tabela 5), e detém o menor valor de fator *C*, apresentou uma perda de solo média de 0,19 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classificada como muito baixa.

As demais classes de uso e ocupação do solo, tais como queimada, vereda, agricultura irrigada e área urbana, abrangem pequenas áreas com estimativas baixas de perdas de solo, sendo classificadas, assim, como muito baixas (Tabela 5).

As perdas de solo estimadas para a Bacia do Rio de Janeiro representam 41% em comparação com as perdas de solo estimadas por Fistarol e Santos (2020) para a bacia do Rio de Ondas, adjacente à Bacia do Rio de Janeiro, em que foram estimadas perdas médias de 13,36 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classificadas como moderadas, com valores muito maiores de perdas de solo

(239,81%) para agricultura de sequeiro, com média de  $32,69 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Em relação à Bacia do Rio das Fêmeas, também localizada na região Extremo Oeste da Bahia, as perdas de solo estimadas por Nascimento e Santos (2018) foram 98% maiores e classificadas como baixas, com média de  $10,85 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Os valores de perda de solo para a agricultura de sequeiro na Bacia do Rio das Fêmeas também foram mais elevados do que na Bacia do Rio de Janeiro, na ordem de  $18,25 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , cerca de 90% maiores.

Apesar das Bacias do Rio de Janeiro, Rio de Ondas e Rio das Fêmeas situarem-se na mesma região do estado da Bahia, possuem características hidrológicas e processo de ocupação do solo semelhante, os valores estimados de perdas de solo pelo mesmo método foram significativamente superiores em relação à Bacia do Rio de Janeiro em decorrência dos baixos valores do fator *LS* que a Bacia do Rio de Janeiro possui, em que cerca de 97% corresponderam a zero ou valores próximos de zero, o que reduz significativamente o valor médio das perdas de solo para toda a bacia.

## Conclusões

A Bacia do Rio de Janeiro passou por uma intensa alteração no seu uso e ocupação do solo nos últimos 40 anos, com a supressão de cerca de 54% de área de vegetação nativa, o que influenciou de maneira significativa o aumento das perdas de solo na bacia.

Embora potencializadas, as perdas de solo da Bacia do Rio de Janeiro, para o atual uso e ocupação do solo, foram estimadas em  $5,48 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , sendo classificadas como muito baixas.

Os fatores da USLE que contribuíram em maior parte para as estimativas alcançadas foram os fatores *LS* e *C*, com maior destaque para o fator *C*, pois este foi responsável por elevar as estimativas de perda de solo até  $5,48 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , já que o fator *LS* na bacia possui a inclinação para valores que possuem uma tendência assintótica a zero.

A porção oeste da bacia apresentou uma maior suscetibilidade a perdas de solo em decorrência da maior concentração da classe agricultura de sequeiro. Em contrapartida, a região leste da bacia apresentou os menores valores de perdas de solo em decorrência da predominância da vegetação nativa nessa região, evidenciando, assim, a sua eficácia em atenuar os processos erosivos.

Como recomendação, destaca-se a utilização de práticas conservacionistas nas áreas agrícolas, bem como a preservação da vegetação nativa e combate a queimadas na bacia. Já que boa parte delas acaba atingindo e devastando áreas de vegetação nativa e com isso expondo o solo à ocorrência de processos erosivos.

## Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq (PIBIC), em parceria com a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), pela bolsa de iniciação científica do segundo autor. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – via Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ensino Superior do Seridó (GEOCERES) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

## Referências

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J. Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da Bacia do Rio de Ondas, estado da Bahia. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020.

FREITAS, P.L.; POLIDORO, J. C.; SANTOS, H. G.; PRADO, R. B.; CALDERANO, S. B.; GREGORIS, G.; MANZATTO, C.V.; DOWICH, I.; BERNARDI, A.C.C. Identificação e caracterização físico-química de latossolos de textura arenosa e média da região oeste da Bahia. **Cadernos de Geociências**, v. 11, n. 1-2, nov. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@: População no último censo (2010). IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 20/08/2020.

INEMA - INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. APA Bacia do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/unidades-de-conservacao/apa/apa-bacia-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em 05/11/2021.

IRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. “Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey”. **Journal of Hydrology** (336-1), p. 30 – 37, 2007.

MOORE, I. D.; BRUCH, G. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, n. 50, p. 1294-1298, 1986.

MOREIRA, M. C., SILVA, D. D. Atlas hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Editora Gazeta Santa Cruz, 2010.

NASCIMENTO, R. Q.; SANTOS, J. Y. G. Perdas de solo na Bacia do Rio das Fêmeas, Bahia. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS / I PARTÍCULAS DAS AMÉRICAS, XIII; I, 2018, Vitória. **Anais do XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos / I Partículas das Américas**, Porto Alegre: ABRH, 2018, p. 1-8.

PARANHAS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solo na Bacia do Rio Taguarizinho – MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. v. 52, p. 49 – 59, 2003.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. “Influência do tipo de cobertura vegetal sobre a erosão no semiárido paraibano”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola** (4-1), pp. 92 – 96, 2000.

SANTOS, J. Y. G.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. “Perdas de água e solo utilizando chuva simulada em diferentes coberturas superficiais e condições de umidade no semiárido paraibano”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** (17-4), pp. 217 – 228, 2012.

SILVA, M. E. Sistema de dobramentos Rio Preto e suas relações com o Cráton do São Francisco. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987, 140 f.

SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L., SANTOS, C. A. G. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case of study of Tapacurá catchment. **Natural Hazards**. v. 62, n. 3, p. 953 – 970, 2012.

SOARES NETO, J. P. (2005) **Avaliação Geoambiental da Bacia do Rio de Ondas no Oeste da Bahia**. Tese de doutorado em geotécnica. UNB.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds.

**Journal of the American Water Resources Association.** v. 11, p. 965 – 974, 1975.


WISCHMEIER, W. R.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation farming.** US Department of Agricultural. Handbook, n. 537, 1978. 58p.

ZHANG, Y. ArcMUSLE. Disponível em: <http://www.faculty.sfasu.edu/zhangy2/download.htm>. Acesso em: 20/08/2020.


## Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. O primeiro autor José Yure Gomes dos Santos ficou especialmente responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual, suas interpretações e análise. O segundo autor Rafael Queirós Nascimento, pela aquisição de dados, procedimentos técnicos e análise.

José Yure Gomes dos Santos - Possui Bacharelado e Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba, Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental pela mesma Universidade. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é Professor Adjunto C-3 da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

 <https://orcid.org/0000-0001-9840-8132>

Rafael Queirós Nascimento - Estudante de graduação no curso de Geologia pela Universidade Federal do Oeste da Bahia. Possui experiência em realização de testes de bombeamento em aquíferos livres. Experiência em gestão e processamento de dados hidrogeológicos, além de manuseio de softwares de análise geoquímica e mapeamento geológico, além de serviços de monitorias prestadas nas áreas de geologia geral, mineralogia macroscópica e microscópica, petrologia ígnea e Litogeoquímica.

 <https://orcid.org/0000-0003-4265-9383>

Recebido para publicação em 9 de outubro de 2021

Aceito para publicação em 12 de novembro de 2021

Publicado em 13 de dezembro de 2021