



## Estimativa e classificação da erodibilidade dos solos do estado da Paraíba - 1<sup>o</sup> aproximação

### *Estimate and classification of soil erodibility of the state of Paraíba - 1<sup>st</sup> approximation*

Paulo Roberto Megna Francisco<sup>1</sup>, Djail Santos<sup>2</sup>, Flávio Pereira de Oliveira<sup>2</sup>, George do Nascimento Ribeiro<sup>1</sup>, Viviane Farias Silva<sup>1</sup>, Gypson Dutra Junqueira Ayres<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil

Contato: [paulomegna@gmail.com](mailto:paulomegna@gmail.com)

#### Palavras-chave

fator K  
atributos de solo  
granulometria  
permeabilidade  
drenabilidade

#### RESUMO

Considerando a possibilidade de utilizar as geotecnologias disponíveis e de baixo custo e de poder contribuir para a realização de diagnósticos, o objetivo deste trabalho foi estimar o fator erodibilidade (K) da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para solos do Estado da Paraíba utilizando método indireto e realizar sua classificação e seu mapeamento. Foram reunidas informações de alguns solos utilizando-se um modelo estimativo para determinação do fator K. Foi elaborada uma planilha no Excel<sup>®</sup> com informações dos perfis de solos representativos obtidas do Boletim do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba, com dados para determinação do parâmetro granulométrico (M) e da descrição da drenagem dos perfis dos solos, convertidas em classes de permeabilidade (P). Para o mapeamento do fator K dos solos foi utilizado o QGIS<sup>®</sup>3.28. Os resultados demonstraram que a utilização do sistema de informação geográfica permitiu mapear o fator K dos solos em estudo com rapidez e precisão. O uso da determinação indireta da erodibilidade dos solos apresentou resultados satisfatórios. A classe muito alta de erodibilidade dos solos ( $>0,0325 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) apresentam-se distribuídas sob os Luvisolos Crômicos, Planossolos Háptico e Nátrico, e sob Neossolos Litólicos e Regolíticos e em sua maioria na mesorregião do Sertão Paraibano. A classe de erodibilidade alta ( $0,0280\text{-}0,0325 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) ocorrem de forma difusa predominantemente pelos Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos e Cambissolos. Os solos apresentaram erodibilidade média ( $0,0235\text{-}0,0280 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) com a maior representação em área em 66,81%, com maior diversidade de classes de solos. A classe de erodibilidade baixa ( $0,0145\text{-}0,0235 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) com representação em área em 20,37% representada pelos Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho Amarelo, Cambissolos Hápticos e por Neossolos Regolíticos e Quartzarênicos. As áreas de erodibilidade muito baixa ( $<0,0145 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) estão representadas pelos Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho Amarelo, Neossolos Litólicos e Quartzarênicos e por Gleissolos Tiomórficos. A profundidade efetiva e o gradiente textural foram os mais relacionados às variações da erodibilidade dos solos.

#### Keywords

K factor  
soil attributes  
granulometry  
permeability  
drainability

#### ABSTRACT

Considering the possibility of using available and low-cost geotechnologies and of being able to contribute to the realization of diagnoses, the objective of this work was to estimate the K factor of different soils in the State of Paraíba through an indirect method and to perform its classification and mapping. Information on soils was gathered using an estimative model to determine erodibility. An Excel<sup>®</sup> spreadsheet was created with information on the profiles of the representative soils obtained from the Agricultural Zoning Bulletin of the State of Paraíba, with data for determining the granulometric parameter (M) and the description of the drainage of the soil profiles, converted into permeability classes (P). For soil erodibility mapping, QGIS<sup>®</sup>3.28 was used. The results showed that the use of the geographic information system made it possible to map the erodibility of the land in the study area quickly and accurately. The use of indirect determination of soil erodibility showed satisfactory results. The very high class of soil erodibility ( $>0.0325 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) are mostly distributed in the hinterland region of the State under the Chromic Luvisols, Haplic and Natric Planosols, and under Litholic and Natric Neosols. Regolithics. The high erodibility class ( $0.0280\text{-}0.0325 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) occurs in a diffuse way, predominantly in Chromic Luvisols, Litholic Neosols, Planosols and Cambisols. Soils showed average erodibility ( $0.0235\text{-}0.0280 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) with the highest representation in area at 66.81%, with greater diversity of soil classes. The low erodibility class ( $0.0145\text{-}0.0235 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) with area representation of 20.37% represented by Yellow Latosols, Red Yellow Argisols, Haplic Cambisols and by Regolith and Quartzarenic Neosols. Areas of very low erodibility ( $<0.0145 \text{ Mg.h.MJ}^{-1}\text{.mm}^{-1}$ ) are represented by Yellow Latosols and Yellow Red Latosols, Litholic and Quartzarenic Neosols and Thiomorphic Gleissols. Effective depth and textural gradient were the most related to variations in soil erodibility.

#### Informações do artigo

Recebido: 24 de março, 2024

Aceito: 09 de novembro, 2024

Publicado: 30 de dezembro, 2024

## Introdução

A ocorrência de processos erosivos é um fenômeno natural que acontece em todos os ecossistemas. Contudo, o risco de degradação do solo em regiões brasileiras é muito mais elevado devido às condições climáticas tropicais dominantes e a susceptibilidade quanto ao potencial de erosividade das chuvas bem como da erodibilidade de alguns dos seus solos (SILVA et al., 2013).

Com práticas inadequadas de atividades antrópicas sobre o meio ambiente, como a supressão da cobertura vegetal para uso agrícola e pecuário, exploração de bens minerais e implantação de núcleos urbanos, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, em particular, o solo e a água superficial (CARVALHO et al., 2010; CARVALHO e PINTO, 2010).

A erodibilidade (K) é uma propriedade do solo resultante da interação entre seus atributos físicos, químicos, mineralógicos e biológicos. Reflete a suscetibilidade que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, sendo influenciada principalmente por aquelas propriedades que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada (LOMBARDI NETO e BERTONI, 1975).

O fator K é um atributo complexo e é considerado como a suscetibilidade com que o solo é desagregado por salpicos durante a chuva ou por escoamento superficial ou ambos (RÖMKENS et al., 1997). Este fator é afetado pelas propriedades intrínsecas do solo, como a textura, estabilidade de agregados, resistência ao cisalhamento, capacidade de infiltração de água e demais atributos químicos e orgânicos (BLANCO e LAL, 2008; MORGAN, 2015). Tendo em vista o solo ser responsável pela resistência à erosão, a erodibilidade depende em grande parte também da posição topográfica, declive e da perturbação durante o cultivo (MORGAN, 2015).

O estudo da estimativa da erodibilidade tem gerado um amplo interesse nas últimas décadas, e a partir disso, diversos autores têm estudado a obtenção do fator K como Cutillas et al. (2019), Wei e Zhao (2017), Oliveira et al. (2011), Silva et al. (2009), Zhang et al. (2008), Marquez et al. (1997).

É considerado um dos fatores mais significativos para a compreensão do fenômeno erosivo (COUTO, 2015). Métodos indiretos para o cálculo de erodibilidade foram estabelecidas para determinação deste fenômeno nos solos, visto o longo período de tempo necessário para observações em condições naturais (BARBOSA et al., 2019). Dentre os métodos mais utilizadas para determinação indireta da erodibilidade dos solos, tem-se o fator K inserido na equação USLE (DENARDIN, 1990). Esta equação possibilita realizar a previsão de perdas e o

reconhecimento dos agentes relevantes causadores da erosão (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Várias pesquisas quanto a erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba vem sendo realizadas em todas as regiões como por Albuquerque (1997) e Francisco et al. (2014) em Sumé, no Cariri; Amaral (2016) e Nascimento et al. (2019) em todo o território estadual; Carvalho et al. (2019) em Lucena, no litoral do Estado; por Leite et al. (1982) em São Mamede, sertão; por Francisco et al. (2013) e Chaves et al. (2015) na bacia hidrográfica do rio Taperoá; Francisco et al. (2019) na bacia do Alto Rio Paraíba; Queiroz et al. (2021) na microbacia do Açude do Namorado; e por Francisco et al. (2022) na microbacia de Vaca Brava, região do brejo.

Atualmente a geotecnologia destaca-se pela possibilidade de leitura e análise a partir da coleta de informações sobre as características das propriedades e seus recursos, e na atualidade, com o avanço da informática e a disponibilização de programas computacionais para estudos de análise ambiental, a ferramenta tecnológica que mais cresce, está ligada ao geoprocessamento, com a utilização de um sistema de informação geográfica. Tendo em vista a importância da informação espacializada, os programas de SIG estão cada vez mais oferecendo uma maneira rápida para realizar trabalhos visando à gestão dos recursos naturais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão (GIANEZINI e SALDIAS, 2010; DUARTE e BARBOSA, 2009; SÁ et al., 2010; SÁ et al., 2012; FRANCISCO et al., 2012).

Considerando a possibilidade de utilizar as tecnologias disponíveis e de baixo custo da geoinformática e de poder contribuir para a realização de diagnósticos, o objetivo deste trabalho é estimar o fator erodibilidade (K) da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para solos do Estado da Paraíba utilizando método indireto e realizar sua classificação e seu mapeamento.

## Material e Métodos

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010).

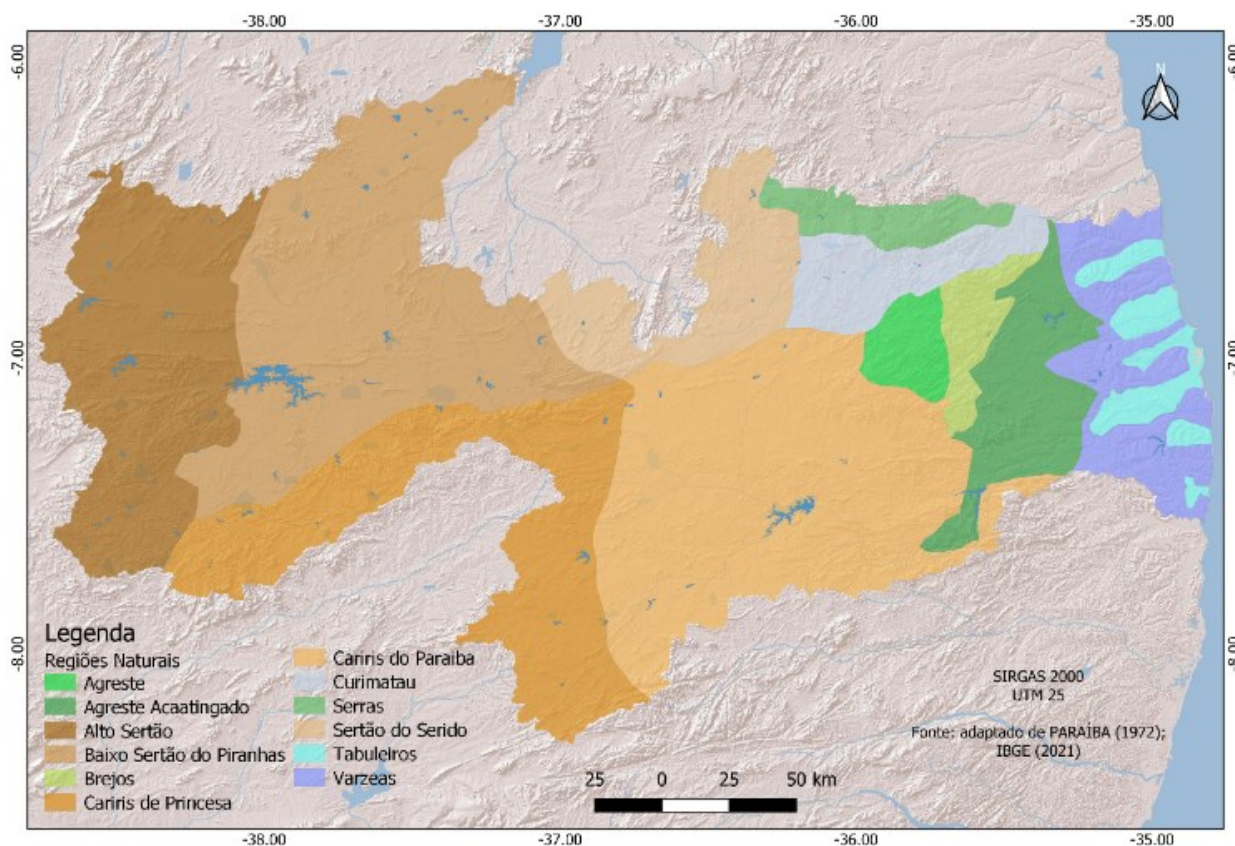
Para facilitar a espacialização dos dados deste trabalho, são apresentadas as regiões e sub-regiões geográficas do Estado (Figura 1) que guardam uma estreita relação com a ocorrência dos solos e a ocupação e uso das terras. Os dados da Tabela 1 são uma síntese descritiva dos atributos naturais desses espaços geográficos do Estado, extraída de BRASIL (1972), servindo, desta forma, para fundamentar a apresentação e a discussão deste trabalho (FRANCISCO et al., 2012).

Tabela 1. Descrição dos atributos das regiões e sub-regiões geográficas do Estado da Paraíba

Sertão	
Alto Sertão (Clima Aw')	Precipitação: 700 a 900mm; Temperatura: 21 a 32°C; Altitude: 400 a 700 m; Relevo: plano a ondulado e montanhoso; Geologia: pré-cambriano (B) - xistos e filitos e (CD) - gnaisses e migmatitos; Solos: pouco desenvolvido (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado a montanhoso e Vertissolos relevo plano; e solos com B textural - Argissolos e Luvisso Crômico. Em geral, argila de atividade média a alta e eutróficos; Vegetação: caatinga hiper e hipoxerófila
Baixo Sertão de Piranhas (Climas Aw' e Bsh)	Precipitação: 400 a 700mm; Temperatura: 21 a 32°C; Altitude: 250 a 400 m; Relevo: suave ondulado a ondulado; Geologia: pré-cambriano (CD) gnaisses e migmatitos; pré-cambriano (B) xistos e filitos e plutônicas ácidas - granitos; Solos: pouco desenvolvido (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado; com B textural - Argissolo e Luvisso Crômico; solos pouco desenvolvido (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo forte ondulado a montanhoso; Vegetação: caatinga hiperxerófila
Sertão do Seridó (Clima Bsh)	Precipitação: 400 a 600mm; Temperatura: 21 a 32°C; Altitude: 300 a 600 m; Relevo: suave ondulado a montanhoso; Geologia: pré-cambriano (B) – xistos e filitos e quartzitos com muscovita, e plutônicas ácidas - granitos; Solos: pouco desenvolvido (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo forte ondulado e montanhoso; com B textural - Bruno Não-Cálcico suave ondulado a ondulado de gnaisses e granito; Vegetação: caatinga hiperxerófila
Borborema	
Cariris de Princesa (Clima Aw')	Precipitação: 600 a 800mm; Temperatura: 18 a 29°C; Altitude: 500 a 700 m; Relevo: suave ondulado a montanhoso; Geologia: pré-cambriano (CD) e (B) - gnaisses e migmatitos, e xistos e filitos e plutônicas ácidas - granitos; Solos: com B textural e latossólico – Argissolos e Latossolos; pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolos Litólico e Regolítico e com B incipiente – Cambissolo; Vegetação: caatinga hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia
Cariris do Paraíba (Clima Bsh)	Precipitação: 300 a 600mm; Temperatura: 19 a 29°C; Altitude: 300 a 700 m; Relevo: suave ondulado a ondulado (frente do Planalto: solos litólicos relevo forte ondulado a montanhoso); Geologia: pré-cambriano (CD) - gnaisses e migmatitos, e plutônicas ácidas - granitos; Solos: com B textural - Luvisso Crômico Vértico, Planossolo Nátrico e pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado a forte ondulado. Vegetação: caatinga hiperxerófila
Curimatáu (Clima Bs)	Precipitação: 300 a 600mm; Temperatura: 20 a 30°C; Altitude: 300 a 600 m; Relevo: ondulado e forte ondulado; Geologia: pré-cambriano (B) xisto e filito e (CD) - gnaisses e migmatitos; Solos: pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado a forte ondulado e com B textural – Luvisso Crômico; Vegetação: caatinga hiper e hipoxerófila
Brejos Serranos	
Serras (Climas Bsh e As')	Precipitação: 600 a 1200mm; Temperatura: 19 a 29°C; Altitude: 400 a 650 m; Relevo: plano a montanhoso; Geologia: pré-cambriano (CD) - gnaisses e migmatitos e terciário – Série Serra do Martins; Solos: pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado a forte ondulado e com B latossólico - Latossolo; Vegetação: caatinga hiper e hipoxerófila, e floresta subcaducifólia
Brejo (Clima As')	Precipitação: 1200 a 1500mm; Temperatura: 18 a 27°C; Altitude: 400 a 650 m; Relevo: ondulado a forte ondulado e montanhoso; Geologia: pré-cambriano (CD) - gnaisses e migmatitos e terciário – Formação Bananeiras; Solos: com B textural e latossólico – Argissolo e Latossolo; pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo forte ondulado; Vegetação: floresta subperenifólia e subcaducifólia
Agreste (Clima As')	Precipitação: 800 a 1200mm; Temperatura: 18 a 28°C; Altitude: 400 a 650 m; Relevo: suave ondulado a ondulado; Geologia: plutônicas ácidas – granito e pré-cambriano (CD) - gnaisses e migmatitos; Solos: pouco desenvolvidos (A/C) Neossolo Regolítico e com B textural – Luvisso Crômico; Vegetação: floresta subcaducifólia e caducifólia e caatinga hipoxerófila
Agreste Acatingado (Clima As')	Precipitação: 650 a 1000mm; Temperatura: 21 a 31°C; Altitude: 100 a 350 m; Relevo: suave ondulado a forte ondulado; Geologia: pré-cambriano (CD) - gnaisses e migmatitos; Solos: com B textural – Luvisso Crômico e pouco desenvolvidos (A/R e A/C) – Neossolo Litólico em relevo ondulado e forte ondulado; Vegetação: floresta caducifólia
Litoral	
Tabuleiros (Clima As')	Precipitação: 1100 a 1600mm; Temperatura: 21 a 31°C; Altitude: 50 a 250 m; Relevo: plano; Geologia: terciário – formação grupo barreiras e holoceno - sedimentos marinhos; Solos: com B textural – Argissolo e com B latossólico – Latossolo e pouco desenvolvido – Neossolo Quartzarênico e Espodosolo; Vegetação: floresta subperenifólia, perenifólia e subcaducifólia e cerrados
Várzeas (Clima As')	Precipitação: 1100 a 1600mm; Temperatura: 21 a 31°C; Altitude: 0 – 100 m; Relevo: plano; Geologia: holoceno – sedimento fluvial e marinho; Solos: Neossolos Flúvicos, restingas, dunas e mangues; Vegetação: floresta perenifólia de várzea e de restinga, e mangues e campos de várzea

Fonte: BRASIL (1972); Francisco et al. (2012)

Figura 1. Regiões Naturais do Estado da Paraíba



Fonte: Adaptado de Francisco (2010); BRASIL (1972)

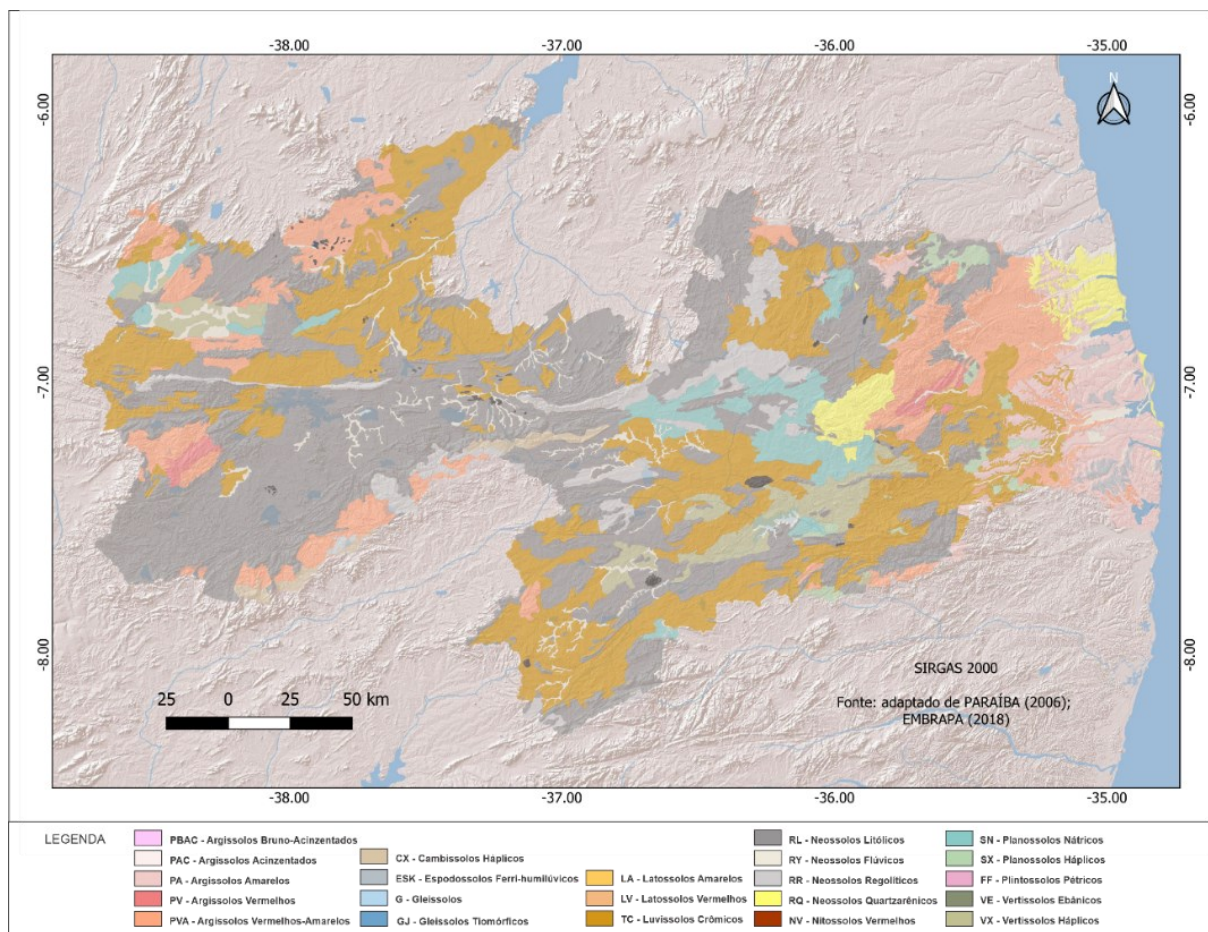
O Estado da Paraíba apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, quatro tipos diferentes de clima (FRANCISCO et al., 2015). O clima Aw, que caracteriza a região do Litoral norte como Tropical com estação seca no inverno, o clima Am no Litoral norte e Sul do Estado, o tipo climático As que dominam em sua maioria nas regiões de parte do Litoral, Brejo, Agreste e em pequena faixa da região do Sertão e em toda área do Alto Sertão. O tipo climático Bsh é predominante na área do Cariri/Curimataú, e boa parte da área do Sertão.

As classes de solos predominantes da área de estudo estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas diferem pela

diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características (FRANCISCO et al., 2013).

De uma forma geral, os solos predominantes são os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Solódicos, Neossolos Regolíticos Distróficos e Eutróficos distribuídos na mesorregião do sertão e nos cariris, os Vertissolos na mesorregião do sertão, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (FRANCISCO, 2010) (Figura 2).

Figura 2. Solos do Estado da Paraíba



Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); EMBRAPA (2018); ESRI (2022)

A erodibilidade dos solos (fator K) da área de estudo foi determinada pela equação proposta por Denardin (1990), para o conjunto dos solos brasileiros e americanos, simplificada por Chaves et al. (2004) para os dois principais parâmetros, o fator granulométrico (M) e a permeabilidade do solo (P).

Na elaboração do mapa de erodibilidade foi utilizada planilha no Excel<sup>®</sup> em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos dos Boletins de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972) e do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), teve calculado sua erodibilidade, baseada na equação proposta por Chaves et al. (2004).

Nesta proposta, os autores considerando a possibilidade de obtenção dos dados do boletim de solos brasileiros, através de um artifício para estimativa dos dados de granulometria a partir da classificação internacional para a classificação americana, utilizam o modelo proposto por Denardin (1990), para estimar a erodibilidade dos solos (Equação 1).

$$K = 0,00000748 (X_{25}) + 0,00448059 (X_{29}) - 0,06311750 (X_{27}) + 0,01039567 (X_{32}) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: K, é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ;  $X_{25}$ , é a variável granulométrica “M”, obtida a partir da determinação pelo método da pipeta;  $X_{29}$ , é a permeabilidade do perfil de solo, codificada conforme Wischmeier et al. (1971);  $X_{27}$ , é o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2mm, expresso em mm;  $X_{32}$ , é a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor da “nova areia” determinada pelo método da pipeta.

Considerando o alto grau de determinação do parâmetro  $X_{25}$  (variável granulométrica “M”), com  $r^2 = 0,9461$ , a estimativa da erodibilidade dos solos foi calculada pela equação de K, reduzida aos dois primeiros parâmetros, cuja expressão matemática ajustada por Denardin (1990) passou a ser conforme a Equação 2.

$$K = 0,00000797 (X_{25}) + 0,0029283 (X_{29}) \quad (r^2 = 0,9561) \quad \text{Eq. 2}$$

A variável “M” é um artifício que exalta a ocorrência das frações granulométricas do solo mais facilmente dispersas e transportadas pela água, especificamente o silte e a areia muito fina. Essas frações agrupadas numa mesma classe textural, passaram a ser chamada de fração “novo silte (NS)”, enquanto a fração areia com a subtração da fração areia muito fina, passou a ser chamada de “nova areia (NA)” (WISCHMEIER et al., 1971). Assim, a variável “M” é expressa pelo produto entre os valores percentuais da fração novo silte, vezes a soma das frações novo silte + nova areia ( $M = NS \times (NS + NA)$ ).

Nos boletins de solos brasileiros o resultado da análise granulométrica é apresentado na classificação internacional (ISSS), enquanto, originalmente, a variável “M” utiliza os dados da classificação americana (USDA); assim, para a conversão dos dados granulométricos da classificação internacional dos boletins de solos brasileiros, com vista à classificação americana, Chaves et al. (2004) propuseram a Equação 3.

$$M = 640,03 e^{0,0003 Mi} (r^2 = 0,8214) \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo: M = valor de “M” corrigido, ou da variável  $X_{25}$  do modelo de Denardin, e  $M_i$  = valor obtido do boletim de solos (classificação internacional).

A estimativa da permeabilidade dos solos (variável  $X_{29}$ ) foi realizada a partir da correspondência entre as classes de drenagem descritas no boletim de solos (BRASIL, 1972) e as classes de permeabilidade propostas e codificadas por Wischmeier et al. (1971) (Tabela 2).

Tabela 2. Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade

Classes de Drenagem	Classes de Permeabilidade
Muito mal drenado	Muito lenta
Mal drenado	Muito lenta
Imperfeitamente drenado	Lenta
Moderadamente drenado	Lenta a moderada
Bem drenado	Moderada
Acentuadamente drenado	Moderada a rápida
Fortemente drenado	Rápida
Excessivamente drenado	Rápida

Fonte: Wischmeier et al. (1971); BRASIL (1972)

Para as descrições de drenagem intermediárias entre duas classes do tipo “bem drenado a acentuadamente drenado”, adotou-se uma codificação de valor intermediário, exemplo, 2,5. Os dados sobre textura ( $X_{25}$ ) e permeabilidade ( $X_{29}$ ) foram interpretados e calculados a partir da ordenação dos dados dos perfis de solos descritos no Boletim de Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972).

Na metodologia para o enquadramento das classes utilizou-se o valor da erodibilidade do solo representativo de cada unidade de mapeamento, ou seja, o solo dominante de cada associação de solo. Para cada solo foi considerado apenas o valor da erodibilidade do horizonte superficial; assim, para cada polígono do mapa

foi atribuído um valor representativo de erodibilidade; em seguida, agrupados em cinco classes de erodibilidade.

Com vista à elaboração do mapa de erodibilidade do solo foi realizada a classificação para o enquadramento das classes definidas conforme a Tabela 3 expressos em megagrama hora por megajoule milímetro.

Tabela 3. Classes relativos à erodibilidade dos solos

Classes de Risco	Erodibilidade (Mg.h.MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
Muito Baixa	< 0,0145
Baixa	0,0146 - 0,0235
Média	0,0236 - 0,0280
Alta	0,0281 - 0,0325
Muito Alta	> 0,0326

Fonte: Chaves et al. (2004)

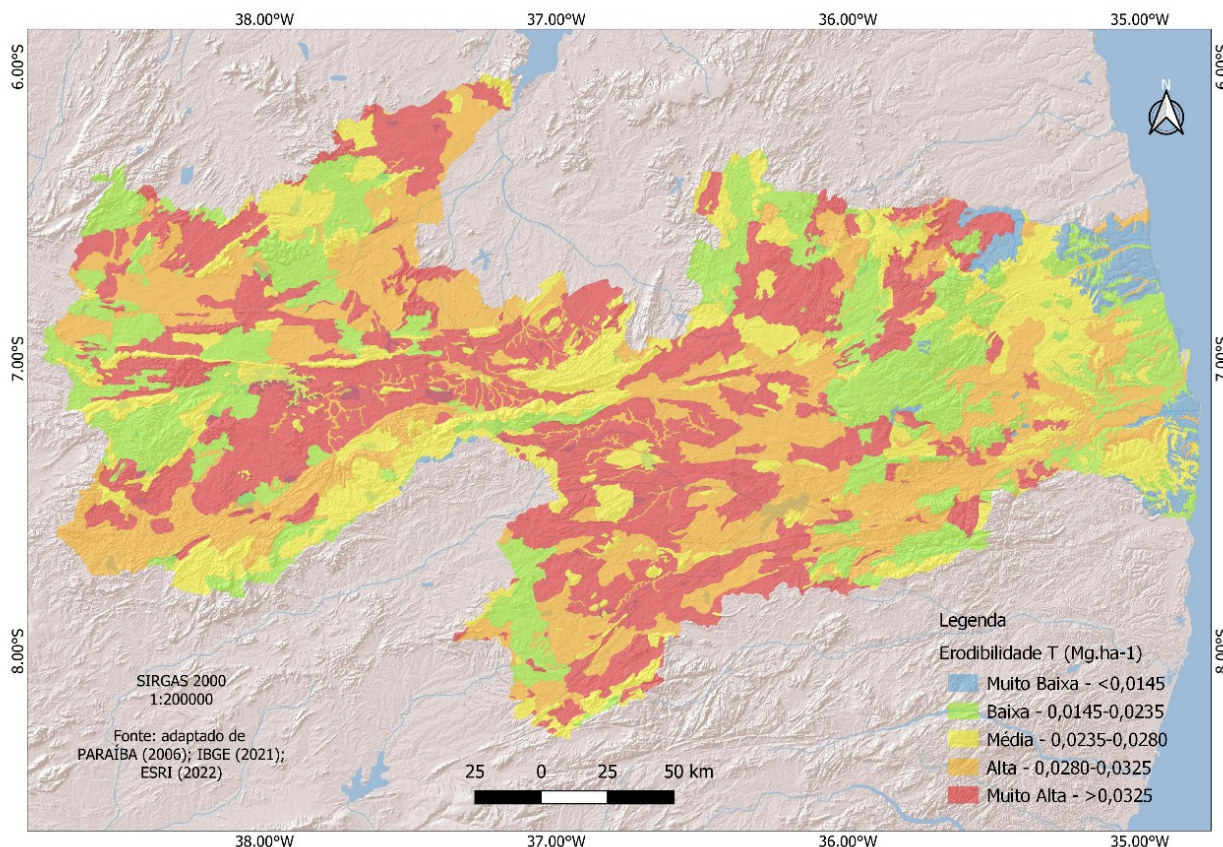
Após, utilizando o software QGIS<sup>®</sup> 3.28, foi importado o arquivo em formato *shape* dos solos fornecido por PARAÍBA (2006) e atualizado os seus limites utilizando arquivo do IBGE (2021), onde foi elaborado o mapa de erodibilidade através da tabela de atributos e realizado o cálculo de área.

## Resultados e Discussão

Pelos dados obtidos por este trabalho representados pelo mapa de erodibilidade (Figura 3) e pelas Tabelas 4 e 5, observa-se que a classe de erodibilidade alta (0,0281 a 0,0325 Mg mm MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) ocupa uma área de 15.204,37 km<sup>2</sup> ou 26,93% do Estado, em que estas terras ocorrem de forma difusa, sendo a segunda maior representação.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da erodibilidade dos solos com sua classificação. Consultando a lista dos solos constata-se que, predominantemente, os solos representativos de erodibilidade alta são os Luvisolos Crômicos, Planossolos e Cambissolos. Observa-se que a erodibilidade destes solos está fortemente associada à presença de frações silte+areia muito fina (fator M), e de forma secundária, a permeabilidade, em 26,93% da área (Tabela 3), observado também por Francisco et al. (2019a). Estes são solos com teores elevados de silte e areia fina, frações estas, que em conjunto, estão associadas a 93% das variações da susceptibilidade dos solos a erosão (RENARD et al., 1997). Dados que concordam com os resultados obtidos por Francisco (2013) e Francisco et al. (2013b; 2019) e, de forma secundária, associados a permeabilidade baixa (FRANCISCO et al., 2019b). Paes-Silva (2002) afirma que, o Luvisolo Crômico vértico é o solo dominante da região semiárida, com sequência de horizontes A fracamente desenvolvido e mudança textural abrupta do A para o Bt vértico que ocorrem nos interflúvios e posições de topo mais rebaixados, com relevo suave ondulado e ondulado.

Figura 3. Erodibilidade (Fator K) dos solos do Estado da Paraíba



Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022)

Existe concordância com Chaves et al. (2004), que encontraram utilizando esta mesma metodologia para os solos de todo o Estado da Paraíba, erodibilidade alta para os Luvisolos. Albuquerque (1997) em Sumé, obteve o valor para o fator K de  $0,010 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , onde ocupou uma posição intermediária entre os dois valores obtidos para o solo Bruno Não Cálculo, atual Luvisolos ( $0,008$  e  $0,044 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), conforme também relatado por Denardin (1990).

Tabela 5. Área de classes de erodibilidade

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	1.531,31	2,71
Baixa	11.500,88	20,37
Média	10.709,90	18,97
Alta	15.204,37	26,93
Muito Alta	17.520,77	31,03
Total	56.467,24	100,00

A classe de erodibilidade média ( $0,0236$  a  $0,0280 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) com representação em área de  $18,97\%$  ( $10.709,9 \text{ km}^2$ ), apresenta a maior diversidade de classes de solos. Estes em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  estão representados por Argissolos Vermelho-Amarelos localizado na mesorregião da Mata Paraibana ( $0,0275$ ); Espodossolos Ferri-humilúvicos no litoral ( $0,0240$ ); Neossolos Regolíticos no Planalto da Borborema ( $0,0239$ ); Neossolos Quartzarênicos na mesorregião do sertão ( $0,0239$ );

Plintossolos Argilúvicos no litoral ( $0,0275$ ); Vertissolos Ebânicos ( $0,0233$ ); e por Vertissolos Háplicos nas mesorregiões do sertão da Borborema ( $0,0262$ ); e por Luvisolos Crômicos distribuídos pela Borborema e Sertão ( $0,0264$ ).

Resultado similar encontrado por Francisco et al. (2013) em Sumé, onde observaram que a classe de erodibilidade média apresentou uma maior diversidade de classes de solos. Na região sul do Estado, na bacia do Alto Paraíba, Francisco et al. (2019) estimaram erodibilidade média de  $0,02$  a  $0,03 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  representada pelos Neossolos Litólicos e os Luvisolos Crômicos.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrupto foram encontrados por Bueno e Stein (2004) e Silva (2008) valores médios semelhantes para os solos do Estado de São Paulo. Francisco et al. (2019) encontraram para estes solos na bacia do Alto curso do rio Paraíba o valor de  $0,0226 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

Dias e Silva (2015) estudando os solos do município de Lucena, localizado no litoral, encontraram valores do fator K para o Argissolo Vermelho-Amarelo de  $0,032 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , valor próximo a este estudo.

Tabela 4. Fator Erodibilidade (K) e respectivas classes de solos representativos do Estado da Paraíba

Município/Amostra	N. do Perfil	Classe de Solos	K (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Classe de Erodibilidade
Areia	1*	Latossolos Amarelos – LA	0,0133	Muito Baixa
Litoral	3*	Latossolos Amarelos – LA	0,0192	Baixa
Cuité	4	Latossolos Amarelos – LA	0,0149	Baixa
Araruna	5	Latossolos Amarelos – LA	0,0197	Baixa
Mamanguape	7	Argissolos Acinzentados – PAC	0,0239	Baixa
Natuba	6	Argissolos Amarelos – PA	0,0156	Baixa
Pitimbu	8	Argissolos Amarelos – PA	0,0174	Baixa
Rio Tinto	9	Argissolos Amarelos – PA	0,0197	Baixa
Sapé	10	Argissolos Amarelos – PA	0,0197	Baixa
Pedras de Fogo	11	Argissolos Amarelos – PA	0,0191	Baixa
Sapé	18	Argissolos Amarelos – PA	0,0212	Baixa
Alhandra	3	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0102	Muito Baixa
Princesa Isabel	12	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0219	Baixa
Jacaraú	19	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0275	Média
Areia	20	Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA	0,0221	Baixa
Bonito de Santa Fé	13	Argissolos Vermelhos – PV	0,0192	Baixa
Teixeira	15	Argissolos Vermelhos – PV	0,0196	Baixa
Guarabira	21	Argissolos Vermelhos – PV	0,0230	Baixa
Lagoa Seca	22	Argissolos Vermelhos – PV	0,0219	Baixa
Alagoa Grande	23	Argissolos Vermelhos – PV	0,0187	Baixa
Jacaraú	19	Plintossolos Argilúvicos – FT	0,0275	Média
Teixeira	6*	Plintossolos Pétricos – FF	0,0197	Baixa
Pombal	24	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Monteiro	25	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Patos	26	Luvissolos Crômicos – TC	0,0264	Média
Solânea	27	Luvissolos Crômicos – TC	0,0459	Muito Alta
Sapé	28	Luvissolos Crômicos – TC	0,0254	Média
Ingá	29	Luvissolos Crômicos – TC	0,0333	Alta
São Miguel de Taipu	30	Luvissolos Crômicos – TC	0,0271	Média
São Mamede	31	Luvissolos Crômicos – TC	0,0383	Muito Alta
Barra de Santa Rosa	32	Luvissolos Crômicos – TC	0,0406	Muito Alta
Cuité	33	Luvissolos Crômicos – TC	0,0378	Muito Alta
Gurinhém	34	Planossolos Háplicos – SX	0,0378	Muito Alta
Tacima	35	Planossolos Háplicos – SX	0,0345	Muito Alta
Tavares	16	Cambissolos Háplicos – CX	0,0226	Baixa
Princesa Isabel	36	Cambissolos Háplicos – CX	0,0204	Baixa
Taperoá	37	Cambissolos Háplicos – CX	0,0221	Baixa
Queimadas	39	Vertissolos Ebânicos – VE	0,0233	Média
Campina Grande	38	Vertissolos Háplicos – VX	0,0247	Média
Souza	40	Vertissolos Háplicos – VX	0,0238	Média
Sumé	41	Vertissolos Háplicos – VX	0,0233	Média
Boqueirão	42	Vertissolos Háplicos – VX	0,0262	Média
Cubati	43	Planossolos Nátricos – SN	0,0298	Alta
Campina Grande	44	Planossolos Nátricos – SN	0,0484	Muito Alta
Uiraúna	45	Planossolos Nátricos – SN	0,0543	Muito Alta
Conde	46	Espodossolos Ferri-humilúvicos – ESK	0,0240	Média
Santa Rita	47	Neossolos Flúvicos – RY	0,0298	Alta
São José de Piranhas	48	Neossolos Litólicos – RL	0,0266	Alta
Santana dos Garrotes	49	Neossolos Litólicos – RL	0,0388	Muito Alta
Picuí	50	Neossolos Litólicos – RL	0,0330	Muito Alta
Umbuzeiro	51	Neossolos Litólicos – RL	0,0145	Muito Baixa
Soledade	53	Neossolos Litólicos – RL	0,0355	Muito Alta
Piancó	56	Neossolos Litólicos – RL	0,0391	Muito Alta
Alagoinhas	59	Neossolos Litólicos – RL	0,0203	Baixa
Araruna	52	Neossolos Regolíticos – RR	0,0226	Baixa
Souza	54	Neossolos Regolíticos – RR	0,0391	Muito Alta
Junco do Seridó	57	Neossolos Regolíticos – RR	0,0319	Alta
Fagundes	58	Neossolos Regolíticos – RR	0,0275	Média
Solânea	60	Neossolos Regolíticos – RR	0,0309	Alta
Livramento	62	Neossolos Regolíticos – RR	0,0239	Média
Teixeira	61	Neossolos Quartzarênicos – RQ	0,0239	Média
Campina Grande	63	Neossolos Quartzarênicos – RQ	0,0184	Baixa
Cabedelo	64	Neossolos Quartzarênicos – RQ	0,0116	Muito Baixa
Conceição	55	Cambissolos Háplicos – CX	0,0288	Alta
Conde	**	Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos - GJ	0,0082	Muito Baixa
Conde	**	Gleissolos - G	0,0228	Baixa
	AR	Afloramentos de Rocha - AR	0,0080	Muito Baixa

Fonte: Adaptado de BRASIL (1972); \*PARAÍBA (1978); \*\*EMBRAPA (2017); EMBRAPA (2018)



Para o Argissolo Vermelho Amarelo Silva et al. (2007) na região do litoral paraibano, obtiveram 0,032 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) e para os atuais Espodosolos Ferri-humilúvicos o valor de 0,021 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), também valores similares a este trabalho.

Valores médios semelhantes foram encontrados por Francisco et al. (2019c) na bacia do Alto curso do rio Paraíba com valor de 0,0290 e 0,0298 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para os Vertissolos e Planossolos, respectivamente, compatíveis com o resultado encontrado neste trabalho.

Leite et al. (1982) avaliando os solos de São Mamede, na mesorregião do sertão, encontraram para os atuais Luvisolos, Argissolos e Neossolos Litólicos os valores de K de 0,029; 0,026 e 0,018 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente, ou seja, resultados similares a este trabalho. Os autores afirmam que para o Argissolo Vermelho, apesar de sua alta infiltração, o que lhe confere um menor escoamento superficial e, conseqüentemente, menor transporte de solo, apresenta, entretanto, outros fatores que aumentam sua erodibilidade, tais como a baixa percentagem de matéria orgânica, um valor relativamente alto de silte mais areia muito fina. Segundo Leite (1979), estudando o mesmo solo, uma estabilidade de agregados em água de apenas 11%, o que demonstra o seu alto grau de desagregação ou instabilidade em água.

Martins et al. (2011) estimaram para o Plintossolo Háptico localizado na região dos tabuleiros costeiros do Estado do Espírito Santo a erodibilidade de 0,017 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, valores menores comparados a este trabalho. Costa e Silva (2012) encontraram para o Espodosolo Hidromórfico 0,014 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>); e para o Neossolo Flúvico, Silva (2004) obteve o valor de 0,042 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

A classe de erodibilidade baixa (0,0145 a 0,0235 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com representação em área em 20,37% (11.500,88 km<sup>2</sup>), representado pelos Argissolos Amarelos localizados no litoral (0,0149 a 0,0197), Argissolos Vermelhos no Agreste e Sertão (0,0187 a 0,0230); Cambissolos Hápticos sob o Planalto da Borborema (0,0226), Latossolos Amarelos no Agreste e litoral (0,0149 0,0197).

Resultado similar a este trabalho foram estimados por Queiroz et al. (2021) no município de São João do Cariri para os Cambissolos, com valores inferiores a 0,0198 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. De acordo com Paes-Silva (2002), o Cambissolo Háptico são solos rasos a moderadamente profundos, com textura franca argila arenosa e fraco desenvolvimento estrutural. O baixo gradiente textural e presença de minerais primários no perfil demonstram o seu baixo grau de desenvolvimento pedogenético.

Para os Cambissolos, os valores encontrados por Bertol et al. (2002) foi de 0,011 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e por Silva et al. (2009) de 0,026 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Chaves et al. (2004) encontraram valores variando de 0,010 a 0,054 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para o Latossolo e para o Planossolo Nátrico, respectivamente; os autores comentam a obtenção desta amplitude de valores relativamente pequena face à diversidade de solos, material geológico e clima, que ocorrem nas diferentes regiões geográficas do Estado. Por outro lado, dos quatro Planossolos estudados por estes

autores, apenas um apresentou erodibilidade média concordando com os resultados deste trabalho.

Silva et al. (1997) obtiveram para os Latossolos o valor de 0,018 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, valores bem próximos aos encontrados por este trabalho. Silva et al. (2000) verificaram que os Latossolos apresentaram valores de erodibilidade entre 0,002 e 0,034 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Nogueira (2000) observou que os valores extremos do fator K foram para Latossolos entre 0,0169 e 0,0298 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; Podzólicos entre 0,0265 e 0,0496 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; e para os Litólicos entre 0,0442 e 0,0551 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

A classe de erodibilidade muito baixa (< 0,0145 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com representação em área de 2,71% (1.531,31 km<sup>2</sup>), estes em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> estão representados pelo Latossolo Amarelo na região do Brejo (0,0133); Argissolo Vermelho Amarelo no litoral (0,0102); Neossolos Quartzarênico no litoral (0,0116); e pelo Gleissolo Tiomórfico Órtico sálico no Litoral (0,0082).

Por este trabalho os solos Indiscriminados de Mangue atuais Gleissolos Tiomórficos Órticos sálicos apresenta 0,0082 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, no entanto Carvalho Júnior et al. (2009) obteve o valor de 0,015 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Távora et al. (1985) obtiveram para os Neossolos Quartzarênicos Marinheiros Distróficos 0,020 (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

A classe de erodibilidade muito alta (>0,0325 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) com maior representatividade em área de 31,03% (17.520,77 km<sup>2</sup>), estes em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> estão representados pelos Luvisolos Crômicos distribuídos no Planalto da Borborema e Sertão (0,0378-0,0459); Planossolos Hápticos e Planossolos Nátricos no Sertão (0,0378 e 0,0543, respectivamente); e pelos Neossolos Litólicos e Regolíticos no Sertão (0,0330 e 0,0391, respectivamente).

Chaves et al. (2004) obtiveram para os Planossolos, Solonetz Solodizados, seguido dos Bruno Não-Cálcicos (solos com B textural e forte gradiente textural) valores de K onde apresentaram susceptibilidade a erosão muito alta e alta, seguidos dos Litólicos, de média a alta; Vertissolos, Podzol Hidromórfico, Aluvial e Regosolos, com susceptibilidade média; Podzólicos, baixa a média; Terra Raxa e Cambisol, baixa; e Latossolos e Areia Quartzosa, muito baixa a baixa. Resultado similar a este estudo. Os autores afirmam que o parâmetro composto por Profundidade Efetiva e Gradiente Textural foram os mais relacionados a permeabilidade do solo e que explicou 36,7% das variações da erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. Situação similar observada neste trabalho com os dados das análises físicas e químicas obtidas nos Boletins de Solos.

Conforme levantamento realizado por Denardin (1990) e Silva et al. (2000; 2009), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico variaram 0,002-0,034 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, enquanto os solos que possuem horizonte B textural (Argissolos, Luvisolos, B nítico e B plânico) avaliados por Denardin (1990) e Marques et al. (1997a; 1997b) variaram 0,004-0,045 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Mendonça (2005) estimando a erodibilidade dos solos no município de Sapé, na Microbacia do Riacho Una, obteve valores em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, para os Neossolos e Luvisolos de 0,031; para os Neossolos Flúvicos 0,040;

Neossolos Quartzarênicos de 0,020; Espodosolo 0,030; Argissolo Amarelo de 0,036; e para o Argissolo Vermelho Amarelo de 0,024, todas as classes de solos com resultados similares a este trabalho.

A erodibilidade do solo é um dos fatores mais importantes nos estudos de erosão do solo. Guerra e Cunha (2011) afirmam que, a erodibilidade é a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos, influenciando na maior ou menor erodibilidade.

Em relação à granulometria, estudos realizados por Lemos e Lutz (1957) mostraram que a erodibilidade do solo tende a aumentar quando os teores de silte e areia fina são altos, e a diminuir com a elevação dos teores de argila e matéria orgânica. Para Resende (1985), o solo mais resistente à erosão é aquele que apresenta a melhor combinação dos fatores permeabilidade e coesão entre partículas e/ou agregados. Isso permite uma permeabilidade suficientemente alta para reduzir a enxurrada a valores razoáveis e agregados pequenos o bastante para não favorecer a remoção excessiva dos mesmos por salpimento e arraste.

## Conclusão

O uso de método de determinação indireta da erodibilidade dos solos apresentou resultados satisfatórios.

A classe de erodibilidade muito alta dos solos ( $>0,0325 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) apresentam-se distribuídas em sua maioria na mesorregião do Sertão do Estado sob os Luvisolos Crômicos, Planossolos Háplico e Nátrico, e sob Neossolos Litólicos e Regolíticos.

A classe de erodibilidade alta ( $0,0280\text{-}0,0325 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) ocorrem de forma difusa predominantemente pelos Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos e Cambissolos.

Os solos apresentaram erodibilidade média ( $0,0235\text{-}0,0280 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) com a maior representação em área em 66,81%, com maior diversidade de classes de solos.

A classe de erodibilidade baixa ( $0,0145\text{-}0,0235 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) com representação em área em 20,37% representada pelos Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho Amarelo, Cambissolos Háplicos e por Neossolos Regolíticos e Quartzarênicos.

As áreas de erodibilidade muito baixa ( $<0,0145 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) estão representadas pelos Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho Amarelo, Neossolos Litólicos e Quartzarênicos e por Gleissolos Tiomórficos.

A utilização do sistema de informação geográfica permitiu mapear a erodibilidade das terras da área em estudo com rapidez e precisão.

A profundidade efetiva e o gradiente textural foram os mais relacionados às variações da erodibilidade dos solos.

## Agradecimentos

Ao apoio do CNPq e da Fapesq-PB.

## Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. W. DE. **Determinação de parâmetros para a equação universal de perda de solo nas condições de Sumé-PB**. 149f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.
- AMARAL, B. S. D. DO. **Análise espacial das perdas de solo no Estado da Paraíba**. 59f. Monografia (Bacharel em Geografia). Geociências do Centro de Ciências Exatas da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- BARBOSA, R. S.; MARQUES, J.; BARRON, V.; MARTINS, M. V.; SIQUEIRA, D. S.; PELUCO, R. G.; SILVA, L. S. Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v.78, n.1, p.12, 2019.
- BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.455-464, 2002.
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. New York: Springer, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro. (Boletins DPFs-EPE-MA, 15 - Pedologia 8). Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972.
- BUENO, C. R. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, p.1-5, 2004.
- CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. C. G.; BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R. **Zoneamento Agroecológico da Bacia Hidrográfica Guapi Macacu**. Projeto entre Serras e Águas – Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Macacu. Instituto Bioatlântica, 2009.
- CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F.; SEPE, P. M.; ROSSETTI, L. A. F. G. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP. In: **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 3, 2010, Recife. Anais...Recife, 2010.
- CARVALHO, E. M.; PINTO, S. DOS A. F. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia do córrego João Dias, Aquidauana, MS. In: **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, 3, 2010, Cáceres. Anais...Cáceres, 2010. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.666 -675.
- CARVALHO, H. J. M.; RIBEIRO, C. M.; SANTOS, M. A.; CARVALHO, P. V. R. Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. **REGNE**, v.5, n. Esp., p.57-68, 2019.
- CHAVES, I. B.; SLACK, D. C.; GUERTIN, D. P.; LOPES, V. L. Estimativa da erodibilidade e sua relação com outros atributos dos solos do Estado da Paraíba. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 15, 2004, Santa Maria. Anais...SBCS, Santa Maria, 2004.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; CHAVES, L. H. G.; Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. **Revista Caatinga**, v.28, n.1, p.183-195, 2015.
- COSTA, S. G. F.; SILVA, R. M. Potencial natural e antrópico de erosão na Bacia Experimental do Riacho Guaraira. **Revista Cadernos do Logepa**, v.7, p.72-91, 2012.
- COUTO, B. O. C. **Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos**. 124f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2015.

- CUTILLAS, P. P.; BARBERÁ, G. G.; GARCÍA, C. C. Evaluación de la erosionabilidad (factor k) y su variabilidad espacial en relación con los usos del suelo. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, n.23, p.71-96, 2019.
- DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 81f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1990.
- DIAS, E. R.; SILVA, R. M. Estimativa do risco à erosão do solo no município de Lucena-Paraíba. *Caminhos de Geografia*, v.16, n.54, p.192-204, 2015.
- DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, estado da Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.6, n.3, p.168-189. 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento pedológico detalhado (Escala 1:5.000) e estoque de carbono orgânico do solo da Floresta Nacional Restinga de Cabedelo, municípios Cabedelo e João Pessoa, PB.** (Org). COELHO, M. R. et al. Rio de Janeiro, 2017. 122p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.32, n.2, p.37-50, 2017.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. de; SILVA, B. B. da. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2013b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.2, p.233-249. 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; MORAES NETO, J. M. DE; LIMA, V. L. A. DE; BARRETO, H. T. S. Erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas, 2019a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; MORAES NETO, J. M. de; LIMA, V. L. A. de; BARRETO, H. T. S. Índice de deterioração das terras semiáridas aplicado no mapeamento da bacia do Alto rio Paraíba. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas, 2019b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; OLIVEIRA, F. P. de; SANTOS, D.; BARRETO, H. T. S. Vulnerabilidade dos solos à desertificação na bacia do Alto rio Paraíba. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas, 2019c.
- FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.
- FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO N.; MORAES NETO, J. M. DE. Mapeamento da deterioração ambiental em área de vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.2, p.304-318, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BRITO, T. P. DE. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na região do brejo paraibano. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.8, n.1, p.33-42, 2022.
- FRANCISCO; P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; BRANDÃO, Z. N.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.2, p.271-286, 2013.
- FRANCISCO; P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; MORAES NETO, J. M. DE; LIMA, V. L. A. DE; BARRETO, H. T. S. Erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas, 2019.
- FRANCISCO; P. R. M.; SANTOS, D.; BRITO, T. P. DE. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na região do brejo paraibano. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.8, n.1, p.33-42, 2022.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA. **Geomorfologia e meio ambiente**. Bertrand Brasil, 10. ed. Rio de Janeiro, 2011.
- GIANEZINI, M.; SALDÍAS, R.; CEOLIN, A. C.; BRANDÃO, F. S.; DIAS, E. A.; RUVIARO, C. F. Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta. *Revista Economia & Tecnologia*, v.8, n.2, p.167-174. 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.
- LEITE, J. A.; CAVALCANTE, L. F.; MEDINA, B. F.; MONTENEGRO, J. O. Fator de erodibilidade de quatro solos do município São Mamede-PB, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.17, n.2, p.319-321, 1982.
- LEMOS, P. O.; LUTZ, J. F. Soil crusting and some factors affecting it. *Soil Science of Society of American Proceeding*, Madison, n.21, p.485-491, 1957.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. (Boletim Técnico, 27).
- MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.447-456, 1997b.
- MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados: 1ª aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.427-434, 1997a.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. de. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, n.3, p.447-456, 1997.
- MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.3, p.322-327, 2011.
- MENDONÇA, I. F. C. DE. **Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da microbacia hidrográfica do Riacho Una, Sapé-PB**. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Londres: Blackwell Science, 2015. 304p.
- NASCIMENTO, R. J. DE A.; OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; BEIRIGO, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; NASCIMENTO, R. R. DE A. Selamento superficial e formação de crosta em solos representativos do Estado da Paraíba. **Colloquium Agrariae**, v.15, n.3, p.79-93, 2019.
- NOGUEIRA, F. P. **Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: proposta metodológica**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.
- OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; SILVA, I. F. DA; SILVA, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.2, p.60-71, 2008.
- OLIVEIRA, F. P. DE. **Determinação da tolerância de perdas por erosão para as principais ordens de solos do Estado da Paraíba**. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2004.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA–PB. **Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba**. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda. Dez, 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas**. Brasília, DF, 2006. 112p.
- QUEIROZ, K. B. DE; RIBEIRO, G. DO N.; FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; SANTOS, D. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo na bacia hidrográfica do açude do Namorado, Paraíba. **Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v.7, n.3, p.36-48, 2021.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (Cord.). **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. USDA, 1997. (Agriculture Handbook n.703).
- RÖMKENS, M. J. M.; YOUNG, R. A.; POESEN, J. W. A.; MCCOOL, D. K.; EL-SWAIFY, S. A.; BRADFORD, J. M. **Soil erodibility factor (K)**. In: RENARD, K. G. et al. (Eds.) **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**, Washington: US Department of Agriculture, 1997. p.65-99. (Agriculture Handbook, n. 703).
- SÁ, T. F. F. DE; COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; BRAGA JUNIOR, J. M. Sistema de informações geográficas (SIG) para a gestão ambiental de bacias hidrográficas. In: **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 3, 2012, Recife. Anais... Recife, 2012.
- SÁ, T. F. F. DE; FRANCISCO, P. R. M.; COSTA FILHO, J. F. DA. Bacias hidrográficas e gestão ambiental integrada através de SIG. In: **Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, 8, 2012, Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2012.
- SILVA, A. M. da. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v.8, p.5-14, 2008.
- SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.
- SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; JUNIOR CESAR AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.
- SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Métodos estimativos da erodibilidade para Latossolos brasileiros: comparação e avaliação. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 1997.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação de erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUAX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.131-137, 1997.
- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B.C. Estimativa das perdas de solo na bacia experimental do rio Guaraira a partir da EUPS em ambiente SIG. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 17, 2007, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2007.
- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, V. C. L.; SILVA, L. P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, p.8977-8990, 2013.
- SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, n.34, v.3, p.147-159, 2004.
- TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. R. C.; MOREIRA, E. G. S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.59- 62, 1985.
- WEI, H.; ZHAO, W. The optimal estimation method for K value of soil erodibility: A case study in Ansai Watershed. **China Soil and Water Conservation Science**, v.15, p.52-65, 2017.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. W. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n.5, p.189-193,1971.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington D.C., USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- ZHANG, K. L.; SHU, A. P.; XU, X.; YANG, Q. K.; FOBU, Y. O. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. **Journal of Arid Environments**, v.72, n.6, p.1002-1011, 2008.