



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA**

**CLEONICE DO NASCIMENTO SILVA**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIAS SEMIÁRIDAS: ANALISANDO A  
BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA – PIAUÍ, BRASIL**

**FORTALEZA – CEARÁ  
2016**

**CLEONICE DO NASCIMENTO SILVA**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIAS SEMIÁRIDAS: ANALISANDO A  
BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA – PIAUÍ, BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará – PROPGEO/UECE, como requisito para obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Análise Geoambiental e Ordenação do Território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Andrea Almeida Cavalcante

FORTALEZA - CEARÁ  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Silva, Cleonice do Nascimento.

Fragilidade ambiental em bacias semiáridas: analisando a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra ? Piauí, Brasil [recurso eletrônico] / Cleonice do Nascimento Silva. - 2016.

1 CD-ROM: il.; 4 ¼ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 113 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.

Área de concentração: Análise geoambiental e ordenação do território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dra. Andrea Almeida Cavalcante.

1. Semiárido. 2. Fragilidade ambiental. 3. Bacia de drenagem. 4. Açude. I. Título.

CLEONICE DO NASCIMENTO SILVA

FRAGILIDADE AMBIENTAL EM BACIAS SEMIÁRIDAS: ANALISANDO A BACIA  
DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA – PIAUÍ, BRASIL.

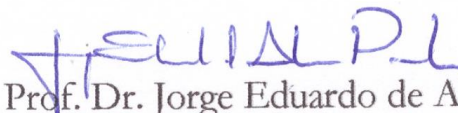
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará – PROP GEO/UECE, como requisito para obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Análise Geoambiental e Ordenação do Território nas regiões semiáridas e litorâneas.

Aprovada em 29 de julho de 2016

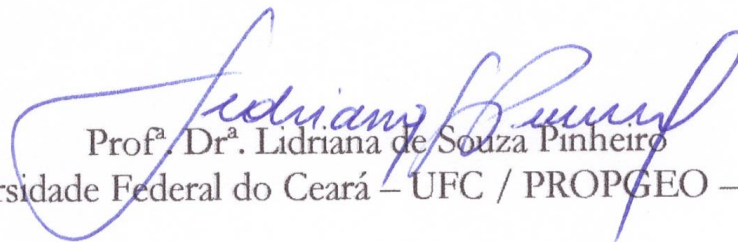
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª. Andrea Almeida Cavalcante  
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula  
Universidade Estadual do Piauí - UESPI



Prof.ª Dr.ª. Lidriana de Souza Pinheiro  
Universidade Federal do Ceará – UFC / PROP GEO – UECE

À minha amada família, por sua capacidade de sempre acreditar e investir em mim...

Ao Meu Amor... meu porto seguro e maior incentivador.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido força para superar as dificuldades e trilhar com êxito os caminhos que me conduziram até aqui e a graça de concluir este trabalho;

Aos meus pais, Antonio e Creusa por terem me dado educação, valores, me ensinado a andar sozinha e sempre terem me dado apoio incondicional;

Às minhas irmãs Cleomara e Elza, pelo carinho e apoio sempre;

Ao meu Amor, Eliezio, pelas primeiras palavras de incentivo desde a seleção do mestrado, pela forma especial e carinhosa de me transmitir força e coragem me apoiando nos momentos difíceis e principalmente pelo seu grande amor;

Às minhas amigas “Tias” Cristiane Santiago e Geone Borges (“co-orientadora e conselheira”, respectivamente), pelo auxílio em toda a pesquisa e palavras de estímulo. Cris, obrigada por ter dividido o pequeno quarto comigo, por me ensinar a viver longe da família e pelo belo exemplo que és. Geone, obrigada por sempre me ouvir nos momentos de angústia, pelos ótimos conselhos sempre me mostrado o lado bom de tudo;

Às minhas amigas do Ceará, Denise Brito e Marília Barros, pela companhia de sempre, por compartilhar das alegrias e receios no mestrado, pelos momentos de diversão e especialmente pelas risadas. Vocês estão no meu coração;

À Bárbara Almeida, colega de turma no mestrado, pela acolhida em sua casa, em Limoeiro do Norte/CE, durante o estágio a docência e por ter dividido nesse período a sala de aula comigo;

Às colegas de apartamento em Fortaleza por me receberem como companheira no convívio diário. Obrigada, Marysol Dantas, pelas noites acordadas me ajudando na confecção de alguns mapas. Obrigada, Camila Pereira, pelo carinho, que apesar do pouco tempo de convívio, tornou meus últimos meses em Fortaleza mais descontraídos;

Ao Antonio Nonato, pela sua colaboração na pesquisa de campo;

Aos queridos professores, Dra. Maria Luzineide Gomes Paula e Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula, pelo enorme coração e bondade sempre auxiliando aqueles que os procuram, pelos conhecimentos passados e contribuições desde a graduação até hoje. Muito obrigada Prof. Jorge, pela disponibilidade e disposição na pesquisa de campo, banca de qualificação e defesa da dissertação. Vocês são pessoas muito especiais;

A minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andrea Almeida Cavalcante, pelo cuidado, paciência, contribuições constantes e dedicadas no desenvolvimento dessa pesquisa;

Aos meus colegas companheiros de mestrado, Turma 2014;

Ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), pela realização das análises granulométricas necessárias à pesquisa, em especial às pessoas que sempre me auxiliaram diretamente: Antonio Ximenes (Tião), Oricélio Brindeiro, Ana Rodrigues e Ardyane Barreto, muito obrigado pela atenção e cuidado;

À Faculdade Dom Aureliano Matos – FAFIDAM/UECE em Limoeiro do Norte/CE, pela receptividade durante o período de estágio a docência, e aos alunos da disciplina Geologia Geral estudantes da mesma;

A Coordenação do Programa de Pós- Graduação em Geografia da UECE (PROP GEO) e o corpo docente do curso pelos conhecimentos transmitidos. Agradecimento especial à prof<sup>a</sup>. Dra. Claudia Maria Magalhães Granjeiro (*in memoriam*) pela amabilidade com que sempre me tratou e belo exemplo de profissional e de pessoa, e à prof<sup>a</sup>. Dra. Lidriana de Sousa Pinheiro, pelas contribuições desde o seminário de dissertação, qualificação e defesa de dissertação. Agradeço ainda às funcionárias Adriana, Aparecida e Júlia pela simpatia como que sempre me trataram;

À Coordenação do Programa de Pós- Graduação em Geografia da UFC, pela receptividade no período que cursei a disciplina Origem de Evolução das Paisagens e Relevos no Nordeste do Brasil; e a prof<sup>a</sup> Dra. Marta Celina Linhares Sales, pelas contribuições no seminário de dissertação e qualificação do mestrado.

À Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí, pela disponibilização dos dados de precipitação das cidades integrantes da área de estudo;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico- FUNCAP, pelo apoio financeiro à pesquisa.

“Sertão, argüem te cantô,  
Eu sempre tenho cantado  
E ainda cantando tô,  
Pruquê, meu torrão amado,  
Munto te prezo, te quero  
E vejo qui os teus mistéro  
Ninguém sabe decifrá.  
A tua beleza é tanta,  
Qui o poeta canta, canta,  
E inda fica o qui cantá.”

(Patativa do Assaré)

## RESUMO

As bacias hidrográficas de regiões semiáridas são caracterizadas por particularidades naturais refletidas pelas condições do clima, de solo, de vegetação, assim como da deficiência hídrica, fazendo com que o ambiente se torne mais vulnerável ao uso e ocupação. Este trabalho discorre sobre a Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra, localizada no semiárido piauiense, detentora de uma área de 6.516 Km<sup>2</sup> abrangendo dez municípios do Estado do Piauí. Tem como objetivo verificar se a Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra (Rio Sambito) apresenta indícios de degradação ambiental a partir da análise da sua fragilidade ambiental. A pesquisa seguiu como orientação metodológica as formulações de Ross (1994), o qual analisa a fragilidade ambiental dos ambientes naturais antropizados, com adaptações para área e acréscimos de outras metodologias: análise morfométrica, análise pluviométrica e análise granulométrica; com a realização também de levantamento bibliográfico e cartográfico. A pesquisa foi auxiliada pelo uso do software ArcGis 9.3.1., edição educacional temporária. O estudo morfométrico da Bacia de drenagem adotou os parâmetros morfométricos encontrados através de análise Linear, Areal e Hipsométrica, utilizando os métodos propostos por Horton (1945), Schumm (1956), Melton (1957) citados por Christofolletti (1980). A análise climática baseou-se em dados de precipitação das séries disponibilizadas pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí e pelo site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídrico-Postos pluviométricos. Dos resultados obtidos, a morfometria indicou o baixo potencial erosivo da bacia, enquanto que a pluviosidade demonstrou a distinção de um cenário mais chuvoso no baixo curso, com maiores chances de surgimento de marcas erosivas, e outro mais seco típico da região semiárida do médio ao alto curso. A cobertura vegetal reflete a influência da precipitação, vegetação de transição (cerrado/cerradão) no baixo curso e caatinga arbustiva do médio ao alto curso da Bacia. Com apoio da análise granulométrica confirmou-se que os solos mais propícios a erosão são os Neossolos quartzarênicos e Neossolos Litólicos. O levantamento dessas características somou-se aos elementos analisados na metodologia de Ross e contribuíram para verificação das potencialidades e limitações da Bacia de Drenagem. Constatou-se que diante da alta erodibilidade e baixa declividade, a Bacia classifica-se como de fragilidade potencial fraca e muito fraca, demonstrando assim sua baixa limitação. As práticas de agricultura, pecuária extensiva, apicultura e extração de areia para construção civil foram as principais formas de uso observadas na bacia, e associando esse dado com a cobertura vegetal obteve-se a fragilidade ambiental da área. Nesse sentido, a área classifica-se

como de fragilidade ambiental fraca e muito fraca, com alguns pontos de fragilidade forte, evidenciando que a mesma não apresenta indícios de degradação ambiental, diferente de outras bacias hidrográficas localizadas em ambiente semiárido.

**Palavras-Chave:** Semiárido. Fragilidade ambiental. Bacia de drenagem. Açude.

## ABSTRACT

The hydrographic basins of semi-arid regions are characterized by natural features reflected by climatic conditions, soil conditions, vegetation, and water deficiency, making the environment more vulnerable to use and occupation. This work deals with the Mesa de Pedra Dam Drainage Basin, located in the semi-arid region of Piauí, which has an area of 6,516 km<sup>2</sup> covering ten municipalities in the State of Piauí. The objective of this study is to verify if the Drainage Basin of Mesa de Pedra (Sambito River) presents evidence of environmental degradation from the analysis of its environmental fragility. The research followed as a methodological orientation the formulations of Ross (1994), who analyzes the environmental fragility of natural anthropic environments, with adaptations to the area and additions of other methodologies: morphometric analysis, pluviometric analysis and granulometric analysis; with the accomplishment also of bibliographical and cartographic survey. The research was aided by the use of ArcGis software 9.3.1., temporary educational edition. The morphometric study of the drainage basin adopted the morphometric parameters found through Linear, Areal and Hypsometric analysis, using the methods proposed by Horton (1945), Schumm (1956), Melton (1957) cited by Christofolletti (1980). The climatic analysis was based on precipitation data from the series made available by the Secretariat of Environment and Water Resources of Piauí and by the website of the Cearense Foundation of Meteorology and Water Resources-Pluviometric stations. From the results obtained, morphometry indicated the low erosive potential of the basin, while rainfall showed the distinction of a more rainy scenario in the low course, with a higher probability of erosive marks, and a drier one typical of the semi-arid region from medium to high course. The vegetation cover reflects the influence of precipitation, transitional vegetation (cerrado / cerrado) in the low course and shrub caatinga from the medium to the upper course of the Basin. With the support of the granulometric analysis it was confirmed that the most propitious soils to erosion are the Quartzarenic Neosols and Litolic Neosols. The survey of these characteristics added to the elements analyzed in the Ross methodology and contributed to verify the potentialities and limitations of the Drainage Basin. It was verified that due to the high erodibility and low slope, the Basin is classified as of weak and very weak fragility, thus demonstrating its low limitation. The practices of agriculture, extensive husbandry, beekeeping and sand extraction for civil construction were the main forms of use observed in the basin, and associating this data with the vegetation cover, the environmental fragility of the area was obtained. In this sense, the area is classified as weak and very weak environmental fragility, with some points of strong

fragility, attesting that it does not show indication of environmental degradation, unlike other watersheds located in a semi-arid environment.

**Keywords:** Semiarid. Environmental fragility. Drainage basin. Dam.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Mapa de localização da Bacia de Drenagem do açude Mesa de Pedra .....	23
Figura 2-	Hierarquia fluvial segundo Strahler (1952) <i>apud</i> Christofoletti (1980) .....	28
Figura 3-	Aquíferos do Estado do Piauí .....	33
Figura 4-	Coleta de amostra de solo .....	41
Figura 5-	Etapas da análise granulométrica .....	42
Figura 6-	Roteiro metodológico da pesquisa .....	45
Figura 7-	Vestígio da Formação Serra Grande - município de Pimenteiras ....	47
Figura 8-	Afloramento da Formação Pimenteiras – município de Valença do Piauí .....	47
Figura 9-	Vestígio da Formação Cabeças no município Lagoa do Sítio .....	48
Figura 10-	Afloramento da Formação Longá .....	48
Figura 11-	Mapa de aspectos da geologia da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....	49
Figura 12-	Exemplo de chapadões presentes na bacia .....	50
Figura 13-	Mapa de unidades geomorfológicas da Bacia de Drenagem Açude Mesa de Pedra .....	52
Figura 14-	Mapa de solos da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....	55
Figura 15-	Exemplos de vegetação típica da caatinga/municípios de Lagoa do Sítio e Pimenteiras respectivamente .....	56
Figura 16-	Exemplos de vegetação típica de cerrado/cerrado respectivamente - área de transição .....	57
Figura 17-	Mapa de postos pluviométricos analisados .....	59
Figura 18-	Gráfico de precipitação anual da Bacia de drenagem (mm) (2000-2010) .....	60
Figura 19-	Transbordamento do açude Mesa de Pedra em 2009 .....	61
Figura 20-	Gráfico de precipitação média mensal da Bacia de drenagem (mm) (2000-2010) .....	62
Figura 21-	Gráfico de precipitação diária do posto Inhumá (2000-2010) .....	63
Figura 22-	Gráfico de precipitação diária do posto Valença do Piauí (2000-	

	2010) .....	64
Figura 23-	Gráfico de precipitação diária do posto Lagoa do Sítio (2000-2010)	64
Figura 24-	Gráfico de precipitação diária do posto Santa Cruz dos Milagres (2000-2010) .....	65
Figura 25-	Gráfico de precipitação diária do posto Pimenteiras (2000-2010) ....	65
Figura 26-	Gráfico de precipitação diária do posto Parambu (2000-2010) .....	66
Figura 27-	Mapa de hierarquia fluvial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....	70
Figura 28-	Mapa de modelo digital do terreno da Bacia de Drenagem Mesa de Pedra .....	76
Figura 29-	Perfil longitudinal do rio Sambito .....	78
Figura 30-	Fluxograma das etapas metodológicas para confecção do mapa de fragilidade emergente, segundo proposta de Ross (1994) .....	79
Figura 31-	Construção de pilares e penhascos pela erosão da chuva e escoamento concentrado.- Argissolo Vermelho-Amarelo próximo a curso fluvial/município de Lagoa do Sítio .....	81
Figura 32-	Erosão hipodérmica ( <i>piping</i> ) e processo de ravinamento - Argissolo Vermelho-Amarelo próximo à estrada de acesso à cidade/município de Lagoa do Sítio .....	82
Figura 33-	Erosão hipodérmica ( <i>piping</i> ) em processo avançado – Argissolo Vermelho-Amarelo /município de Lagoa do Sítio .....	82
Figura 34-	Erosão em sulco – Neossolo Quartzarênico/município de Pimenteiras .....	83
Figura 35-	Gráfico de frequência acumulada – Solo Neossolo Quartzarênico ...	84
Figura 36-	Gráfico de frequência acumulada – Solo Neossolo Litólico .....	84
Figura 37-	Mapa de pontos de coleta de amostra de solo .....	84
Figura 38-	Gráfico de frequência acumulada –Latosolo Amarelo .....	84
Figura 39-	Gráfico de frequência acumulada –Latosolo Vermelho Amarelo ...	84
Figura 40-	Gráfico de frequência acumulada –Argissolo Vermelho-Amarelo ...	84
Figura 41-	Mapa de declividade da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....	86

<b>Figura 42-</b>	<b>Mapa de erodibilidade da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 43-</b>	<b>Mapa de fragilidade Potencial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 44-</b>	<b>Principais elementos para análise de uso e cobertura vegetal .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 45-</b>	<b>Vegetação com marcas de transição - Cerrado e Caatinga, município de Lagoa do Sítio-PI .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 46-</b>	<b>Usos na bacia. A – Agricultura/ B – Ovinocultura/ C- Apicultura/ D Extração de areia .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 47-</b>	<b>Mapa de uso e grau de cobertura da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 48-</b>	<b>Área de lazer - Barragem Mesa de Pedra .....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 49-</b>	<b>Mapa de fragilidade Emergencial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Parâmetros da análise Linear .....	29
Quadro 2 -	Parâmetros da análise Areal .....	29
Quadro 3 -	Parâmetros da análise hipsométrica .....	30
Quadro 4 -	Classificação de fatores de degradação das terras .....	34
Quadro 5 -	Fatores/elementos/resultados de análise para determinação da fragilidade ambiental .....	43
Quadro 6 -	Unidades geomorfológicas - Bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra .....	51
Quadro 7 -	Postos pluviométricos selecionados para análise .....	60
Quadro 8 -	Dias mais chuvosos .....	66
Quadro 9 -	Hierarquia fluvial da bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra ...	69
Quadro 10 -	Classes de interpretação para valores de densidade de drenagem .....	71
Quadro 11 -	Índices de sinuosidade divididos por classes .....	73
Quadro 12 -	Classes de relevo e suscetibilidade à erosão .....	74
Quadro 13 -	Relação do índice de rugosidade com a declividade do relevo .....	77
Quadro 14 -	Categorias hierárquicas – tipos de solo .....	85
Quadro 15 -	Classes de análise para mapa de uso e cobertura da bacia de drenagem .....	92

## LISTAS DE SIGLAS

CEPRO	Fundação Piauí
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IDEPI	Instituto de Desenvolvimento do Piauí
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira
PLANAP	Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba
UECE	Universidade Estadual do Piauí
UESPI	Universidade Estadual de Piauí
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UTM	Universal Transverso de Mercator
SEMAR-PI	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO</b> .....	25
2.1	ANÁLISE DA PAISAGEM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	25
<b>2.1.1</b>	<b>Análise morfométrica em bacias hidrográficas</b> .....	27
1.2	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SEMIÁRIDO .....	31
<b>2.2.1</b>	<b>Fragilidade ambiental e bacia hidrográfica em áreas semiáridas</b> .....	34
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	39
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS GEOCARTOGRÁFICOS .....	39
3.3	ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	40
3.4	ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS. ....	42
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA</b> .....	46
4.1	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS .....	46
4.2	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS .....	50
4.3	CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS .....	53
4.4	CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO .....	56
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA</b> .....	58
<b>6</b>	<b>ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA</b> .....	69
<b>7</b>	<b>FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA</b> .....	79
7.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO DA BACIA DE DRENAGEM: ASPECTOS DA ERODIBILIDADE .....	79
7.2	FRAGILIDADE POTENCIAL DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA .....	85
7.3	ANÁLISE DO USO E COBERTURA VEGETAL E USO DA BACIA DE	

	DRENAGEM .....	91
7.4	FRAGILIDADE EMERGENTE DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA .....	98
8	<b>CONCLUSÃO</b> .....	102
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	105

## 1 INTRODUÇÃO

No semiárido nordestino são comuns os barramentos de cursos fluviais para construção de açudes e reservatórios de acumulação para solucionar o problema de escassez de água. No Nordeste observa-se uma diversidade de termos utilizados para reservatórios de água, um desses é o termo açude. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2014), conceitua-se açude como uma área de acumulação de água represada por um barramento.

Molle e Cadier (1992) afirmam que os primeiros açudes do Nordeste foram construídos ainda na implantação dos engenhos na zona da Mata com a finalidade de desviar a água dos riachos que forneciam energia hidráulica aos moinhos, e durante a colonização do sertão começaram a ser utilizados como solução para o problema de abastecimento.

O açude Mesa de Pedra que, conforme o Instituto de Desenvolvimento do Piauí (IDEPI, 1992), tem capacidade de acumulação de 47.500.000 m<sup>3</sup> de água, resultado do barramento do rio Sambito, sub-bacia do rio Poti, e foi construído com objetivo de regularizar o rio Sambito por meio da barragem e para irrigar uma área 1.100 ha de terras produtivas situadas à jusante do eixo desta.

Percebe-se que nas adjacências de rios que compreendem a bacia de drenagem do açude, muitas atividades são realizadas, variando desde agricultura para subsistência até a criação de animais, além dos usos para consumo humano, podendo esses usos influenciar na degradação ambiental da área bem como no desenvolvimento de processos erosivos.

As múltiplas atividades existentes num dado local podem representar um desafio à compatibilização entre a conservação e o uso sustentável, especialmente quando se trata de recursos hídricos no semiárido. Contudo, não apenas a interferência humana pode estar influenciando a dinâmica de uma dada área, mas, sobretudo, os fatores naturais como regime de chuvas, relevo e tipo de solo podem exercer forte peso na análise de processos erosivos em áreas semiáridas.

Cunha (2009) afirma que os rios refletem de forma indireta as condições e as atividades humanas realizadas na bacia, principalmente através da intensidade de alterações desses dois elementos. A bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra, integrante da região semiárida piauiense, tem passado por diversas intervenções humanas. A execução de muitas dessas atividades pode repercutir em alterações, dada a possível fragilidade ambiental natural da área, como desenvolvimento de processos erosivos mais acentuados.

Os trabalhos realizados na área onde está inserida a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra foram feitos apenas como forma de macrozoneamento. Entre estes se destaca o

Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP) (BRASIL, 2006), organizado pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF) e o Governo Federal, no qual são caracterizados os chamados “territórios” que compõem a bacia do Parnaíba, onde em um de seus volumes apresenta o Território de Desenvolvimento do Vale do Sambito.

Outro trabalho que versa igualmente sobre um macrozoneamento que abrange a área de estudo, realizado na década de 1990 (Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba), expõe que a situação nas proximidades das cabeceiras do Rio Sambito é crítica e caracteriza as nascentes como áreas intensamente dissecadas por escoamento superficial difuso e concentradas, resultando em considerável adensamento de ravinas. Os solos são pouco desenvolvidos e geralmente destituídos dos horizontes superficiais e subsuperficiais, estando sujeitos a processo de desertificação (RIVAS, 1996).

Sousa (2007), após analisar as nascentes do rio Sambito, afirmou que estas ainda se localiza em áreas de situação ambiental crítica, correspondendo a ambientes de vulnerabilidade natural de muito forte a extremamente forte, sujeitos a pressões antrópicas decorrentes da pecuária extensiva e agricultura de subsistência.

Nesse contexto, considerando o período de realização dos referidos trabalhos, tornou-se imprescindível uma avaliação da situação atual, pois com o passar do tempo a área certamente apresenta mudanças.

Portanto, analisar os pontos expostos sobre a referida bacia de drenagem considera-se relevante, uma vez que deverá contribuir com informações úteis acerca da susceptibilidade à erosão da referida bacia, seus usos, suas implicações no açude Mesa de Pedra e em barragens de rios do semiárido nordestino. Esta pesquisa poderá reunir ainda novas informações sobre a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra, de modo a subsidiar a realização de pesquisas futuras a partir da constituição de um banco de dados.

Assim, configura-se como objetivo geral dessa pesquisa verificar se a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra (Rio Sambito) apresenta indícios a degradação ambiental a partir da análise da sua fragilidade ambiental.

Os objetivos específicos são:

- Realizar caracterização físico-ambiental da área com base no levantamento de informações pré-existentes, considerando as condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, pedológicas, e fitogeográficas;
- Analisar as características morfométricas da bacia de drenagem;

- Analisar a espacialização do uso e cobertura considerando quais atividades apresentam maior potencial para a fragilidade do solo;
- Gerar um mapeamento da fragilidade potencial e fragilidade emergente da bacia.

A dissertação está estruturada em seis capítulos:

O primeiro capítulo aborda a base teórico-metodológica que fundamentou a pesquisa, discutindo, inicialmente, a análise integrada da paisagem associada às bacias hidrográficas. Segue discutindo sobre degradação em bacias hidrográficas no semiárido e fatores causadores com enfoque no semiárido, finalizando com uma explanação acerca de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas em áreas semiáridas, abordagem dada à pesquisa a partir da metodologia de Ross (1994), análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.

No segundo capítulo são apresentados os materiais e métodos empregados na pesquisa, com as devidas adaptações necessárias à área de estudo.

O terceiro capítulo expõe a caracterização física da bacia com enfoque nos aspectos geológicos, geomorfológica, pedológicos e vegetação da bacia.

O quarto capítulo trata da análise pluviométrica da bacia e discute como a precipitação da área pode influir nos processos erosivos.

O quinto capítulo versa sobre a análise morfométrica da bacia de drenagem.

No último capítulo é apresentada a análise da fragilidade ambiental da bacia de drenagem, expondo os fatores de análise para fragilidade ambiental: relevo, erodibilidade da bacia; e análise da cobertura vegetal, resultando no mapeamento da fragilidade potencial e fragilidade emergente da bacia.

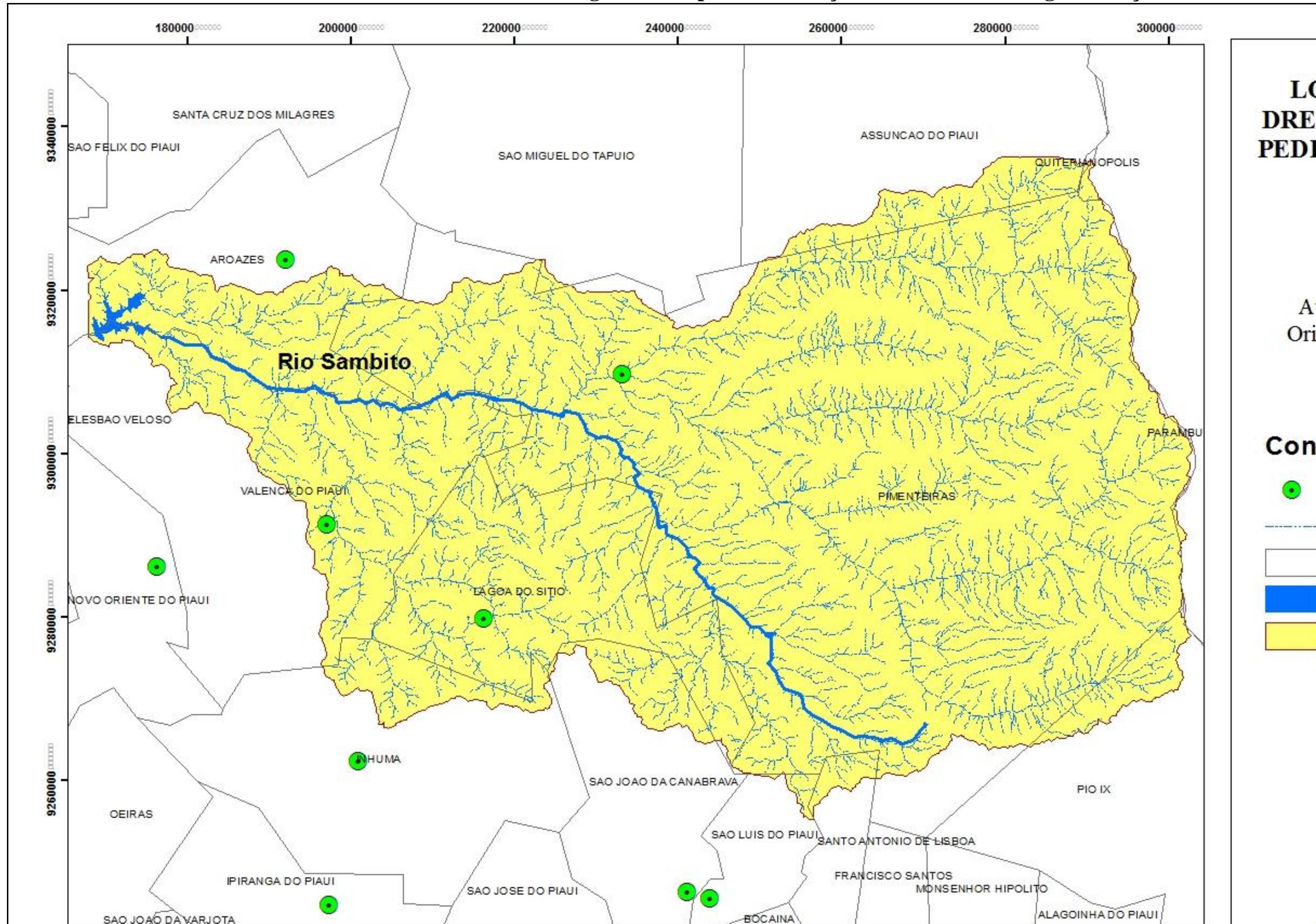
A dissertação finaliza com as conclusões e sugestões relevantes para a área.

## 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O açude Mesa de Pedra situa-se na mesorregião centro norte do Estado do Piauí, mais precisamente nos limites dos municípios de Elesbão Veloso e Valença do Piauí, na confluência do rio Sambito com o riacho São Vicente até a localidade Vargem Grande, entre os paralelos 6°05'S e 6°25'S e meridianos 41°50'W e 42°04'W (IDEPI, 1992) (figura 1).

A Barragem Mesa de Pedra foi construída com a finalidade de regularização de vazão do rio Sambito e implantação de projetos de irrigação, inaugurada em dezembro de 2001 (IDEPI, 1992).

Figura 1- Mapa de localização da Bacia de Drenagem do açude Mesa de Pedra



A bacia hidrográfica do rio Sambito apresenta uma área de 16.461 km<sup>2</sup>, que envolve 15 municípios do Estado do Piauí: Aroazes, Barra d'Alcântara, Elesbão Veloso, Francinópolis, Inhumas, Ipiranga do Piauí, Lagoa do Sítio, Novo Oriente, Pimenteiras, Prata do Piauí, Santa Cruz dos Milagres, São Miguel da Baixa Grande, São Félix do Piauí, Valença do Piauí e Várzea Grande. Dentre esses, dez municípios estão inseridos na bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra perfazendo uma área de 6.516 Km<sup>2</sup> são eles: Aroazes, Assunção do Piauí, Valença do Piauí, Pimenteiras, Inhumas, São João da Canabrava, São Luís do Piauí, Santo Antônio de Lisboa, Lagoa do Sítio e Pio IX.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO.

### 2.1 ANÁLISE DA PAISAGEM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A ciência geográfica possui várias formas de abordagem na análise do espaço geográfico. A interação entre as condições naturais e a produção social determina um dos princípios metodológicos da investigação geográfica. A análise da paisagem em bacias hidrográficas constitui uma abordagem de síntese, possibilitando a elaboração de diagnósticos integrados voltados para o planejamento ambiental.

Todavia, para a melhor compreensão dessa forma de análise é importante o conhecimento prévio do conceito de paisagem. Bertrand (1972), afirma que a paisagem é o resultado da interação dialética entre três principais subconjuntos: potencial ecológico, exploração biológica e a utilização antrópica. Bertrand coloca que existe uma relação entre as combinações dinâmicas e instáveis dos componentes naturais e socioeconômicos, fazendo da paisagem uma unidade indissociável e em constante evolução.

Julyard (1965) expõe que a paisagem é um dos conceitos mais importantes da Geografia, pois corresponde à interação dos aspectos físicos, biológicos e humanos de um determinado território. Já Ab'Sáber (1974) destaca a importância de entendê-las como heranças de processos fisiográficos e biológicos que possuem marcas justificadas pelas variações climáticas do Quaternário. Troppmair (1988) afirma que a paisagem pode ser compreendida com um sistema espacial de acontecimentos naturais e socioeconômicos.

A Geografia tem como objetivo oferecer a descrição e interpretação, de forma organizada e racional da dinâmica natural das paisagens e as intervenções humanas, sendo que os diferentes níveis destas últimas dependem do desenvolvimento cultural da sociedade (HASTSHORNE 1978 *apud* SEABRA, 1999).

Historicamente, na evolução do pensamento geográfico, a paisagem foi analisada por Humboldt, Ritter e Ratzel através da descrição de sua composição física e humana. Por meio de métodos comparativos e descritivos, os estudiosos consideraram a paisagem como o resultado das distribuições e inter-relações entre os componentes e os processos do meio natural, aplicando-se, a partir desses estudos, o conceito de paisagem natural. Assim, a partir, principalmente, das observações desenvolvidas por Humboldt, a Geografia recuperou a sua visão holística, apoiada por ferramentas e tecnologias inovadoras (TROPMAIR 2004 *apud* GORAYEB; PEREIRA, 2014, p. 12).

Além disso, autores de significativa importância para o desenvolvimento da ciência geográfica também contribuíram para a conceituação da paisagem, como Tricart (1977), que relacionou alguns critérios ecodinâmicos para a análise das paisagens, sendo estes estabelecidos através do balanço entre morfogênese e pedogênese. Sotchava (1977), influenciado pelos princípios da Teoria Geral dos Sistemas de L. Bertalanffy, considerou a interpretação da paisagem e de todo o seu instrumento teórico a partir de uma visão sistêmica.

Assim, nessa perspectiva, como as bacias hidrográficas apresentam-se bem delimitadas e integram processos e interações ecológicas (naturais e antrópicas), passaram a ser consideradas como unidades de estudo, planejamento e gerenciamento da paisagem, constituindo assim base para a realização de diversos trabalhos. Os resultados das atividades antrópicas tais como atividades agrícolas, industriais, de serviços evidenciados pelos usos desses ambientes, refletem muitas vezes na bacia hidrográfica de forma positiva ou negativa.

Logo a bacia hidrográfica pode ser então considerada um organismo sistêmico, pois é onde se realizam os balanços de entrada provenientes da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008).

Essas condições mencionadas são observadas na área de estudo da bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra, o que reforça a adoção da bacia hidrográfica como objeto de análise associada à metodologia do diagnóstico do meio físico, fornecendo subsídios concretos para a utilização e o manejo racional dos recursos naturais renováveis.

A configuração atual da superfície de uma bacia resulta de um longo processo de evolução, e reflete o equilíbrio dinâmico entre os fluxos de matéria e energia e os parâmetros que definem o comportamento da bacia em face desses fluxos (ZAVOIANU, 1985).

Mota (2008) expõe que a bacia hidrográfica também pode ser entendida como uma área geográfica que drena suas águas para um específico recurso hídrico, constituída por um curso hídrico principal recebendo água de seus afluentes, os quais podem integrar sub-bacias.

Entendendo a bacia hidrográfica como um sistema aberto, Chistofolletti (1980) afirma que todas as ocorrências que acontecem na bacia de drenagem repercutem direta ou indiretamente. Por isso, a importância de se analisar todos os componentes que participam dessa interação, organizando subsídios para projetos de planejamento e gestão, avaliando sempre os corpos d' água como meios que formam a bacia, para que não haja danos.

Conforme Silva, Rodrigues e Meireles (2011), a análise de uma bacia hidrográfica deve ser realizada a partir do aspecto sistêmico sustentável e complexo, pois quando se trata

de recurso hídrico, a tarefa consiste em considerar e compreender o arranjo espaço temporal do papel da água como um recurso indispensável para o funcionamento da biosfera.

Botelho e Silva (2007) apontam que a bacia hidrográfica, entendida como unidade natural, obedecendo a uma determinada área da superfície terrestre, sendo seus limites criados em função da drenagem – escoamento superficial e subsuperficial das águas, permite o conhecimento e a avaliação de seus diversos componentes, processos e interações que nela acontecem, justificando a necessidade do trabalho aqui proposto, como o de sua operacionalidade.

### **2.1.1 Análise morfométrica em bacias hidrográficas**

O estudo planejado de uma bacia hidrográfica, englobando todas as suas características é fundamental para que se proceda à utilização e ao manejo mais adequado de seus recursos. Para isso, é importante que se tenha conhecimento da dinâmica própria da bacia hidrográfica, buscando entender as interações que ocorrem entre os seus vários elementos, envolvendo, a dinâmica da drenagem superficial, os elementos da topografia local, as características físicas e as intervenções da sociedade.

As técnicas mais adequadas para o estudo de uma bacia de drenagem são: o estudo das relações entre as propriedades morfométricas; a análise das relações entre a morfometria e outros parâmetros do ambiente; o agrupamento das bacias que apresentam propriedades morfométricas similares, verificando se o agrupamento coincide com as regiões morfológicas originalmente definidas a partir de pesquisa de campo (DOORNKAMP; KING, 1971).

Nesse sentido, a morfometria trata da quantificação e medição dos diversos elementos da forma, englobando o conjunto de métodos para medir as dimensões físicas de um sistema, assim como de uma bacia hidrográfica (SPERLING, 1999).

Muitos trabalhos fazem uso da análise morfométrica para estudar bacias hidrográficas, servindo de metodologia de estudo e base para entendimento dos mais variados processos.

A análise morfométrica abrange um conjunto de índices morfológicos que visa à uma abordagem detalhada e quantitativa das bacias de drenagem. Esses índices são calculados com a finalidade de geração de dados geomorfológicos, os quais subsidiam na caracterização física da bacia de drenagem (MENDONÇA, 2013, p. 22).

Christofolletti (1980) classificou a análise morfométrica em cinco itens: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal, análise hipsométrica e análise topológica. Com base nos dados levantados pelos parâmetros morfométricos, é possível, por exemplo, identificar a vulnerabilidade ambiental da área, ou seja, se a bacia está mais suscetível à ocorrência de processos relativos à erosão, permitindo assim, orientar o manejo mais adequado e menos prejudicial na bacia (MACHADO; TORRES, 2012).

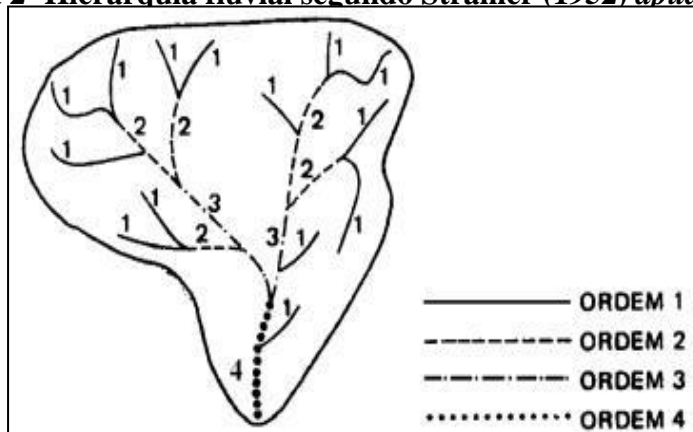
Contudo, a utilização da análise morfométrica no estudo de bacias hidrográficas não se constitui um fim, mas em mais um meio para explicar as interações que ocorrem entre todos os elementos da paisagem.

- **Hierarquia fluvial**

A hierarquia fluvial é uma classificação que demonstra o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia hidrográfica. Geralmente as bacias bem drenadas apresentam maior ordem (MACHADO; TORRES, 2012). A hierarquização consiste no procedimento de decompor em segmentos os canais fluviais, objetivando estabelecer a classificação dos mesmos em relação à totalidade de canais da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os critérios mais utilizados atualmente para hierarquização e de melhor análise morfométrica foram propostos por Strahler (1952) in Christofolletti (1980), nos quais, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários, se estabelecem desde a nascente até a confluência. A partir da confluência de dois canais de 1ª ordem surge um canal de 2ª ordem, da mesma forma que os canais de 3ª ordem surgem da confluência de dois canais de 2ª ordem (figura 2).

**Figura 2- Hierarquia fluvial segundo Strahler (1952) *apud* Christofolletti (1980)**



Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980)

- **Análise Linear**

Segundo Christofolletti (1980), nessa análise são agrupados os índices e relações relacionados à rede hidrográfica, cujas medições são realizadas ao longo das linhas de escoamento, destacando alguns parâmetros conforme quadro 1.

**Quadro 1- Parâmetros da análise linear**

<b>Parâmetro</b>	<b>Conceito</b>
Comprimento do rio principal	Corresponde à distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até a nascente.
Extensão do percurso superficial	Representa a distância média pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afetam tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias de drenagem.
Gradiente de canais	Relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. Objetivando indicar a declividade dos cursos de água

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

- **Análise Areal**

Essa análise tem como finalidade englobar vários índices nos quais intervêm medições planimétricas e medições lineares (CHRISTOFOLETTI, 1980), algumas destas estão citadas no quadro 2:

**Quadro 2 - Parâmetros da análise areal**

<b>Parâmetro</b>	<b>Conceito</b>
Área da bacia (A)	É toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial.
Comprimento da bacia (L)	Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala a equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele.
Densidade de rios (Dr)	É a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica.
Densidade da drenagem (Dd)	Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia.
Forma da bacia (Ic)	Interpreta tanto a forma quanto o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica
Coefficiente de manutenção (Cm)	Tem como finalidade fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.
Perímetro (P)	Corresponde ao comprimento dos limites estabelecidos pelos divisores de água.

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

- **Análise Hipsométrica**

A partir dessa análise é possível estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às variações altimétricas (CHRISTOFOLETTI, 1980). No quadro 3 observam-se alguns parâmetros.

**Quadro 3 - Parâmetros da análise hipsométrica**

<b>Parâmetro</b>	<b>Conceito</b>
Altitude mínima da bacia (Hmin)	Mede a menor altitude altimétrica localizada no interior da bacia, na foz do canal.
Altitude máxima da bacia (Hmax)	Mede a altitude altimétrica localizada no interior da bacia
Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm)	Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado a qualquer lugar da divisória topográfica.
Relação de relevo (Rr)	Considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia hidrográfica e a maior extensão da mesma, medida paralelamente à linha de drenagem.
Índice de rugosidade (Ir)	Produto da amplitude altimétrica da bacia de drenagem pela sua densidade de drenagem

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980).

- **Análise Topológica**

As primeiras considerações topológicas criadas para bacias hidrográficas foram propostas por Horton (1945) e posteriormente por Shreve (1966, 1967) in Christofolletti (1980). Esta análise relaciona-se com a maneira pela qual os vários canais encontram-se conectados, sem considerar nenhuma medida de comprimento, área ou orientação (CHRISTOFOLETTI, op. cit.).

Conforme Machado e Torres (2012), o perfil longitudinal de um rio corresponde a uma representação gráfica das variações da declividade do canal, desde a sua nascente até a foz, formando uma linha irregular, côncava para cima, maior em direção às nascentes e valores cada vez mais suaves à jusante.

Cunha (1996, p.18) afirma que “o perfil longitudinal de um rio sofre flutuações, devido às variações no escoamento e na carga sólida, o que acarreta muitas irregularidades no seu leito como as corredeiras e as depressões”.

## 1.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SEMIÁRIDO

O espaço geográfico que convencionou chamar-se de semiárido teve sua última atualização no ano de 2005 através de uma delimitação realizada pelo Ministério da Integração Nacional e outros órgãos, onde se observou que o mesmo ocupa 969.589,4 km<sup>2</sup>, dele fazem parte 1.133 municípios (BRASIL, 2005), nos quais as paisagens no semiárido brasileiro apresentam-se, quase totalmente, na região Nordeste do Brasil.

Conforme Ab'Saber (1974), o Nordeste semiárido brasileiro fica localizado em uma posição marginal, relativamente aos ambientes de climas áridos e semiáridos tropicais e subtropicais do Globo. Segundo o autor, os climas sertanejos semiáridos apresentam exceções em relação aos climas peculiares às faixas de latitudes similares, sendo considerado como um clima sazonal de expressão regional

Os recursos hídricos denotam ainda, influência das condições morfoestruturais. Em áreas de terrenos cristalinos, a baixa porosidade limita o potencial hidrogeológico e condiciona um padrão de drenagem dendrítico. Já nas áreas sedimentares, a elevada porosidade justifica a pequena frequência de rios e riachos.

A região Nordeste compreende dois contextos hidrogeológicos distintos, de extensões quase iguais: o domínio das rochas do substrato geológico cristalino Pré-cambriano, praticamente impermeáveis e subaflorantes; e o das rochas sedimentares, cujas idades vão do Siluriano ao Terciário, nas quais ocorrem importantes horizontes aquíferos. Esse domínio abrange principalmente o estado do Maranhão, 80% do Piauí e cerca de metade dos estados do Rio Grande do Norte e da Bahia. (REBOUÇAS, 1997, P. 141).

As bacias hidrográficas do semiárido representam uma área geográfica onde há vários agentes e fatores que influenciam o seu estado de conservação. Diante da baixa disponibilidade de água subterrânea somada aos rios intermitentes do semiárido, em algumas bacias são construídos barramentos necessários para garantir um volume mínimo de água para abastecimento.

Os reservatórios do semiárido na maioria das vezes são construídos com objetivo de armazenar água, oferecendo diversas utilizações. Rebouças (1997) cita que os primeiros açudes do Nordeste semiárido foram construídos nas secas de 1825, 1827 e 1830 com finalidade ao abastecimento humano e animal.

Vale ressaltar que historicamente a escassez de água no semiárido é apontada como um dos principais motivos para o baixo índice de desenvolvimento econômico e social.

Porém, os aquíferos da região Nordeste apresentam o significativo potencial hídrico e podem ser explorados de maneira sustentada. Rebouças (1997, p. 141) afirma que os fluxos de água nos rios e aquíferos, bem como os volumes neles estocados, natural ou artificialmente, constituem as reservas móveis de água à medida que podem ser utilizadas fora dos locais onde caíram as chuvas que lhes deram origem.

Maior parte do território piauiense encontra-se em área sedimentar com presença de aquíferos, assim como a área acometida pela seca no semiárido desse Estado, que abrange uma área 156.241,25 Km<sup>2</sup>, totalizando 150 municípios, correspondendo cerca de 62% do Estado do Piauí (ABREU *et al.*, 2000) . Portanto, é bastante viável o aproveitamento de água subterrânea nessa área, na figura 3 observa-se o potencial hídrico.

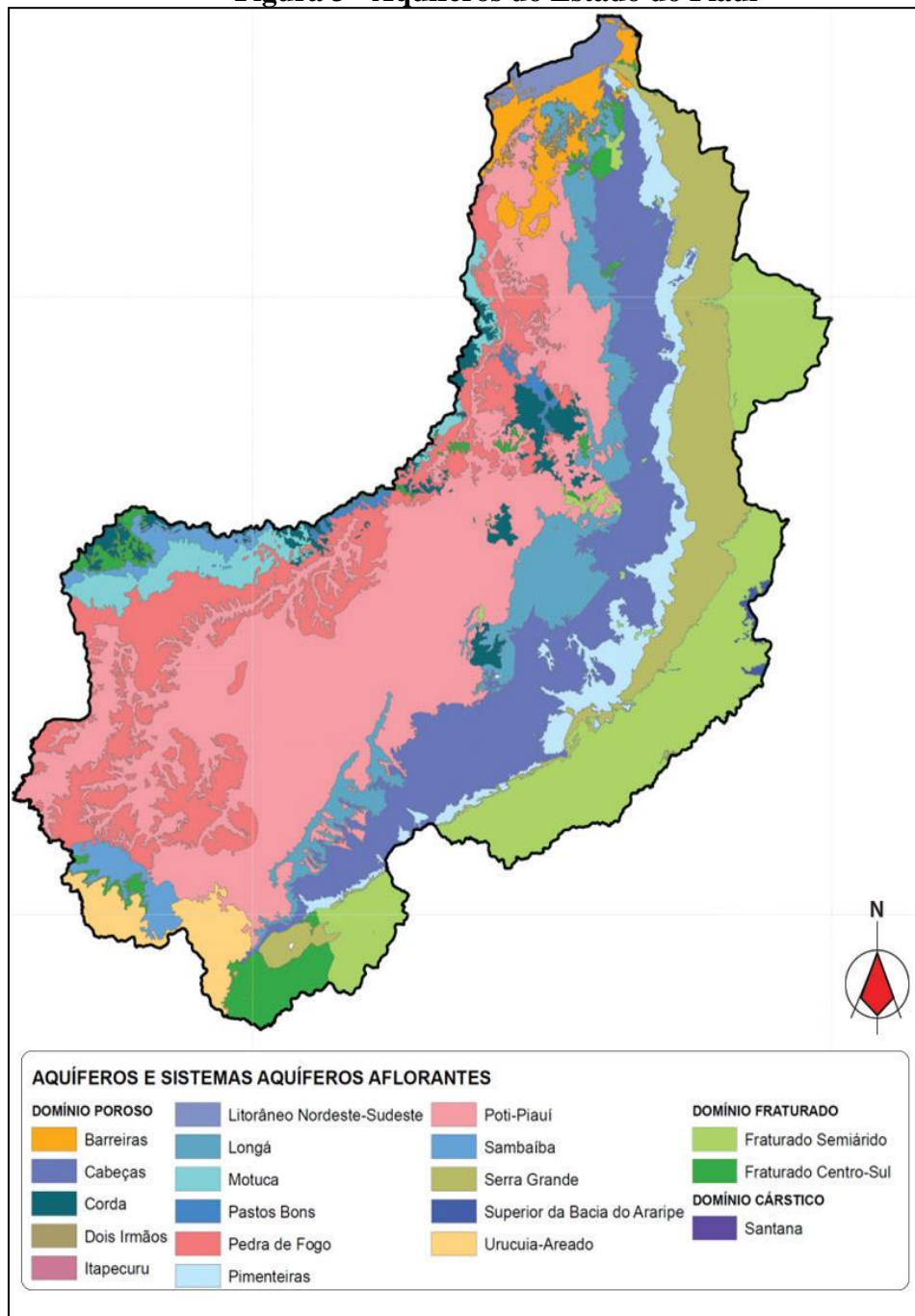
As unidades litoestratigráficas aflorantes na bacia sedimentar do Parnaíba estão agrupadas e representadas pelas formações Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças, coberturas triássico-quaternárias e aluviões. Da disposição estratigráfica desses sedimentos resultou a formação de uma sequência de aquíferos superpostos, em que sobressai, por sua potencialidade, a unidade Serra Grande (CPRM, 1999).

A interação do homem com o meio ambiente sempre resultou em mudanças, que acompanham a evolução do ser humano como ser social. Essas alterações ocorrem no uso de novos meios, novas tecnologias e novas técnicas tanto referentes à produção econômica quanto aos mecanismos para a melhoria do bem-estar social. No entanto, algumas dessas mudanças vêm causando problemas para a sociedade e, dentre essas, uma de significativo destaque é a questão da degradação ambiental em bacias hidrográficas.

Segundo Lemos (2001) a degradação ambiental configura-se como destruição ou desgaste gerado ao meio ambiente a partir de atividades econômicas e de aspectos populacionais e biológicos. Balsan (2006) também destaca algumas causas responsáveis pelo processo de degradação: ação humana, aumento populacional, práticas inadequadas na agropecuária e construções de complexos industriais.

Verifica-se que no Nordeste, as diversas formas de uso e ocupação do território fundamentaram-se no aproveitamento do potencial hídrico localizado, explorando, de forma extensiva, tanto a agricultura quanto a pecuária. Contudo, diante da irregularidade do regime das chuvas e do baixo nível de equipamentos para exploração, não se conseguiram condições de consolidação econômica dessas atividades. Por sua vez, tais condições primitivas de uso e ocupação do meio físico muito têm contribuído para a destruição do solo, o empobrecimento das pastagens nativas e a redução das reservas de água localizada (REBOUÇAS, 1997).

**Figura 3 - Aquíferos do Estado do Piauí**



Fonte: ANA, (2015)

As bacias hidrográficas, tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais sofrem grandes alterações, principalmente, pela impermeabilização do solo, que gera mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápida, aumento na frequência de enchentes, que prejudicam a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, as condições de vida da população (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009, p. 306).

Para que o uso dos recursos naturais ocorra de forma sustentável é necessário que o processo de desenvolvimento aconteça com preservação da capacidade produtiva desses recursos. Quando são mal utilizados, a produtividade da agricultura é reduzida, os processos de desertificação avançam, os ecossistemas e mananciais hídricos tornam-se mais fragilizados e o sustento das populações é reduzido (CIRILO, 2008).

A degradação se apresenta de diversas formas, a mais conhecida e séria é a degradação das condições do solo, pois esta é dificilmente reversível, uma vez que processos de formação e regeneração do solo são muitos lentos. Por isso, FAO (1980 *apud* Guerra, 2014) aponta alguns fatores causadores da degradação do solo (quadro 4).

**Quadro 4 - Classificação de fatores de degradação das terras**

	<b>Ações antrópicas</b>	<b>Condições naturais</b>
Fatores facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desmatamento</li> <li>- superpastoreio</li> <li>- uso excessivo de vegetação</li> <li>- taludes de corte</li> <li>- remoção da cobertura vegetal para o cultivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- topografia</li> <li>- textura do solo</li> <li>- composição do solo</li> <li>- cobertura vegetal</li> <li>- regime hidrológico</li> </ul>
Fatores diretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uso de máquinas</li> <li>- condução do gado</li> <li>- encurtamento do pousio</li> <li>- entrada excessiva de água e/ou drenagem insuficiente</li> <li>- excesso de fertilização ácida</li> <li>- uso de excesso de produtos químicos/estrupe</li> <li>- disposição de resíduos domésticos/industriais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- chuvas fortes</li> <li>- alagamentos</li> <li>- ventos fortes</li> </ul>

Fonte: FAO (1980 *apud* Guerra 2014)

Assim, muitas das consequências oriundas da degradação ambiental resultam da atividade agropecuária. Um dos principais problemas ambientais da sociedade moderna é a erosão do solo, que vem repercutindo diretamente na produção agrícola mundial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). No cenário brasileiro, essa questão tem também relevante parcela decorrente da exploração da agropecuária, atividade que possui forte importância econômica para o país.

Gliessman (2005) ressalta que dentre as variadas práticas e técnicas oriundas da agropecuária, as que mais geram danos ao meio ambiente estão o cultivo intensivo do solo, o uso de fertilizantes, a irrigação, o uso de agrotóxicos e a manipulação dos genomas das plantas.

A suscetibilidade à erosão de um determinado local caracteriza-se pela interação ou não de fatores controladores, que determinam as variações nas taxas de erosão. Segundo Guerra e Cunha (1998 *apud* Cançado; Lorandi, 2002) esses fatores controladores são a

erosividade (ocasionada pela chuva), erodibilidade (proporcionada pela característica do solo) e as características das encostas e da cobertura vegetal.

O estudo do escoamento das águas torna-se necessário para compreensão e determinação da erosão dos solos. Sampaio *et al.*, (2003) afirmam que no semiárido as chuvas fortes sob a cobertura vegetal caducifólia, típica da caatinga, resultam em carregamentos de sedimentos, assoreamento rápido de reservatórios de água, acúmulo de sedimentos nas áreas rebaixadas, indicando assim, altas taxas de erosão e produção local de sedimento, estabelecendo assim um problema ambiental na região.

Devido as suas características climáticas, edáficas e as práticas de explorações insustentáveis, o semiárido brasileiro constitui um ambiente vulnerável à erosão hídrica, resultando dessa forma, no empobrecimento dos solos agrícolas e comprometendo a qualidade das águas dos reservatórios superficiais (FROTA, 2012).

A erosão se processa de várias maneiras, dependendo do seu ambiente de ocorrência. Dois aspectos são essenciais para a compreensão dos processos erosivos na atualidade: a erosão natural e a erosão acelerada (induzida). A primeira, resultado das condicionantes dos agentes naturais; e a segunda, resultado das influências proporcionadas pela ação do homem na produção do espaço (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003).

Bigarella (2007) expõe que a erosão natural ou geológica ocorre naturalmente no ambiente, sendo menos percebida pelo homem com o passar dos anos. Na erosão acelerada, a ação antrópica exerce um papel importante, resultando na remoção de grande massa de material a curto prazo, abrindo sulcos mais ou menos profundos na superfície do terreno e destruindo o solo no meio rural.

Os processos de erosão natural são considerados benéficos, uma vez que a formação de inúmeras colinas suaves, planícies extensas e vales férteis ocorreram pela ação da erosão e das geleiras. O problema acontece quando o homem destrói os anteparos naturais, intensificando o processo erosivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Bertoni e Lombardi Neto (2012) afirmam ainda que a erosão hídrica ocorre das seguintes maneiras: erosão laminar, em sulcos e voçorocas. A erosão laminar constitui na lavagem da superfície do terreno com a remoção do solo uniformemente, esse tipo erosão é menos notado.

A erosão em sulco é resultado de pequenas irregularidades na área, causada pela enxurrada que, atingindo velocidade e volume, concentra-se em determinados locais do terreno. As voçorocas são percebidas quando os sulcos foram bastante erodidos em largura e profundidade (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2012).

Além dessas formas de erosão hídrica, também é possível observar em bacias hidrográficas o aparecimento de ravinas. Estas incisões podem ser vistas como canais naturais que resultam do desequilíbrio natural ou induzido pelo homem que algumas vezes podem ser confundidas com voçorocas. Para efeito de diferenciação ravinas podem ser consideradas incisões com menos de 50 centímetros e voçorocas com largura e profundidade acima de 50 centímetros (OLIVEIRA, 2012).

No sul do Estado do Piauí, encontram-se 10,95% de áreas em diferentes níveis de degradação ambiental. São notáveis as evidências que indicam a possibilidade de expansão da desertificação particularmente no núcleo de desertificação de Gilbués, onde a vulnerabilidade ambiental aliada à histórica ocupação desordenada do solo e à realização de atividades antrópicas degradantes (pecuária, agricultura de subsistência, lenha e carvão, garimpo de diamantes, etc.) contribuíram para o processo de degradação ambiental da região de Gilbués (PIAUI, 2010).

Em relação ao Piauí, acrescenta-se ainda que, características naturais tornam algumas áreas vulneráveis à erosão. A presença de solos do tipo Neossolos Litólicos rasos, pedregosos, de pouca espessura, com relevo forte ondulado a escarpado e Neossolos Quartzarênicos de textura arenosa, bem como clima semiárido e/ou subúmido seco, com totais pluviométricos entre 278 e 878 mm com baixa umidade relativa do ar (PIAUI, 2010).

Infere-se assim que, para o uso adequado das bacias hidrográficas em áreas como o semiárido, é necessário que haja uma forma de gestão que considere a água um recurso finito imprescindível, além de adequar as formas de uso às necessidades locais sem deixar de considerar o estado de conservação da bacia, pois dependendo das formas de uso as bacias hidrográficas podem tornar-se degradadas.

### **2.2.1 Fragilidade ambiental e bacia hidrográfica em áreas semiáridas**

A realização de estudos sobre as fragilidades e potencialidades ambientais correlacionadas à sociedade e à natureza, em especial em bacias hidrográficas do semiárido, é necessária na atualidade já que este se constitui um ambiente bastante explorado e naturalmente frágil. De acordo com Frota (2012), o semiárido padece de vulnerabilidade de caráter geoambiental, socioeconômico e científico-tecnológico. O ritmo e a forma de ocupação demográfica e produtiva do seu ambiente acentuam as fragilidades.

A geografia deve cumprir a função, não apenas de diagnosticar as potencialidades dos recursos naturais, nordeando a sustentabilidade da sua exploração, mas também detectar as fragilidades contidas nos sistemas ambientais e sugerir o procedimento técnico-econômico mais adequado, a fim de evitar a sensível alteração do equilíbrio ecossistêmico (SEABRA, 1999, p.110)

As regiões semiáridas são caracterizadas por particularidades naturais refletidas pelas condições do clima, de solo, de vegetação, assim como da deficiência hídrica, fazendo com que o ambiente seja bastante vulnerável à ocupação. A consequência dessa natural situação de vulnerabilidade gera sérios problemas para a região podendo ser intensificada pelo modelo de produção implantada na área, que reflete, muitas vezes, a fragilidade ambiental do meio.

O interesse crescente pelos recursos naturais tem agravado a degradação das terras. A inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, aumentando 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 (Ribeiro *et al.*, 2009).

Ross (2009, p. 50) afirma que as fragilidades dos ambientes naturais diante das intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Nesse sentido, a metodologia proposta por Ross (1994), intitulada Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, inspirada nas ideias de Tricart (1977), configura-se bastante eficaz na análise de degradação ambiental de bacias hidrográficas.

Tricart (1977) baseia-se na concepção ecológica de que o ambiente deve ser analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através das relações em equilíbrio dinâmico.

Conforme o referido autor, os ambientes podem ser classificados em estáveis, integrados e fortemente instáveis. Os meios estáveis são aqueles onde os processos ocorrem de forma lenta e até mesmo imperceptíveis onde os impactos são de menor intensidade. Os meios integrados definem-se como ambientes de transição, podendo ser a passagem de um meio estável para um meio instável. O instável, por sua vez, tem dinâmica natural muito intensa, podendo-se até admitir atividades catastróficas.

Nessa perspectiva, essa metodologia sugere um estudo integrado dos elementos que compõem o estrato geográfico, como geologia, relevo, solo, tipo de cobertura vegetal e clima. O diagnóstico de diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais é alcançado a partir do tratamento integrado desses elementos.

Logo, a análise de fragilidade exige conhecimentos referentes ao relevo, geologia, solos, cobertura vegetal, uso da terra e clima. Para a caracterização do relevo, o autor aponta que, para as escalas médias e pequenas, devem-se utilizar os índices de dissecação do relevo e em escalas grandes, as formas das vertentes e classes de declividade. Para o estudo dos solos, deve-se criar uma tabela contendo as classes de fragilidade dos solos, que apresentará os valores para a erodibilidade dos solos. A análise de uso do solo e cobertura vegetal deve ser feita pela interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas e analisadas pela tabela de graus de proteção do solo pela cobertura vegetal (ROSS, 1994).

Após a caracterização inicial da área de estudo, as próximas etapas de realização da metodologia consistem na preparação dos seguintes mapas: o primeiro mapa indicando a hierarquia das classes dos Índices de dissecação do relevo (classes sugeridas na metodologia); o segundo mapa indicando a hierarquia das classes de erodibilidade dos solos; e o terceiro mapa indicando a hierarquia das classes de proteção aos solos pela cobertura vegetal.

A metodologia segue com o procedimento de cruzamento das informações dos mapas de dissecação de relevo e de erodibilidade dos solos – resultado da relação relevo/solo. Finalizando com o cruzamento das informações dos mapas relação relevo/solo com o de Uso da terra/Vegetação, resultando em um produto cartográfico síntese, que classifica e qualifica a área estudada em Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, com diferentes graus de Instabilidade Potencial e Emergente.

Alguns autores trabalharam com essa metodologia Cruz, Junior e Rodrigues (2010) analisaram a fragilidade ambiental da bacia de drenagem do Córrego Glória, em Uberlândia-MG, realizando a interpolação dos mapas de uso da terra, declividade e tipo de solo. Messias, *et al.*, (2012) relacionaram informações da dissecação de relevo com o uso do solo e cobertura vegetal, verificando que a fragilidade ambiental média é a predominante na área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG.

Observa-se uma característica em comum nesses trabalhos: o uso de técnicas de geoprocessamento para confecção de mapas, como por exemplo, os trabalhos de Kawakubo *et al.*, (2005), Amaral; Ross (2009) e Silva; Costa (2011).

Essa metodologia criada por Ross (1994) foi formulada a partir do estudo de uma área da região Sudeste, logo, para ser aplicada na região semiárida é importante fazer adaptações visto que as duas regiões apresentam características naturais e sociais distintas. Existem poucos trabalhos publicados para a região semiárida, onde esse estudo será bastante útil para se verificarem as condições ambientais da mesma.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme Pires *et al.*, (2002), alguns procedimentos devem ser considerados no estudo de bacias hidrográficas: conhecimento da estrutura ambiental; compreensão de sua dinâmica (processos); avaliação dos seus potenciais e limitações atuais; simulação das respostas ambientais em frente às ações propostas e comparação entre alternativas de outras possíveis ações, incluindo a não ação.

Esta pesquisa segue a metodologia proposta por Ross (1994), a qual analisa a fragilidade ambiental dos ambientes naturais antropizados, realizando algumas adaptações para área de estudo. Além disto, optou-se por acrescentar a essa metodologia outros procedimentos como: análise morfométrica da bacia e análise granulométrica. Julgou-se interessante a aplicação dessas técnicas, pois elas contribuirão para melhor análise da bacia.

#### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Essa etapa constituiu-se como base para fundamentação teórica, isto é, levantamento bibliográfico relacionados à temática da área estudada através de leituras de autores sobre o tema da pesquisa. Além disso, foram levantados dados cartográficos disponíveis (mapas, imagens de satélite etc.) em órgãos como SEMAR (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Universidades (UFPI, UESPI, UFC e UECE) além de periódicos. Esses levantamentos também auxiliaram a caracterização física da bacia.

#### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS GEOCARTOGRÁFICOS

As técnicas de sensoriamento remoto e fotointerpretação de imagens destacam-se como uma técnica bastante útil no estudo de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, além de gerar, em curto espaço de tempo, quantidade significativa de informações.

Partindo dos resultados dessa etapa foi possível confeccionar os mapas de caracterização físico- ambiental da bacia de drenagem, (geológico, geomorfológico e pedológico), hipsométrico, de erodibilidade, de uso e cobertura vegetal e mapa de fragilidade

potencial e emergencial. Para essa etapa fez-se uso do *software Arcgis 9.3.1* (licença – EVA902844739).

Para aquisição de informações e confecção dos mapas a respeito da geologia pedologia, erodibilidade e geomorfologia foram utilizados os *shapes* disponibilizados pela CPRM (2006), EMBRAPA (2006) e IBGE (2007, 2009).

Os mapas foram elaborados na escala de representação de 1:500.000 utilizando-se a projeção cartográfica UTM (Universal Transverso de Mercator) tendo como *datum* geodésico o SIRGAS 2000, *datum* utilizado pela cartografia brasileira.

A caracterização hipsométrica e o mapa de declividade foram confeccionados a partir de dados da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) cedidos pela EMBRAPA (2010), de onde foram extraídas as curvas de nível de 100 m.

Para confecção do mapa de cobertura e uso, fragilidade potencial e fragilidade emergencial utilizou-se uma imagem disponibilizada gratuitamente pelo site do serviço geológico americano (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), configurada na cena de órbita 218 e posição 064, de 19/11/2015. A imagem foi composta nas bandas 564 no filtro RGB, reprojeta para SIRGAS 2000, no sensor OLI.

### 3.3 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As práticas de laboratório tiveram início logo após a coleta de amostras de solos e foram realizadas no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), com o intuito de realizar a análise granulométrica do solo.

Foram coletadas 18 amostras de solo distribuídas pelos seguintes tipos de solo: Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelo, Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos. Devido à extensão da área de estudo não houve coleta do solos Plintossolos e Neossolos Regolítico (figura 4).

A realização dessas análises basearam-se no método tradicional descrito por Suguio (1973) e Coimbra *et al.*, (1991). Para as análises laboratoriais adotou-se a escala de Wentworth (1922).

As etapas da granulometria foram divididas em peneiramento e pipetagem (figura 5). No primeiro momento aplicou-se o método de peneiramento, as amostras já previamente secas em estufa e quarteadas em 100g partem para o peneiramento úmido, o qual tem por finalidade desvincular a fração mais fina da amostra em água corrente através de uma peneira

e malha 0,062 mm para separação das frações mais finas (silte e argila) da fração mais grossa (areia fina, areia média, areia grossa e cascalho), sendo a fração mais grossa levada novamente para secagem em estufa a 60°C durante 72h, conforme descrito em (SUGUIO, 1973).

**Figura 4 - Coleta de amostra de solo**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

Logo após essa etapa, utilizando peneiras com malhas de 4,00 mm, 2,83 mm, 2,00 mm, 1,410 mm, 1,00 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,354 mm, 0,250 mm, 0,177, 0,125 mm, 0,088 mm, e 0,062 segundo Wentworth (1922), as amostras são agitadas em um equipamento (ro-tap) que agita mecanicamente as peneiras.

Os materiais menores, como siltes e argilas que passaram pela abertura da menor malha (0,0062mm de diâmetro) onde se aplicou o método específico de decantação e pipetagem. Na pipetagem usou-se um antifloculante com o intuito de se obter uma suspensão, segundo a Lei de Stokes (1854), seguida de sucessivas pipetagens obedecendo a rígidos horários de coleta. Logo após a obtenção dos pesos de cada malha e dos frascos da pipetagem pela análise granulométrica, seus valores foram inseridos em um programa de análise sedimentológica, o Sistema de Análise Granulométrica (SAG).

Esse programa foi desenvolvido pelo Departamento de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, localizado na cidade do Rio de Janeiro – RJ, o qual calcula o peso retido em cada fração granulométrica convertendo em porcentagem e possibilita ainda desenvolver gráficos mostrando histogramas e curvas de frequência através

dos parâmetros estatísticos além da classificação textural segundo o método sugerido por Folk & Ward (1957).

**Figura 5- Etapas da análise granulométrica**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

## 2.4 ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS

De acordo com a metodologia para se alcançar a classificação das unidades ecodinâmicas, é necessário fazer os levantamentos de dados sobre relevo, solos, clima e uso e cobertura da terra que se constituirão fatores determinantes dos graus de fragilidade ambiental. No quadro 5 apresentam-se os fatores de análise sugeridos pela metodologia e seus respectivos elementos para se atingir o resultado na pesquisa.

**Quadro 5 - Fatores/elementos/resultados de análise para determinação da fragilidade ambiental**

<b>Fatores de análise para fragilidade ambiental</b>	<b>Elementos analisados com adaptações para área de estudo</b>	<b>Resultado preliminar esperado</b>	<b>Resultado final</b>
Relevo	Índices de declividade	Mapa de declividade	MAPA DE FRAGILIDADE POTENCIAL  E  MAPA DE FRAGILIDADE EMERGENCIAL
Solos	Textura (análise granulométrica). Características naturais de cada tipo de solo.	Mapa de erodibilidade da bacia	
Uso da Terra/Cobertura vegetal	Cobertura vegetal particular do semiárido. Tipos de uso da Terra.	Mapa de uso e cobertura vegetal	

Fonte Adaptado de Amaral, (2009)

As etapas intermediárias para a elaboração do mapa síntese requerem os mapeamentos dos padrões de formas do relevo (dissecação de relevo ou declividade), de solo e de uso e cobertura vegetal. As informações de geologia e clima são utilizadas em conjunto com os demais mapas como informações adicionais.

Para o padrão de formas de relevo é sugerida a utilização da matriz do índice de dissecação do relevo (Ross, 1990), que é baseado na relação de densidade de drenagem/dimensão interfluvial média para a dissecação no plano horizontal e nos graus de entalhamento dos canais de drenagem para a dissecação no plano vertical. Nessa pesquisa utilizaram-se os índices de declividade apontados por Ross (1994), que classifica as seguintes categorias hierárquicas: muito fraca (até 6%), fraca (de 6% a 12%), média (12% a 20%), forte (12% a 30%) e muito forte (> 30%).

A fragilidade do solo ou erodibilidade corresponde à susceptibilidade do solo à erosão. Ross (1994), em sua metodologia apresenta as classes de solos com suscetibilidade à erosão, no entanto, destaca a necessidade de realizar adaptações considerando a área de estudo. Nesse sentido, a análise granulométrica também contribuiu para verificação da erodibilidade da bacia. As diferenças nos atributos explicam, em muitos casos, o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição do ambiente.

Outro elemento pertinente na metodologia é a análise do tipo de uso do solo e a cobertura vegetal, levando em consideração também uma matriz estabelecida pelo autor. Além de proteger o solo contra a perda de material por erosão, o uso adequado e a cobertura

vegetal o protegem direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo.

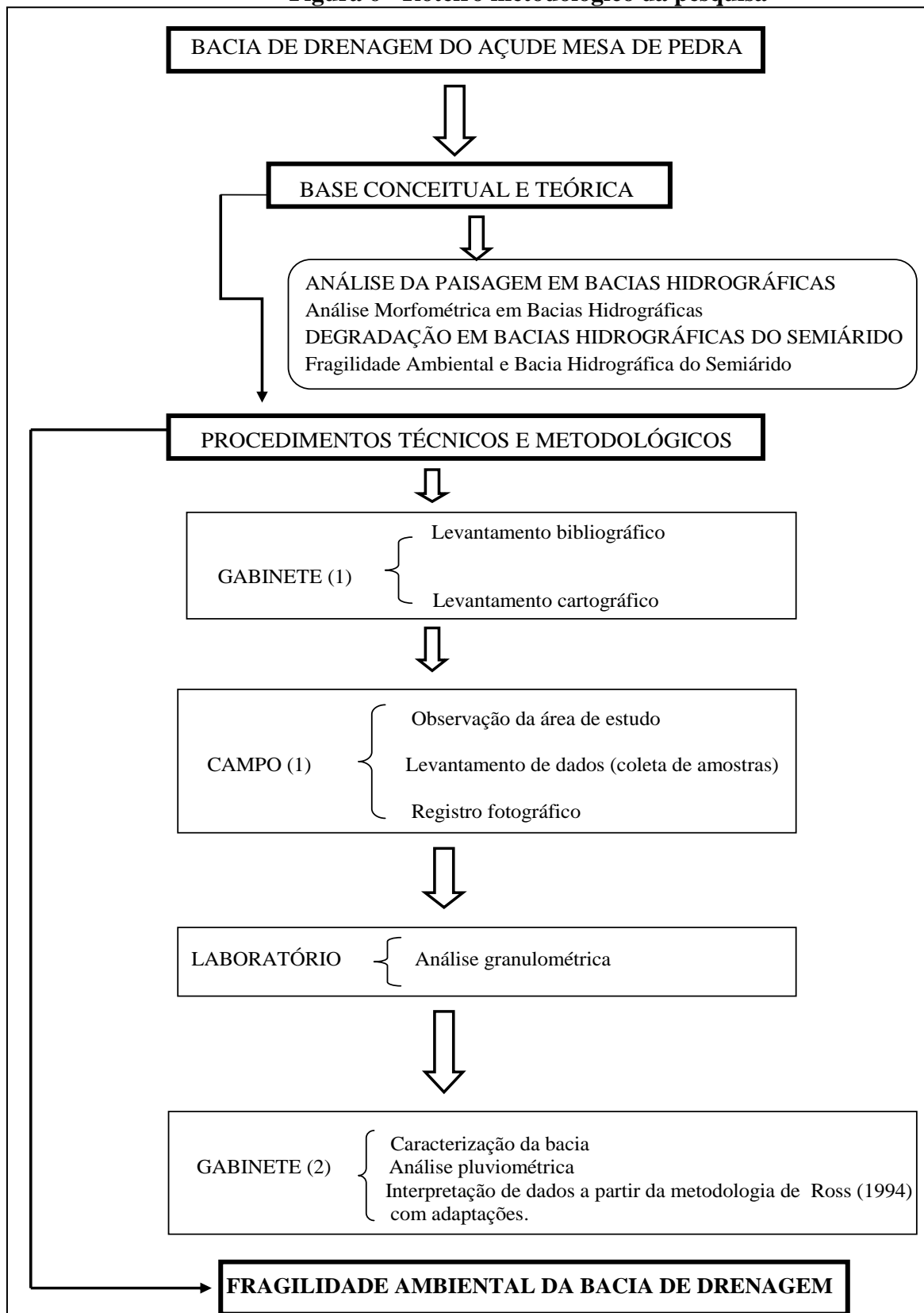
A partir dos resultados obtidos, Ross (1994) indica uma sistematização hierárquica nominal de fragilidade, representada por códigos (variam de 1 a 5). Esses códigos auxiliaram a análise da Fragilidade Potencial a qual classifica a área de Unidade Ecodinâmica Estável, ou Instabilidade Potencial, e de Fragilidade Emergente, classificando como Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente.

As Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial (Estáveis) são as que estão em equilíbrio dinâmico em seu estado natural, porém, há uma instabilidade potencial contida nelas diante da possibilidade da intervenção antrópica; e as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente (Instáveis) foram definidas como os ambientes naturais que foram modificados intensamente pelo homem, portanto, denominados ambientes antropizados.

A metodologia propõe ainda que se possa aplicar, como última etapa, para cada Unidade Ecodinâmica Estável e Instável encontrada, a Equação Universal de Perdas de Solo. Entretanto para essa pesquisa, optou-se por não realizar esse procedimento, pois a mesma não é apresentada como obrigatória para que se alcance o resultado final da pesquisa.

O roteiro metodológico (figura 6) indica as etapas realizadas, desde a fundamentação teórica e seguindo pelos procedimentos técnicos e metodológicos, necessários para alcançar o resultado final da pesquisa: a fragilidade ambiental da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra.

**Figura 6 - Roteiro metodológico da pesquisa**



Fonte: Elaborado pela autora, (2016)

## **4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA**

### **4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS**

O semiárido piauiense está assentado sobre duas grandes unidades geológicas: bacia sedimentar do Maranhão-Piauí, que abrange 84% da área sedimentar do Estado, e o embasamento cristalino, que ocupa cerca de 16% do território piauiense, pertencente ao núcleo nordestino de escudos brasileiros datados do período Pré-Cambriano (AQUINO, 2002).

É importante ressaltar que os tipos de rochas que formam o solo também repercutem na taxa de erosão, verificando-se que pode haver diferenças na resistência contra o processo erosivo (desagregação física ou decomposição química) dentro do mesmo grupo de rochas, mais em diferentes locais e em diferentes situações (SILVA *et al.*, 2003).

Considerando o mapa de geologia do Estado do Piauí da CPRM (2006), a bacia de drenagem do Açude Mesa de Pedra - rio Sambito inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba, apresenta em sua geologia a Formação Serra Grande, Formação Sardinha, Formações Pimenteiras, Cabeças, Poti e Longá, e a Formação Piauí, além Depósitos de Colúvio – Eluviais do Período Tércio Quaternário da Era Cenozoica, formado por sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos (figura 11).

A Formação Serra Grande (figura 7) se formou no Paleozóico/Siluriano e constitui-se de arenitos brancos, grosseiros, conglomeráticos com seixos de 20 cm de diâmetro. Apresenta suave mergulho W, formando no Estado do Ceará, a “cuesta” da Ibiapaba, chegando a atingir até 600m de espessura, na localidade de Ipu (CE). O seu contato superior ocorre de forma concordante, com os folhelhos da Formação Pimenteiras (CEPRO, 1996).

As formações Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti incluem-se no Grupo Canindé. Dentre estas, a Formação Pimenteiras consiste em uma alternância de estratos pouco espessos de arenitos finos, argilosos, subangulosos, cinza a avermelhados, com folhelhos cinza-escuros a marrom-avermelhados, contendo delgadas intercalações de siltitos (figura 8). A porção inferior mostra-se mais arenosa, cinza-clara, com lâminas de siltitos e folhelhos cinza a avermelhados (CPRM, 2010).

**Figura 7 - Vestígio da Formação Serra Grande - município de Pimenteiras**



Fonte: Registro da autora, (2015)

**Figura 8 - Afloramento da Formação Pimenteiras – município de Valença do Piauí**



Fonte: Registro da autora, (2015)

A Formação Cabeças é predominantemente arenosa demonstrando feições erosivas em algumas áreas. Predominam arenitos médios a finos, por vezes grosseiros, pouco argilosos (figura 9). Segue-lhe a formação Longá (figura 10) constituída de siltitos e folhelhos, com intercalações de arenitos. Esse conjunto de estratos foi depositado em ambiente de sedimentação marinho raso, posicionados no Período Devoniano, da Era Paleozóica (CPRM, 2010; CEPRO, 1996). Já a Formação Poti é composta por arenitos fino-médios, subangulosos e argilosos e siltitos, depositados em ambiente deltaico e em planícies de maré, no início do Carbonífero.

**Figura 9 - Vestígio da Formação Cabeças no município Lagoa do Sítio.**



Fonte: Registro da autora, (2015)

**Figura 10 - Afloramento da Formação Longá**



Fonte: Registro da autora, (2015)

Com pouca expressão na bacia de drenagem do Açude, a Formação Sardinha, dispõe da presença de basaltos e diabásios do Período Cretáceo da Era Mesozoica, apresentando-se como um único afloramento de rocha ígnea na área.

Vale ressaltar que a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra está inserida numa área rica em água subterrânea, como o aquífero Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti-Piauí, todos com bom potencial hídrico (BRASIL, 2006).

Figura11- Mapa de aspectos geológicos da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra

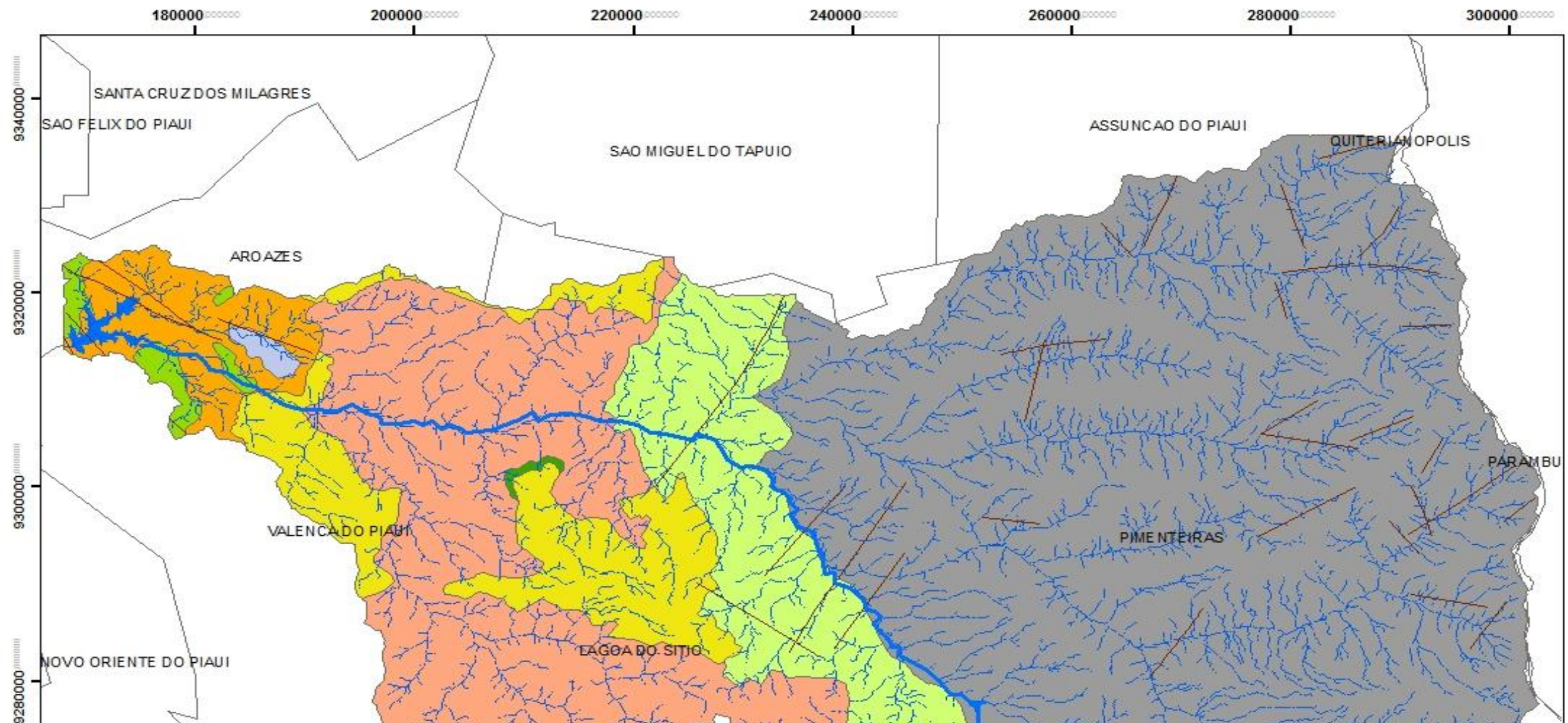


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



Dissertação: Degradação Ambiental da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra/  
Valença do Piauí a Partir da Erosão dos Solos no Contexto do Semiárido Piauiense

Autora: Cleonice do Nascimento Silva  
Orientadora: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andrea Almeida Cavalcante



### 3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

O Piauí está inserido em dois domínios morfoestruturais: Cinturões Móveis Neoproterozóicos, e Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas (IBGE, 2009). Encontra-se na bacia de drenagem esse último domínio tendo como característica planaltos e chapadas desenvolvidas sobre rochas sedimentares horizontais a sub-horizontais, em ambientes de sedimentação diversos, dispostos nas margens continentais e/ou no interior do continente. Além de estar sobre uma área de domínio morfoclimático da caatinga (IBGE, 2009).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) realizou a compartimentação geológico-geomorfológica do Estado do Piauí, a partir da metodologia de mapeamento da geodiversidade do território brasileiro em escalas de análise reduzidas (1:500.000 a 1:2.500.000) com o objetivo de fazer uma análise integrada do meio físico aplicada ao planejamento territorial inserindo informações de relevo-paisagem-geomorfologia. Esse mapeamento de padrões de relevo representou, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1990) (DANTAS, 2010)

A partir dessa compartimentação, delimitaram-se as cinco unidades geomorfológicas/relevo da bacia em estudo, são elas: Chapadas e Platôs, Planaltos e Baixos Platôs, Baixos Platôs, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos e Superfícies Aplainadas Degradadas (figura 13). Dentre as unidades geomorfológicas, os planaltos e baixos platôs apresentam-se com maior expressividade na bacia (figura 12).

**Figura 12 - Exemplo de chapadões presentes na bacia**



Fonte: Registro da autora, (2015)

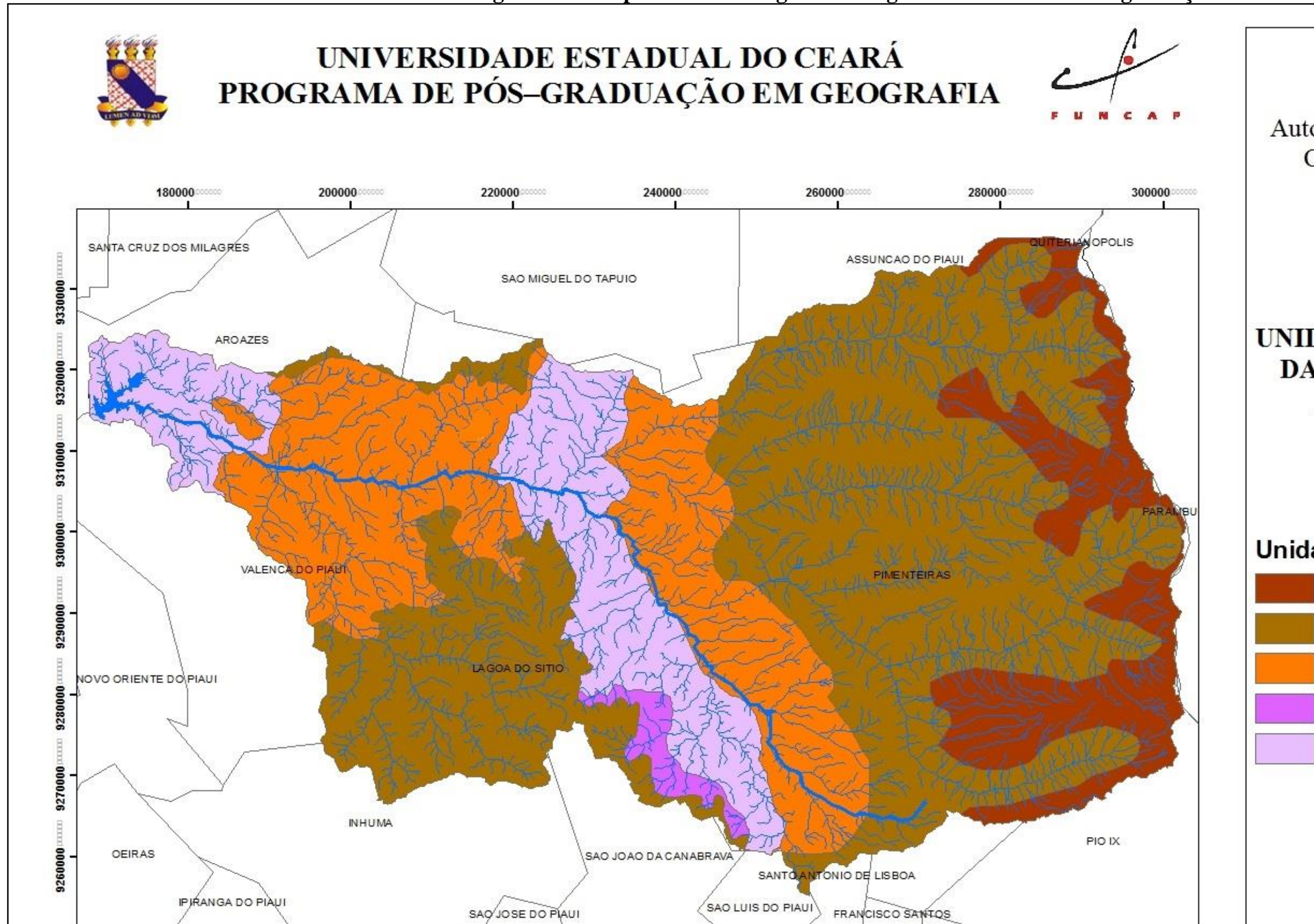
No quadro 6 apresentam-se as características detalhadas de cada unidade geomorfológica.

**Quadro 6 - Unidades geomorfológicas - Bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra**

<b>UNIDADES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Chapadas e Platôs	Superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, não ou incipientemente pouco dissecados. Franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Processos de morfogênese significativos nos rebordos das escarpas erosivas via recuo lateral das vertentes. Frequente atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).
Baixos Platôs	Relevo de degradação em rochas sedimentares. Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento. Predomínio de processos de pedogênese Eventual atuação de processos de laterização. Caracterizam-se por superfícies planas de modestas altitudes em antigas bacias sedimentares.
Superfícies Aplainadas Degradadas	Superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente. Caracteriza-se por extenso e monótono relevo suave ondulado sem, contudo, caracterizar ambiente colinoso, devido a suas amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade.
Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Representam relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas. Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa.
Planaltos e Baixos Platôs	Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados. Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese. Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Fonte: Adaptado de Dantas (2010).

Figura 13 – Mapa de unidades geomorfológicas da Bacia de Drenagem Açude Mesa de



### 3.3 CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS

A partir do diagnóstico dos tipos de solo que se apresentam numa bacia é possível realizar um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, minimizar a degradação dos recursos naturais e reorganizar as formas de atuação das atividades econômicas, sociais e culturais.

De acordo com Silva *et al.*, (2003), a estrutura do solo e a forma como suas partículas se organizam determinam a maior ou menor facilidade de trabalho nas terras, permeabilidade à água, condição de desenvolvimento das raízes das plantas e principalmente a resistência à erosão.

Conforme foi observado na figura 14, na bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra, estão presentes sete grupos de principais de solos. São eles Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos de moderado a bem drenados, geralmente acompanhados de boa diferenciação de cores e outras características (IBGE, 2007). Apresentam profundidade variável e podem ser de forte a imperfeitamente drenados (MENDONÇA, 2010). Se o teor de argila do horizonte B for muito maior que o do horizonte A, o processo erosivo se constituirá como fator limitante. No entanto, quando os solos apresentarem mudança textural abrupta (maior diferença de textura do horizonte A para o horizonte B), presença de cascalhos e relevo mais movimentado, com fortes declividades, poderão ser considerados como solos bastante erosivos (CUNHA *et al.*, 2010).

Os Latossolos Amarelos são caracterizados como solos profundos, de coloração amarelada, perfis muito homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural, com predominância de textura argilosa (IBGE, 2007). A maioria ocorre com uma coesão nos horizontes subsuperficiais, que podem restringir o desenvolvimento das raízes (CUNHA *et al.*, 2010).

Os solos Latossolos Vermelho-Amarelos são bem drenados, com baixa retenção de umidade, ácidos e baixa fertilidade natural, quando bem manejados ou em condições naturais são bem resistentes à erosão. No entanto, quando submetidos ao uso de máquinas pesadas sofrem compactação intensa aumentada a suscetibilidade à erosão (CUNHA *et al.*, 2010).

Encontram-se também na área de estudo, em menor expressividade, os Plintossolos, que compreendem solos de classe relativamente heterogênea, apresentando

feições tanto macias, constituindo a plintita, como endurecidas, caso da petroplintita. São solos intermediários para outras ordens como a dos Latossolos e Argissolos (LEPSCH, 2010).

Na bacia observam-se três subordens dos Neossolos: Litólicos, Regolíticos e Quartzarênicos. De acordo com Mendonça (2010) são solos constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso, que não apresentam horizonte B diagnóstico.

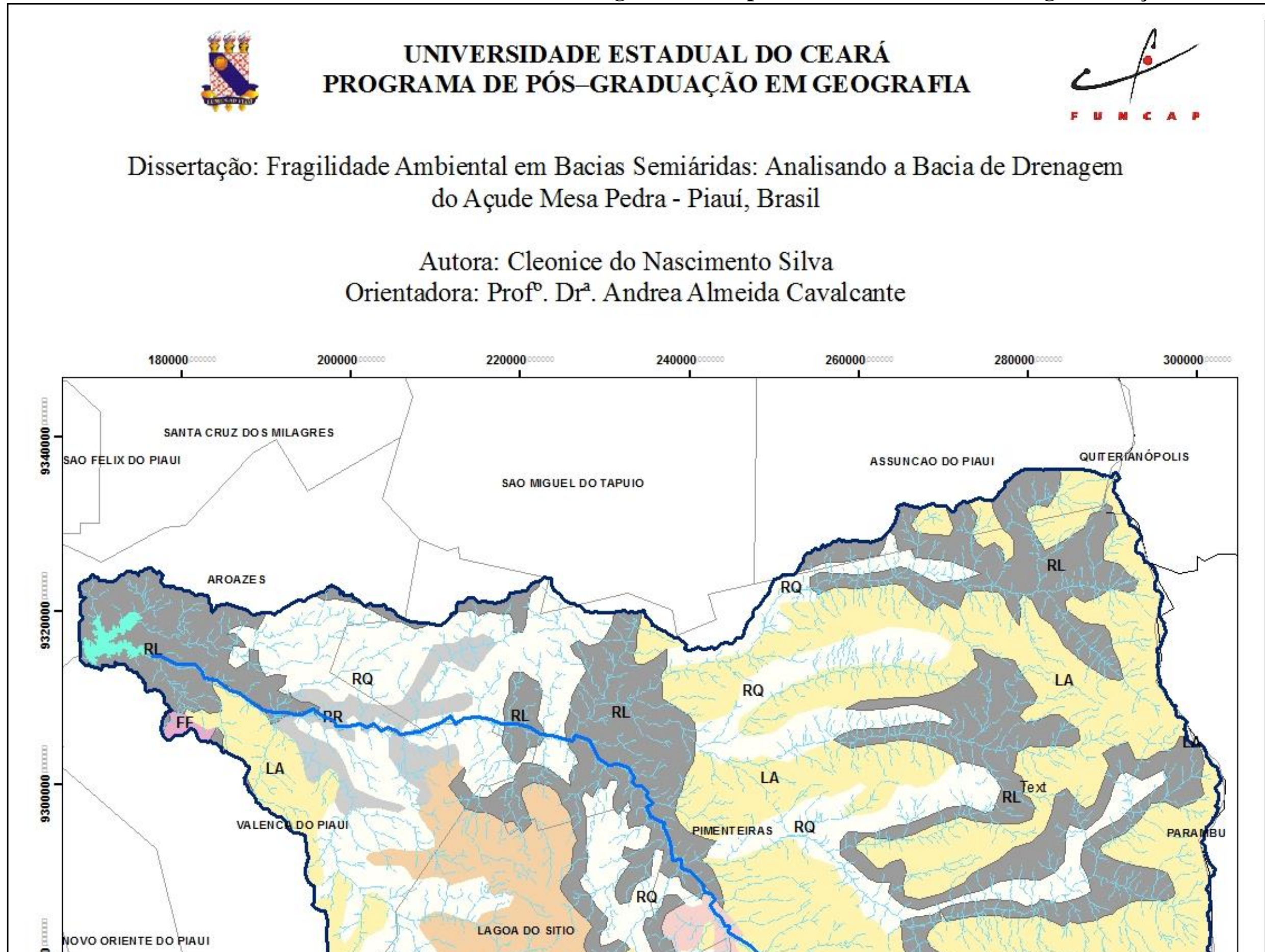
Os Neossolos Litólicos, segundo Cunha *et al.* (2010), são solos muito pouco desenvolvidos, rasos e não hidromórficos, considerando a ocorrência do substrato rochoso e a pequena profundidade característica dessa associação, apresenta-se bem susceptível a ações erosivas.

Os Neossolos Regolíticos podem ser arenosos ou não, excessivamente drenados, com boa reserva de minerais primários menos resistentes ao intemperismo Cunha *et al.*, (2010). Expõem limitações de susceptibilidade à erosão (LEPSCH, 2010).

Os Neossolos Quartzarênicos Orticos, são caracterizados pela profundidade, de textura arenosa, quartzosos, excessivamente drenados e bastante susceptíveis à erosão, em razão de sua constituição arenosa. (CUNHA *et al.*, 2010).

Nesse sentido, diante da análise das especificidades naturais de cada associação de solos presentes na bacia de drenagem do açude, é possível concluir que alguns solos demonstram mais susceptibilidade à erosão do que outros. Os Neossolos Litólicos, Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos visualizados na bacia de drenagem, evidenciam solos mais propícios à erosão.

Figura 14 – Mapa de solos da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra



### 3.4 CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO

A bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra está inserida na área que compreende o semiárido piauiense, no entanto é possível visualizar vários tipos de vegetação numa mesma região, visualizando desde espécies da caatinga arbórea e arbustiva até espécies de cerrado típicas de áreas de transição.

Segundo projeto Áridas/Piauí (1995), na Região Nordeste, o Piauí configura-se como uma área de transições vegetais. No sudoeste do Piauí e na borda do Ceará, área que abrange a bacia em estudo, há um ecótono complexo onde a vegetação da caatinga se encontra como a do cerrado (Andrade-Lima 1978, Emperaire 1983, Oliveira et al. 1988, Araújo et al. 1999 *apud* PRADO, 2003).

As caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos muitas dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas (PRADO, 2003 p. 23) figura 15.

**Figura 15 - Exemplos de vegetação típica da caatinga/Municípios de Lagoa do Sitio e Pimenteiras, respectivamente.**



Fonte: Registro da autora, (2015)

No Piauí, o cerrado apresenta-se principalmente na forma dos subtipos “campo sujo de cerrado”, “campo cerrado”, e “cerradão de cerrado” (com fisionomia florestal e flora de/do cerrado) (figura 16).

**Figura 16- Exemplos de vegetação típica de cerrado/cerrado - Área de transição**



Fonte: Registro da autora, (2015)

Tanto a vegetação da caatinga quanto a vegetação de cerrado observada na área encontram-se com sinais de alterações, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens.

Logo, torna-se importante o conhecimento dessas atividades humanas na compreensão da relação homem/natureza, pois as atuais formas de usos tradicionais e aproveitamento da Caatinga são bastante precárias, e muitas vezes não são conduzidas de forma sustentável. Nesse sentido, essa discussão será retomada quando for tratado do uso e cobertura vegetal da Bacia de drenagem.

#### **4 ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA**

A análise pluviométrica constitui uma etapa de grande relevância para análise da fragilidade ambiental de uma área. Piauí (2010) reforça que a classificação climática do território deve ser feita com atenção à grande variabilidade espacial e temporal das variáveis climáticas, especialmente a chuva, além das oscilações interanuais.

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta (GUERRA, 2012, p. 17).

Um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos é a chuva. A quantidade e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência das mesmas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

Sampaio *et al.*, (2003) afirmam que, no semiárido, as chuvas fortes sob a cobertura vegetal caducifólia típica da caatinga resultam em carregamentos de sedimentos, assoreamento rápido de reservatórios de água, acúmulo de sedimentos nas áreas rebaixadas, indicando, assim, altas taxas de erosão e produção local de sedimento, estabelecendo um problema ambiental na região.

O Piauí apresenta peculiaridades climáticas por estar localizado numa zona de transição entre o Nordeste semiárido e a Amazônia úmida. Caracterizando-se como uma zona de contato entre os três principais biomas brasileiros – o cerrado, a caatinga e a floresta amazônica, sem os rigores climáticos que caracterizam cada um separadamente (PIAUI, 2010).

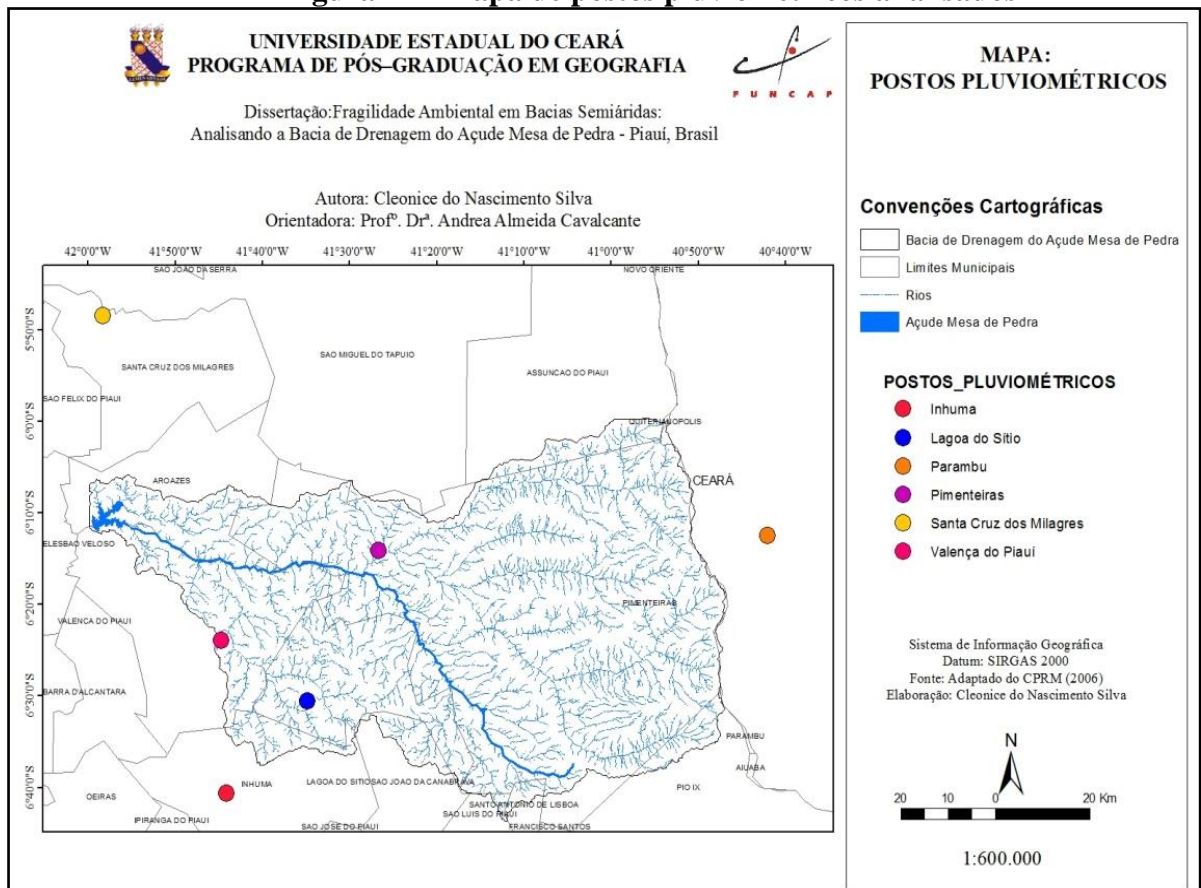
Segundo os critérios de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1955) são identificados seis tipos climáticos no Piauí: árido (E), semiárido (D), subúmido seco (C1), subúmido (C2), úmido (B1) e úmido (B2), cujas áreas de ocorrência no Estado e número de municípios abrangidos variaram de acordo com o cenário pluviométrico e o critério de classificação utilizado (ANDRADE, *et al.*, 2004).

Já de acordo com a classificação descrita por Köppen, o Piauí apresenta diferenças climáticas entre suas regiões: clima quente e úmido, nas regiões norte, sul e sudoeste do Estado, e clima semiárido, nas regiões Leste, Centro Sul, e Sudeste (PIAUI, 2010).

Nessa perspectiva, objetivando analisar as condições de pluviosidade da bacia, além de identificar uma possível influência na suscetibilidade à erosão da mesma, foram selecionados seis postos pluviométricos, considerando uma série histórica de 11 anos, de 2000 a 2010 (quadro - 6). A dificuldade de obtenção de informações na região da bacia dificultou a utilização de uma série histórica maior, pois muitos dos postos pluviométricos já foram desativados e outros apresentavam diversas falhas, podendo tornar inviável a obtenção de resultados mais precisos para área.

Selecionaram-se três postos localizados dentro da bacia (Valença do Piauí, Lagoa do Sítio e Pimenteiras) e três inseridos fora da mesma (Inhuma, Santa Cruz dos Milagres e Parambu). Esses dois últimos foram escolhidos por entender que estão situados próximos às regiões de cabeceiras de alguns cursos d'água. (figura 17).

**Figura 17 - Mapa de postos pluviométricos analisados**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

Destaca-se que os dados pluviométricos dos municípios piauienses foram disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí - SEMAR, e

dados do posto Parambu-Ce foram disponibilizados pelo site da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídrico-Postos pluviométricos.

Apesar de o posto Parambu estar localizado em uma área mais afastada da bacia, avaliou-se que as variações pluviométricas do mesmo seriam relevantes para compreender a dinâmica das chuvas no alto curso da bacia.

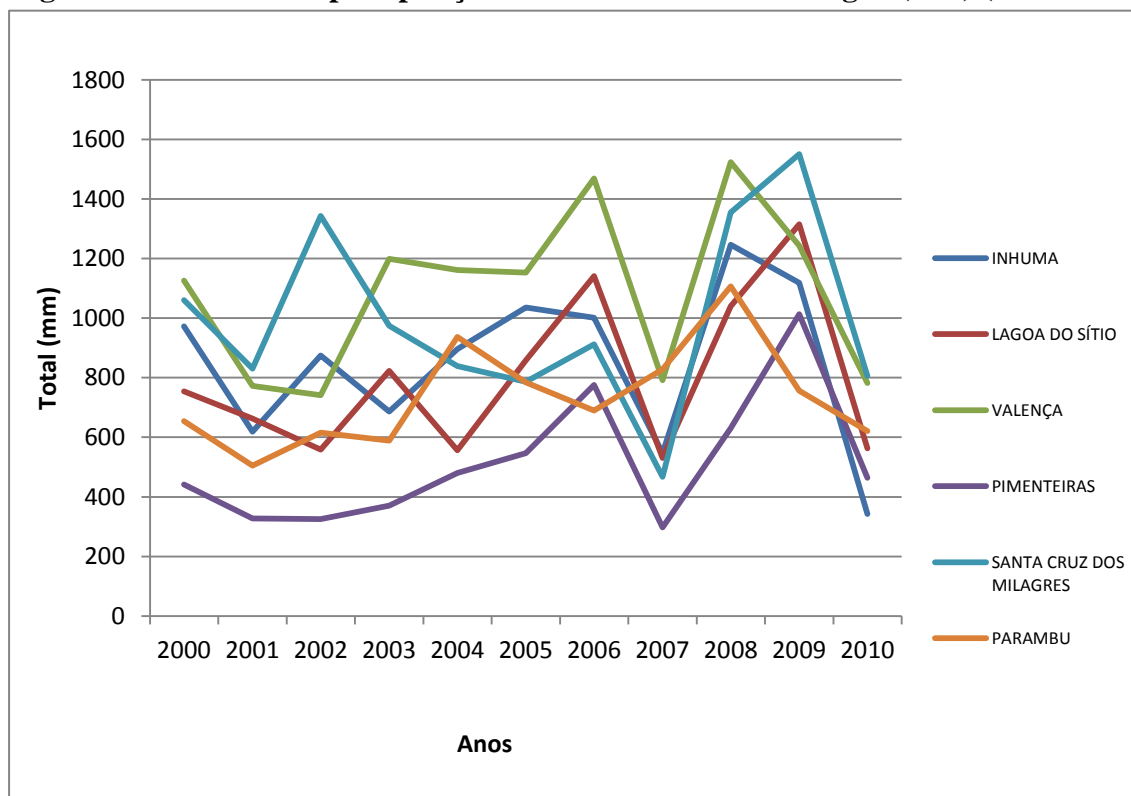
**Quadro 7 - Postos pluviométricos selecionados para análise**

POSTO	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS
Santa Cruz dos Milagres	Santa Cruz dos Milagres - PI	5° 80' 90'' e 41° 97' 30''
Pimenteiras	Pimenteiras- PI	6° 23'90'' e 41° 44' 70''
Inhuma	Inhuma- PI	6° 67' 90'' e 41° 74'10''
Valença do Piauí	Valença do Piauí- PI	6° 40' 10'' e 41° 74' 90''
Lagoa do Sítio	Lagoa do Sítio – PI	06° 30'48'' e 41°35' 03''
Parambu	Parambu - CE	6° 21'58'' e 40° 70' 27''

Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

A partir desses dados construíram-se alguns gráficos que auxiliaram na análise pluviométrica da bacia de drenagem do Açude Mesa de Pedra (Gráfico 1).

**Figura 18 – Gráfico de precipitação anual da Bacia de Drenagem(mm) (2000 -2010)**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

O gráfico 1 expõe o total anual de precipitações nos seis municípios. Os anos de 2008 e 2009 destacam-se como os de maior precipitação na bacia, com o total pluviométrico de 6.904,3 mm e 6.997,4 mm respectivamente. Também merecem atenção os municípios de Santa Cruz dos Milagres e Valença do Piauí, que apresentaram os maiores totais pluviométricos na série de anos estudada.

Em contrapartida nos anos de 2001, 2007 e 2010 ocorreu uma diminuição na precipitação, não ultrapassando os 3.708,1 mm/ano, na qual o município de Pimenteiras destaca-se com os totais mais baixos. No ano de 2007 houve uma notável diminuição de chuvas em quase todos os postos pluviométricos, exceto o posto de Parambu.

Ressalta-se que no ano de 2009, o açude Mesa de Pedra transbordou, causando a inundação da área à jusante destinada aos turistas, como bares e lanchonetes instalados próximos às margens do rio Sambito (Figura 19).

**Figura 19 - Transbordamento do Açude Mesa de Pedra em 2009**

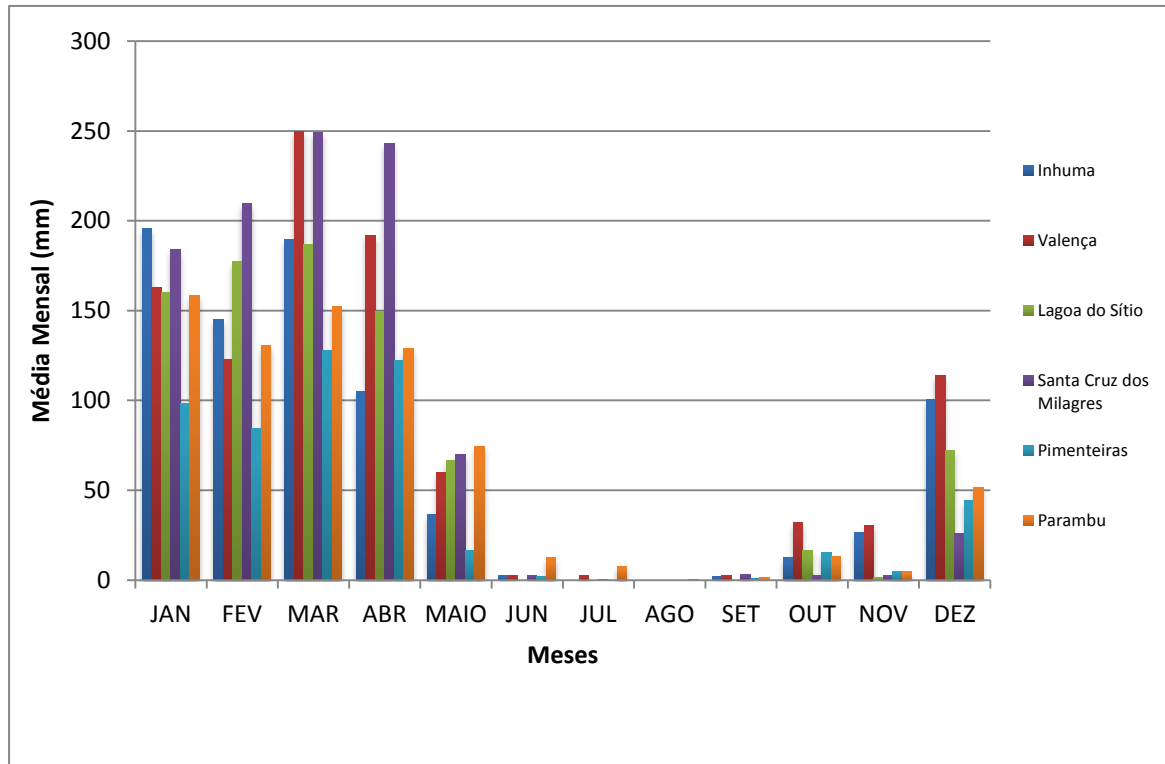


Fonte: Site Portal AZ, (2009).

A Bacia de drenagem do Açude Mesa de Pedra está inserida em área de clima semiárido que, segundo a classificação de Koeppen é caracterizado por uma curta estação chuvosa no verão e responsável pelos efeitos das secas. A estação chuvosa ocorre de dezembro a abril e os meses de janeiro/fevereiro/março configuram o trimestre mais chuvoso

(figura 20). Os meses de julho/agosto/setembro são os mais secos, com precipitações pluviométricas variando de 400 mm a 1.000 mm (PIAUÍ, 2010).

**Figura 20 - Gráfico precipitação média mensal da Bacia de Drenagem (2000 - 2010)**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

No período compreendido de janeiro a março, encontram-se os maiores índices pluviométricos, caracterizando o período chuvoso. 2008, por exemplo, foi o ano com maior precipitação, chegando a um total de 3.686,3 mm.

Exatamente o oposto ocorre nos meses de julho a setembro. Observa-se que nesta fase ocorre uma alta escassez de chuvas, correspondendo ao período seco. Com exceção dos anos 2000, 2001, 2002, 2006 e 2009, que ainda apresentaram baixos valores pluviométricos, em todos os outros anos não houve chuva.

As concentrações de chuvas em períodos específicos do ano podem influenciar o processo erosivo. No caso da bacia em estudo pode-se inferir, avaliando os gráficos, que a maior capacidade da chuva em causar erosão aconteceria no primeiro trimestre do ano, considerando que nesse período ocorrem as maiores precipitações.

Além disso, é interessante avaliar como ocorre a distribuição de chuva diariamente na bacia, pois apesar de um período do ano ocorrerem variações nas precipitações

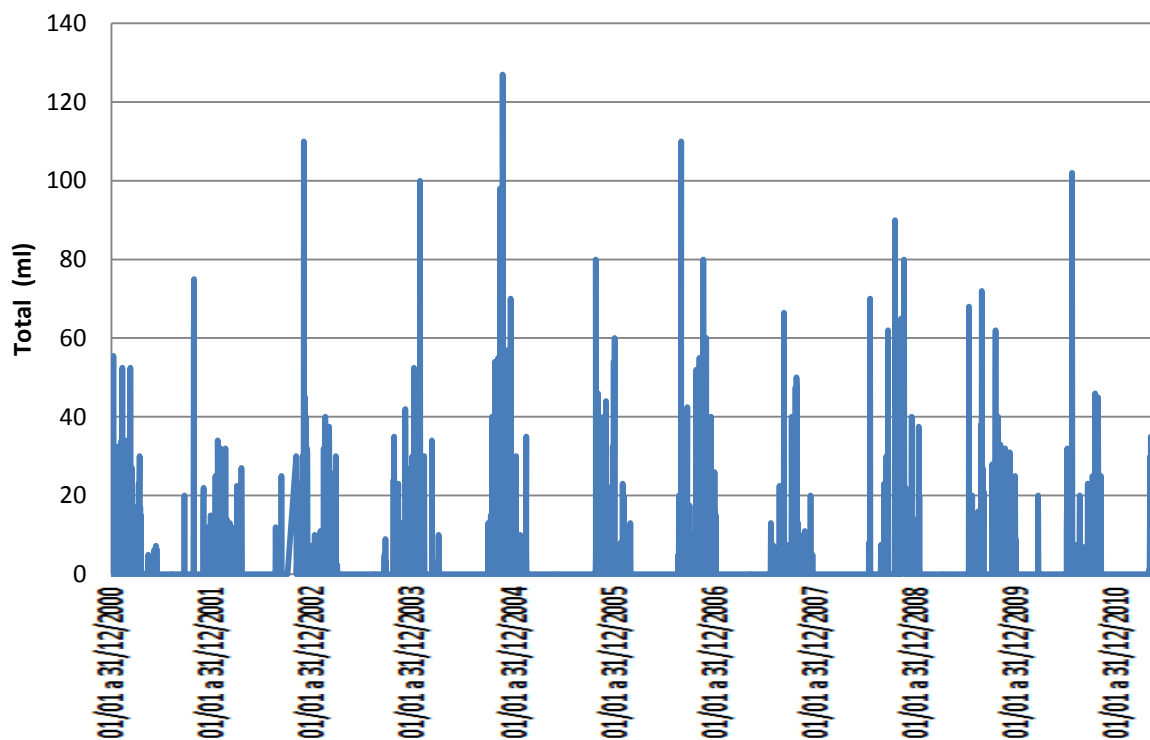
para mais ou para menos, às vezes o volume de chuvas que ocorre em apenas um dia pode provocar efeitos significativos quando comparados a um período específico do ano.

Lepsch, (2010, p. 103) afirma que

A maior ou menor intensidade pluviométrica das chuvas é muito importante. Quando caem mansamente, em forma de pequenas gotas, durante um período de várias horas, como garoas, a água tem mais tempo para ser absorvida, não forma enxurradas e raramente causa estragos. Se a mesma quantidade de chuva cair rapidamente, em forma de aguaceiros, em alguns minutos formará grandes enxurradas e poderá provocar grandes erosões, inclusive inundações ao longo dos cursos d' água.

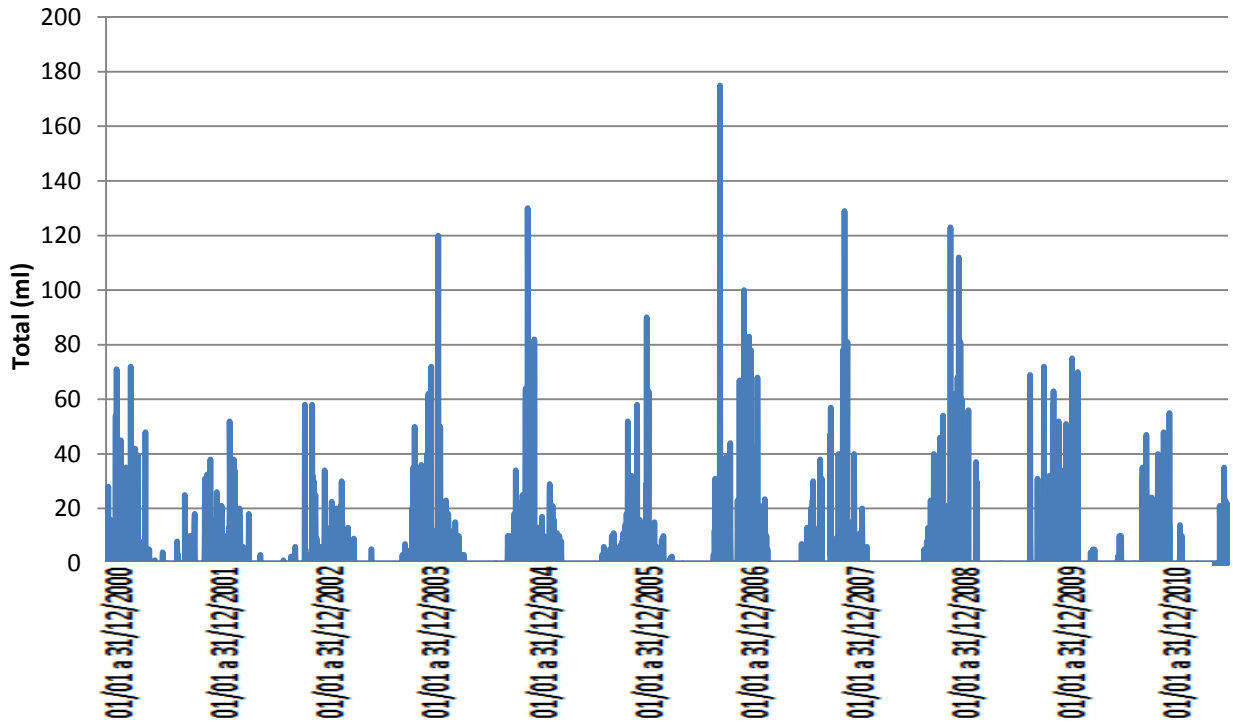
Pensando entender o comportamento da precipitação diária, elaboraram-se alguns gráficos diários para cada posto pluviométrico, com o qual foi possível verificar mais precisamente como se dá a distribuição diária de chuvas na bacia, ou seja, os dias de maior ou menor volume precipitado.

**Figura 21 – Gráfico de precipitação diária do posto Inhuma (2000-2010)**



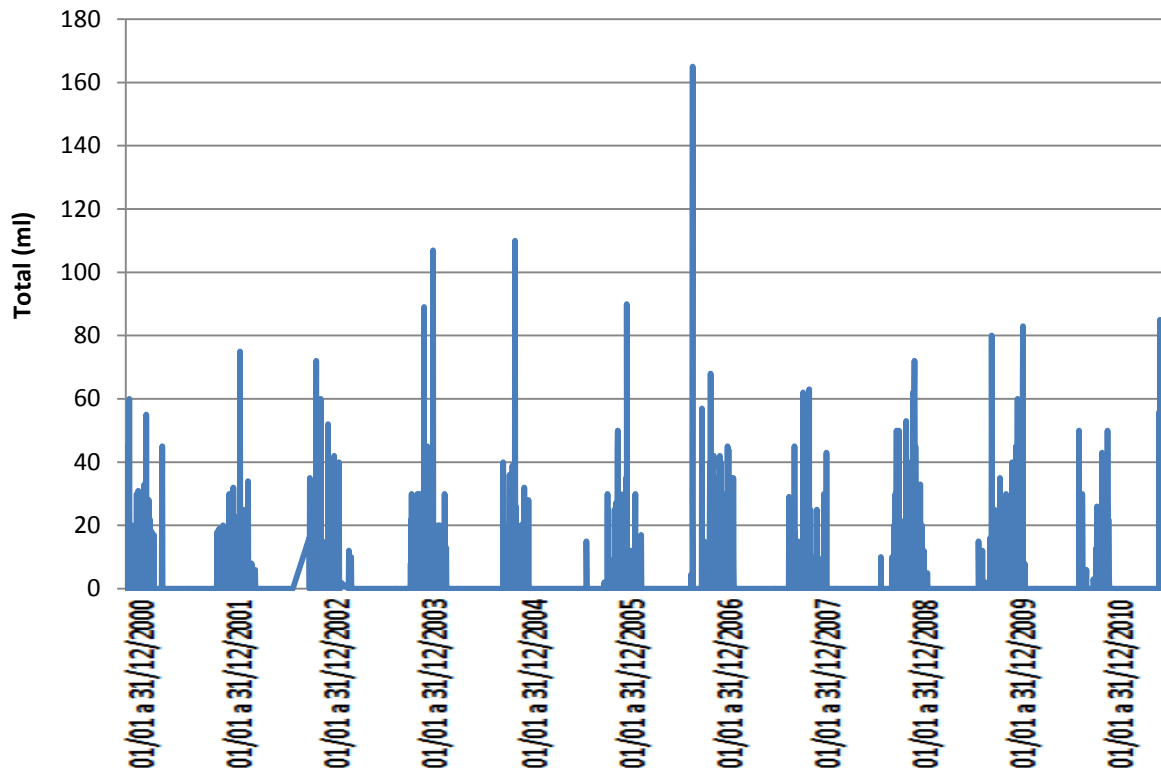
Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

**Figura 22 - Gráfico de precipitação diária do posto Valença do Piauí (2000-2010)**



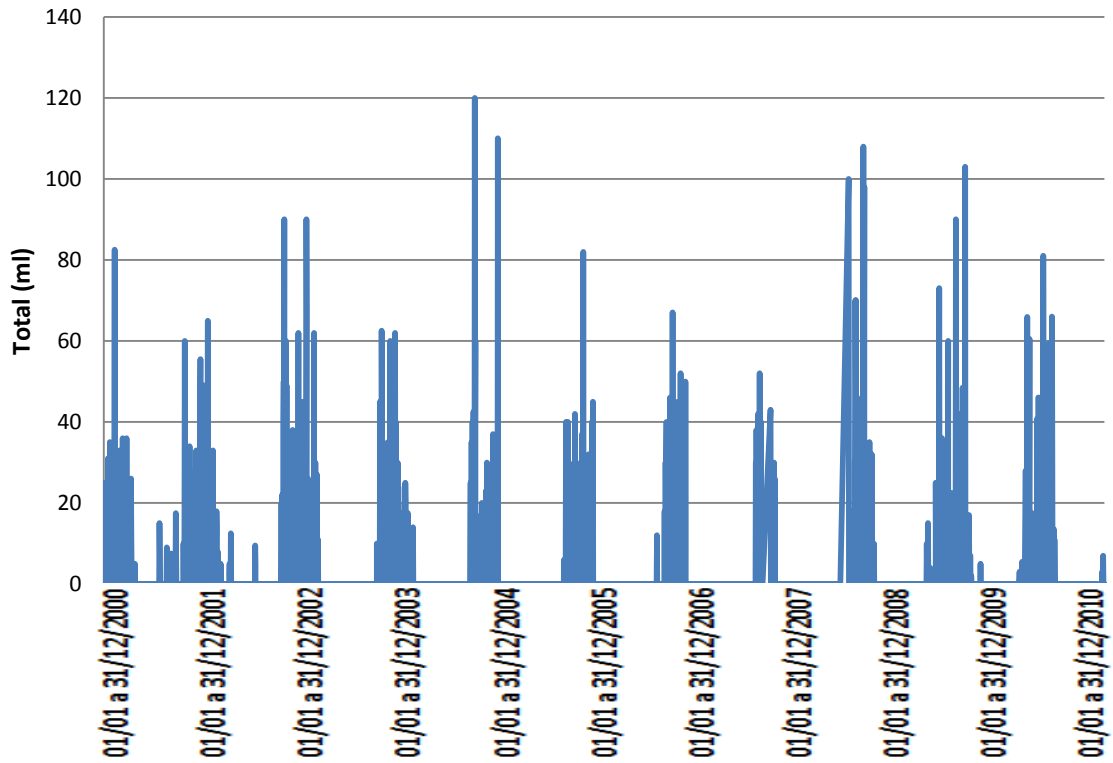
Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

**Figura 23- Gráfico de precipitação diária do posto Lagoa do Sítio (2000-2010)**



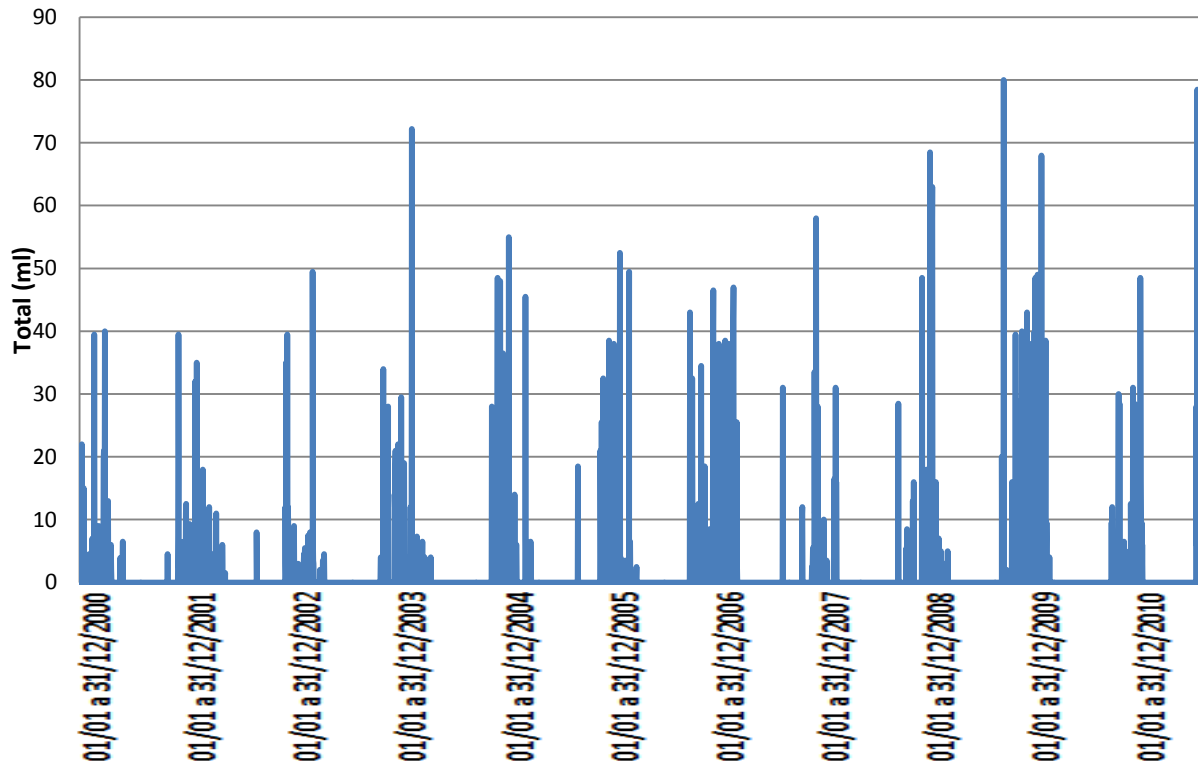
Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

**Figura 24 - Gráfico de precipitação diária do posto Santa Cruz dos Milagres (2000-2010)**



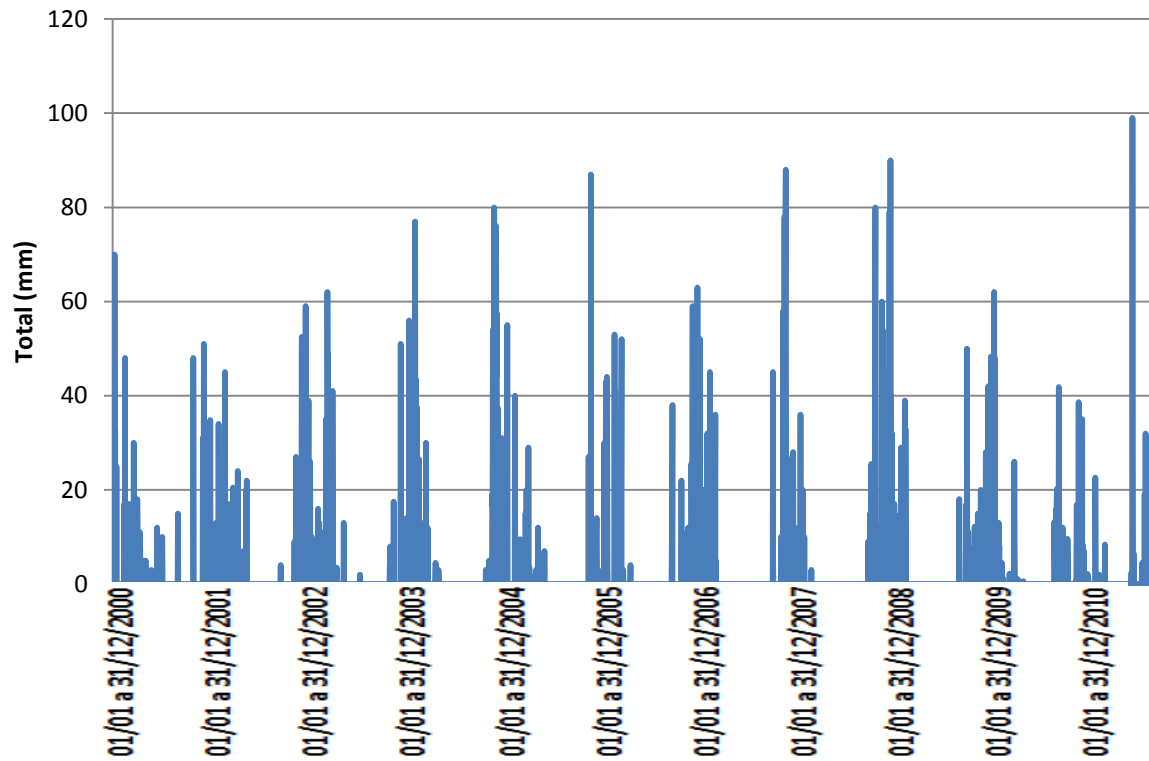
Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

**Figura 25 - Gráfico de precipitação diária do posto Pimenteiras (2000-2010)**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

**Figura 26 - Gráfico de precipitação diária do posto de Parambu (2000-2010)**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

Observando os gráficos, confirma-se novamente que os períodos de maior precipitação na bacia ocorrem nos meses de dezembro a abril. No entanto, agora é possível verificar os dias de maior volume de chuva. Os dias mais chuvosos de cada posto pluviométrico concentram-se principalmente nos anos de 2004, 2005, 2008 e 2010 (quadro 8).

**Quadro 8 - Dias mais chuvosos**

POSTO PLUVIOMÉTRICO	DIA MAIS CHUVOSO	TOTAL (mm)
Inhuma	27/01/2005	127
Valença do Piauí	05/12/2005	175
Lagoa do Sítio	05/12/2005	165
Santa Cruz dos Milagres	26/01/2004	120
Pimenteiras	10/12/2008	80
Parambu	23/12/2010	99

Fonte: Elaborado pela autora, (2016).

O posto de Valença do Piauí (figura 22) indicou o dia mais chuvoso (com 175 mm), fato que merece atenção. O posto de Lagoa do Sítio (figura 23) também evidenciou fortes precipitações para o mesmo dia (165 mm). Esse volume de chuva pode influenciar o processo de erosão, devido à quantidade e intensidade da chuva.

Na figura 21 (Inhuma) assim como a figura 24 (Santa Cruz dos Milagres), demonstraram dias bastante chuvosos, quando comparados aos outros postos. Houve dias com chuvas superiores a 100 mm. Considerando a quantidade de precipitação diária dos demais postos, os postos de Pimenteiras (figura 25) e Parambu (figura 26) representaram picos de chuvas diárias menores, variando de 52 a 80mm.

Nesse contexto, analisando o ritmo das precipitações diárias, pode-se dizer que os Municípios de Inhuma, Valença do Piauí e Lagoa do Sítio, áreas onde se localizam e os postos homônimos, apresentaram mais chances de sofrer com a ação de enxurradas, elevando assim, a possibilidade de surgimento de sulcos e ravinas decorrentes da erosão do solo.

Vale frisar que existem vários métodos voltados para se calcular a erosividade da chuva. Guerra (2012) afirma que a determinação do potencial erosivo depende principalmente dos parâmetros de erosividade e das características das gotas de chuva, variando no tempo e no espaço.

Um método bastante utilizado para essa finalidade é o cálculo representado pelo fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min (EI30) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Seguindo esse método, Oliveira e Medeiros (2015) analisaram a erosividade do município de Lagoa Seca, semiárido paraibano, utilizando as séries dos anos de 1981 a 2012. Nessa pesquisa verificaram que nos meses mais chuvosos, de março a agosto, destaque para junho, com média de 181,2 mm e julho, com média de 167, aconteceram maiores valores de erosividade, em junho, por exemplo, o valor foi de 1.191,3 MJ.mm há<sup>1</sup>.ano<sup>1</sup>.

Fazendo um comparativo com a bacia de drenagem, poder-se-ia dizer que provavelmente os meses mais chuvosos equivalem a valores elevados de erosividade. Pois as duas áreas de estudos apresentam médias mensais semelhantes. No entanto, deve-se atentar para características específicas de cada área, e principalmente comprovação mediante aplicação de uma metodologia que indique o potencial da chuva em causar erosão na área.

Aquino *et al.*, (2006), procuraram fazer isso, analisando a erosividade das “Terras Secas do Piauí”. Essa pesquisa foi aplicada em 82 postos pluviométricos localizados no semiárido piauiense, utilizando os dados pluviométricos disponibilizados pela Sudene (1990) aplicando o método proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2012)  $EI = 67,355 (r^2/P)^{0,8}$ .

Nesse estudo constatou-se haver um total de 91,7% da área com predomínio de valores de erosividade situados nas classes de muito baixa e baixa, o que demonstra um baixo potencial das chuvas para causar erosão nas terras secas do estado do Piauí (AQUINO *et al*, 2006).

Considerando os métodos para estimar erosividade, Stocking (1977 *apud*, GUERRA, 2012) afirma que o principal empecilho seria escolher o método mais adequado para a maioria dos casos, principalmente porque cada tipo de ambiente e tempestade são específicos na escala temporal e espacial, logo a erosão varia de várias maneiras. Assim como não é possível aplicar o resultado dessa última pesquisa à área da bacia de drenagem.

## 5 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA

Destaca-se a importância na realização de análise morfométrica de uma bacia, pois a partir dos dados quantitativos gerados, pode-se verificar e analisar melhor as probabilidades de ocorrência de eventos naturais e/ou induzidos pelas atividades humanas. Castro e Carvalho (2009, p.1) enfatizam que “a análise morfométrica de bacias hidrográficas é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial”. No estudo da bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra foram selecionados alguns parâmetros que serão descritos:

### ▪ Hierarquia Fluvial

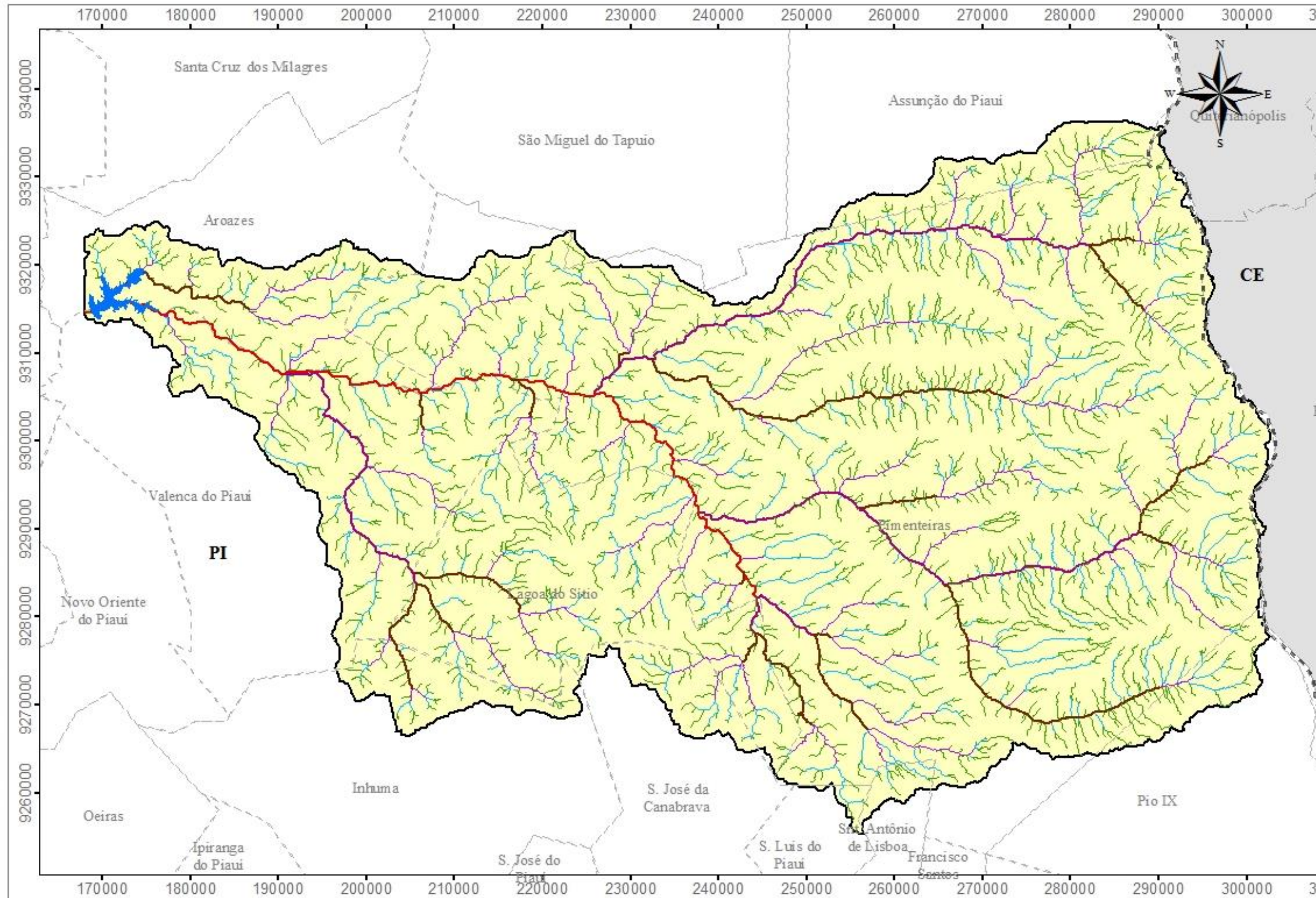
Considerando o critério proposto por Horton em 1945 e alterado por Strahler em 1952, os rios foram classificados de modo que a ordem do rio principal mostre a extensão da ramificação da bacia. Os rios que formam a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra mostraram a seguinte classificação (Quadro 9). A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro da bacia (VILLELA, 1975). Observa-se que a bacia estudada apresenta hierarquia de 6ª ordem mostrando uma extensa ramificação (mapa 6).

**Quadro 9 - Hierarquia fluvial da bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra**

<b>Ordem dos Canais</b>	<b>Nº de Canais</b>	<b>Soma do Comprimento dos Canais (km)</b>
1ª	1961	2654,13
2ª	410	1116,63
3ª	84	555,51
4ª	21	238,46
5ª	5	182,15
6ª	1	106,96
Total	2482	4853,85

Fonte: dados da pesquisa. Elaborado pela autora, (2015)

Figura 27 - Mapa de hierarquia fluvial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de



- **Área da Bacia e Comprimento do Rio Principal (L)**

A bacia possui uma extensão de 6.571 km<sup>2</sup> e perímetro igual a 470,40 km. No cálculo do canal considerou-se o curso d'água principal com a maior distância entre a nascente e a foz. Nesse sentido, o rio São Sambito possui um comprimento de 147,66 km.

- **Densidade de Drenagem**

Analisando a densidade de drenagem, tem-se o conhecimento do potencial da bacia em permitir menor ou maior escoamento superficial da água, ou seja, uma maior ou menor intensidade dos processos erosivos na esculturação dos canais (BELTRAME, 1994). De acordo com Horton (1945 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980), a densidade de drenagem (Dd) pode ser calculada pela razão entre o comprimento dos canais e a área da bacia, segundo a Equação 2. Constitui uma das variáveis mais importantes na análise do comportamento hidrogeológicos de uma bacia hidrográfica.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (2)$$

\*Dd: densidade da drenagem

\*L<sub>t</sub>: comprimento total dos canais (km)

\*A: área da bacia (km<sup>2</sup>)

De acordo com a soma dos canais da bacia de drenagem do açude e a aplicação da equação, obteve-se o valor de 0,738, o que demonstra que existe quase um canal por km<sup>2</sup>. Nesse sentido, perante a classificação de Christofolletti (1969), citada por Silva; Suchulz; Camargo, (2003), – quadro 10, a bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra é uma área com baixa densidade de drenagem, isto é, apresenta baixa probabilidade de desenvolvimento nos processos erosivos por este parâmetro.

**Quadro 10 - Classes de interpretação para valores de densidade de drenagem.**

<b>Classes de valores (Km/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Interpretação</b>
Menor que 7,5	Baixa densidade de drenagem
Entre 7,5 e 10,0	Média densidade de drenagem
Maior que 10,0	Alta densidade de drenagem

Fonte: Silva; Suchulz; Camargo, (2003, p.98)

No semiárido brasileiro a densidade de drenagem pode apresentar diversidade significativa, dado que, embora a condição climática mostre semelhanças, o contexto geológico e altimétrico podem representar variáveis de forte influência na densidade de drenagem. Por exemplo, a Bacia Hidrográfica do Rio Bom Sucesso (microbacia da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru), localizada na porção nordeste da Bahia, apresenta valor de 13,0 Km/Km<sup>2</sup> para o referido parâmetro (LIMA; CUNHA; SANTOS, 2010). Tal valor, se comparado com a da área em estudo, apresenta-se como elevado e se justifica pela base geológica, predominantemente do complexo cristalino.

#### ▪ **Coefficiente de Manutenção**

“Esse índice foi proposto por Schumm (1956), com a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 117). Esse parâmetro é o inverso da densidade de drenagem, conforme indica a equação 3.

$$Cm = \frac{1 * 1000}{Dd} \quad (3)$$

\**Cm*: coeficiente de manutenção (m<sup>2</sup>/m)

\**Dd*: densidade da drenagem (Km/Km<sup>2</sup>)

\**1000*: fator de conversão

Na bacia de drenagem do açude, encontrou-se o valor de 1.307,62 m, significando que, para manter ativo um Km de canal fluvial, são necessários mais de mil metros de área.

Esse valor assemelha-se com o coeficiente de manutenção da Bacia do Rio Pajeú (1.327,7 m<sup>2</sup>/m), localizada no semiárido de Pernambuco (FEITOSA; SANTOS; ARAÚJO, 2011). Corroborando esse resultado, tanto esta bacia quanto a Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra são bastante ramificadas, apresentando ordenamento de canais de 7<sup>a</sup> ordem e 6<sup>a</sup> ordem, respectivamente.

#### ▪ **Índice de Circularidade**

Esse índice objetiva verificar a relação entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. O índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se

aproxima da forma circular, e diminui à medida que a forma se torna alongada (CHRISTOFOLETTI, 1980). A equação 4 demonstra como obter esse índice.

$$Ic = \frac{12,57 * A}{p^2} \quad (4)$$

*Ic*: índice de circularidade  
*A*: área da bacia (Km<sup>2</sup>)  
*P*: perímetro da bacia (Km)

O resultado obtido na bacia de drenagem foi de 0,37331, o que reflete sua forma mais alongada, favorecendo um melhor escoamento. Portanto, esta não evidencia uma bacia circular, pois o valor está bem próximo do zero. Diante desse fato, a bacia demonstra que tem mais tempo para que toda sua água seja drenada para o rio principal em diferentes pontos, diminuindo assim, o risco de enchentes.

#### ▪ Sinuosidade do Curso

Para avaliar a sinuosidade do curso, tomou-se com base o método de Marcuzzo *et al.*, (2012), no qual se verifica a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante, medida em linha reta, e o comprimento do canal principal (L) como indica a equação 5. O índice de sinuosidade está dividido em classes, conforme quadro 11. Destaca-se que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e declividade dos canais (HORTON, 1945).

$$Is = \frac{100(L - eV)}{L} \quad (5)$$

*Is*: índice de sinuosidade  
*L*: comprimento do rio principal  
*eV*: distância ente a nascente e a desembocadura do rio

**Quadro 11 - Índices de sinuosidade divididos por classes.**

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito reto	<20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

Fonte: Marcuzzo *et al.*, (2012)

O resultado obtido do índice da bacia foi de 11,66, o que demonstrou ser um rio bastante retilíneo. Esse tipo mostra que os canais estão associados a um leito rochoso e resistente a atuação da água. Entretanto, é importante ressaltar que a bacia em análise, encontra-se num terreno em grande parte sedimentar. Tal situação deve se justificar pelo fato do relevo da área seguir um declive constante para o oeste, podendo ter influenciado na disposição dos rios.

#### ▪ Declividade Média

Esse parâmetro somado à amplitude altimétrica da área vai auxiliar a caracterização da movimentação topográfica existente na área drenada. Segundo Machado e Torres (2012), a declividade média servirá para identificar as bacias mais vulneráveis aos processos erosivos. A **declividade média** da bacia ( $Dm$ ), segundo Carvalho e Silva (2006), pode ser calculada pela equação 6:

$$Dm = \frac{\sum Lcn \cdot \Delta h \cdot 100}{A} \quad (6)$$

Onde:

$Dm$  é a declividade média (%)

$\sum Lcn$  é o comprimento de todas as curvas de nível (km);

$\Delta h$  é a equidistância das curvas de nível (km);

$A$  é a área da bacia (km<sup>2</sup>).

Machado e Torres (2012) sugerem a identificação das classes de suscetibilidade à erosão, correlacionando com a declividade e o relevo da área (quadro 12).

**Quadro 12 - Classes de relevo e suscetibilidade à erosão**

Declividades	Relevo	Suscetibilidade à erosão
Até 8%	Plano e suave ondulado	Ligeira
$> 8 \leq 20$	Ondulado	Moderada
$>20 \leq 45$	Forte Ondulado	Forte
$> 45$	Montanhoso e escarpado	Muito Forte

Fonte: Machado; Torres, (2012)

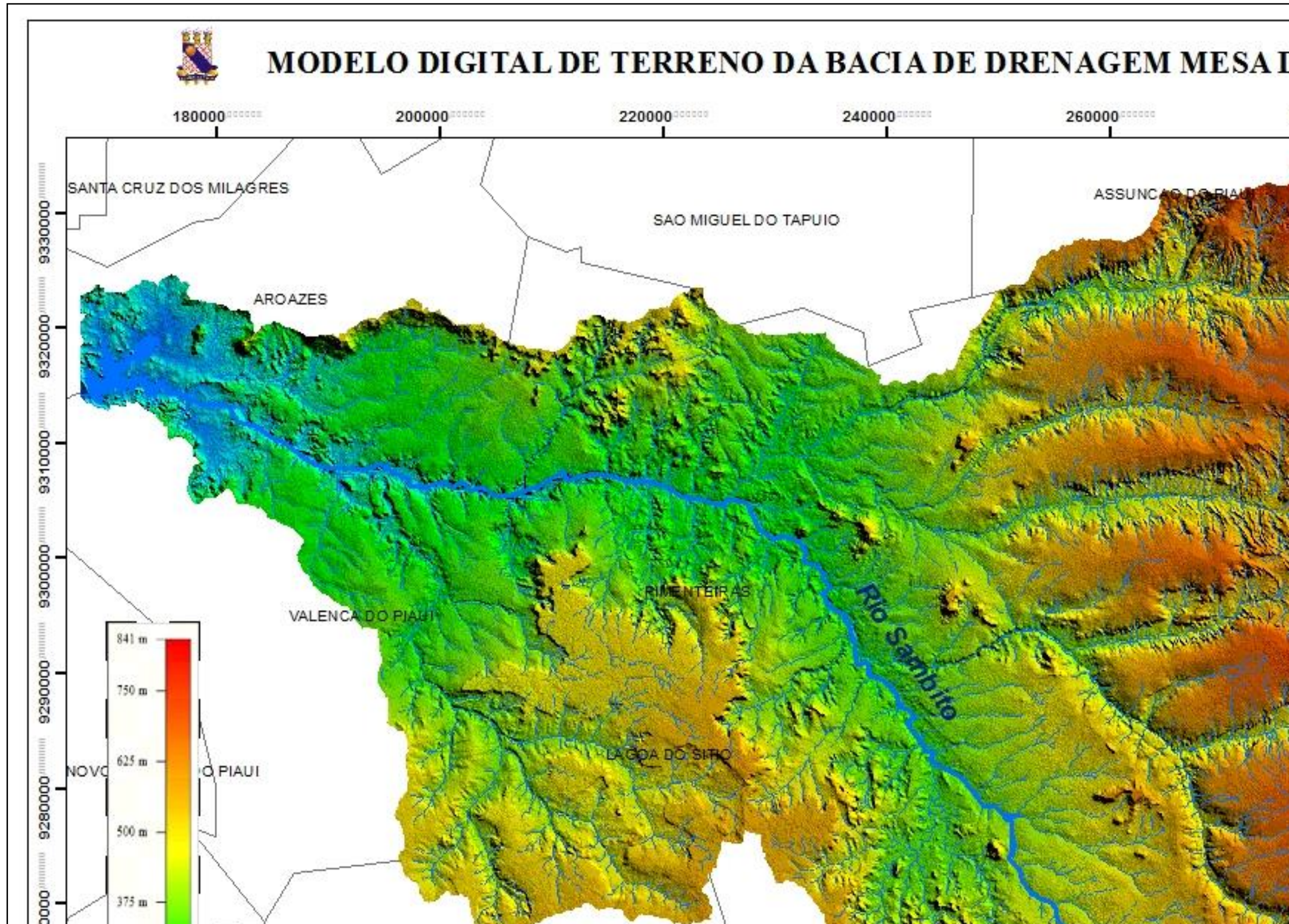
Para a referida bacia foram geradas as curvas de nível com equidistância de 30 metros ou 0,03 km. O comprimento total das mesmas foi de 13.198,15 km. O resultado encontrado para a declividade média da bacia foi 6,02 %. Caracterizando-se, conforme quadro 12, como uma área de relevo plano e suave ondulado com baixa suscetibilidade à erosão.

- **Hipsometria**

Para a Hipsometria do terreno, utilizou-se de imagens SRTM: SB-24-Y-A, SB-24-V-C, SB-23-X-D, as quais foram trabalhadas no programa Arcgis 9.3.1. Utilizou-se a fórmula que corresponde à diferença altimétrica entre a altitude do ponto mais alto e a altitude do ponto mais baixo situado na bacia. Considerando que a altitude máxima da bacia é de 841 m e a mínima de 142 m, a amplitude altimétrica encontrada foi de 699 metros.

O MDT da bacia permite visualizar, além dos pontos mais elevados, as unidades de relevo, demonstrando assim, as peculiaridades de uma bacia semiárida com predominância de terrenos sedimentares, como chapadas e planaltos e superfícies aplainadas (figura 28).

Figura 28 - Mapa modelo digital do terreno da Bacia de Drenagem Mesa de Ped



### ▪ Índice de Rugosidade

De acordo com Melton (1957 *apud* CHRISTOFOLETTI, op. cit.), o índice de rugosidade ( $I_r$ ) é calculado pelo produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem, de acordo com a Equação 7, considerando que a amplitude altimétrica é de 699 metros. Quanto maior o valor desse índice, maiores serão os riscos da área sofrer erosão por processo hídrico.

$$I_r = H \cdot Dd \quad (7)$$

\* $I_r$ : índice de rugosidade

\* $H$ : amplitude altimétrica (m)

\* $Dd$ : densidade de drenagem

A bacia de drenagem do Açude Mesa de Pedra apresenta um índice de rugosidade no valor de 515,82. Esse índice aponta uma rugosidade baixa, refletindo vertentes de baixa declividade e de pouca extensão. O índice de rugosidade relaciona-se com a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica, expressando assim, valores equivalentes à declividade. Sousa e Rodrigues (2012) estabeleceram, com base em estudos em diferentes bacias hidrográficas, uma qualificação para o índice de rugosidade, associada à declividade, conforme o Quadro 13.

**Quadro 13 - Relação do índice de rugosidade com a declividade do relevo.**

Classes de rugosidade	Valor (M)	Formas de Relevo
Fraca	0 - 150	Plano com declividade média até 3 %
Média	151 - 550	Suave ondulado com declividade média entre 3 e 8%
Forte	551 - 950	Ondulado, com declividade média entre 9 e 20 %
Muito Forte	> 950	Forte ondulado a montanhoso a escarpado com declividade média superior a 30%

Fonte: Sousa; Rodrigues (2012).

De acordo com o valor encontrado para a bacia, a mesma apresenta rugosidade média com formas de relevo suave ondulado e declividade média entre 3 e 8%. Portanto, considerando que esse índice reflete a forma de escoamento superficial da bacia, pode-se concluir que esta demonstra probabilidade para baixo potencial erosivo.

Comparando o índice de rugosidade da Bacia em estudo (515,82) com a bacia hidrográfica do rio Turvo em Goiás (301), com características de relevo de médio declive a colinoso (CASTRO, CARVALHO; 2009), pode-se dizer que, embora as duas bacias pertençam à mesma classe de rugosidade, cada uma detém características geológicas e hipsométricas diferentes.

#### ▪ Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal de um rio constitui uma ferramenta muito relevante para compreender os elementos que equilibram ou desequilibram o sistema fluvial além de entender fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica. O perfil longitudinal da bacia de drenagem do Açude Mesa de Pedra (figura 29) foi segmentado de acordo com sua declividade, a partir de sua nascente até sua foz (exutório) no açude Mesa de Pedra.

**Figura 29 - Perfil longitudinal do rio Sambito**



Fonte: Elaborado pela autora, (2015).

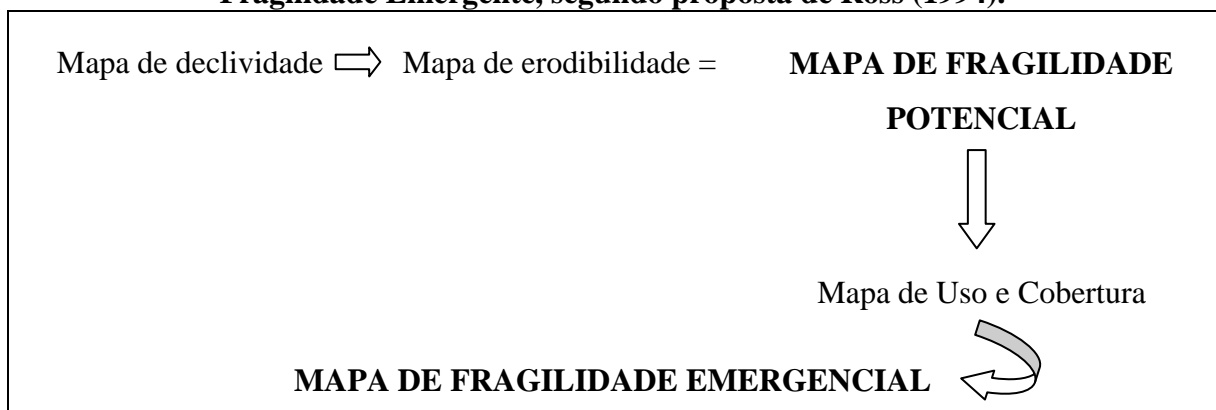
Observa-se um equilíbrio do rio Sambito no trecho que vai da sua nascente até o açude Mesa de Pedra, não apresentando mudanças bruscas de declividade, conforme já foi exposto na análise de declividade da bacia. Considerando esse parâmetro, pode-se afirmar que a bacia de drenagem demonstra uma estabilidade no comportamento hidrológico da corrente.

## 6 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DE DRENAGEM DO AÇUDE MESA DE PEDRA

A metodologia de Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1994) teve como norte a teoria de sistemas Tricart (1977), com a denominação de Unidades Ecodinâmicas, que lhe permitiram inserir as categorias Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou Fragilidade Potencial para as áreas em equilíbrio dinâmico e Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou Fragilidade Emergente, para as áreas modificadas pela ação antrópica. Essas categorias constituíram os produtos cartográficos com identificação das áreas de diferentes padrões de fragilidade.

Assim, para a construção desses mapas, iniciou-se com mapeamento de Fragilidade Potencial que se refere à combinação das condições de declive e de solos e posteriormente, o mapeamento da Fragilidade Emergente, produto do cruzamento da fragilidade potencial com as diferentes formas de uso e cobertura da terra (figura 30).

**Figura 30 - Fluxograma das etapas metodológicas para confecção do Mapa de Fragilidade Emergente, segundo proposta de Ross (1994).**



Fonte: Elaborado pela autora, (2016).

De acordo com Santos *et al.*, (2010, p.96), os mapas de fragilidade sintetizam as características naturais dos meios e as restrições e/ou aptidões diante das diferentes formas e utilização dos recursos naturais.

### 6.1 Análise granulométrica do solo da bacia de drenagem: Aspectos da erodibilidade

Para auxiliar a caracterização dos solos da bacia de drenagem, também foram utilizados os dados de análise granulométrica que constitui em mais um procedimento que permitiu auxiliar a verificação de indícios à erosão dos solos na área.

Guerra (2014) expõe que a granulometria é a técnica mais difundida e conhecida, relacionada às análises físicas. A partir dessa análise, é possível dividir os solos em classes: pedregosos, arenosos, siltosos e argilosos. As partículas granulométricas que compõem solo (areia, silte e argila) são de extrema importância para identificar áreas com risco potencial à erosão, pois de acordo com Guerra (1998), algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras.

Nesse contexto, foram gerados gráficos de frequência acumulada (figuras 35, 36, 38, 39 e 40) para análise dos tipos de materiais encontrados em cada tipo de solo. Esses gráficos mostraram que os solos da bacia apresentam classificação média como arenosos e siltosos. O Neossolo Quartzarênico destacou-se como solo com maior presença de areia muito fina (figura 35 – sete amostras de solo), seguindo com a classificação de solo arenoso destacou-se o Neossolo Litólico (figura 36 - oito amostras de solo) com uma variação entre areia média e areia muito fina. Apenas uma amostra, desse último solo, indicou classificação como silte.

Os solos Latossolo Vermelho-Amarelo (figura 39 - uma amostra de solo) e Latossolo Amarelo (figura 38 - uma amostra de solo) também se classificaram como solos arenosos de classificação de areia fina e areia média, respectivamente. Enquanto o Argissolo Vermelho-Amarelo (figura 40 - uma amostra de solo) classificou-se como solo com expressiva quantidade de silte.

Os solos ricos em silte e areia e com pouco material cimentante (matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio) são muito propensos ao processo erosivo, em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante a precipitação (PRUSKI, 2009, p. 46).

Com base ainda na classificação de Folk (1954), as amostras apresentam-se como pobremente a muito pobremente selecionadas, nos quais grande parte exibe assimetria positiva a muito positiva, indicando uma frequência de grãos mais finos maiores do que a esperada para uma amostra perfeitamente simétrica.

No caso da bacia de drenagem a vegetação que responde pela proteção vegetal da área, a caatinga com marcas de transição (cerrado), por ser uma vegetação caducifólia acaba exercendo pouca proteção contra a ação das águas pluviais. Uma efetiva proteção deve ocorrer após o início das primeiras chuvas. No entanto é nesse período que os processos erosivos são evidenciados com maior intensidade.

Geralmente solos com grande percentual de areia são mais propícios a sofrer o processo de erosão e quando associados à declividade do terreno e precipitação, a

probabilidade de ocorrência desse fato tende a aumentar. Constataram-se em campo alguns pontos com processos erosivos na bacia (figuras 31, 32, 33 e 34).

**Figura 31 - Construção de pilares e penhascos pela erosão da chuva e escoamento concentrado.- Argissolo Vermelho-Amarelo próximo a curso fluvial/município de Lagoa do Sítio**



Fonte: Registro da autora, (2015)

No município de Lagoa do Sítio, observou-se a existência de pontos erosivos próximos a um curso fluvial, denominados de erosão hipodérmica. Esses dutos (pipes) ou túneis se formam a partir do carreamento de pequenos grãos do solo, partículas de argila e outros colóides, ou mesmo através da remoção dos componentes do solo por solução, ou seja, pelo processo de *piping*. (AUGUSTIN; ARANHA, 2006, p. 10.).

A água de precipitação que atinge a superfície e que não é retida pela vegetação infiltra-se, podendo ficar armazenada como umidade no solo ou deslocar-se por percolação em direção ao lençol freático. Dependendo da permeabilidade deste solo, essa movimentação pode ocorrer com maior ou menor velocidade. Nos horizontes próximos da superfície a permeabilidade é maior, assim, durante grandes precipitações, a água que se infiltra pode formar um fluxo subterrâneo paralelo à superfície da vertente, denominado de fluxo hipodérmico (LELI; STEVAUX; NÓBREGA, 2010).

**Figura 32 - Erosão hipodérmica (*piping*) e processo de ravinamento - Argissolo Vermelho-Amarelo próximo a estrada de acesso à cidade/município de Lagoa do Sítio**



Fonte: Registro da autora, (2015).

**Figura 33 - Erosão hipodérmica (*piping*) em processo avançado - Argissolo Vermelho-Amarelo /município de Lagoa do Sítio**



Fonte: Registro da autora, (2015)

**Figura 34 - Erosão em Sulco – Neossolo Quartzarênico/município de Pimenteiras**



Fonte: Registro da autora, (2015)

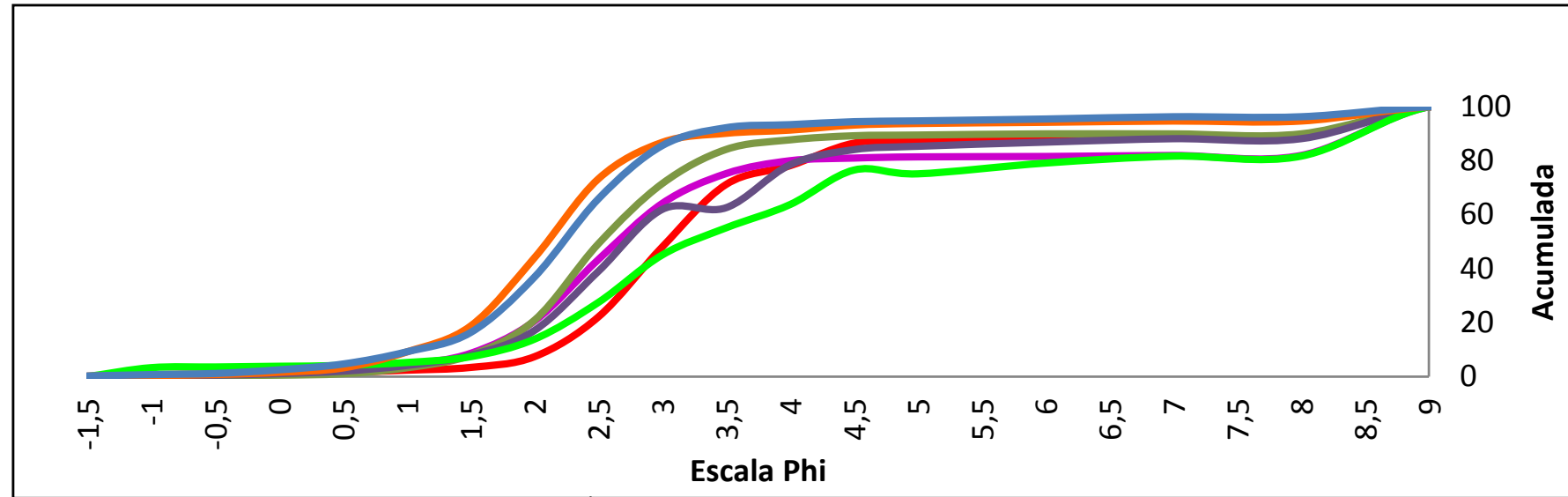
A erosão em sulco resulta da irregularidade na superfície do solo, devido à concentração da enxurrada em determinados locais (LEPSCH, 2010, p 193.). Os municípios de Lagoa do Sítio e Pimenteiras foram os locais que concentraram os maiores sinais de erosão na Bacia de drenagem, são áreas de solos Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, respectivamente.

O registro desse tipo de erosão foi realizado no período chuvoso, nesse sentido observa-se, quando esses solos são submetidos a intensas e concentradas precipitações e aliadas à vegetação arbustiva- arborea da caatinga, a área apresenta pouca resistência à erosividade da chuva, conforme foi observado.

Os resultados obtidos com a análise granulométrica contribuíram para melhor compreensão da erodibilidade, confirmando que os Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos têm as características texturais que propiciam à erosão, seguidos do Argissolo Vermelho-Amarelo que se apresentou com significativa tendência à erosão.

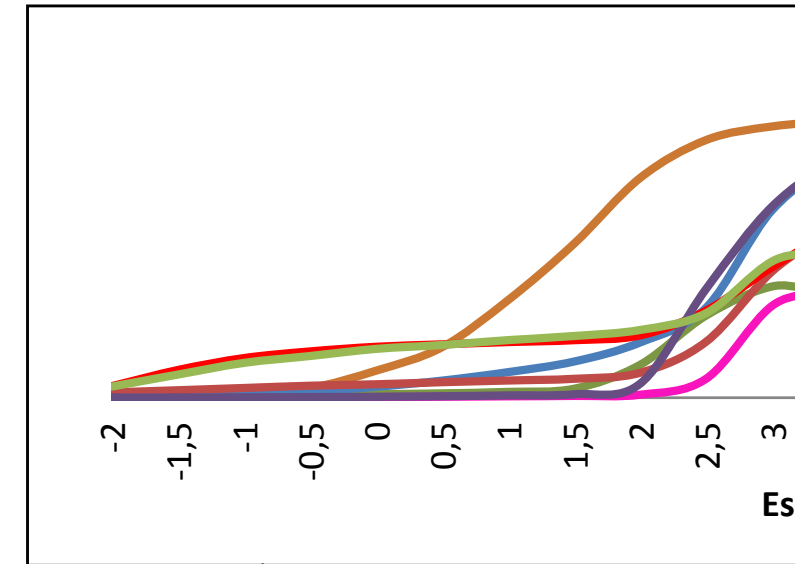
Contudo, mesmo na Bacia predominando solos vulneráveis, o comportamento da rede de drenagem exhibe outro resultado. Considerando o baixo valor de densidade de drenagem e o baixo índice de rugosidade da Bacia, a mesma exhibe uma potencialidade de infiltração maior do que de escoamento, assim apresenta baixa probabilidade de ocorrências de processos erosivos. Os dados analisados na análise granulométrica auxiliaram a metodologia para avaliação da fragilidade potencial da bacia associando-se com as demais variáveis propostas por Ross, especializando as áreas mais frágeis da bacia.

**Figura 35 - Gráfico frequência acumulada –Neossolo Quartzarênico**



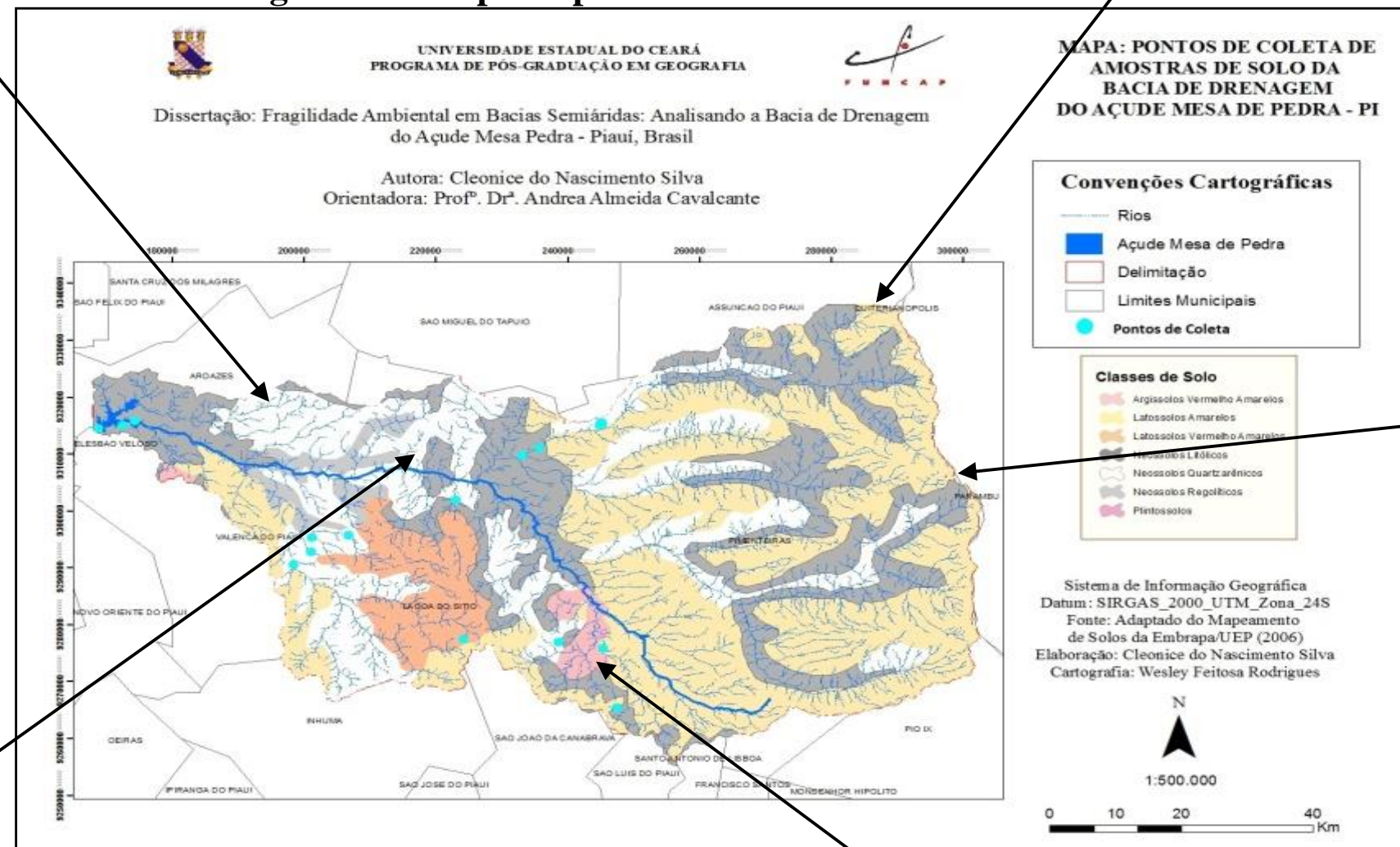
Fonte: Elaborado pela autora, (2016).

**Figura 36 - Gráfico f**



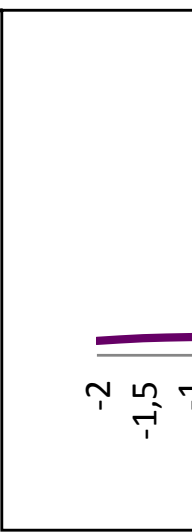
Fonte: Elaborado pela autora, (2016).

**Figura 37 - Mapa de pontos de coleta de amostras de solo**



Fonte: Elaborado pela autora, (2016)

**Figura**



Fonte: elab

## 6.2 Fragilidade Potencial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra

As variáveis principais para análise da fragilidade potencial são o estudo da declividade da área e os tipos de solos existentes. Os intervalos de declividade indicam respectivamente a intensidade dos processos erosivos, dos riscos de escorregamento/deslizamento e possíveis inundações. A erodibilidade dos solos corresponde à fragilidade do solo à erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam em muitos casos o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiente (KAWAKUBO *et al.*, 2010).

Para análise da declividade da área foi produzido um mapa a partir dos intervalos propostos por Ross (1994) com as devidas adaptações (figura 41). A área de estudo apresenta declividade média de 6,02 %, caracterizando-se como uma área de baixa declividade e de relevo plano/suave ondulado, atribuindo o valor de fragilidade 1 (muito fraca) de acordo com a metodologia. Observa-se também, de acordo com a metodologia de Ross, que os atributos 2 e 3 respectivamente fraca e média erodibilidade, aparecem em destaque na bacia.

Considerando apenas essa variável poder-se-ia afirmar que a maior parte da bacia apresenta baixo risco à erosão, assim como baixa fragilidade. No entanto, assim como indica Ross (1994), as classes de solos encontradas na bacia também devem ser associadas para que a análise indique um cenário real de fragilidade, assim como a análise da variação de precipitação na bacia. A suscetibilidade de um solo à erosão é função da declividade do terreno, das características do perfil do solo e das condições climáticas (BIGARELLA, 2007).

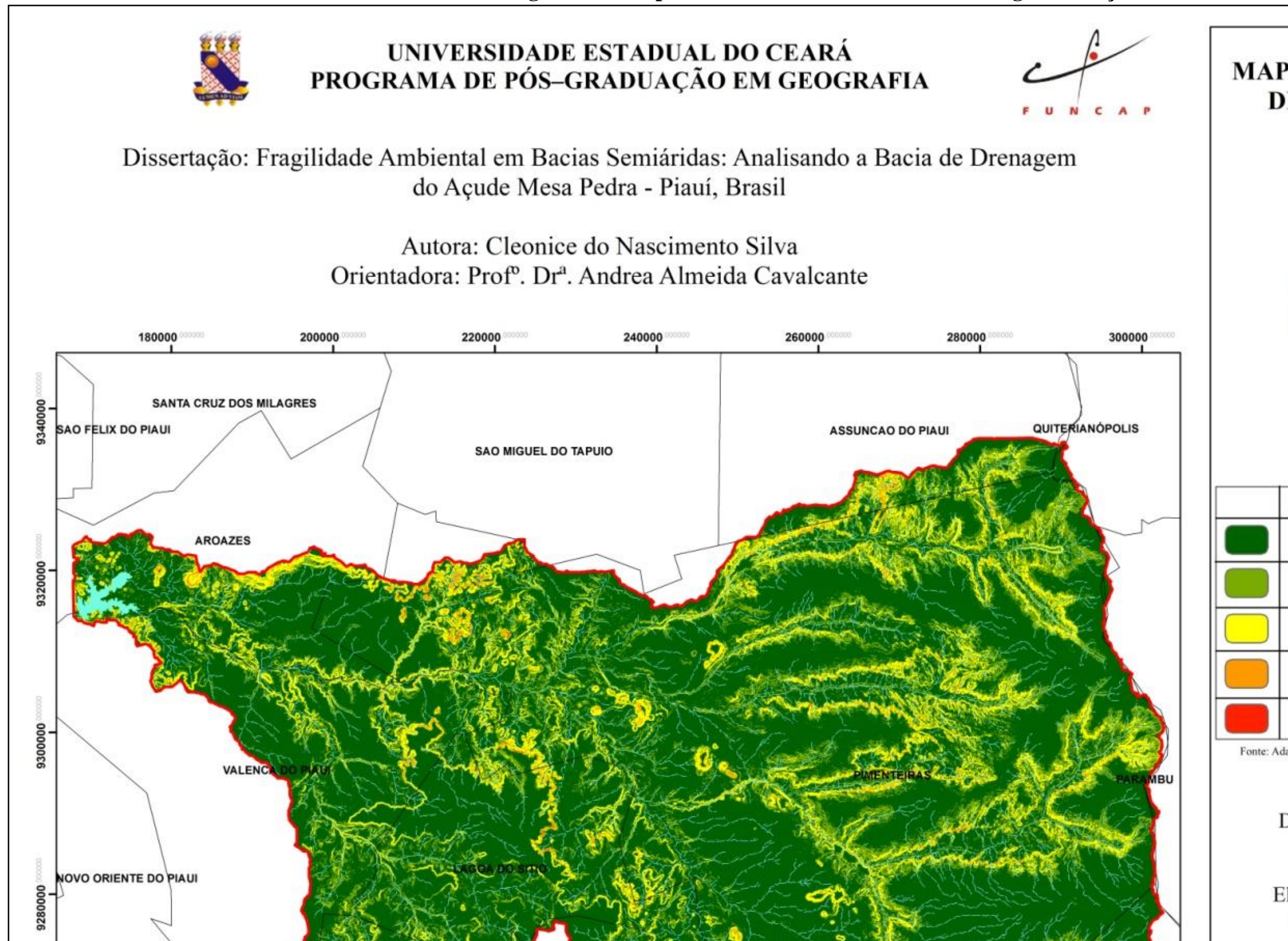
O fator Erodibilidade expressa a resistência do solo à erosão hídrica. Para isso Ross determina em sua metodologia que solos são mais frágeis, atribuindo valores de 1 a 5 (Quadro 14). O mapa de erodibilidade foi feito seguindo os padrões da metodologia de Ross (1994), organizando cada tipo de solo em graus de erodibilidade (figura 42).

**Quadro 14 - Categorias hierárquicas - tipos de solos**

VALOR	GRAU DE ERODIBILIDADE	TIPOS DE SOLOS
1	Muito Fraco	Sem ocorrência
2	Fraco	Latossolo Amarelo
3	Média	Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo
4	Forte	Plintossolos
5	Muito Forte	Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos.

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Figura 41 - Mapa de declividade da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra





Os solos Neossolos Quartzarênicos, Litólicos e Regolíticos constituem a classe de solos com maior grau de erodibilidade, assim como foi observado na análise granulométrica. O Plintossolo, em menor expressividade na Bacia, apresenta-se como forte grau de erodibilidade. O Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho- Amarelo classificam-se de erodibilidade média. Já o Latossolo Amarelo aparece como solo de menor nível de erodibilidade.

A fragilidade dos solos está relacionada a fatores como a capacidade de retenção de água, profundidade efetiva, permeabilidade e drenagem interna, fertilidade e motomecanização (LEPSCH, 2010).

Para elaboração do mapa de fragilidade potencial foi realizada a sobreposição dos mapas de declividade com o mapa de erodibilidade. As classe foram hierarquizadas em cinco níveis diferentes de fragilidade: muito fraca, fraca, média, alta e muito alta (figura 43).

A análise da fragilidade potencial evidencia que as áreas de declividade muito fraca e com a presença de Neossolo Quatzarênico, Litólico e Regolítico encontram-se com fragilidade potencial fraca. Esta área compreende a maior parte da bacia de drenagem e, mesmo com a existência de solos bastante erodíveis, a declividade exerce maior influencia, indicando assim um ambiente pouco frágil.

Entretanto, a concentração de chuvas nessa área, mais precisamente no baixo curso da bacia próximo ao açude, é a maior de toda a bacia, atingindo uma média total no mês de março mais chuvoso do ano de até 875,28 mm. Nesse sentido, a erosividade pode influenciar a fragilidade natural.

Destaca-se que as áreas com Latossolos Vermelhos correspondem exatamente a áreas de baixa fragilidade. Isso ocorre devido à baixa declividade (muito fraca) de <6% e as propriedades dos solos, considerados mais resistentes à erosão. Além disso, a precipitação nessa área é significativamente menor do que em outros pontos.

As áreas de maior declividade da bacia (12% a 30%), localizadas ao Norte, nos limites da bacia, e em locais do alto curso, são consideradas como de forte fragilidade. Os solos Neossolos Quatzarênicos, Litólicos e Regolíticos contribuem com isso.

Nesse contexto, pode-se afirmar que a fragilidade potencial da bacia de drenagem em sua maioria é de caráter fraco a muito fraco, demonstrando, então, sua baixa probabilidade em erodir, assim como foi constatado na análise morfométrica, onde os principais parâmetros de análise das características de drenagem, indicaram o baixo potencial erosivo da mesma.

Quando comparada a Bacia em estudo com outra bacia de semiárido, como a microbacia do riacho Cajazeiras, no semiárido potiguar (BATISTA; SILVA, 2013), que

apresenta fragilidade potencial de quase 100% da bacia classificada como média e o restante como alta, observa-se o contraste entre os resultados.

Apesar das duas bacias encontrarem-se em ambiente semiárido naturalmente frágil, a fragilidade potencial não é expressada da mesma forma em ambas. Diferenças como tipos de solos (Argissolo em grande parte da bacia), declividade e relevo (presença de relevos residuais) levaram a bacia do semiárido potiguar a apresentar maior grau de fragilidade. Enquanto a bacia em estudo caracteriza-se, conforme várias variáveis já analisadas, uma área de maior resistência à erosão.

Figura 43 - Mapa de fragilidade potencial da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra



### 6.3 Análise do Uso e Cobertura Vegetal e Uso da Bacia de Drenagem

A avaliação da cobertura do solo se apresenta como elemento relevante na manutenção dos recursos naturais renováveis. Logo, a análise da cobertura vegetal com sua espacialidade torna-se um importante mecanismo para estudos voltados para análise da fragilidade ambiental.

Sobre a cobertura vegetal, Cançado e Lorandi, (2002, p. 50) afirmam que

[..] está relacionada a fatores influentes nos processos erosivos, dentre os quais se citam: efeitos espaciais da cobertura vegetal, efeitos na energia cinética da chuva e o seu papel na forma de húmus, a qual afeta, a estabilidade e o teor de agregados do solo.

As remoções da cobertura vegetal causadas pelas práticas de desmatamento queimadas e superpastoreio intensificam a fragilidade da área, principalmente quando ocorre em ambientes como o semiárido, onde a caatinga é a vegetação predominante. Naturalmente a caatinga não representa uma efetiva proteção, a mesma, segundo Maranhão e Ayrimoraes (2012), é caracterizada por ser uma savana estépica formada por vegetação rala e de tamanho pequeno.

A Caatinga continua passando por um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais, o que está levando à rápida perda de espécies únicas, à eliminação de processos ecológicos chaves e à formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região (LEAL *et al.*, 2003, p. 13.).

A cobertura do solo pode fornecer o grau de proteção do solo maior ou menor em função do porte da planta. “As variações umidade x *secura* durante o ano, aliadas a uma precária capacidade de proteção à superfície por parte das caatingas, fortalece o desempenho erosivo do escoamento superficial durante a estação chuvosa.” (SOUZA *et al.*, 2005, p. 21.). Além disso, é imprescindível o conhecimento das formas de uso para um aproveitamento sustentável.

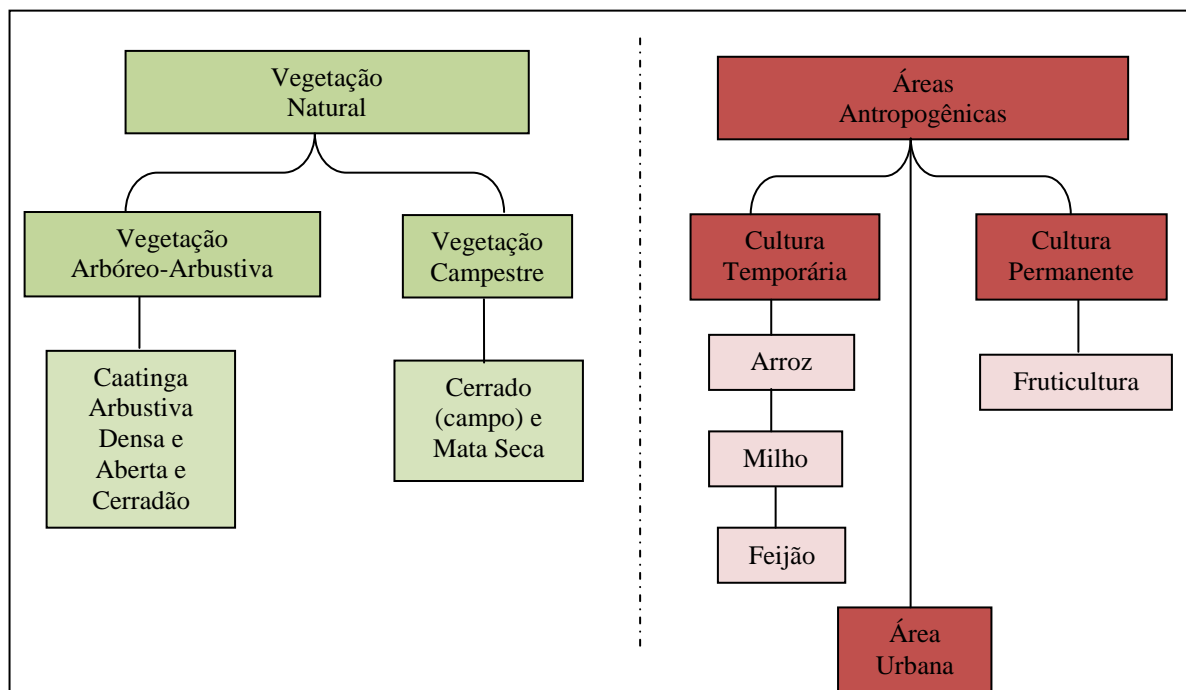
Ross (1994) propõe as classes de cobertura e uso. No entanto, como a área de estudo difere da estudada pelo autor, foi necessário fazer uma adaptação. Nesta atentou-se para características da vegetação do semiárido, pois a mesma apresenta limitações quanto ao grau de proteção. Foi atribuída para cada um dos fatores analisados uma sistematização hierárquica nominal de fragilidade, representada por códigos que variam de 1 a 5 (Quadro 15).

**Quadro 15 - Classes de análise para o mapa de uso e cobertura da bacia de drenagem**

VALOR	GRAUS DE PROTEÇÃO	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL
1	Alto Limitado	Áreas de Vegetação Arbórea- Arbustiva: Caatinga Arbustiva Densa e Aberta e Cerradão.
2	Alto	Áreas de Vegetação Campestre: Cerrado (campo) e Mata Seca
3	Médio	Áreas Antropizadas Agrícolas de Cultivo Temporário: Cultivos de Arroz, Milho, Feijão entre outros
4	Baixo	Áreas Antropizadas Agrícolas de Cultivo Permanente: Cultivos de Fruticultura em geral
5	Muito Baixo ou Nulo	Áreas Antropizadas Não Agrícolas: Áreas Urbanas, Solos Expostos, Queimadas e Afloramentos de Rocha

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Os tipos de cobertura vegetal foram organizados a partir da associação da tabela proposta por Ross (1994) e Loebmann *et al.*, (2012), estabelecidos em classes principais: Vegetação Natural e Áreas Antropogênicas (figura 44).

**Figura 44 - Principais elementos para análise de uso e cobertura vegetal**

Fonte: Adaptado de Loebmann et al (2012).

As áreas com vegetação natural consistem em áreas com baixo grau de intervenção humana, onde predominam coberturas inalteradas ou em processo de

regeneração. A vegetação natural pode ser dividida em função do gradiente de vegetação no qual, na vegetação natural florestal predominam as espécies arbóreas; na vegetação natural herbáceo-arbustiva, predominam as espécies arbustivas; e, na vegetação natural campestre, predominam marcas de transição da vegetação do cerrado com a caatinga e outras espécies. (LOEBMANN *et al.*, 2012).

Na bacia de drenagem as vegetações identificadas como Vegetação Natural foram subdivididas em Vegetação Arbórea- Arbustiva (caatinga arbustiva e cerradão) e Áreas de Vegetação Campestre (cerrado/campo e mata seca), cada uma com o grau de proteção (1) Alto Limitado e (2) Alto, respectivamente.

As áreas antropogênicas reúnem as coberturas naturais ou artificiais manejadas em maior ou menor grau para utilização humana. Para interpretação da bacia essas áreas foram subdivididas em Áreas Antropizadas Agrícolas de Cultivo Permanente, Áreas Antropizadas Agrícolas de Cultivo Temporário e Áreas Antropizadas Não Agrícolas (áreas urbanas, solos expostos, queimadas e afloramentos de rocha). Atribuindo para cada tipo de cobertura os seguintes graus de proteção, respectivamente: (3) Médio (4) Baixo e (5) Muito Baixo ou Nulo.

As áreas de cultura temporária são caracterizadas com vegetação cultivada de ciclo vegetativo curto ou médio, em que é necessário um novo ciclo de crescimento da vegetação após a colheita para a continuidade da produção, por exemplo, culturas, como as de arroz, de cana-de-açúcar e de soja (IBGE, 2010).

As áreas de cultura permanente apresentam vegetação cultivada de ciclo longo. Inclui áreas de fruticultura e de cafeicultura (IBGE, 2010). Já as áreas alteradas para estabelecimento de moradias, solo exposto, e demais instalações típicas de áreas urbanas são consideradas como Áreas Antropizadas Não Agrícolas.

Nas proximidades do açude Mesa de Pedra, baixo curso da bacia de drenagem, mais precisamente nos municípios de Valença do Piauí, Lagoa do Sítio, Inhuma, parte do Município de Aroazes e parte leste do município de Pimenteiras observa-se o grau de proteção alto (2), com vegetação característica de uma área de transição com manchas de vegetação semiárida e de cerrado (figura 45).

**Figura 45 - Vegetação com marcas de transição - Cerrado e Caatinga, município de Lagoa do Sítio-PI**



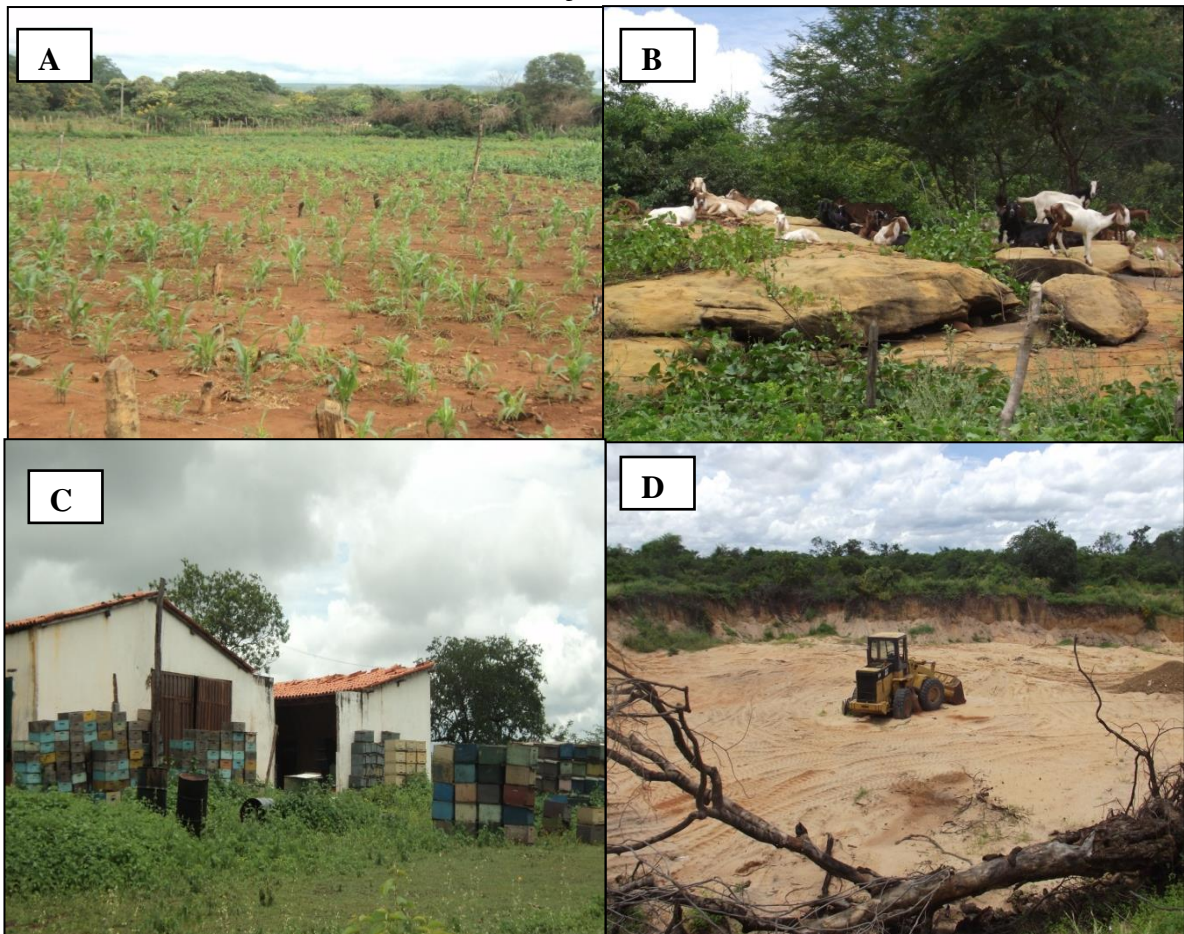
Fonte: Registro da autora, (2015).

No médio curso da bacia ainda se observa a presença desse tipo de vegetação de transição, entretanto já se nota a maior presença de caatinga. Nessa área, a precipitação é bem irregular, contribuindo, assim, para as características da vegetação (mais rala). As caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas (PRADO, 2003 p. 23)

Diante dessas especificidades da caatinga, que apesar de ter uma expressiva representatividade na bacia, não oferece uma efetiva proteção ao solo, visto que naturalmente suas espécies apresentam limitações. Por esse motivo optou-se por considerar grau de proteção alto limitado (1).

É importante destacar que os municípios integrantes dessa bacia são basicamente rurais, com atividades econômicas voltadas principalmente para a agricultura de vazante, pecuária (bovino e caprino), apicultura e extração de areia para construção civil (Figura 46) fato constatado em pesquisa de campo.

**Figura 46 - Usos na bacia. A – Agricultura/ B – Ovinocultura/ C- Apicultura/ D – Extração de areia.**



Fonte: Registro da autora, (2015).

As culturas temporárias encontradas na bacia foram os cultivos de arroz, feijão e milho, atividades bem distribuídas, demonstrando a importância da atividade agrícola para a área. Enquanto as culturas permanentes ficaram ligadas a cultivos de fruticultura, como por exemplo, cajucultura e mangueiras.

As áreas antropizadas não agrícolas apresentam-se em menor número na bacia, principalmente próximas às sedes municipais, o que confirma a presença de instalações típicas de áreas urbanas ou áreas de queimadas, prática comum em alguns municípios para eliminação do lixo doméstico.

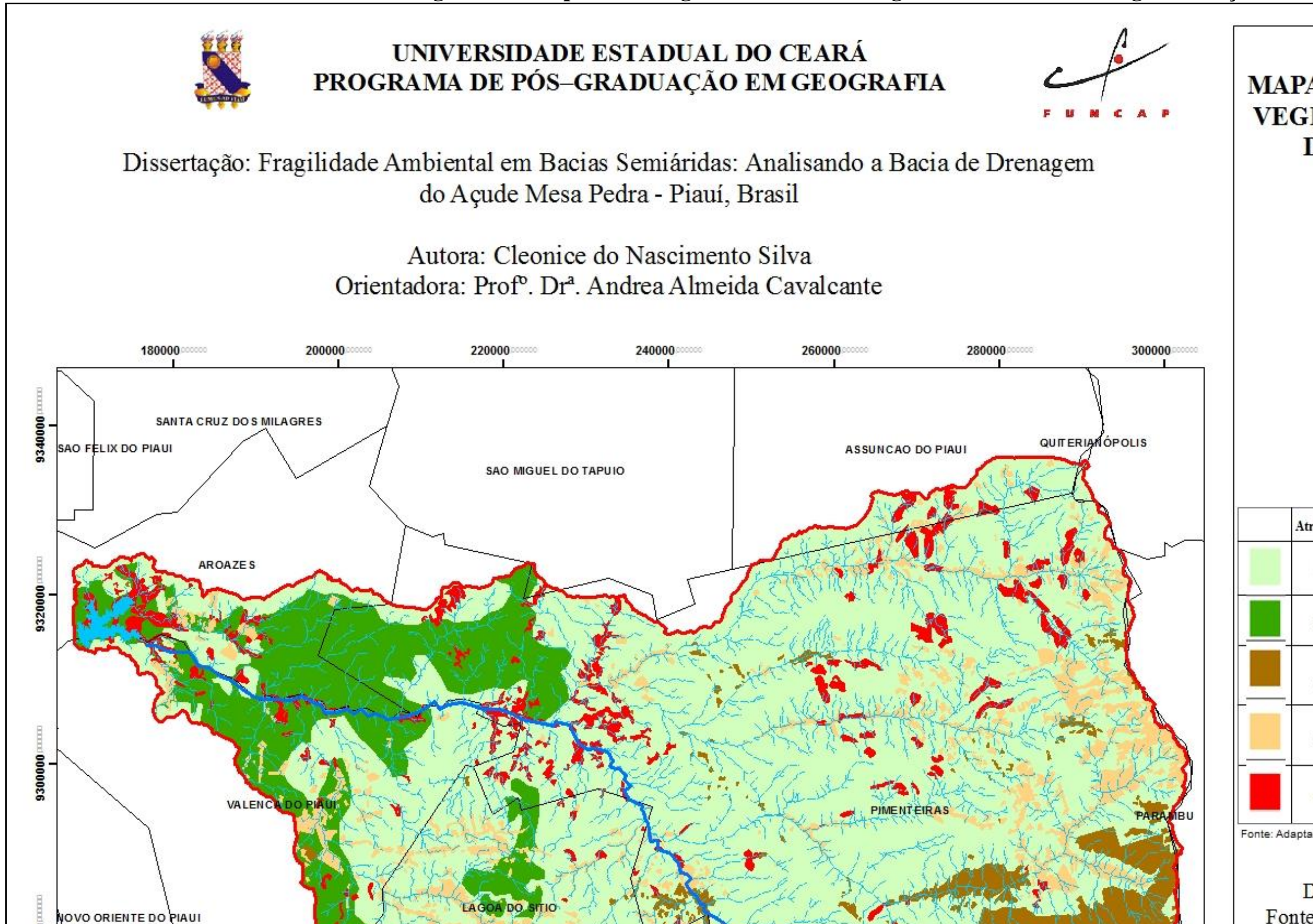
Nessa perspectiva, a espacialização do uso e cobertura vegetal da bacia indica aproximação com a análise da pluviosidade. No baixo curso da bacia observa-se uma vegetação de transição cerrado/caatinga de maior porte, nessa área concentra-se o maior volume de chuvas, já do médio ao alto curso da bacia, a vegetação rala mais específica do semiárido reflete o regime de chuvas mais escasso.

Nas áreas com maior índice de chuvas (baixo curso), observa-se uma vegetação típica de transição, que apresenta um grau maior de proteção, com ressalva para alguns pontos no entorno do açude, que indica uma área antropizada não agrícola, indicando interferência humana relacionada a outras atividades diferentes de prática agrícola (figura 47).

Já do médio curso ao alto curso da bacia, observa-se um grau de proteção “alto limitado”, devido especialmente à vegetação predominante. A caatinga arbustiva, apesar de bastante presente na área, sua característica de vegetação caducifólica somada à baixa pluviosidade, não permite uma proteção tão efetiva.

A cobertura vegetal contribui de duas formas na intervenção da erosão pluvial, conforme aponta Tricart (1977). Primeiramente seria a interceptação das gotas d’água, evitando que as mesmas atinjam de forma direta a superfície do solo. Depois para o fornecimento de detritos vegetais que contribuem para amortecer o impacto da chuva além de favorecer os processos de infiltração da água.

Figura 47 - Mapa de uso e grau de cobertura vegetal da Bacia de Drenagem do Açude Mesa Pedra - Piauí, Brasil



#### 6.4. Fragilidade Emergente da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra

De acordo com Santos *et al.*, (2010, p.96), os mapas de fragilidade sintetizam as características naturais dos meios e as restrições e/ou aptidões diante das diferentes formas e utilização dos recursos naturais. Logo, as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente ou Fragilidade Ambiental da bacia de drenagem resultaram dos levantamentos das características naturais aliados ao grau de proteção e uso do solo.

Predominou na Bacia de drenagem fragilidade emergencial fraca e muito fraca, com alguns pontos com fragilidade média e em menor quantidade fragilidade forte. As áreas de fragilidade emergente fraca assemelham-se com as de fragilidade potencial, localizando no baixo curso da bacia trechos do médio curso e fundo de vales no alto curso. A cobertura vegetal (mais densa), precipitação (mais elevada da bacia) e baixa declividade contribuíram para esse quadro. Os pontos de fragilidade média referem-se a áreas de agricultura temporária com culturas de subsistência (arroz, feijão, milho), principalmente próximas a cursos fluviais (figura 49).

Nesse sentido, embora as principais formas de uso observadas na bacia não demonstrem tanta preocupação quanto à fragilidade ambiental da área, é importante atentar para os locais onde ocorrem essas atividades, pois se ocorrerem em terrenos de solos vulneráveis (como Neossolos) e com declividade elevada, aumenta-se a probabilidade do ambiente tornar-se mais instável.

Assim, as áreas com altos valores de fragilidade coincidem com locais de declividades acentuadas e áreas antropizadas, ou seja, áreas de ocupação urbana, com uma elevada porcentagem de declividade (6 a 20%) e solos mais frágeis, como os Neossolos.

No entorno do açude Mesa de Pedra verificam-se pontos de fragilidade forte a muito forte. Este é caracterizado como de solo exposto, com habitações e pontos de lazer às margens do açude e do rio Sambito (figura 48), contribuindo para o assoreamento do açude e do rio. Esses locais são aproveitados como lazer por moradores da comunidade Manoel Portela, vizinhos de localidades próximas e visitantes de outros municípios, ocorrendo principalmente em períodos de férias e feriados (SILVA, 2012).

Tal fato merece atenção, uma vez que já se percebem sérios indícios de fragilidade. Logo, atitudes devem ser tomadas como incentivo a atividades sustentáveis definindo as formas de manejo e utilização do recurso hídrico para que no futuro isso não se agrave e aumente o nível de fragilidade da bacia.

**Figura 48 - Área de lazer - Barragem Mesa de Pedra**



Fonte: Silva (2012).

Pensando em evitar que as áreas de fragilidade emergencial aumentem na bacia de drenagem, sugerem-se estratégias e práticas de conservação para desenvolvimento, conforme foi organizado por Botelho e Guerra, (2009) resumidas e adaptadas para área de estudo a seguir:

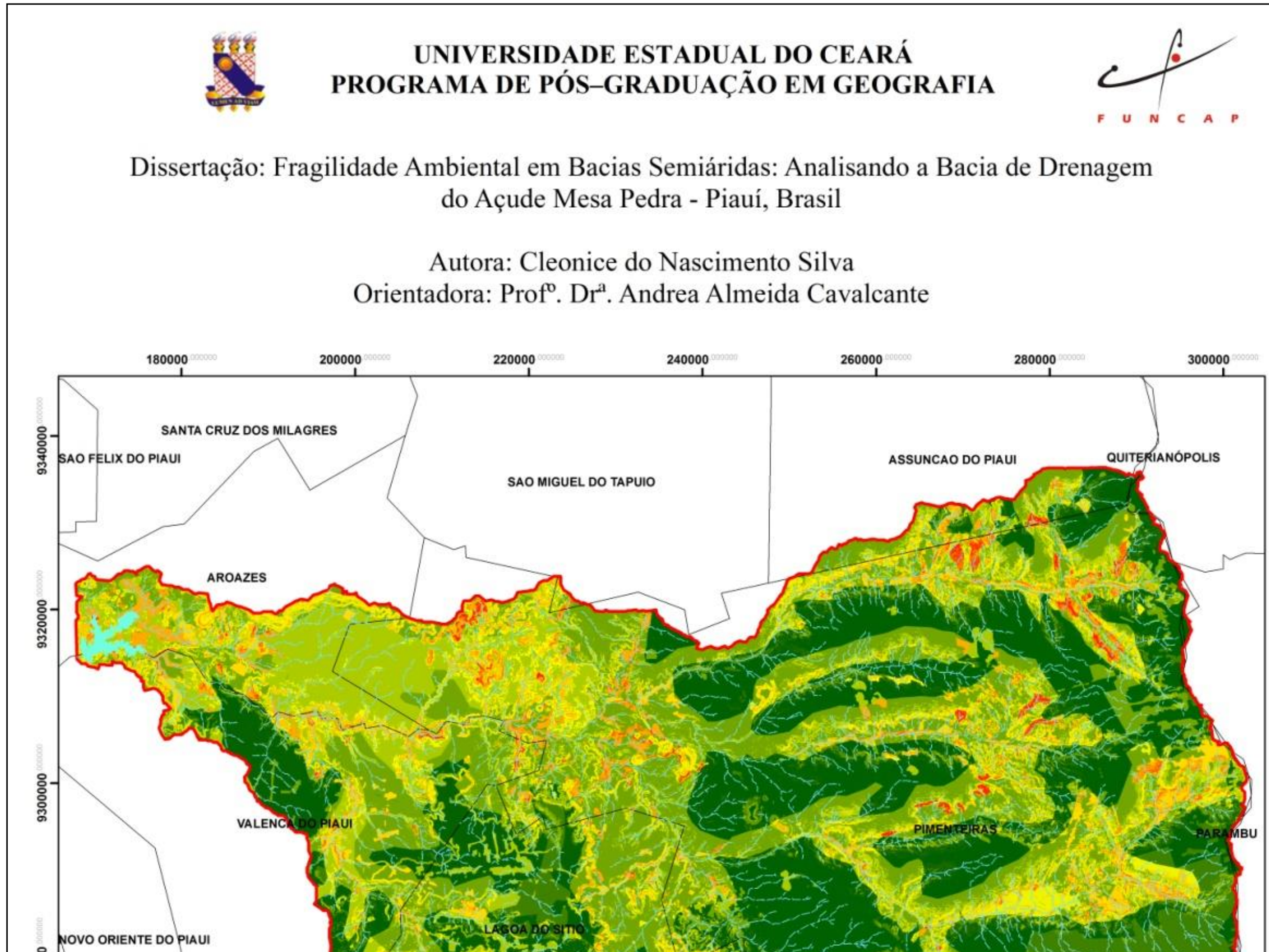
- a) aumento da população de plantas, através da adequação da densidade (número de indivíduos por área considerada) e distribuição espacial, principalmente no entorno do açude Mesa de Pedra;
- b) cuidados no preparo do solo, como utilização do plantio direto e do cultivo mínimo, onde o plantio acontece sobre o que restou da cultura anterior e as operações de revolvimento do solo são reduzidas;
- c) reforma e manejo de pastagens, através da associação da pecuária à agricultura;
- d) reflorestamento, com destaque para matas ciliares e para áreas suscetíveis à erosão com declividade acentuada.

As estratégias elencadas expõem a importância da cobertura vegetal do solo para proteção contra o impacto das chuvas, permitindo a melhor estrutura do solo em função da matéria orgânica incorporada a ele, reduzindo o escoamento superficial pelo aumento da rugosidade do terreno e da infiltração, assim como as formas de manejo sustentáveis implantadas. (BOTELHO; GUERRA, 2009).

Embora as particularidades do semiárido brasileiro envolvam a intensidade e a frequência das chuvas, atingindo a vegetação da caatinga, naturalmente frágil, bem como as

variadas formas de uso nas margens dos rios e a necessidade de acumulação de água a partir da construção de barragens (CAVALCANTE, 2012), pode-se observar que a bacia de drenagem em foco, em sua maior parte, apresenta baixo grau de fragilidade emergente, assim como fragilidade potencial. Comparando com o alto curso do rio Pajeú em Pernambuco (Silva *et al.*, 2011), que apresentou alto grau de fragilidade emergente, e a microbacia do riacho Cajazeiras –RN (Batista e Silva, 2013) com mesmo grau de fragilidade, todas localizadas no semiárido e analisadas com base na metodologia de Ross(1994), constata-se que esta difere das demais bacias do semiárido brasileiro.

Figura 49 - Mapa de fragilidade emergencial da Bacia De Drenagem Do Açude Mesa De



## 8 CONCLUSÃO

A relação entre as condições naturais e a transformação social realizada pelo homem influenciou a formulação dos princípios metodológicos da análise geográfica proposta por Ross (1994). A análise da fragilidade ambiental da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra, por meio dessa metodologia, permitiu o conhecimento das potencialidades e limitações da área. Acrescentaram-se ainda outras metodologias, objetivando alcançar uma investigação mais detalhada.

O estudo dos parâmetros morfométricos contribuiu para interpretação do potencial erosivo da Bacia de drenagem do açude Mesa de Pedra, que indicou o baixo potencial erosivo para esta bacia. As análises areais dimensionaram a bacia espacialmente tanto em áreas quanto em comprimento, demonstrando que a mesma é bastante alongada e extensa. As análises lineares auxiliaram por meio das extensões e quantidades de canais de escoamento superficial no conhecimento de sua potencialidade e capacidade de escoamento. A análise hipsométrica permitiu verificar, do ponto de vista geomorfológico que quase a maioria da bacia apresenta baixa declividade.

Durante a pesquisa perceberam-se características da bacia de drenagem, de um semiárido peculiar que difere dos demais ambientes semiáridos brasileiros. Geologicamente, por exemplo, observou-se a predominância de terrenos sedimentares, fato corroborado pelo baixo valor de densidade de drenagem, onde o potencial de infiltração é maior que o de escoamento.

A análise pluviométrica também contribuiu para essa especificidade. Os dados demonstraram que a mesma apresenta dois cenários distintos. Do alto ao médio curso a precipitação mostrou-se comum aos demais ambientes semiáridos, com médias de 751,26 mm nos meses mais chuvosos, enquanto no baixo curso, próximo ao açude Mesa de Pedra, no mesmo período, a pluviosidade média chega até 1587,85 mm, superando a média para as regiões semiáridas. Esse ritmo de precipitação no baixo curso da bacia pode causar maiores chances de surgimento de pontos erosivos.

Com a análise granulométrica constatou-se que os solos predominantes na bacia, neossolos quartzarênicos e neossolos litólicos, apresentam maior capacidade erosiva. No entanto, devido à extensão da bacia, não foi possível analisar em laboratório todos os tipos de solos presentes na área estudada.

Considerando a erodibilidade e a declividade da bacia, obteve-se a fragilidade potencial, onde mesmo com a presença de solos erodíveis em muitos pontos da bacia, a baixa declividade dominante resultou em fraca fragilidade potencial. Logo, os fatores naturais analisados sugerem uma bacia com baixas limitações.

Nessa investigação, a análise do uso e cobertura vegetal da bacia foi primordial para alcançar a fragilidade ambiental dela. A cobertura vegetal foi caracterizada pela existência de caatinga arbustiva do alto curso ao médio curso da bacia, e vegetação de transição no baixo curso, com espécies de cerrado/cerradão.

Devido à caatinga não constituir uma vegetação que apresenta proteção eficaz, nessa pesquisa realizou-se uma adaptação e sugere-se essa adaptação à metodologia quando se tratar de ambiente semiárido, colocando-a como tipo de proteção 'alto limitado', pois na metodologia de Ross apenas a presença de vegetação seria necessário para proteção da área, algo que não pode ser aplicado a toda região.

Durante pesquisa de campo, observaram-se as principais formas de uso na bacia, caracterizando-a como uma área de atividades rurais: agricultura de subsistência, pecuária extensiva, de caprinos e bovinos, apicultura e extração de areia para construção civil. Destacaram-se cultivos temporários tais como arroz, feijão e milho; e cultivos permanentes como cajueiros.

Aliando essas características de uso e cobertura vegetal com os condicionantes naturais já analisados no mapeamento da fragilidade potencial da bacia, obteve-se a espacialização da fragilidade emergencial, ou seja, a fragilidade ambiental.

Analisando a área de estudo como um todo, concluiu-se que a fragilidade emergente da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra classificou-se como fraca e muito fraca, evidenciando que a mesma não apresenta indícios marcantes que caracterizam, de fato, o que aqui se denomina de ambientes degradados, contradizendo a hipótese apresentada no início da pesquisa e o resultado esperado para bacias hidrográficas do semiárido que se apresentam como ambientes, naturalmente, de fragilidade elevada, conforme destaca grande parte da literatura.

Entre os pontos de destaque que podem justificar esse diferencial: a base geológica predominantemente sedimentar, exerce forte papel na distribuição e densidade de drenagem, fazendo com que o baixo potencial de escoamento associado aos baixos índices de declividade corroborem para tornar essa bacia de baixo potencial erosivo, inclusive porque os solos mais erodíveis também estão localizados em algumas áreas mais rebaixadas.

No entanto, mesmo sendo classificada como de fraca fragilidade emergente, a bacia de drenagem apresenta alguns pontos de fragilidade muito fortes, principalmente no entorno do açude Mesa de Pedra, nas sedes municipais e próximas a cursos fluviais, necessitando assim, de atenção para formas de manejo implantadas nesses pontos para que tais processos não sejam expandidos para toda a bacia, levando-a a se tornar de instabilidade emergente.

Assim, espera-se ter contribuído para o conhecimento da área de estudo e sobre a fragilidade ambiental da Bacia de Drenagem do Açude Mesa de Pedra, com a expectativa de que os resultados desta investigação possam servir para estudos futuros que visem à melhor convivência com a área e estudos para bacias hidrográficas do semiárido.

## REFERÊNCIAS

AB' SÁBER, A. N. **O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras**. São Paulo, USP: Instituto de Geografia, 1974.

AUGUSTIN C. H. R. R; ARANHA. P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p.09-18, 2006. Disponível em: <[http://www.ugb.org.br/home/artigos/...RBG...7.../RBG\\_Ano\\_7\\_n\\_1\\_2006\\_09\\_18.pdf](http://www.ugb.org.br/home/artigos/...RBG...7.../RBG_Ano_7_n_1_2006_09_18.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **Revista GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 59 - 78, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2009.74128>>. Acesso em: 18 abr. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Lista de termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2014. 15 p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Brasília: ANA, 2015. 163 p.

ANDRADE JR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. **Classificação climática do estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 86p.

AQUINO, C. M. S. **Suscetibilidade geoambiental das terras secas do estado do Piauí à desertificação**. 2002, 157 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

AQUINO, C. M. S., OLIVEIRA, J. G. B., SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n.3, p. 287-291, 2006. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/162/156> >. Acesso em: 5 mar. 2015.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. **CAMPO TERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária**, Francisco Beltrão, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/11787>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do córrego matildeçuê, Marechal Cândido Rondon – PR. **Revista Geografar**, Curitiba, v.9, n.2, p.62-83, 2014. Disponível em: <<http://www.ser.ufpr.br/geografar>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

BATISTA, J. P. G.; SILVA, F. M. Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do riacho Cajazeiras no semiárido Potiguar. **Revista Boletim Goiano Geográfico**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 53-72, 2013. Disponível em <<https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/23632/15584>> Acesso em: 30 mai. 2015.

BRASIL. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Plano de ação para o desenvolvimento integrado da bacia do Parnaíba, PLANAP**: síntese executiva: Território Vale do Sambito. Brasília, 2006.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido Brasileiro**. 2005. Disponível em: <[http://www.asabrasil.org.br/UserFiles/File/cartilha\\_delimitacao\\_semi\\_arido.pdf](http://www.asabrasil.org.br/UserFiles/File/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2015.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global** - esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, SP: Instituto de Geografia - USP, 1972.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, SP: Ícone, 2012. 355p.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis, SC: ed. UFSC, 1994.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis, SC: ed.UFSC, 2007

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BOTELHO, R. G. M., GUERRA, A. J. T.; Erosão dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CAVALCANTE, A. A. **Morfodinâmica fluvial em áreas semiárido**: o rio Jaguaribe à jusante da barragem Castanhão, CE – Brasil. 2012. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 2012.

CANÇADO, C. J. ; LORANDI, R. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2002, p.37-65.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M.; Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, 2009. Disponível em <<https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/623/284>> Acesso em: 15 mar. 2015.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**: bacia hidrográfica. Rio de Janeiro, RJ: Ed. UFRJ, 2006. Disponível em:

<<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>> Acesso em: 13 de mai 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Caracterização do quadro natural do estado do Piauí**. Teresina: FCPESP, 1996.

\_\_\_\_\_. **Mapa geológico do estado do Piauí** - Francisco Lages Correia Filho. Teresina: FCPESP, 2006.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p.61-82, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a05.pdf>> Acesso em 11 nov. 2014.

CUNHA, S. B. Canais fluviais e a questão ambiental. In: Cunha. S. B.; Guerra. A. J. T. (Orgs.) **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 250p.

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA. A. J. T.; CUNHA. S. B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.157-89.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SILVA, D. J. ; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; Silva, P. C. G. **Seminário brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido. 2010. p. 49-87.

CRUZ, L. M.; JUNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, São Paulo, n. 03, p. 505-516, 2010.

DANTAS, M. E. Biblioteca de relevo do território brasileiro. In: Pfaltzgraff, P. A. S.; Torres, F. S. M.; Brandão, R. L. **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010.

DOORNKAMP, J. C.; KING, C. A. M.; **Numerical analysis in Geomorphology an introduction**. London: E. Arnold, 1971.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FEITOSA, A., SANTOS, B., ARAÚJO, M. S. B. Caracterização morfométrica e identificação de áreas susceptíveis a erosão na bacia do rio Pajeú, PE: o estudo de caso da bacia do rio Pajeú/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, n.04, p. 820-836, 2011. Disponível em: < <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/231>> Acesso em: 18 mar 2015.

FOLK, R. L. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature**. Journal of Geology, 1954.

FOLK, R. L., WARD, W. C. **Brazos river bar**: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sediment Petrol*, 1957.

FROTA, P. V. **Potencial de erosão na bacia hidrográfica do açude Orós – CE**. 2012. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

GORAYEB, A.; PEREIRA, L. C. C. **Análise integrada das paisagens de bacias hidrográficas na Amazônia Oriental**. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária, 2014.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 149-199 p.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 17-55 p.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos – conceitos e temas. In: Guerra, A. J. T.; Jorge, M. C. O. (Orgs.) **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2014. 16- 40 p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre, RS: ed da UFRGS, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, v. 37, 2010. 91 p.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DO PIAUÍ. **Barragem Mesa de Pedra**: rio Sambito. Teresina: Escala Engenharia de Projetos, 1992. 86p.

JULYARD, E. Região, tentativa de definição. **Boletim Paulista de Geografia do IBGE**, Rio de Janeiro, v. 1, n.186, 1965.

KAWAKUBO, F. S. MORATO, R. G. CAMPOS, K. C. LUCHIARI, A. ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. C. Ecologia e conservação da caatinga: uma introdução ao desafio. In: In: Leal, I. R; Tabarelli, M.; Silva, J. M. C. (Orgs.) **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822p.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. **Revista Boletim geográfico**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 43-58, 2010.

LEMOS, J. J. S. Níveis de degradação no Nordeste Brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.32, n. 3, p. 406-429, 2001.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

LIMA, E. A. M.; BRANDÃO R. L. Geologia. In: Pfaltzgraff, P. A. S.; Torres, F. S. M.; Brandão, R. L. **Geodiversidade do Estado do Piauí** – Recife: CPRM, 2010.

LIMA, K. C., CUNHA, C. M. L., SANTOS, J. M. Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Bom Sucesso (semiárido da Bahia) através da aplicação de parâmetros morfométricos da rede de drenagem. **Revista de Geografia**. Recife, v. 8, n. 2, p.152-158, 2010.

LOEBMANN, D. G. S. W.; MAÇORANO, R. P.; SILVA, G. B. S.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C. **Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012.

MACHADO, P. J. O. ; TORRES, F. T. P. **Introdução a hidrogeografia**. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2012.

MARANHÃO, N.; AYRIMORAES, S. Os usos da água e o desenvolvimento regional. In: Agência Nacional de Águas. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012. p.123-155.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, PB: 2012,

MELTON, M. A., An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. In: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 1980.

MENDOÇA, J. F. B. **Solo: substrato da vida**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2010 129 p.

MENDOÇA, P. R. **Características hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas dos rios Santa Maria do Rio Doce e Santa Joana/ES**. 2013, 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 2013.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.112 – 125, 2012.

MOLLE, F; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife, PE: SUDENE, 1992.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2008. 343p.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 57- 99.

OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M. Estimativa da erosividade da chuva no período de 1981-2012 no município de Lagoa Seca-PB. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 1., 2016. Campina Grande. **Anais ...Campina Grande**, PE: 2015.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, 2009.

PIAUI. (Estado). **Projeto de Lei Complementar nº 004, de 14 de fevereiro de 2006**. Teresina, 2006. 10p.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do conceito de bacia hidrográfica para conservação dos recursos hídricos. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002, p. 17-35.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200004&script=sci_arttext)> Acesso em: 19 ago. 2014.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: Leal, I. R; Tabarelli, M.; Silva, J. M. C. (Orgs.) **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822p.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: Pruski, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa, MG: Ed. UFC, 2009. 279 p.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, 1997. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200007)> Acesso em 20 ago. 2014.

RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, L C. L. Os solos e o processo de Desertificação no Semiárido brasileiro. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, n. 6, p. 319- 412, 2009.

RIVAS, M. P. (coord.). **Macrozoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Parnaíba**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1996. 111p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 85 p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de geografia**, São Paulo, v. 10, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2009. 208p.

SANTOS, R. F.; NÓBREGA, M.T; PAIVA, R. G.; SILVEIRA, H. Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara – PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Revista Geoambiente**, v. 14, p. 94 – 119,2010. Disponível em: <<http://revistas.jatai.ufg.br/geoambiente/article/viewFile/26003/14972>> Acesso em 30 out. 2015.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; Vital, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil**: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

SEABRA, G. F. **Fundamentos e perspectivas da geografia**. João Pessoa, PB: Editora Universitária – UFPB, 1999. 148p.

SILVA, C. N. **Impactos socioambientais decorrentes da construção da barragem Mesa de Pedra na comunidade Manuel Portela do município de Valença do Piauí**. 2012. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Centro de Ciências Humanas e Letras, Universidade Estadual do Piauí. Teresina, 2012.

SILVA, G. A.; COSTA, R. A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata – MG. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 39 p. 151 – 166, 2011.

SILVA, A. M.; SUCHULZ, H. E. ; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos, SP: RiMa, 2003.

SILVA, E. V.; RODRIGUES, J. M. M; MEIRELES, A. J. A. **Planejamento ambiental e bacias hidrográficas**. Fortaleza, CE: Edições UFC, 2011.

SILVA, L. G.; SANTOS, A. M.; SILVA, H. A.; GALVÍNCIO, J. D. Diagnóstico da fragilidade ambiental do Alto curso da bacia hidrográfica do rio Pajeú – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR.15., 2015. Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR: INPE 2011.

SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus, BA: Editus, 2002.

SPERLING, E. V. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte, MG: DESA/ UFMG, 1999.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 142-158, 2012. Disponível em:

< <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewArticle/588> > Acesso em 30 jan. 2015

SOUSA, N. V. **Conservação ambiental na área de tensão ecológica da parte setentrional da Bacia do Parnaíba**. 2007, 159 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

SOUZA, M. J. N. **Contexto geoambiental das bacias hidrográficas do Acaraú, Curú e Baixo Jaguaribe - Estado do Ceará**. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. 52 p.

STOLLE, L. **Simulação e espacialização da fragilidade ambiental em relação às atividades florestais**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOTCHAVA, V. **O estudo dos geossistemas: métodos em questão**. São Paulo, SP: IGUSP, 1977.

SCHUMM, S.A. **The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey**. Geol. Soc: Ame, Bull. 1956. p. 597-646.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, RJ: SUPREN/IBGE, 1977.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The Water Balance. **Climatology**, New Jersey, v. 8, p. 1, 1955.

TROPPEMAIR, H. **Metodologias simples para pesquisar o meio ambiente**. Rio Claro: 1988. 232 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WENTWORTH, C.K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments**.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: DC USDA, 1978.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of draine basins**. Amsterdam: Elsevier, 1985.