

Estimate of the Vulnerability to Erosion of the Soils in the State of Paraíba

Paulo R. M. Francisco*, Djail Santos**, Flavio P. de Oliveira***, George do N. Ribeiro****, Viviane F. Silva*****, Gypson D. J. Ayres*****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Doutorando em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com;

**Dr. Prof. Titular, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, djail.santos@academico.ufpb.br;

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, flavio.oliveira@academico.ufpb.br;

****Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george@ufcg.edu.br;

*****Dra. Profa. Associada, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, viviane.farias@professor.ufcg.edu.br;

*****Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, fgypsond@gmail.com;

*****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto_80@hotmail.com

Received 23 March 2023, Accepted 27 November 2023

ABSTRACT

This work estimated the degree of vulnerability to soil erosion (GVES) based on the relationship between the natural erosion potential (PNE) and the soil loss tolerance limit (LTP), applied to the State of Paraíba using geoprocessing techniques for modeling the data based on information contained in the representative profiles of the Soil Bulletins of the State of Paraíba and the Agricultural Zoning of the State of Paraíba and on rainfall and altitude data. The results showed that the use of geoprocessing and kriging techniques allowed estimating and mapping the degree of vulnerability to soil erosion. The K Factor, even appearing in the very high class observed by the R and S Factors, leading the LTP to the Degree of Vulnerability to Soil Erosion (GVES) to present itself in good proportion in the middle class, smoothing the result. Despite its limitations, the information generated in this study of the knowledge of the spatial variability of vulnerability can be used in decision-making and serve as support for conservation planning, thus being able to develop strategies for management and conservation of soil and water. The distribution was symmetrical, the kurtosis indicated a platykurtic distribution, where the greatest variations in amplitude and irregular distribution were present in the variables Factor K and LTP. The greatest regularity was in Factor R, in which the Shapiro-Wilk test showed the smallest difference between them. It could be said that there is similarity and agreement between the tests used in this work and led to accept the normality of the data.

Keywords: Environmental degradation, erosion risk, soil loss, geoprocessing.

Estimativa da Vulnerabilidade à Erosão dos Solos do Estado da Paraíba

RESUMO

Este trabalho estimou o grau de vulnerabilidade à erosão dos solos (GVES) baseado na relação entre o potencial natural de erosão (PNE) e o limite de tolerância de perda de solo (LTP), aplicado para Estado da Paraíba utilizando-se técnicas de geoprocessamento para a modelagem dos dados baseados nas informações contidas nos perfis representativos dos Boletins de Solos do Estado da Paraíba e do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba e em dados pluviométricos e de altitude. Os resultados mostraram que o uso de técnicas do geoprocessamento e krigagem permitiu estimar e mapear o grau de vulnerabilidade à erosão dos solos. O Fator K mesmo se apresentando na classe muito alta observada pelos Fatores R e S levando o LTP o Grau de Vulnerabilidade a Erosão dos Solos (GVES) apresentar-se em boa proporção na classe média suavizando o resultado. Apesar de suas limitações, as informações geradas neste estudo do conhecimento da variabilidade espacial da vulnerabilidade poderão serem utilizadas em tomadas de decisão e servir de suporte para o planejamento conservacionista podendo com isso desenvolver estratégias de manejo e conservação do solo e da água. A distribuição apresentou simétrica, a curtose indicou uma distribuição platicúrtica, onde as maiores variações de amplitude e distribuição irregular apresentaram-se nas variáveis Fator K e LTP. A maior regularidade foi no Fator R em que o teste de Shapiro-Wilk apresentou a menor diferença entre si. Pôde-se afirmar que existe a similaridade e concordância entre os testes utilizados neste trabalho e levou a aceitar a normalidade dos dados.

Palavras-chave: Degradação ambiental, risco de erosão, perda de solo, geoprocessamento.

1 Introdução

A Equação Universal de Perdas de Solo é um modelo matemático simplificado, que permite estimar a perda média anual de solo de áreas agrícolas provocada pela chuva (Wischmeier & Smith, 1978). A estimativa de perdas de solo (A) é dada em megagrama por hectare ($Mg\ ha^{-1}$); a erosividade da chuva (fator R) é expressa em megajoule por hectare por milímetro ($MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) e os demais fatores – (K) erodibilidade do solo, (L) comprimento do declive, (S) grau do declive, (C) cobertura ou uso do solo e (P) prática conservacionista – são relações numéricas entre as perdas de solo observadas e as perdas ocorridas para uma condição padrão de determinação (Wischmeier & Smith, 1978; Farinasso et al., 2012).

A erosividade da chuva (Fator R) está relacionada à sua intensidade, duração e frequência de ocorrência. Aumentando a intensidade da chuva aumenta o tamanho médio das gotas, a energia de impacto, bem como, o escoamento, aumentando a energia de transporte (Wischmeier & Smith, 1978). A erodibilidade (Fator K) é uma propriedade do solo resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas. Reflete a perda diferencial que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, sendo influenciada principalmente por aquelas características 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 & Bertoni, 1975).

Conforme Chaves et al. (2010), o uso e o manejo inadequado das terras têm degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro onde a vulnerabilidade ambiental é acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos e a intensidade das variáveis climáticas.

A degradação ambiental é quase sempre o resultado da pressão excessiva do uso das terras ao longo do tempo e do espaço, acelerando o processo erosivo dos solos. A erosão é um processo natural resultante da ação da chuva e do vento sobre as superfícies continentais. Com intervenções inadequadas das atividades humanas sobre o meio ambiente, como a supressão da cobertura vegetal para a introdução de práticas agrícolas e pecuárias, a 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; Ribeiro et al., 2009).

Neste sentido, a avaliação do grau (ou do estado) de propensão à degradação ambiental é necessária para estabelecer a magnitude e a extensão do problema, no sentido de despertar a atenção dos órgãos governamentais e a comunidade local; para identificar os impactos da degradação ambiental e compreender a sua natureza e as suas causas; e para definir uma resposta apropriada no planejamento e na seleção de projetos e no estabelecimento de tecnologias para atenuar/suprimir as causas do processo de degradação (Kazmierczak & Seabra, 2007).

De acordo com Francisco et al. (2013a), modelos relativamente simples podem descrever com certo grau de confiança os processos de degradação ambiental, facilitando a complementação de diagnósticos integrados dos recursos naturais e das suas relações com as atividades humanas. Na atualidade, com a disponibilidade de tecnologias de sensoriamento remoto e de geoinformática, a realização de inventários se tornou mais fáceis e de baixo custo, permitindo, com agilidade, auxiliar o monitoramento e a gestão de amplos territórios (Novo, 2008; Cunha et al., 2012; Chaves et al., 2015).

Várias pesquisas vêm sendo realizadas ultimamente no Estado da Paraíba, como por Coelho (1994), Chaves et al. (2004) e Francisco et al. (2019) quanto a erodibilidade dos solos (K); quanto à erosividade (R) realizados por Maia Neto e Chaves (1997), Amaral et al. (2014) e por Francisco et al. (2013b); quanto a declividade (S) por Francisco et al. (2013c); por Oliveira et al. (2008) quanto aos limites de tolerância de perdas (LTP); quanto ao potencial natural a erosão (PNE) os trabalhos desenvolvidos por Queiroz et al. (2021) e Francisco et al. (2022); e por Francisco et al. (2013d; 2017; 2019) quanto a vulnerabilidade das terras (PNE/LTP).

Quanto ao uso de modelos para estimativa e mapeamento da degradação, deterioração e vulnerabilidade das terras de região semiárida, autores como Chaves et al. (2013a; 2013b; 2015); Francisco et al. (2013a; 2013b; 2019a; 2019b) e Francisco e Chaves (2017) têm aplicado ao estudo nas bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Paraíba. Queiroz et al. (2021) e Francisco et al. (2022) avaliaram a vulnerabilidade para as bacias do Açude Namorado e Vaca Brava, região semiárida e do Brejo, respectivamente.

Utilizando-se da fundamentação da pesquisa em erosão de áreas agrícolas representada pelo modelo da Equação Universal de Perdas de Solo, propõe-se neste trabalho avaliar o Grau de

Vulnerabilidade à Erosão dos Solos (GVES) do Estado da Paraíba, a partir da razão entre o Potencial Natural de Erosão (PNE) e o Limite de Tolerância de Perdas dos solos (LTP) utilizando técnicas de geoprocessamento para a modelagem dos dados.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km² (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 (Figura 1). 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).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas (Figura 1a). No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas, como Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada, Caatinga Arbórea Fechada, Tabuleiro Costeiro, Mangues, Mata-úmida, Mata semidecidual, Mata Atlântica e Restinga (PARAÍBA, 2006) (Figura 1b).

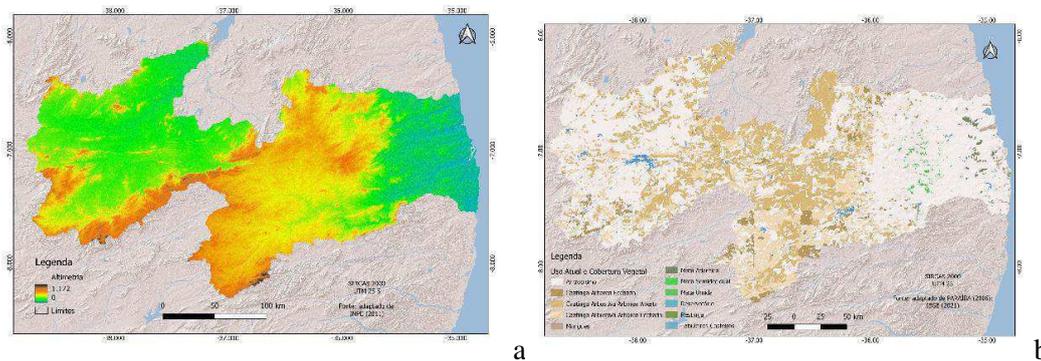


Figura 1. (a) Altimetria do Estado da Paraíba; (b) Uso atual e cobertura vegetal.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013); PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) com baixa amplitude térmica anual, em função da baixa latitude e elevações (<700 m). A precipitação varia de 400 a

800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar os 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 2b).

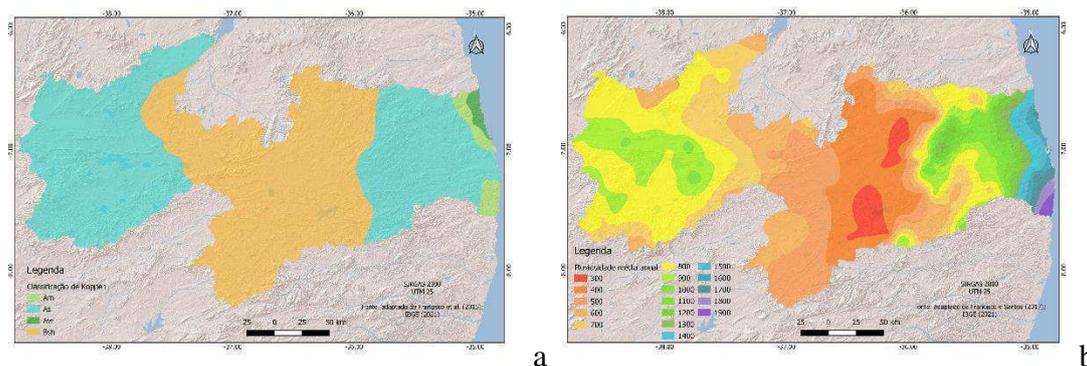


Figura 2. (a) Classificação climática de Köppen; (b) Precipitação média anual.

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2015); Francisco e Santos (2017); IBGE (2021); ESRI (2022).

Conforme Francisco et al. (2015), o Estado da Paraíba apresenta, de acordo com a classificação climática de Köppen, quatro tipos diferentes de clima. 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 (Figura 2a).

As classes predominantes de solos 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 pela região do sertão e nos cariris, os Vertissolos na região de Souza, e os Argissolos Vermelho Amarelo e os Neossolos Quartzarênicos no litoral do Estado (Francisco, 2010) (Figura 3).

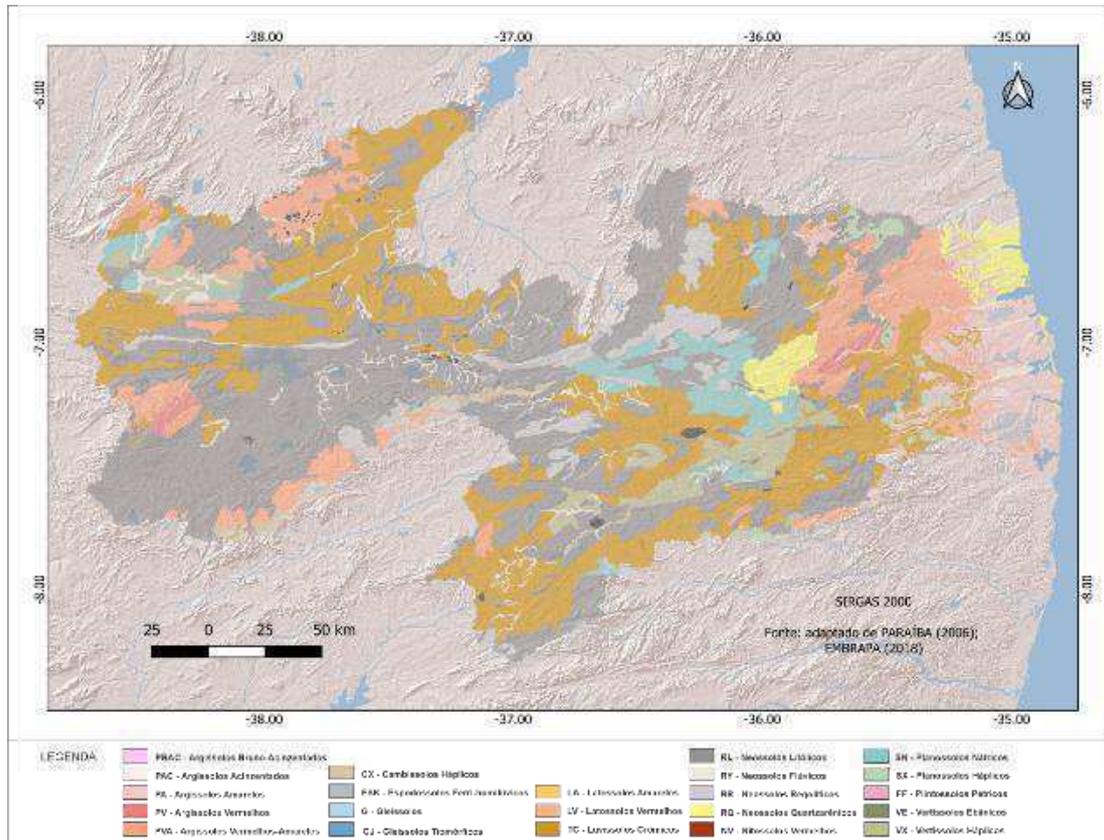


Figura 3. Solos do Estado da Paraíba.

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

Para elaboração deste trabalho foi adquirido um mosaico digital de elevação (INPE, 2011) e utilizado o software QGIS® 3.28 foi realizado o recorte dos limites utilizando arquivo *shape* do IBGE (2021) e após elaborado a declividade utilizando o *plugin raster* e classificado conforme a Tabela 1.

O fator declividade (S) foi calculado pela equação ajustada por Bertoni e Lombardi Neto (1990) representada pela Equação 1.

$$LS = 0,00984 L^{0,63} \times S^{1,18} \text{ (Eq.1)}$$

Onde: o comprimento de rampa (L) foi considerado igual à medida padrão de 25 metros.

Tabela 1. Parâmetros para classificação e estimativa

Classes de Risco	Erosividade Fator R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Erodibilidade Fator K (Mg mm MJ ⁻¹ ha ⁻¹)	Declividade Fator S	PNE (R x K x S) (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	LTP (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	GVES (PNE/LTP)
Muito Baixa	< 2.000	< 0,0145	< 0,273	< 5	0 - 3	0 - 10
Baixa	2.000 – 4.000	0,0145 - 0,0235	< 0,619	5 - 50	3 - 6	10 - 20
Média	4.000 – 6.000	0,0235 - 0,0280	< 1,403	50 - 250	6 - 9	20 - 50
Alta	6.000 – 8.000	0,0280 - 0,0325	< 2,564	250 - 800	9 - 12	50 - 100
Muito Alta	> 8.000	> 0,0325	> 2,564	> 800	> 12	> 100

Fonte: adaptado de Chaves et al. (2004; 2021); Francisco et al. (2013; 2022); Francisco e Chaves (2017); Francisco e Santos (2007).

A erodibilidade dos solos (K) 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 criada uma planilha no Excel® 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 metodologia proposta por Chaves et al. (2004).

Na metodologia de Chaves et al. (2004) 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 e classificados utilizando o software QGIS® conforme a Tabela 1 expressos em megagrama hora por megajoule milímetro.

Para a elaboração do mapa de erosividade da chuva (R) utilizou-se a metodologia de Chaves et al. (2021), com registros pluviométricos de 125 postos do período 1940 a 1994 (SUDENE), em que para a maioria dos postos foram utilizadas séries contínuas de 30 anos de registro diário de precipitação. Utilizando as equações da Tabela 2, representativas de regiões climaticamente homogêneas do Estado, foi convertido os valores da precipitação diária (P) em valores de erosividade (EI₃₀) para a área de estudo.

Tabela 2. Equações representativas de diferentes zonas climáticas da Paraíba

Região	Tipo de Clima	Período	Equação adotada	Referência
Litoral e Mata	Clima As'	-	$EI_{30} = 0,8522 P^{1,461}$ ($r^2 = 0,743$)	Maia Neto (1996)
Cariri e Curimataú	Clima Bsh	-	$EI_{30} = 0,382 P^{1,791}$ ($r^2 = 0,730$)	Leite Júnior (1998)
Zona do Sertão	Clima Aw'	-	$EI_{30} = 0,327 P^{1,860}$ ($r^2 = 0,750$)	Coelho (1994)
Zona do Brejo	Clima As'	Quente	$EI_{30} = 0,2629 P^{1,907}$ ($r^2 = 0,780$)	Silva (1996)
		Frio	$EI_{30} = 0,2177 P^{1,760}$ ($r^2 = 0,740$)	

Fonte: Chaves et al. (2021).

Utilizando o SURFER® 11 Trial foram espacializados por interpolação por krigagem e após importado ao QGIS® 3.28 onde foi gerado o mapa anual de erosividade de acordo com as classes determinadas por Lombardi Neto e Mondenhauer (1992) e descritas na Tabela 1.

Para a elaboração do mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE), foi estimado pelo produto dos parâmetros da Equação 2 conforme Francisco e Chaves (2017). Para os cálculos foi utilizada uma planilha eletrônica e para a modelagem a linguagem de programação QGIS® 3.28 conforme a Tabela 1.

Erosividade da chuva (R) x Erodibilidade do solo (K) x Declividade (S) (Eq.2)

Para a elaboração do mapa Limite de Tolerância de Perda (LTP) foi criada uma planilha no Excel® em que cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos de BRASIL (1972) e PARAÍBA (1978), teve calculado pelo método de Smith e Stamey (1964), que preconiza uma taxa média anual de perdas (LTP) determinada pela razão entre a profundidade do solo, em milímetros

(h), e o período de tempo de desgaste de 1.000 anos (Equação 3).

$$LTP = H \cdot r \cdot d \cdot 1000^{-1} \text{ (Eq.3)}$$

Sendo: H, profundidade efetiva limitada a 1 metro; r, o gradiente textural entre horizontes B e A, que se menor de 1,5, r igual a 1,0; entre 1,5 e 2,5, r igual a 0,75 e se maior que 2,5, r igual a 0,5; e d, a densidade do solo, estimada pela relação com o C orgânico ($DS = 1,660 - 0,318 (\%COT) 0,5$ ($1,36 \text{ g/cm}^3$) segundo Benites et al. (2007).

Utilizando-se o software QGIS® 3.28 foi importado arquivo digital em formato *shape* dos solos da área de estudo na escala de 1:200.000 (PARAÍBA, 2006), representando a área de estudo e a ocorrência e distribuição das classes de solos predominantes no Estado. Após utilizando a tabela de atributos os polígonos dos solos foram classificados com a estimativa obtida do cálculo do Limite de Tolerância de Perda conforme Francisco e Chaves (2017) (Tabela 1).

O Grau de Vulnerabilidade à Erosão dos Solos (GVES) representa a relação entre PNE/LTP. O modelo proposto é baseado na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS),

Wischmeier e Smith (1978), ordenado segundo dados da Tabela 1. Para os cálculos e elaboração do mapa foi utilizada a calculadora *raster* e o *plugin r.report* do QGIS® para o cálculo da área.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022. Para avaliação foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 4).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.4)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e

ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987) e Mann-Kendall (1967; 1945).

3 Resultados e discussão

Observa-se que a declividade da área de estudo (S) (Figura 3a), apresenta-se em sua maioria na classe muito baixa de declividade em 44,81% em diversos tipos de solos. A classe baixa apresenta-se em 22,74% seguida pela classe média em 17,36%; e pelas classes alta e muito alta em 15,1% (Tabela 4).

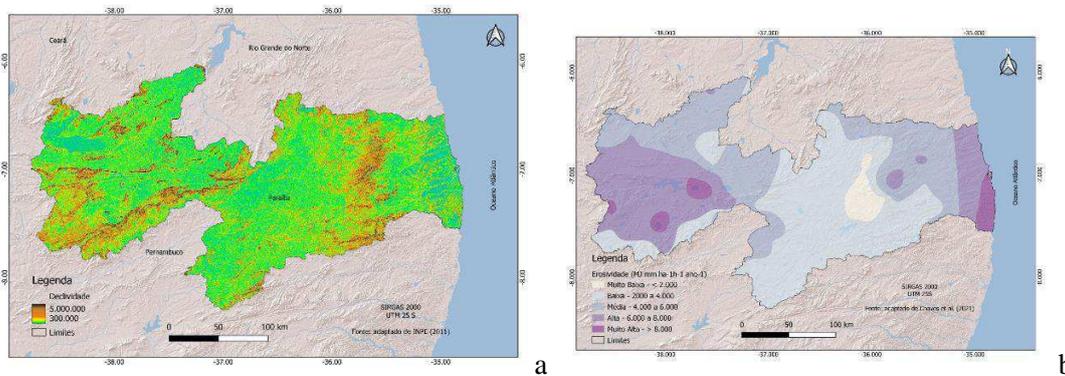


Figura 3. (a) Declividade; (b) Erosividade média anual.

Fonte: adaptado de INPE (2011); Chaves et al. (2021); IBGE (2021); ESRI (2022).

Tabela 4. Áreas das classes dos fatores e vulnerabilidade

Classes	Fator R		Fator K		Fator S		PNE		LTP		GVES (PNE/LTP)	
	(km ²)	(%)										
M. Baixa	1.633,38	2,89	1.531,31	2,71	25.301,35	44,81	8,46	0,01	20.339,83	36,02	11.706,49	20,73
Baixa	21.906,02	38,79	11.500,88	20,37	12.837,95	22,74	10.289,36	18,22	18.543,17	32,84	10.365,13	18,36
Média	17.467,69	30,93	10.709,90	18,97	9.802,82	17,36	33.672,80	59,63	5.136,35	9,1	15.747,42	27,89
Alta	13.559,43	24,01	15.204,37	26,93	4.502,26	7,97	12.430,47	22,01	5.484,36	9,71	9.072,16	16,07
M. Alta	1.900,72	3,37	17.520,77	31,03	4.022,86	7,13	66,16	0,12	6.963,53	12,33	9.576,04	16,96
Total	56.467,24	100										

No mapa de erosividade média anual (R) (Figura 3b), a classe baixa localiza-se sob o Planalto da Borborema, que apresenta mais baixa precipitação. A classe baixa localiza-se ao leste com precipitação próxima aos 900 mm.ano⁻¹. A classe média ocorre na região do Sertão, com precipitação média anual acima de 700mm. A classe média apresenta-se no Agreste Acaatingado em menor proporção seguindo a faixa Litorânea. A classe alta distribui-se em pequenas áreas na zona central do Sertão, região com chuvas de verão, e ocorre também ao leste do Estado na faixa litorânea onde ocorre maiores precipitações. A classe muito alta ocorre na região litorânea sul do

Estado em núcleos costeiros da Zona da Mata, com precipitação anual acima de 2.000mm.

No mapa de erodibilidade (K) (Figura 5), observa-se que a classe muito baixa se apresenta em 2,71% da área com ocorrência sob Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico e em Gleissolo Tiomórfico Órtico sálico. A classe baixa com representação em 20,37% sob Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos; Cambissolos Háplicos e Latossolos Amarelos.

A classe média em 18,97% com maior diversidade de classes de solos sob Argissolos Vermelho-Amarelos, Espodossolos Ferri-

humilúvicos, Plintossolos Argilúvicos; Neossolos Regolíticos e Vertissolos Ebânicos; Neossolos Quartzarênicos; Vertissolos Háplicos e por Luvisolos Crômicos. A classe alta ocorre de forma difusa em 26,93%, predominantemente os Luvisolos Crômicos, Planossolos e Cambissolos. A classe muito alta em 31,03% representados pelo Luvisolos Crômicos, Planossolos Háplicos e Planossolos Nátricos e pelos Neossolos Litólicos e Regolíticos.

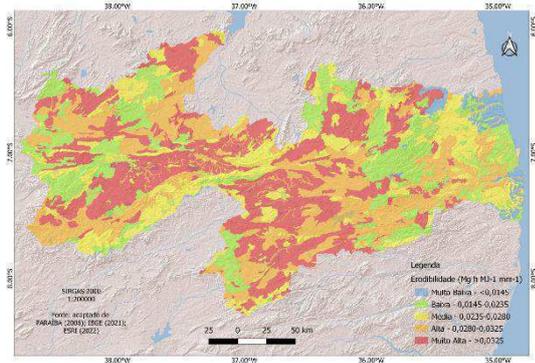
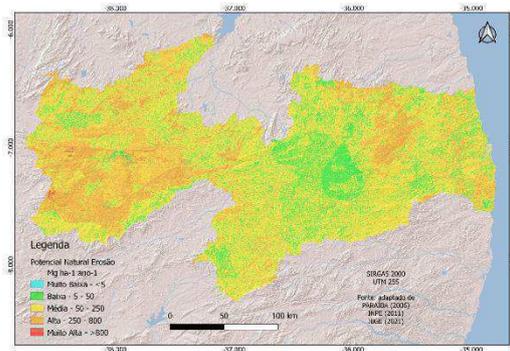


Figura 4. Erodibilidade dos solos.
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

No mapa de potencial natural de erosão (PNE) (Figura 5a) observa-se que a classe muito baixa ocorre em 8,46 km² da área em baixa declividade, com solos de baixa erodibilidade com ocorrência de baixa erosividade causada pela



chuva e estão associadas ao Planossolo Nátrico Órtico típico.

A classe baixa ocorre em 18,22% das terras localizada sob o Planalto da Borborema com relevo suave ondulado, com erodibilidade e erosividade baixa.

A classe média ocorre em 59,63% da área distribuída por todo Estado sob os Neossolos, Luvisolos e Argissolos com média erodibilidade e declividade plana à suave ondulada e pela média erosividade.

A classe alta ocorre em 22,1% da área localizadas no Litoral em áreas de menor declividade influenciado pela maior pluviosidade e consequentemente maior erosividade sob solos entre a classe baixa à média erodibilidade em predominantemente sob os Argissolos Vermelhos Amarelos e sob os Neossolos Flúvicos em toda a faixa litorânea.

Na região do Brejo, áreas com maior elevação e sob influência de ocorrência de maior pluviosidade sob Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Regolíticos, e em Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos e Planossolos Nátricos. No Sertão e Baixo Sertão sob os Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos em relevo ondulado, e no terço superior do Sertão em relevo forte ondulado.

Amorim et al. (2010) afirmam que de maneira geral, os modelos preditivos de erosão são mais eficientes em apontar as áreas com elevadas perdas de solo, uma vez que nessas condições os erros associados aos métodos são menores.

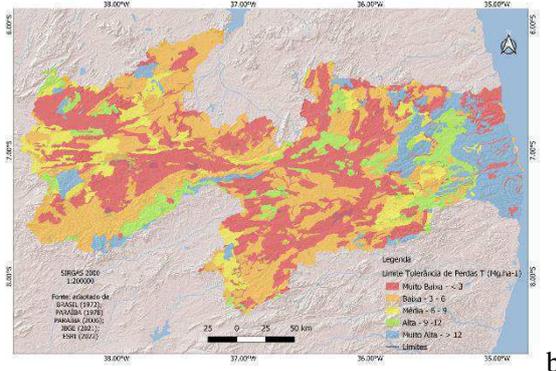


Figura 5. (a) Potencial Natural de Erosão; (b) Limite de Tolerância de Perda.
Fonte: adaptado de Paraíba (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

No mapa do Limite de Tolerância de Perda de solos (LTP) (Figura 5b) a classe muito alta com representação em 12,33% da área, distribuída sob os Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelhos Amarelos e sob os Latossolos Amarelos; sob os Espodossolos no Litoral em região de mangue e sob os Cambissolos no Sertão com média da relação textural entre B e A de 1,38 e profundidade efetiva média de 1,56 m.

A classe alta apresenta-se distribuída em 9,71% em Argissolos Vermelhos no Agreste Acaatingado; na região do Sertão sob os Argissolos Amarelos. A classe média ocorre em 9,1% do total, sob os dos Luvisolos Crômicos de ocorrência expressiva no Estado da Paraíba, principalmente na zona semi-árida, e constituem, segundo Resende et al. (1988), um sistema tipicamente mais suscetível à erosão hídrica,

apesar do relevo relativamente suave em que ocorrem.

A classe baixa ocorre em 32,84% em sua maioria na região semiárida sob Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos. A classe muito baixa se distribui por toda a área sob os diversos climas e relevo em 36,02% representados pelos Planossolos Háplicos, Vertissolos Háplicos, Vertissolos Ebânicos e os Neossolos Litólicos em toda a região semiárida como também os Neossolos Flúvicos localizados nas áreas de drenagem dos rios.

Observa-se no mapa do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos (GVES) (Figura 6), que as áreas das classes muito alta e alta, representam 33,03% (18.648,20 km²) da área (Tabela 4), e estão associadas à combinação de solos com LTP muito baixo e PNE alto, devido à declividade alta e muito alta do terreno (S) e maior erodibilidade dos solos (K), em que estes ocorrem, sob os Neossolos distribuídos em toda a região semiárida. Quanto aos Neossolos localizados no Sertão, estes são influenciados pela maior erosividade (R) na região.

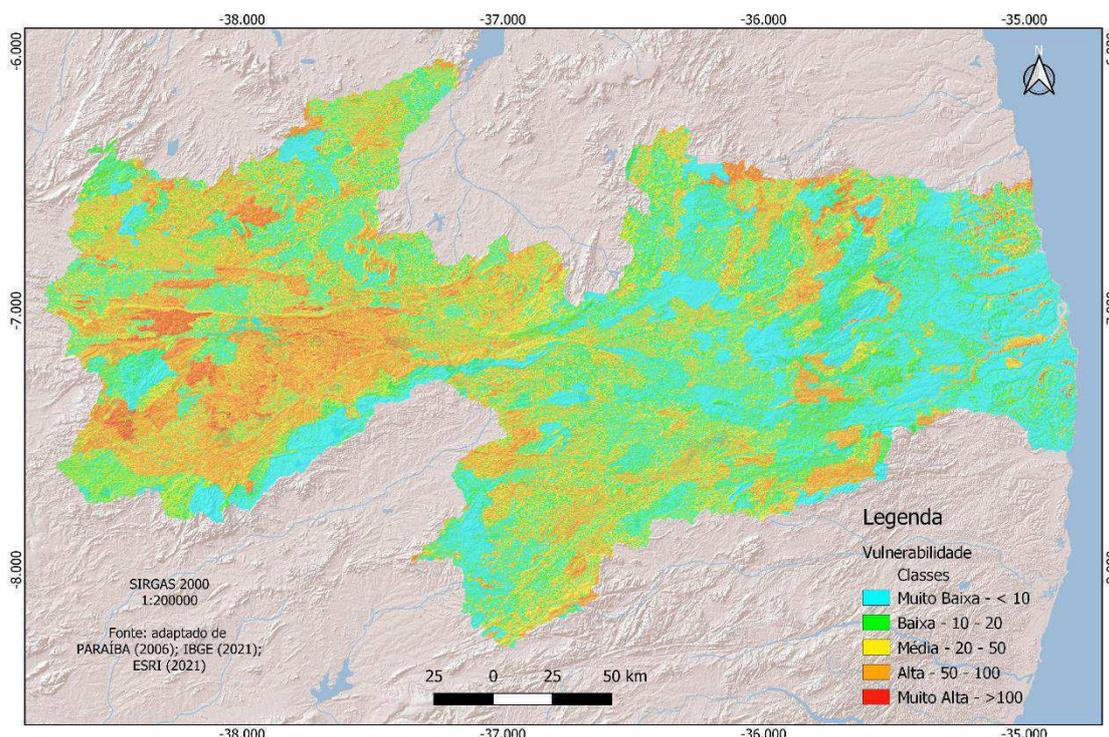


Figura 6. Grau de vulnerabilidade à erosão dos solos (GVES) do Estado da Paraíba.
Fonte: adaptado de Paraíba (2006); IBGE (2021); ESRI (2022).

De acordo com Jacomine (2009), os Neossolos são constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico.

Calvante et al. (2005) afirmam que, estes solos não apresentam as menores condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochiosidade e reduzida profundidade dos solos, além da deficiência de água que só permite a presença de culturas resistentes à estiagem. Só é

possível a exploração destes solos pelos sistemas primitivos de agricultura já existentes.

Francisco e Santos (2017) aplicando a mesma metodologia na bacia do Rio Taperoá observaram que áreas com grau alto estavam associadas à combinação de solos com LTP muito baixo e PNE médio, enquanto, as áreas de grau muito alto estavam associadas à declividade alta e muito alta do terreno.

Na região do Alto Paraíba Francisco et al. (2019a; 2019b) observaram que a vulnerabilidade foi muito alta e alta devido ao baixo LTP dos solos normalmente mais rasos e declivosos e aos Luvisolos Crômicos quando rasos, declivosos e abruptos quando apresentam caráter vértico.

Estes solos também apresentaram alta susceptibilidade à erosão hídrica (K), o que faz elevar o potencial natural de erosão (PNE), mesmo com o baixo potencial erosivo das chuvas (R) e do relevo plano a suave ondulado das terras da bacia (S). Estes resultados são concordantes com as observações dos trabalhos realizados na região (Chaves et al., 2004; 2015; Francisco et al., 2017) e com o que se pode constatar do quadro natural atual da degradação da região semiárida do Cariri Paraibano.

A classe média do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos se apresenta em 27,89% (15.747,42 km²) da área com valores médios do PNE e com LTP baixo a muito baixo. O PNE é influenciado pela média declividade (S) e erosividade (R) e erodibilidade média a alta (K), e sob a influência do LTP da classe baixa a muito baixa. Esta classe de vulnerabilidade ocorre em sua maioria sob os Argissolos e os Luvisolos em forma difusa por toda a área.

De acordo com Crepani et al. (2001), os solos considerados com grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável abrangem as classes dos Argissolos, Planossolos e Luvisolos.

Conforme Jacomine (2009), os Argissolos são constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico. Já os Luvisolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. Apresentam diversos horizontes superficiais, exceto A chernozêmico e horizonte hístico.

Em que estes, de acordo com Cavalcante et al. (2005), a mecanização agrícola é severamente limitada não só pelo relevo, que varia de ondulado a forte ondulado, como também pela pequena espessura destes solos e grande susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como: controle da erosão, considerando-se também que a limitação pela falta d'água é forte. Sua utilização deve ser dirigida no sentido da pecuária e os trechos mais acidentados da área devem ser mantidos com vegetação natural.

Os Argissolos localizados na região semiárida, tais como Patos e Santa Terezinha, de clima semiárido quente onde se verificam índices elevados de evaporação e baixas e irregulares

precipitações pluviométricas. Em face deste aspecto, o uso agrícola destes solos é fortemente limitado pela falta d'água. Além disso, são muito susceptíveis à erosão e apresentam pedregosidade superficial e muitas vezes dentro do horizonte A1, que dificultam a mecanização. São solos que, de um modo geral, apresentam fertilidade natural alta, porém, os teores de matéria orgânica e os valores de fósforo são predominantemente baixos. Culturas muito resistentes a um longo período seco, como o algodão, devem ser feitas racionalmente. Sugere-se os cultivos de subsistência (milho, feijão e fava) procurando selecionar variedades de ciclo mais curto.

Na região do agreste e litoral os Argissolos são cultivados com cana-de-açúcar, isto se verifica nas zonas canavieiras próximas dos municípios de Sapé e Juripiranga. Outras áreas são cultivadas com fruticultura e culturas de subsistência. Práticas agrícolas racionais como adubações, medidas conservacionistas e irrigação, aumentam consideravelmente a produtividade das áreas destes.

Matos (2015), determinando a vulnerabilidade à erosão hídrica com base na EUPS na bacia Alto Paraopeba-MG, observou que a classe média se encontra na região de ocorrência de Cambissolos, que apresenta maior erodibilidade entre os existentes na área de estudo. Lago et al. (2009) estimando a vulnerabilidade natural a erosão da Região do Baixo Parnaíba Maranhense, localizada no litoral, observaram que as áreas de vulnerabilidade média em 48,98% estão localizadas principalmente sobre os solos do tipo Plintossolo, Podzólico Vermelho-Amarelo e Planossolos.

Quanto as classes baixas à muito baixa do grau de vulnerabilidade à erosão dos solos, estas apresentam-se em 22.071,62 km² (39,09%), predominantemente em áreas com declividade (S) baixa em áreas mais planas, com erodibilidade (K) entre as classes baixa a média em região de menor pluviosidade e conseqüentemente com erosividade baixa (R). Estes fatores interferem nos resultados devido os valores de LTP apresentarem-se nas classes alta e muito alta, resultando em menor grau de vulnerabilidade. Estes se localizam nos contrafortes de Princesa divisa com Pernambuco, sob o Planalto da Borborema e no Agreste e Litoral. Estas áreas ocorrem em sua maioria sob os Argissolos, Latossolos e Planossolos.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de energias

transformações do material constitutivo. São virtualmente desprovidos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e tem capacidade de troca de cátions da fração argila, inferior a 17 cmol/kg de argila sem correção para carbono. Já os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (Jacomine, 2009).

Os Planossolos Háplicos são usados em grande parte com pecuária, aproveitando-se para isso os campos antrópicos, que são utilizados para pastagens. Já os Nátricos, o seu aproveitamento dos solos da região é feito com pecuária extensiva, usando-se para isto a própria vegetação natural. As limitações pela falta d'água são muito fortes. Também constituem importantes limitações ao uso agrícola destes solos, os elevados teores em sódio trocável e más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt. São solos inaptos para agricultura (Cavalcante et al., 2005).

Para as classes muito baixa e baixa, Francisco et al. (2013a), afirmam que o principal fator contribuinte é a classe muito baixa e baixa de declividade das terras. Sales (2015) avaliando o Potencial de erosão no núcleo de desertificação de

Irauçuba, Ceará, estimada por meio dos parâmetros da EUPS, verificou que apresenta 81,7% das terras apresentam-se nas classes muito baixa e baixa devido os terrenos serem planos e haver pouca ocorrência de chuvas.

Gonçalves e Nogueira (2007), avaliando a predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiagu-CE, identificaram em geral baixa ou muito baixa, isto devido estar localizada na depressão Sertaneja, de baixa declividade, com solos menos erodíveis, como o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura que varia de média a argilosa. Resultado similar a este trabalho.

Lima et al. (2021) observaram que, a fisionomia dos ambientes presentes no Estado do Ceará, apresentam grande diversidade, com alta vulnerabilidade aos processos erosivos, e outros com riscos mínimos.

Em comparação com a análise que poderia ser feita pelo modelo da Equação Universal de Perdas de Solo (Wischmeier & Smith, 1978) este trabalho não se considerou os fatores de cobertura do solo e de práticas conservacionistas. Outro aspecto não considerado nesta modelagem é o fator tempo.

Na Tabela 5, da análise estatística descritiva das variáveis, observam-se os valores mínimos e máximos encontradas na variável PNE entre 8 e 33.672 com uma mediana em 10.289. A variável Fator R é a que apresenta a maior mediana entre as demais, seguida da variável Fator K.

Tabela 5. Análise descritiva dos parâmetros

Variável	Min.	1.º Quart.	Median a	3.º Quart.	Max.	Alcance	Desvio Padrão	Curto e	Erro Padrão
Fator R	1.63 3	1.901	13.559	17.468	21.90 6	20.272	-0,07	-2,14	4.107,45
Fator K	1.53 1	10.710	11.501	15.204	17.52 1	15.989	-0,55	-1,46	2.736,4
Fator S	4.02 3	4.502	9.803	12.838	25.30 1	21.278	0,63	-1,45	3.871,76
PNE	8	66	10.289	12.430	33.67 2	33.664	0,64	-1,42	6.150,36
LTP	5.13 6	5.484	6.964	18.543	20.34 0	15.203	0,29	-2,22	3.352,6
GVES	9.07 2	9.576	10.365	11.706	15.74 7	6.675	0,74	-1,35	1.199,04

O desvio padrão apresenta menores valores para a variável LTP e os maiores desvios apresentam-se na variável GVES. A média apresenta valores não muito próximos para ambos as variáveis, o que levar a deduzir que não se trata de uma distribuição simétrica.

Pelos dados estatísticos, observa-se pela Figura 7 que as menores variações de amplitude se apresentam nas variáveis Fator R e LTP. Com relação à variabilidade entre classes observadas por meio das caixas interquartílicas do gráfico boxplot para cada variável, observa-se que o Fator K apresenta menor variabilidade.

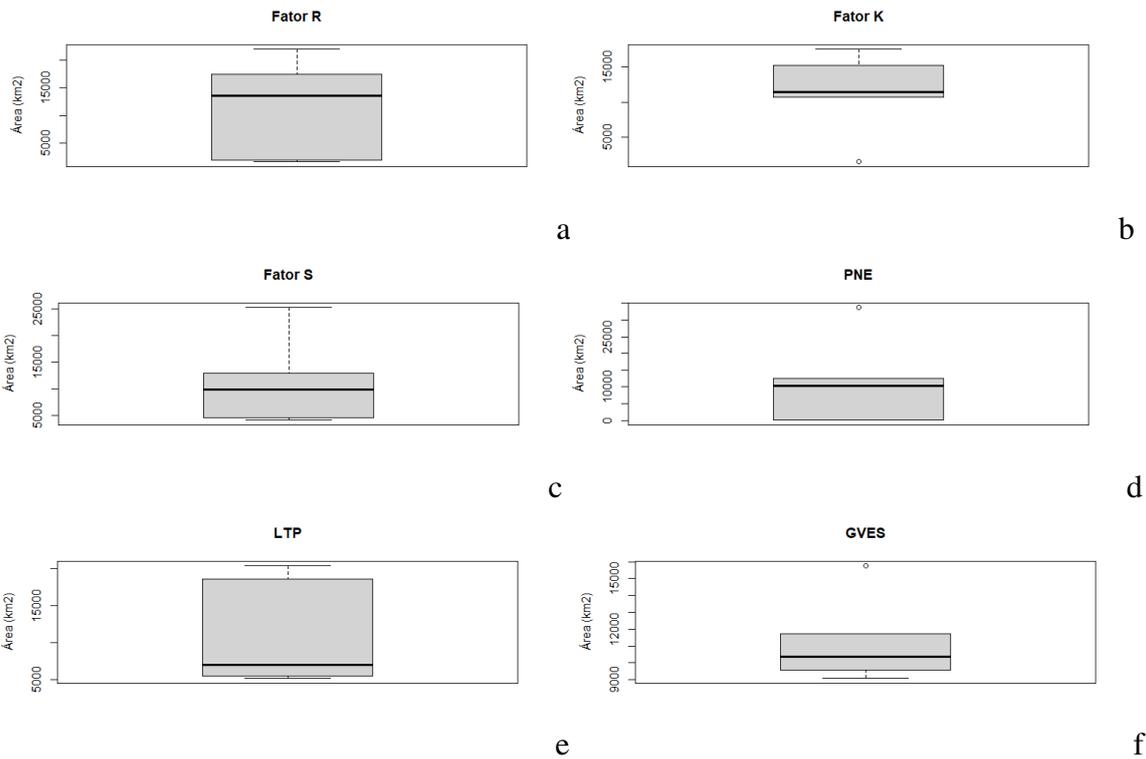


Figura 7. Boxplot das variáveis. a) Fator R, b) Fator K, c) Fator S, d) PNE, e) LTP, f) GVES.

No Teste de normalidade observa-se que a distribuição apresenta irregularidades nas variáveis

Fator S, PNE e GVES. Observa-se que a maior regularidade apresenta no Fator R.

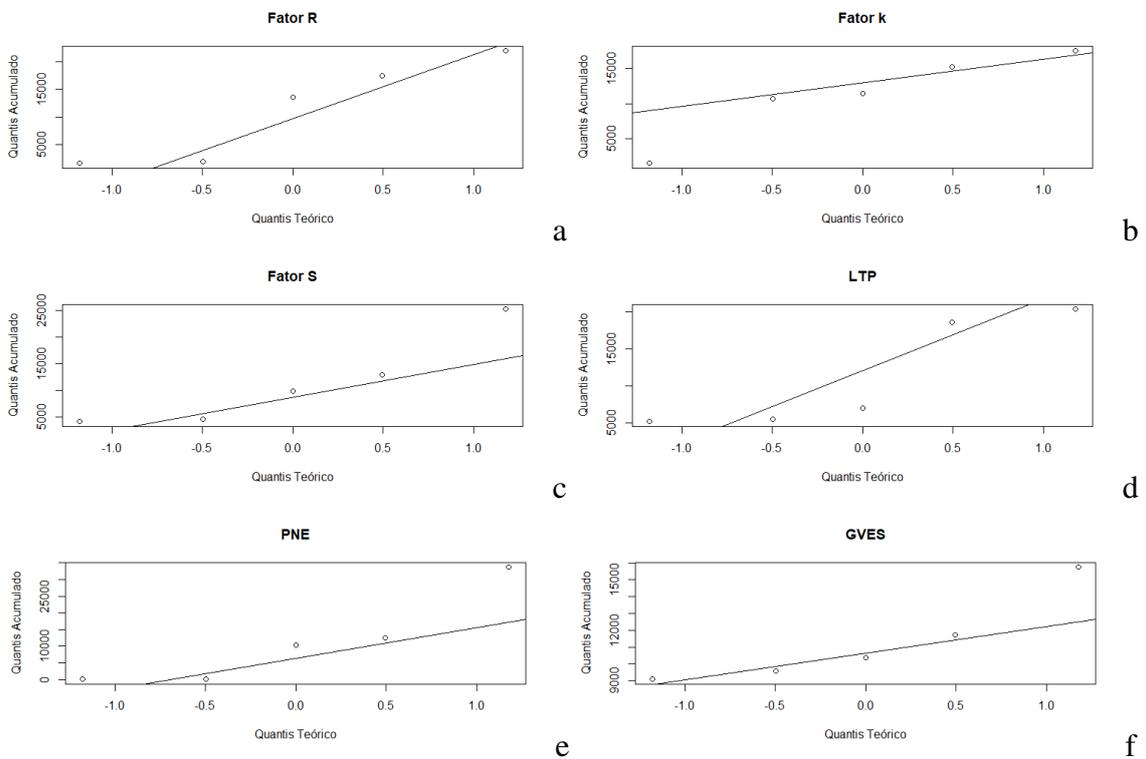


Figura 8. Boxplot das variáveis. a) Fator R, b) Fator K, c) Fator S, d) PNE, e) LTP, f) GVES.

Na Tabela 6 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Jarque-Bera são semelhantes

entre si, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Tabela 6. Testes de normalidade

Variável/Teste	Shapiro-Wilk		Lilliefors		Jarque Bera	
	W	p-valor	D	p-valor	X-quadrado	p-valor
Fator R	0,87995	0,3091	0,24677	0,4041	0,57874	0,7487
Fator K	0,91595	0,5042	0,26201	0,3117	0,56312	0,7546
Fator S	0,87043	0,2682	0,22920	0,5243	0,72173	0,6971
PNE	0,85002	0,1946	0,26705	0,2842	0,73008	0,6942
LTP	0,78177	0,0570	0,31823	0,0979	0,79274	0,6728
GVES	0,85244	0,2023	0,23878	0,4573	0,93455	0,6267

Para todas as variáveis os testes de Shapiro-Wilk e Jarque-Bera são semelhantes entre si, e o teste Lilliefors apresenta-se com menores valores, mas proporcional entre os demais testes. O teste de Jarque-Bera apresenta diferença entre todas as variáveis e os demais testes.

4 Conclusão

O uso de técnicas do geoprocessamento e krigagem permitiu estimar e mapear o grau de vulnerabilidade à erosão dos solos.

O Fator K mesmo se apresentando na classe muita alta observada pelos Fatores R e S levando o LTP o Grau de Vulnerabilidade a Erosão dos Solos (GVES) apresentar-se em boa proporção na classe média suavizando o resultado.

Apesar de suas limitações, as informações geradas neste estudo do conhecimento da variabilidade espacial da vulnerabilidade poderão ser utilizadas em tomadas de decisão e servir de suporte para o planejamento conservacionista podendo com isso desenvolver estratégias de manejo e conservação do solo e da água.

A distribuição apresentou simétrica, a curtose indicou uma distribuição platicúrtica, onde as maiores variações de amplitude e distribuição irregular apresentaram-se nas variáveis Fator K e LTP. A maior regularidade foi no Fator R em que o teste de Shapiro-Wilk apresentou a menor diferença entre si. Pôde-se afirmar que existe a similaridade e concordância entre os testes utilizados neste trabalho e levou a aceitar a normalidade dos dados.

5 Agradecimentos

À Fapesq e ao CNPq.

6 Referências

- Amaral, B.S.D.; Dantas, J.S.; Silva, R.M.; Carvalho Neto, J.F. 2014. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7(4) 691-701.
- Amorim, R.S.S.; Silva, D.D.; Pruski, F.F.; Matos, A.T. 2010. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola* 30 1046-1049.
- Benites, V.M.; Machado, P.L.O.A.; Fidalgo, E.C.C.; Coelho, M.R.; Madari, B.E. 2007. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma* 139 90-97.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1999. *Conservação do solo*. 4.ed. São Paulo: Ícone.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. 1972. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- Carvalho, E.M.; Pinto, S.A.F.; Sepe, P.M.; Rosseti, L.A.F.G. 2010. 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: UFPE.
- Cavalcante, F. de S.; Dantas, J.S.; Santos, D.; Campos, M.C.C. 2005. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia* 4(8) 01-10.
- Chaves, I.B.; Francisco, P.R.M.; Macêdo, M.L.A. de. 2021. Precipitação e erosividade das chuvas do Estado da Paraíba. In: *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, 8, Goiânia, 2021. Anais...Goiânia.
- Chaves, I.B.; Slack, D.C.; Guertin, D.P.; Lopes, V.L. 2004. 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, Santa Maria, 2004. Anais...SBCS, Santa Maria.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Chaves, L.H.G.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. 2013. Mapeamento da degradação das terras de caatinga. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Chaves, L.H.G.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. 2013. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de. 2010. Classificação das terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Piauí. Anais...Piauí: SBCS.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de. 2010. Classificação das terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o estado da Paraíba. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, Teresina. Anais...Teresina: SBCS.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de; Chaves, L.H.G. 2015. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. Revista Caatinga 28(1) 183-195.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de; Chaves, L.H.G. 2015. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. Revista Caatinga 28(1) 183-195.
- Chaves, I. de B.; Francisco, P.R.M.; Lima, E.R.V. de; Chaves, L.H.G. 2013. Mapeamento da vulnerabilidade à desertificação das terras da bacia do Taperoá-PB. In: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, 1, 2013, Areia. Anais...Areia.
- Coelho, E. A. C. 1994. Estimativa da erosividade da chuva a partir da pluviometria diária: métodos e amostragem. 72f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Solos). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Crepani, E.; Medeiros, J.D.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa, C.C.F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.
- Cunha, J.E.B.L.; Rufino, I.A.A.; Silva, B.B. Da; Chaves, I. de B. 2012. Dinâmica da cobertura vegetal para a bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16 (5) 539-548.
- Denardin, J.E. 1990. 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.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 359p.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: novembro de 2022.
- Francisco, P.R.M. 2010. 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.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B. 2017. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. Revista Educação Agrícola Superior 32(2) 37-50.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B. 2017. Modelo para estimativa da vulnerabilidade à desertificação. Revista Educação Agrícola Superior 32(2) 37-50.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Chaves, L.H.G.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. 2013a. Modelo de mapeamento da deterioração das terras semiáridas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, 2013, Fortaleza. Anais Fortaleza.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. Revista Educação Agrícola Superior 28(1) 30-35.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Moraes Neto, J.M. de; Lima, V.L.A. de; Barreto, H.T.S. 2019a. Erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do Alto Rio Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 6, 2019, Palmas. Anais...Palmas.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Moraes Neto, J.M. de; Lima, V.L.A. de; Barreto, H.T.S. 2019b. 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.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Oliveira, F.P. de; Santos, D.; Barreto, H.T.S. 2019. 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.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. *Climatologia do Estado da Paraíba*. 1ª ed. Campina Grande: EDUFPG, 75p.
- Francisco; P.R.M.; Chaves, I. de B.; Chaves, L.H.G.; Brandão, Z.N.; Lima, E.R.V. de; Silva, B.B. da. 2013. Mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6(2) 271-286.
- Francisco; P.R.M.; Santos, D.; Brito, T.P. de. 2022. 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* 8(1) 33-42.
- Gonçalves, F.C.A.; Nogueira, J.F. 2007. Elaboração do mapa de predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiaçu (CE) utilizando técnicas de geoprocessamento. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 8/9(1) 81-93.
- 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.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: novembro de 2022.
- Jacomine, P. K. T. 2009. A nova classificação Brasileira de solos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica* 5-6 161-179.
- Jarque, C.M.; Bera, A.K. 1987. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review* 55 163-172.
- Kazmierczak, M.L.; Seabra, F.B. 2007. Índice de susceptibilidade de degradação ambiental [ISDA] em áreas do cerrado paulista. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis.
- Lago, W.J.S.; Araújo, E.P. De; Teles, M.G.L. 2014. Vulnerabilidade natural à erosão na Região do Baixo Paraíba-MA. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14, 2009, Natal. Anais...Natal.
- Leite Junior, G.P. 1998. Análise da precipitação e da erosividade das chuvas de Patos-PB. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Lilliefors, H.W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318) 399-402.
- Lima, M.T.V.; Oliveira, C.W.; Moura-Fé, M.M. 2021. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14(5) 3156-3172.
- Lombardi Neto, F.; Bertoni, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônomo (Boletim Técnico, 27).
- Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. 1992. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia* 51 189-196.
- Maia Neto, F.F. 1999. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Maia Neto, F.F.; Chaves, I.B. 1997. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Matos, T.V. da S. 2015. Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE). 116f. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Novo, E.M.L. de M. 2008. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 308p.
- Oliveira, F.P.; Santos, D.; Silva, I.F.; Silva, M.L.N. 2008. Tolerância de perdas de solo por erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 8 (2) 60-71.
- Paraíba. Governo do Estado. 1978. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletronConsult Ltda., 448p.
- Paraíba. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. 2006. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 112p.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source

- Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Queiroz, K.B. de; Ribeiro, G. do N.; Francisco, P.R.M.; Silva, V.F.; Santos, D. 2021. 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* 7(3) 36-48.
- Ribeiro, M.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Galindo, I.C.L. 2009. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 6 413-459.
- Sales, M.C.L. 2015. Potencial de erosão das terras no núcleo de desertificação de Irauçuba estimada por meio dos parâmetros da EUPS. In: Oliveira, J.G.B.; Sales, M.C.L. *Monitoramento da desertificação em Irauçuba*. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, p.65-86.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4) 591–611.
- Stamey, W.L.; Smith, R.M. 1964. A conservation definition of erosion tolerance. *Soil Science* 97 183-186.
- Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. *Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*. UFPB, Campina Grande.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington D.C., USDA, 58p. (*Agriculture Handbook*, 537).