

VULNERABILIDADE POTENCIAL À EROÇÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FIGUEIREDO/CE¹

POTENTIAL VULNERABILITY TO EROSION IN SUB-BASIN OF THE FIGUEIREDO RIVER/CE

VULNERABILIDAD POTENCIAL A EROSIÓN EN SUBCUENCA DEL RIO FIGUEIREDO/CE

Francisco Sérgio de Almeida PINHEIRO²

sergiouece@yahoo.com.br

Fábio Perdigão VASCONCELOS³

fabioperdigao@gmail.com

RESUMO

A pesquisa se refere à determinação da vulnerabilidade potencial à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, localizada na porção oriental do Estado do Ceará. O estudo teve como base o método proposto por Crepani et al. (2001) referente à elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solo. As informações relativas à geologia, geomorfologia, intensidade pluviométrica e solo da sub-bacia em questão foram tratadas no software SPRING/INPE, com aplicação de álgebra de mapas. Foram identificadas três classes de vulnerabilidade à erosão, subdivididas em oito subclasses distribuídas ao longo das unidades morfopedológicas presentes na sub-bacia. Aproximadamente 65% da área da sub-bacia do rio Figueiredo foi classificada como moderadamente estável e apenas 35% como medianamente estável/vulnerável. A classe moderadamente vulnerável representou menos de 1% do total da sub-bacia. As condições de vulnerabilidade potencial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo apresentam-se deste modo em estado intergrade com tendência a estabilidade.

Palavras-chave: Vulnerabilidade à erosão. Sub-bacia hidrográfica. Semiárido.

ABSTRACT

This research refers to the determination of the potential vulnerability to erosion in the sub-basin of the Figueiredo river, located in the eastern portion of the Ceará State. The study was based on the method proposed by Crepani et al. (2001) for the preparation of the vulnerability to soil loss map. Information on the geology, geomorphology, rainfall intensity and soil of the sub-basin in question were treated in SPRING/INPE software with algebra application maps. Identified three classes

¹ Pesquisa financiada pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP

² Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará = UECE.

³ Professor do programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará – UECE.

of vulnerability to erosion, subdivided into eight subclasses distributed along the morphopedological units present in the sub-basin. Approximately 65% of the area of the sub-basin was classified as moderately stable and only 35% moderately stable/vulnerable. The moderately vulnerable class represented less than 1% of the sub-basin. The potential vulnerability conditions in the sub-basin of the Figueiredo river are presented this way in intergrade state with the stability trend.

Keywords: Vulnerability to erosion. Sub-basin. Semiarid.

RESUMEN

La investigación se refiere a la determinación del potencial vulnerabilidad a la erosión en la subcuenca del río Figueiredo , situada en la parte oriental del Estado de Ceará. El estudio se basó en el método propuesto por Crepani et al. (2001) para la preparación de la carta de la vulnerabilidad a la pérdida de suelo. Información sobre la geología, geomorfología , intensidad de la lluvia y suelo de la subcuenca en cuestión fueron tratados en software SPRING/INPE con aplicación de álgebra de mapas. Identificado tres clases de vulnerabilidad a la erosión , subdivididas en ocho subclasses distribuidos a lo largo de las unidades morphopedologicas presentes en la subcuenca . Aproximadamente el 65% del área de la subcuenca del río Figueiredo fue clasificada como moderadamente estable y sólo el 35% moderadamente estable / vulnerable. La clase moderadamente vulnerable representaba menos del 1% de la subcuenca. Las condiciones potenciales de vulnerabilidad en la subcuenca del río Figueiredo se presentan de esta manera, en el estado intergrado con la tendencia de estabilidad.

Palabras clave: La vulnerabilidad a la erosión. Subcuenca. Semiárido.

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos tem sido tema de discussão nos mais diversos setores da sociedade, desde o ambiente acadêmico à sociedade civil organizada. A perda de produtividade agrícola e pecuária em áreas cuja degradação se estabelece, além do desencadeamento de processos resistásicos da paisagem, suscitam estudos que possibilitem a determinação da potencialidade e da fragilidade dos ambientes. Nesse sentido, pesquisas de determinação da vulnerabilidade/estabilidade dos meios ecodinâmicos têm sido desenvolvidas cada vez mais frequentemente. Trabalhos abordando a vulnerabilidade à erosão, como os de Menezes et al. (2007); Santos e Sobreira (2008); Mesquita et al. (2010) e Mota a Valadares (2011), exemplificam esta realidade.

Em zonas semiáridas e subúmidas secas a discussão acerca da vulnerabilidade dos meios ecodinâmicos se torna mais aguda, pois nestes ambientes o risco de instalação de processo de desertificação se faz iminente.

No Nordeste brasileiro e mais especificamente no Estado do Ceará, a degradação dos solos tem se mostrado como uma barreira ao desenvolvimento socioeconômico, prejudicando a produtividade do setor primário, notadamente nas pequenas propriedades, e contribuindo para o êxodo rural.

A região do médio Jaguaribe se apresenta como uma das mais extensas áreas de degradação dos solos e de susceptibilidade à desertificação no Estado do Ceará. Estudos realizados por FUNCEME (2009) na microrregião do médio Jaguaribe e parte das microrregiões do baixo Jaguaribe e serra do Pereiro concluíram que 99.262ha de um total de 1.062.038ha encontram-se degradados e susceptíveis aos processos de desertificação.

Na busca de contribuir para o entendimento da dinâmica dos ambientes semiáridos, suas potencialidades e principalmente suas fragilidades, foi realizado o estudo da vulnerabilidade à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.

Localizada na porção oriental do Estado do Ceará, a sub-bacia hidrográfica em questão faz parte da bacia hidrográfica do Jaguaribe. Possui uma área total de 2.085,32 km² (CEARÁ, 2012) e encontra-se posicionada à direita do rio Jaguaribe, no seu médio curso, compondo um de seus principais tributários.

Sua área compreende parte dos municípios de Alto Santo, Iracema, São João do Jaguaribe e Pereiro e a totalidade dos municípios de Potiretama e Ererê (Figura 01).

O estudo objetivou identificar os níveis de vulnerabilidade potencial à erosão com o intuito de gerar subsídios a posterior determinação da vulnerabilidade efetiva e aos estudos de planejamento e ordenamento do território.

Esta pesquisa se constituiu em uma etapa do relatório do autor em seu doutoramento em Geografia, cujo tema é a vulnerabilidade à erosão e a morfodinâmica na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.

2. MATERIAL E MÉTODO

Na busca de determinar a vulnerabilidade potencial⁴ à erosão na sub-bacia do rio Figueiredo, foi aplicado o método proposto por Crepani et al. (2001) que tem como pressuposto teórico o conceito de ecodinâmica formulado por Tricart (1977).

Conforme preceitua Tricart (op. cit.) os meios ecodinâmicos podem ser classificados, conforme o nível de estabilidade que apresentam, em três classes: ambientes estáveis, intergrades e fortemente instáveis. A estabilidade de um meio reflete o balanço morfogênese/pedogênese apresentado pelo mesmo. Em ambientes estáveis os processos inerentes ao desenvolvimento dos solos são mais atuantes, prevalecendo a componente vertical representada pela infiltração da água e translocação de substâncias orgânicas e minerais. Já em ambientes fortemente instáveis a componente horizontal, representada pelo escoamento superficial da água, prepondera, refletindo maior intensidade da morfogênese e de evolução das vertentes. Há casos onde o balanço morfopedogenético se mostra tênue, refletindo um equilíbrio que pode tender hora a morfogênese, hora a pedogênese, sendo difícil identificar qual prevalece. Nestes casos configuram-se os ambientes intergrades.

A determinação da vulnerabilidade potencial à erosão foi calculada com base em quatro variáveis temáticas, geologia, geomorfologia, clima⁵ e solo. Estas variáveis fazem parte da proposta de Crepani et al. (2001) para a elaboração da carta de vulnerabilidade natural à perda de solo, que inclui ainda, a variável vegetação.

Cada variável temática teve sua vulnerabilidade determinada com base nos valores de referência propostos por Crepani et al. (op. cit.). Para tanto foi realizada uma caracterização da sub-bacia acerca dos seus aspectos geológicos, geomorfológicos, de intensidade pluviométrica e pedológica. As informações referentes aos temas geologia, geomorfologia e solos foram extraídas do relatório do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981) folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal bem

⁴ O termo indica a vulnerabilidade com base nos aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e pedológicos do meio, sem considerar a interferência das formas de uso e da cobertura vegetal.

⁵ O clima é abordado no aspecto da intensidade pluviométrica, calculada com base em série histórica de pluviometria.

como do mapeamento correspondente. As informações sobre os solos foram complementadas com base no mapa de solos do Estado do Ceará (CEARÁ, 1988). No caso da variável climática, foram utilizadas informações referentes às médias pluviométricas com base em série histórica (1989 a 2011), obtida no banco de dados da FUNCEME (2013).

A partir das informações obtidas no levantamento bibliográfico e cartográfico foram elaboradas as bases temáticas que compuseram os referenciais espaciais para a construção da carta de vulnerabilidade potencial à erosão.

Objetivando melhorar a qualidade das informações contidas nos mapeamentos originais, foi aplicada a técnica de geração automatizada de vetores a partir de imagens SRTM refinadas, conforme proposição de Crepani e Medeiros (2007).

Como unidade espacial básica de referência para a delimitação da vulnerabilidade à erosão utilizou-se a unidade morfopedológica. A escolha se justifica por ser a morfopedologia o resultado da interação sistêmica entre a geologia, a geomorfologia e o solo, influenciada também pela ação do clima. Assim, constitui-se a unidade morfopedológica um sistema onde o conceito de vulnerabilidade potencial se estabelece de forma eficiente.

No processamento das informações para a elaboração da carta de vulnerabilidade potencial à erosão, foi realizada a álgebra de mapas com uso de programação em linguagem espacial de geoprocessamento algébrico – LEGAL disponível no software SPRING versão 5.2.5 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES FÍSICO-NATUARIAIS E RESPECTIVOS VALORES DE VULNERABILIDADE

3.1. Geologia

A estrutura geológica da sub-bacia do rio Figueiredo apresenta uma considerável variedade de litologias, destacando-se os migmatitos e granitos. Estas litologias organizam-se conforme BRASIL (1981) nas seguintes unidades

geológicas: Complexo Nordestino (P_{en}); Grupo Ceará (P_{ce}); Suíte Magmática (Y₁); formação Apodi (Kaa); Depósitos Aluviais ou simplesmente Aluvião (Qa); Formação Serra do Martins (TQ_{bsm}), esta última representada por uma pequena mancha nos limites sul-orientais da sub-bacia do Figueiredo, na divisa com o Estado do Rio Grande do Norte.

O grau de coesão das rochas é a característica que segundo Crepani et al. (2001) define a vulnerabilidade da litologia ao processo erosivo. Desta forma, atribui-se maior valor de vulnerabilidade às rochas menos coesas, e menor vulnerabilidade às rochas mais coesas. As principais litologias presentes na sub-bacia do rio Figueiredo e seus respectivos valores de vulnerabilidade estão representados na Tabela 01.

Tabelas 01 – Principais litologias da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo e seus valores de vulnerabilidade à erosão.

Unidade Geológica	Litologia	Vulnerabilidade
Aluviões	Areias finas a grosseiras, cascalhos inconsolidados e argilas	3,0
Formação Açu	Arenitos, conglomeráticos e caulínicos, com intercalações de folhelhos e siltitos	2,6
Formação Serra do Martins	Arenitos caulínicos, arenitos ferruginosos, lateritas	2,4
Grupo Ceará	Xistos, filitos e gnaisses	1,8
Dioritos	Dioritos grosseiros	1,5
Complexo Nordestino	Migmatitos homogêneos e heterogêneos, gnaisses variados	1,3
Suíte Magmática	Granitos finos a grosseiros	1,1

Fonte: elaborado pelo autor com base em Crepani et al. (2001)

3.2. Geomorfologia

A sub-bacia do rio Figueiredo apresenta, conforme informações de BRASIL (1981), uma compartimentação geomorfológica representada pelas seguintes unidades: Depressão Sertaneja, Planaltos Residuais e Chapadas do Litoral Norte. Esta última unidade é localmente representada pelos patamares de dissecação da

Chapada do Apodi, que delimitam a sub-bacia do Figueiredo na sua porção leste/nordeste através da presença da superfície de exumação da Formação Açú.

Situadas em setores de menor declividade e de baixo gradiente longitudinal encontram-se pequenas planícies fluviais. Estas se apresentam localmente sobrepostas às litologias do Complexo Nordestino, notadamente nos baixos cursos dos principais afluentes e do canal principal.

A vulnerabilidade de cada unidade geomorfológica foi definida na razão direta das condições de declividade e amplitude altimétrica e na razão inversa da amplitude interfluvial. Assim, quanto maiores forem a declividade e amplitude altimétrica, e menor for a amplitude interfluvial, maior será a vulnerabilidade. Os índices aplicados na morfometria obedecem aos critérios apresentados nas Tabelas 02 e 03, conforme proposto por Crepani et al. (2001).

Tabela 02 – Matriz dos índices de dissecação do relevo e respectivos valores de vulnerabilidade

		AMPLITUDE INTERFLUVIAL				
		MUITO GRANDE (1) >5000m	GRANDE (2) 2000 a 5000m	MÉDIA (3) 750 a 2000m	PEQUENA (4) 250 m 750 m	MUITO PEQUENA (5) < 250m
AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	MUITO BAIXA (1) (< 20m)	1 1 1,0.....1,0	1 2 1,0.....1,5	1 3 1,0.....2,0	1 4 1,0.....2,5	1 5 1,0.....3,0
	BAIXA (2) (20 a 40m)	2 1 15.....1,0	2 2 1,5.....1,5	2 3 1,5.....2,0	2 4 1,5.....2,5	2 5 1,5.....3,0
	MÉDIA (3) (40 a 100m)	3 1 2,0.....1,0	3 2 2,0.....1,5	3 3 2,0.....2,0	3 4 2,0.....2,5	3 5 2,0.....3,0
	ALTA (4) (100 a 200m)	4 1 2,5.....1,0	4 2 2,5.....1,5	4 3 2,5.....2,0	4 4 2,5.....2,5	4 5 2,5.....3,0
	MUITO ALTA (5) (> 200m)	5 1 3,0.....1,0	5 2 3,0.....1,5	5 3 3,0.....2,0	5 4 3,0.....2,5	5 5 3,0.....3,0

Fonte: CREPANI et al. (2001) modificado de BRASIL (1981).

Tabela 03 – Classes de declividade com os respectivos valores de vulnerabilidade

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 –20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: CREPANI et al. (2001).

PINHEIRO, F.S.A. & VASCONCELOS, F.P. Vulnerabilidade potencial à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo/Ce Revista GeoUECE - Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE Fortaleza/CE, v. 4, nº 6, p. 8-27, jan./jun. 2014. Disponível em <http://seer.uece.br/geoeuce>

As unidades geomorfológicas mapeadas na sub-bacia do rio Figueiredo encontram-se apresentadas nas Tabelas 04 e 05, acompanhadas das principais formas de relevo, índice morfométrico e dos respectivos valores de vulnerabilidade.

Tabela 04 – Vulnerabilidade à erosão para as variáveis geomorfológicas: amplitude altimétrica e amplitude interfluvial.

Unidade geomorfológica	Formas de relevo	Amplitudes	
		Índice morfométrico	Vulnerabilidade
Planície fluvial	Apf	-	1,0 / 1,0
Depressão Sertaneja	Convexas (c)	1 5	1,0 / 3,0
Formação Açú	Tabulares (t)	1 2	1,0 / 1,5
Planaltos residuais, cristas e inselbergs		2 4	1,5 / 2,5
	Aguçadas (a)	3 4	2,0 / 2,5
		4 5	2,5 / 3,0
	Tabulares (t)	1 3	1,0 / 2,0

Fonte: elaborado pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

Tabela 05 – Vulnerabilidade à erosão para variável geomorfológica: declividade

Unidade geomorfológica	Formas de relevo	Vulnerabilidade média
Planície fluvial	Apf	1,1
Depressão Sertaneja	Convexas (c)	1,4
Formação Açú	Tabulares (t)	1,4
Planaltos residuais, cristas e inselbergs	Aguçadas (a)	2,2 – 3,0
	Tabulares (t)	1,5 – 1,7

Fonte: elaborado pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

3.3. Intensidade pluviométrica

As informações acerca da pluviosidade da sub-bacia do rio Figueiredo e que repercutem mais diretamente nas condições de vulnerabilidade, dizem respeito à intensidade pluviométrica e seu conseqüente poder erosivo. Nesse sentido as condições de semiaridez presentes na sub-bacia, e as condições do relevo local atuam de forma a condicionar diferenças na pluviosidade e na erosividade da chuva.

As maiores intensidades pluviométricas e conseqüentemente maiores valores de vulnerabilidade são encontradas nos setores mais elevados do maciço do Pereiro, havendo uma redução dessa intensidade e da vulnerabilidade em direção à Depressão Sertaneja, onde são observados menores valores de altimetria (Tabela 06).

Tabela 06 – Vulnerabilidade à erosão para o tema clima na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

Altitude (m)	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade à erosão
<200	125 -150	1,4
200 – 400	150 - 175	1,5
>400	175 - 200	1,6

Fonte: elaborado pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

3.4. Solos

O mosaico pedológico presente na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo é aqui apresentado com base no mapeamento realizado por CEARÁ (1988). Neste contexto, os solos estão organizados em associações, onde o primeiro componente representa a classe de solo com maior expressão espacial, dando nome à associação.

A grande variedade de classes de solos e de associações observadas na área reflete a variação litológica e de relevo, além das condições climáticas presentes e pretéritas. Observam-se como principais ocorrências os Argissolos, Neossolos Litólicos, Luvisolos, além de Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos, Vertissolos, Latossolos e Afloramentos de Rocha.

A vulnerabilidade dos solos é definida conforme Crepani et al. (2001) em função do grau de maturidade dos mesmos. Assim, solos mais maduros apresentam maior resistência aos processos erosivos, enquanto solos mais jovens são mais vulneráveis a ação da erosão.

As associações de solos presentes na sub-bacia do Figueiredo estão apresentadas na Tabela 07, acompanhadas dos respectivos valores de vulnerabilidade.

Tabela 07 – Vulnerabilidade à erosão para o tema solos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo.

Associação de solos (CEARÀ, 1988)	Classes de solos	Vulnerabilidade
PE7	PE	2,0
PE45	PE + LVd	1,7
PE56	PE + Re	2,3
PE73	PE + AR	2,3
PE92	PE + PE + Re	2,1
PE103	PE + PE + Re	2,1
PVd9	PVd + REd	2,3
LVe3	LVe + AR	1,6
LAd3	LAd	1,0
NC1	NC	2,0
NC43	NC + Re + PL	2,3
Re11	Re	3,0
Re38	Re + NC	2,7
Re40	Re + AR	3,0
Re47	Re + PE	2,7
Re48	Re + AR	3,0
Re58	Re + PE + AR	2,7
Ae12	Ae + PLS	2,7
Ae16	Ae + SS	3,0
Ae18	Ae + V + PLS	2,9
REe3	REe	3,0
SS4	SS + REe	3,0
V11	V	3,0
AR2	AR + Ae	3,0

Fonte: elaborado pelo autor com base em Crepani et al. (2001).

4. UNIDADES MORFOPEDELÓGICAS E VULNERABILIDADE POTENCIAL À EROSÃO NA SUB-BACIA DO RIO FIGUEIREDO/CE

4.1 Mapeamento das unidades morfopedológicas da sub-bacia do rio Figueiredo/Ce

Fazendo uso das informações contidas nas bases cartográficas de geologia, geomorfologia e solos elaboradas a partir de informações do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981) e do mapa de solos do Estado do Ceará

PINHEIRO, F.S.A. & VASCONCELOS, F.P. Vulnerabilidade potencial à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo/Ce Revista GeoUECE - Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE Fortaleza/CE, v. 4, nº 6, p. 8-27, jan./jun. 2014. Disponível em <http://seer.uece.br/geoeuce>

(CEARÀ, 1988) chegou-se à delimitação de trinta e seis (36) unidades morfopedológicas para a sub-bacia do rio Figueiredo (Figura 02).

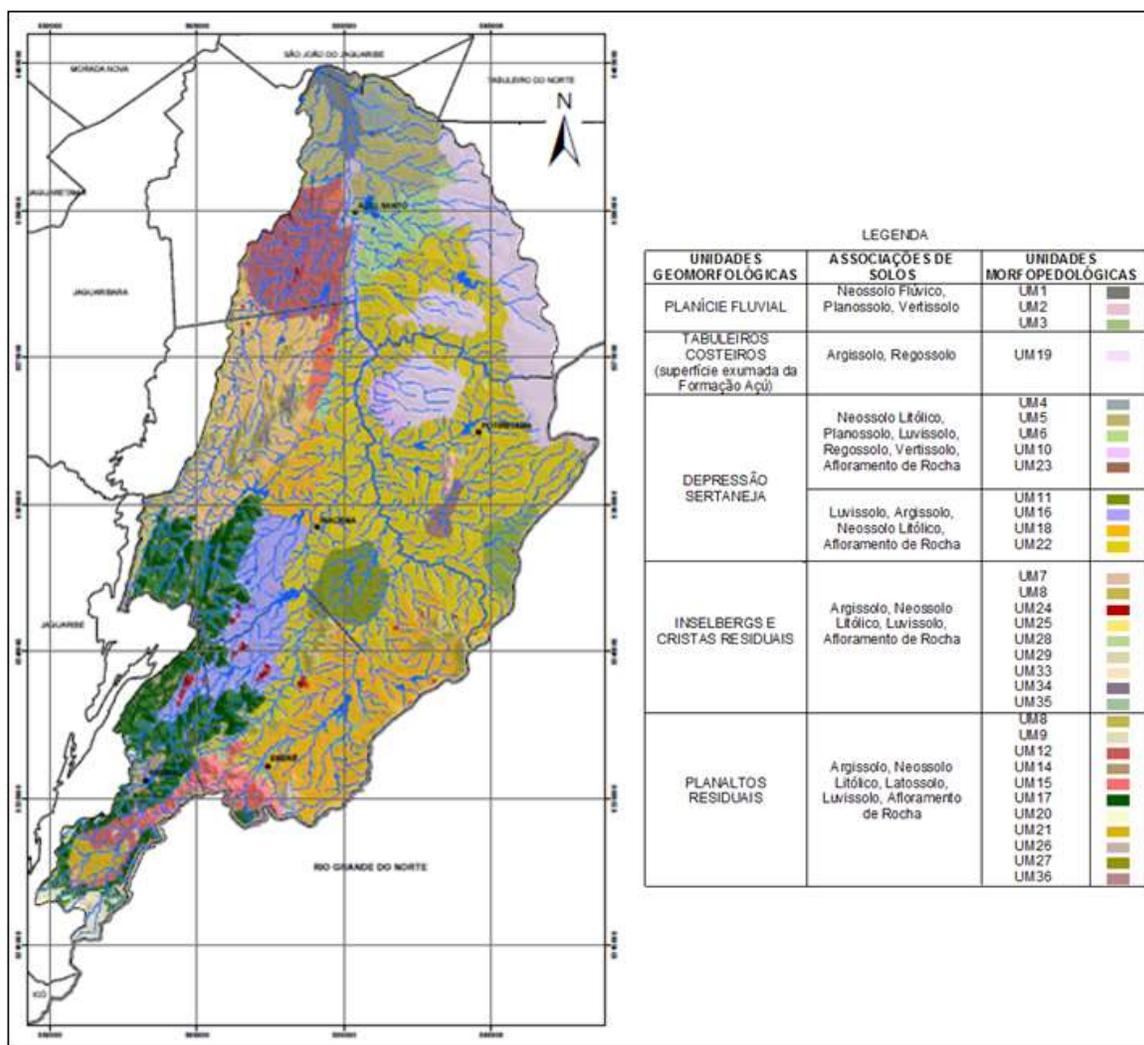


Figura 02 – Unidades morfopedológicas da sub-bacia do rio Figueiredo/Ce
Fonte: elaborado pelo autor.

As dimensões espaciais apresentadas pelas unidades morfopedológicas variam fortemente em função das condições geomorfológicas. As maiores declividades e dissecações ocorrentes no maciço residual do Pereiro e nas serras de entorno condicionam um maior número de unidades morfopedológicas com dimensões espaciais mais reduzidas. Nos setores onde o relevo se apresenta mais plano, com menores declividades e menor dissecação, as unidades morfopedológicas são mais extensas.

As características representativas das unidades morfopedológicas presentes na sub-bacia do rio Figueiredo estão descritas no Quadro 01. Buscou-se de forma sucinta caracterizar tais unidades apresentando as condições litológicas, de relevo e de solos que as individualizam.

Quadro 01 – Unidades morfopedológicas da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo

U. M.	CARACTERÍSTICAS LITOMORFOPELÓLOGICAS
UM1	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial média. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos Eutróficos com Vertissolos e Planossolos.
UM2	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos com Planossolos.
UM3	Depósitos aluvionais em condições de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa amplitude interfluvial pequena. Apresenta associação de Neossolos Flúvicos Eutróficos com Planossolos.
UM4	Superfície de relevo plano à suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Planossolos e Neossolos Regolíticos. Embasada por rochas do Complexo Nordestino (gnaisses e granitos e filitos).
UM5	Superfícies de relevo suave ondulado e ondulado, dissecado em colinas. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Luvisolos. Embasada em litologia do Complexo Nordestino (gnaisses, granitos e filitos).
UM6	Superfície de relevo suave ondulado e ondulado, dissecado em colinas apresentando amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Afloramentos de Rocha. Embasada em litologias do Complexo Nordestino (gnaisses, granitos e filitos).
UM7	Formas aguçadas com média amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo ondulado e forte ondulado. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Argissolos Eutróficos. A litologia é formada principalmente por dioritos.
UM8	Formas aguçadas com média amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo ondulado e montanhoso apresentando associação de Neossolos Litólicos Eutróficos e Afloramento de rochas. Embasamento da Suíte Magmática com rochas graníticas e gnáissicas.
UM9	Formas aguçadas com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo forte ondulado e montanhoso. Apresenta associação de Neossolos Litólicos Eutróficos com Argissolos Eutróficos e Afloramentos de Rocha. A litologia é composta por granitos e gnaisses da Suíte Magmática.
UM10	Superfície dissecada em colinas com relevo suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito baixa. Os solos são Neossolos Litólicos Eutróficos e se desenvolvem sobre rochas gnáissicas e graníticas do Complexo Nordestino.
UM11	Superfície dissecada em suaves colinas apresentando relevo suave ondulado. A amplitude altimétrica é baixa e a amplitude interfluvial muito pequena. Os Neossolos Regolíticos desenvolvem-se sobre granitos e gnaisses do Complexo Nordestino.
UM12	Bordas da superfície de cimeira elaborada por processos de pediplanação. Relevo ondulado com amplitude altimétrica muito baixa e média amplitude interfluvial. Os solos são Argissolos Eutróficos e desenvolvem-se em Dioritos.
UM13	Superfície dissecada em colinas apresenta amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. O relevo plano a suave ondulado e ondulado apresenta associação de Planossolo com Luvisolo e Neossolo Litólico. As rochas gnáissicas e graníticas compõem uma Suíte Magmática.
UM14	Relevo plano a suave ondulado, dissecado em superfícies tabulares com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associação de Argissolo Eutrófico com Latossolo Amarelo Distrófico. Desenvolvem-se em litologia do Grupo Ceará, notadamente xistos, filitos, gnaisses e rochas carbonatadas.
UM15	Formas aguçadas com relevo ondulado a montanhoso. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresentam associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologia composta por gnaisses e granitos de Suíte Magmática.
UM16	Relevo suave ondulado dissecado em suaves colinas com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico e Afloramentos de Rocha. A litologia é formada por gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.
UM17	Formas aguçadas com relevo forte ondulado a montanhoso. Amplitude altimétrica média, e pequena amplitude interfluvial. Apresentam associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. O substrato é formado por rochas gnáissicas e graníticas da Suíte Magmática.
UM18	Relevo suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. Substrato de gnaisses e granitos do Complexo Nordestino.

cont...Quadro 01

UM19	Superfície tabular com amplitude altimétrica muito baixa e grande amplitude interfluvial. Relevo plano e suave ondulado. Apresenta associações de Argissolo Distrófico com Neossolo Regolítico Distrófico. Embasada pelo Cretáceo Açú com rochas areníticas intercaladas com folhelhos, siltitos e calcários.
UM20	Superfície tabular com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Relevo suave ondulado apresenta associações de Latossolo Eutrófico com Afloramentos de Rocha. O embasamento é formado por xistos, filitos e gnaisses do Grupo Ceará.
UM21	Superfície de cimeira com relevo suave ondulado, amplitude altimétrica muito baixa e média amplitude interfluvial. Apresenta solos da classe dos Luvissoles. Litologicamente é composta por Dioritos.
UM22	Superfície de relevo plano e suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Apresenta associações de Luvissolo com Neossolo Litólico e Planossolo. Substrato de gnaisses e granitos do Complexo Nordeste.
UM23	Superfície de relevo plano e suave ondulado dissecado em colinas, com amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Os solos são Vertissolos e a litologia é formada por rochas do Complexo Nordeste notadamente granitos e gnaisses.
UM24	Formas aguçadas em relevo forte ondulado. Amplitude altimétrica média e pequena amplitude interfluvial. Ocorrência de Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Substrato Suite magmática (granito).
UM25	Superfície tabular com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Latossolo Distrófico e Argissolo Distrófico. Litologias da Formação Serra do Martins com arenitos caulínicos, arenitos ferruginosos e lateritas.
UM26	Relevo de formas aguçadas, ondulado a montanhoso, com baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico. Substrato de gnaisses, xistos e filitos do Grupo Ceará.
UM27	Superfície tabular de relevo plano e suave ondulado, com amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Latossolo Distrófico. A litologia é formada por Dioritos.
UM28	Relevo forte ondulado com formas aguçadas. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Litologia formada por Dioritos.
UM29	Relevo forte ondulado com formas aguçadas. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Apresenta Afloramentos de Rocha associados a Neossolo Litólico. Litologia formada por gnaisses e granitos do Complexo Nordeste.
UM30	Relevo de formas convexas, suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Neossolo Litólico Eutrófico com Afloramentos de Rocha. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM31	Relevo de formas convexas, suave ondulado e ondulado. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Neossolo Litólico Eutrófico com Luvissolo. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM32	Relevo suave ondulado de formas convexas. Amplitude altimétrica muito baixa e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologias do Grupo Ceará (гнаisses, xistos, filitos).
UM33	Relevo plano e suave ondulado, de forma tabular. Baixa amplitude altimétrica e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Afloramentos de Rocha. Litologia de Dioritos.
UM34	Relevo suave ondulado, de forma tabular. Amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Rochas graníticas da Suite Magma.
UM35	Relevo suave ondulado, de forma tabular. Amplitude altimétrica muito baixa e pequena amplitude interfluvial. Associações de Argissolo Eutrófico com Neossolo Litólico Eutrófico. Litologias do Grupo Ceará (Gnaisses, Xistos, Filitos).
UM36	Relevo forte ondulado e montanhoso de formas aguçadas. Amplitude altimétrica alta e amplitude interfluvial muito pequena. Associações de Afloramentos de Rocha com Neossolo Litólico. Litologias do Grupo Ceará (Gnaisses, Xistos, Filitos).

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1. Vulnerabilidade potencial à erosão (Vp)

A sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo apresenta condições de vulnerabilidade potencial (Vp) que variam de moderadamente estável a moderadamente vulnerável. A Vp apresenta uma distribuição espacial que reflete as características dos fatores condicionantes (geologia, geomorfologia, clima e solo).

Observando a Figura 03 percebe-se um extenso setor classificado como moderadamente estável, que se estende desde o Maciço do Pereiro, prolongando-se por grande parte da Depressão Sertaneja. Nessa área, ocorrem distintas unidades morfoopedológicas, com características variadas quanto à geologia, geomorfologia e às associações de solos.

Nos setores referentes ao Maciço do Pereiro, a estabilidade moderada está condicionada principalmente aos solos, com a presença extensiva de Argissolos e, em setores mais planos, de Latossolos. Estas classes de solos apresentam características de maturidade compatíveis com ambientes com tendência à estabilidade, onde há predominância da pedogênese sobre a morfogênese. As características físicas dos Argissolos e Latossolos, principalmente quanto à drenagem e profundidade, favorecem a componente vertical e a ocorrência de ambientes de maior estabilidade.

Quanto aos setores da Depressão Sertaneja, onde a estabilidade também se apresenta moderada, as condições de relevo (plano a suave ondulado), a litologia (gnaiesses e granitos) e a intensidade pluviométrica subjugarão a elevada vulnerabilidade apresentada pela associação de solos composta por Luvisolos Crômicos associados à Planossolos e Neossolos Litólicos.

A ocorrência de Neossolo Litólico associado a Afloramento de Rocha, em relevos íngremes das cristas residuais e *inselbergs*, condiciona uma maior vulnerabilidade. Em decorrência das condições de baixa vulnerabilidade da litologia representada por gnaiesses, granitos e por vezes quartzitos, todos fortemente coesos, esses setores classificam-se como medianamente estável/vulnerável.

A condição de estabilidade/vulnerabilidade ocorre ainda em outros setores, havendo variações quanto à subclasse em que os mesmos se enquadram. Nesse sentido, percebe-se uma extensa área na porção que abrange o baixo curso do rio Figueiredo, formada pelas unidades morfoopedológicas UM1, UM2, UM5, UM6, UM30, UM31, em que as condições de vulnerabilidade potencial são fortemente influenciadas pelas características das associações de solos. O relevo plano a suave ondulado confere condição de baixa a média vulnerabilidade. Entretanto, o

predomínio de Neossolos Litólicos, associados por vezes a Luvisolos Crômicos ou a Afloramento de Rocha favorece o aumento da vulnerabilidade. Também se enquadra nessa condição a associação de Planossolos com Neossolos Regolíticos que caracterizam a unidade morfopedológica UM4.

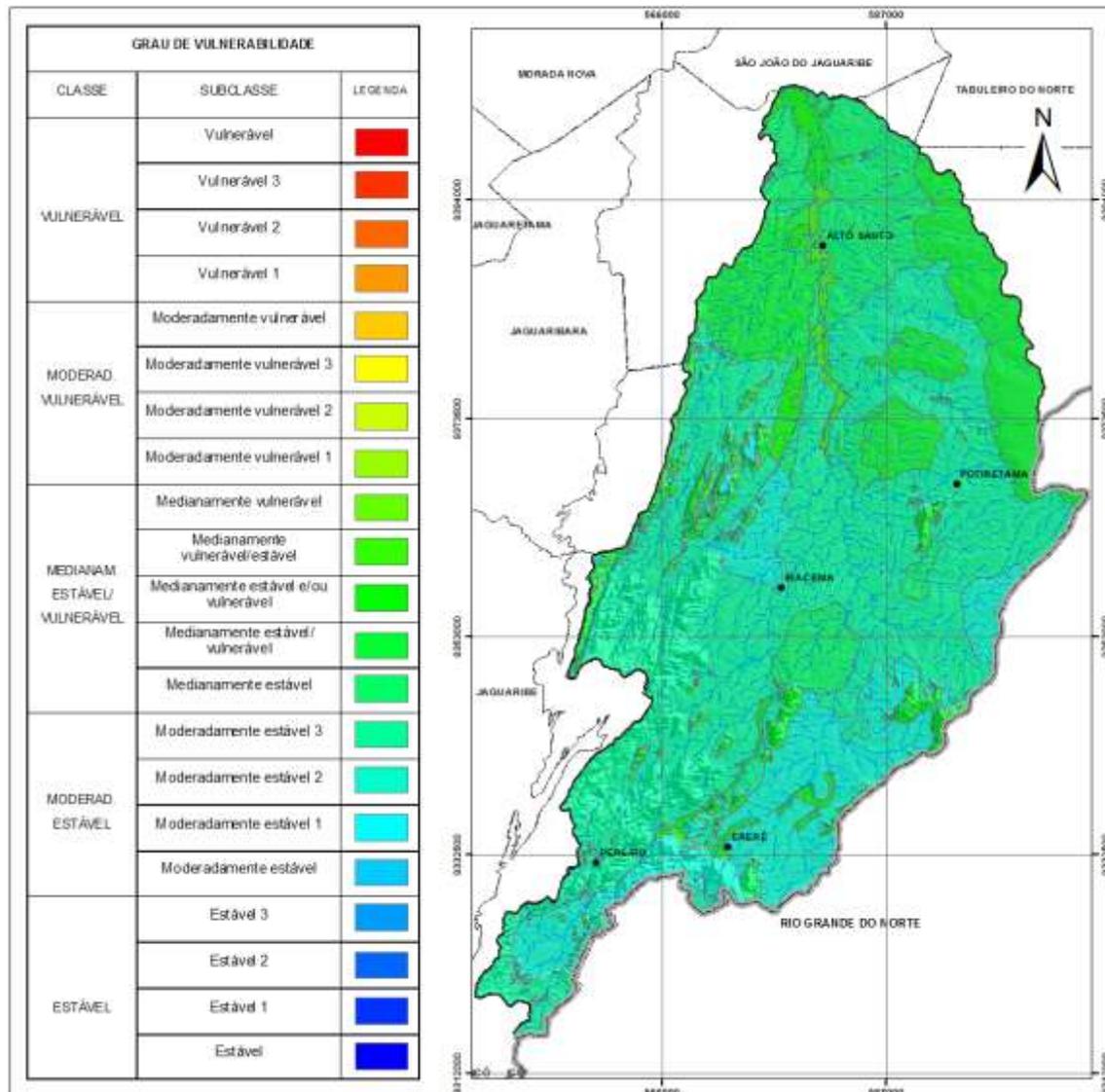


Figura 3 – Vulnerabilidade potencial da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo. Fonte: elaborado pelo autor.

Na unidade morfopedológica UM19, constituída pela superfície de exumação da Formação Açú, a condição de vulnerabilidade também é medianamente estável/vulnerável. Neste caso, a ocorrência de Neossolos Regolíticos da associação PVd9 (Argissolo + Neossolo Regolítico) e

principalmente as condições litológicas, representadas por arenitos intercalados por folhelhos, siltitos e calcários, contribuem fortemente para a condição de vulnerabilidade intermediária apresentada.

O setor com o menor índice de vulnerabilidade potencial situa-se na unidade morfopedológica UM34. Esta unidade caracteriza-se por um relevo suave ondulado, de forma tabular, onde ocorre a associação de Argissolo com Neossolo Litólico. A litologia, formada predominantemente por granitos, contribui para a maior estabilidade da unidade, que está enquadrada na subclasse moderadamente estável¹ da classe de moderadamente estável.

Uma pequena área representada pela unidade morfopedológica UM36 apresenta-se moderadamente vulnerável. Esta unidade compreende um relevo forte ondulado a montanhoso, com formas aguçadas, localizado nos limites ocidentais da bacia onde ocorrem linhas de *hog back*. Apresenta associação de Afloramento de Rocha com Neossolo Litólico. Em contrapartida aos aspectos geomorfológicos e pedológicos, que condicionam forte vulnerabilidade, a formação litológica favorece a um aumento da estabilidade em decorrência do predomínio de gnaisses, rocha de forte coesão.

A Gráfico 01 traz a distribuição das classes de vulnerabilidade potencial na sub-bacia do Figueiredo. Observa-se assim o franco predomínio de unidades classificadas como moderadamente estáveis que representam aproximadamente 65% da sub-bacia, contra aproximadamente 35% da área representada pela classe medianamente estável/vulnerável.

Considerando os valores de vulnerabilidade encontrados para a intensidade pluviométrica, a variável climática não oferece grande contribuição ao aumento da vulnerabilidade potencial na sub-bacia do Figueiredo. Entretanto, há de se considerar que a cobertura vegetal tem interferência direta nesta dinâmica, potencializando ou reduzindo a ação da pluviometria através da função amortecedora oferecida pela vegetação.

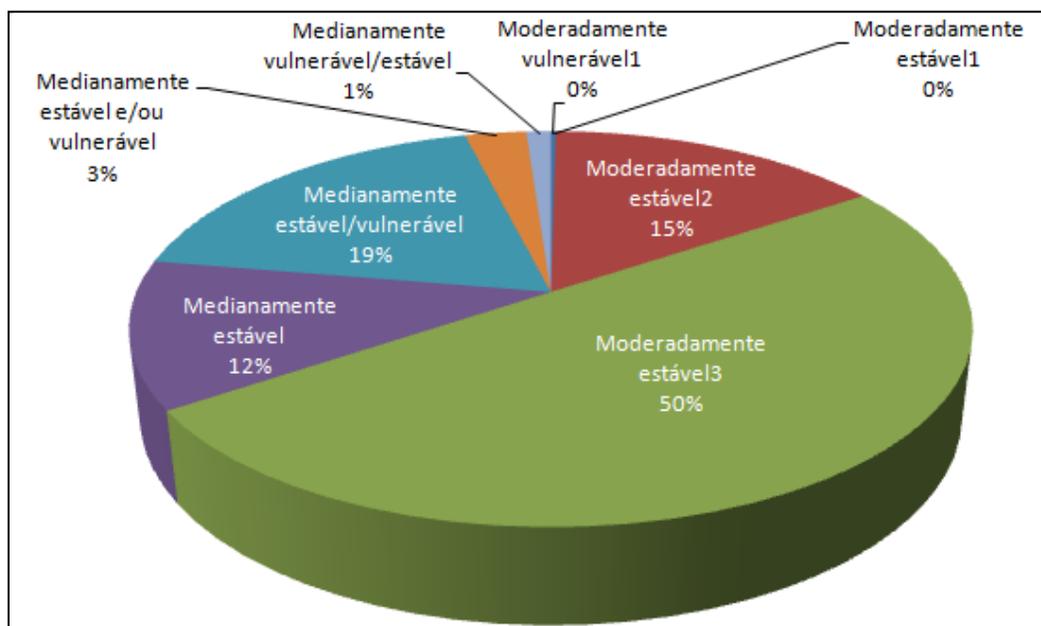


Gráfico 01 – Distribuição percentual das subclasses de vulnerabilidade potencial na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo. **Fonte:** elaborado pelo autor

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados alcançados na pesquisa, pode-se concluir que:

- As unidades morfopedológicas da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo/Ce apresentam condições de vulnerabilidade à erosão classificadas entre moderadamente estável à moderadamente vulnerável, sendo a classe moderadamente estável predominante, seguida da medianamente estável/vulnerável e da classe moderadamente vulnerável.

- O franco predomínio da classe moderadamente estável na sub-bacia do rio Figueiredo indica um ambiente com tendência a estabilidade quando consideradas as condições de vulnerabilidade potencial.

- A maior estabilidade está relacionada às unidades morfopedológicas com solos mais maduros e rochas mais resistentes ao intemperismo, ou às superfícies onde a litologia e o relevo suave ondulado sobrepõem as condições medianas de vulnerabilidade do solo.

- As unidades mais vulneráveis à erosão estão associadas aos relevos escarpados, onde ocorrem Afloramentos de Rocha associados a solos Neossolo Litólico, ou às superfícies onde os solos e a litologia apresentam alta vulnerabilidade, como é o caso das aluviões e das superfícies de exumação da formação Açú.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de Recursos Naturais. V. 23, Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; Rio de Janeiro, 1981. 744 p.

CEARÁ. Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária. **Mapa de solos**. Fortaleza, 1988.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/> Acesso em 20 de agosto de 2012.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; 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.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Criação automática de vetores para mapeamentos temáticos e espacialização de aspectos da legislação ambiental a partir de grades refinadas do SRTM. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais** Florianópolis, 2007, INPE, p. 2501-2508.

FUNCEME. **Degradação ambiental e susceptibilidade aos processos de desertificação na microrregião do Médio Jaguaribe e parte das microrregiões do Baixo Jaguaribe e Serra do Pereiro**. Fortaleza, 2009.

_____. **Séries Históricas de Precipitação**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas> Acesso em 27 de fevereiro de 2013.

IBGE. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm Acesso em 20 de novembro de 2014.

MENEZES, J. B.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNIO, J. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CORRÊA, A. C. B. Índice de Vulnerabilidade à Erosão para uma Bacia na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das Relações entre Morfogênese e Pedogênese. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 8, nº 2, 2007 p.45-56.

MESQUITA, C.; ASSIS, A. Q. S.; SOUZA, R. M. Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sagrado – Morretes/PR. In: **Revista de Geografia**, nº 2, v. especial VIII SINAGEO. Recife, UFPE – DCG/NAPA Set. 2010 p. 249-264.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à Degradação dos Solos da Bacia do Acaraú, Ceará. In: **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, nº 1. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, jan-mar 2011. p. 39-50.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da Fragilidade e Vulnerabilidade Natural dos Terrenos aos Processos Erosivos como Base para o Ordenamento Territorial: O Caso das Bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na Região do Alto Rio das Velhas – MG. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.9, nº 1 p. 65-73, 2008.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBEG, 1977.