

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CAIO LIMA DOS SANTOS

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO GEOMORFOLÓGICO NO MUNICÍPIO
DE JOÃO PESSOA-PB ASSOCIADAS A PROCESSOS CÁRSTICOS**

RECIFE

2020

CAIO LIMA DOS SANTOS

**CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO GEOMORFOLÓGICO NO MUNICÍPIO
DE JOÃO PESSOA-PB ASSOCIADAS A PROCESSOS CÁRSTICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção de grau de Doutor em Geografia.

Área de concentração: regionalização e análise regional.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital

RECIFE

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S237c Santos, Caio Lima dos.
Classificação de áreas de risco geomorfológico no município de João Pessoa-PB associadas a processos cársticos / Caio Lima dos Santos. – 2020.
154 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.
Inclui referências e anexo.

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Relevo (Geografia). 4. Processos cársticos. 5. João Pessoa (PB). I. Silva, Osvaldo Girão da (Orientador). II. Vital, Saulo Roberto de Oliveira (Coorientador). III. Título.

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-292)

CAIO LIMA DOS SANTOS

CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO GEOMORFOLÓGICO NO MUNICÍPIO DE
JOÃO PESSOA-PB ASSOCIADAS A PROCESSOS CÂRSTICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco obtenção de grau de Doutor em Geografia.

Aprovada em: 22/06/2020.

Banca examinadora

Profº Dr. Osvaldo Girão da Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Rubson Pinheiro Maia (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Profº Dr. Rafael Albuquerque Xavier (Examinador Externo)
Universidade Estadual da Paraíba

Profº Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa ((Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Trago no coração o sentimento de profunda gratidão a Deus por me permitir concluir mais essa etapa da longa caminhada acadêmica, destacando aquelas pessoas que foram presentes em minha vida nesse período, que de alguma forma contribuíram para que fosse possível alcançar o objetivo traçado no início dessa caminhada.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Girão pela rica orientação, estando sempre disponível e acessível, contribuindo de forma excepcional para o desenvolvimento da pesquisa. Serei eternamente grato pela forma gentil e acolhedora que fui recebido no PPGEIO/UFPE.

Ao Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital pelo brilhante trabalho realizado como co-orientador, pela presença massiva nas atividades de campo e pelas constantes orientações. Além de uma referência intelectual e profissional, é um amigo presente na minha vida, a quem devo muito daquilo que alcancei.

A Liliane Marques, minha esposa e mãe dos meus filhos, por ter sustentado a barra nos momentos que estive ausente devido as obrigações profissionais e acadêmicas e pelos constantes incentivos para permanecer firme na caminhada.

Aos meus filhos Ana Laura e Caio Gabriel, meus tesouros, motivos pelos quais encontro motivação para enfrentar todos os obstáculos que a vida me impôs nesse tempo.

A minha família por ser minha base, meu lar, o meu lugar, onde encontro apoio e motivação para continuar com o olhar fixo na meta. Em especial quero lembrar minha mãe (Rozinalda Lima) e minha irmã (Danielle Lima) por serem esse constante canal de Deus em minha vida.

Ao PPGEIO/UFPE na pessoa do secretário Eduardo Veras pela acolhida amistosa.

A defesa civil de João Pessoa, especialmente nas pessoas de: Noé Estrela (secretário Municipal de defesa civil), Alberto Sabino (sub-secretário Municipal de defesa civil), Leylson França (engenheiro), Glaucio Araújo (motorista), Giuseppe (motorista) e a Luiz Antônio (apoio técnico) por terem colocado à disposição todo aparato técnico e logístico, além do apoio nas atividades de campo necessárias para o desenvolvimento desse trabalho. A todos meus sinceros agradecimentos, pois

reconheço que muito do que se alcançou se deve a importância dada por esse órgão público a essa pesquisa.

A Secretaria de Planejamento de João Pessoa - setor de Geoprocessamento na pessoa de Alyson Chaves Dantas (Diretor de Geoprocessamento e cadastro urbano) pelo fornecimento de dados para essa pesquisa e pela total prestatividade sempre que solicitado.

Aos amigos Diego Valadares (geógrafo) e José Luiz (topógrafo) pelo apoio técnico e logístico nas atividades de campo e pelo aprendizado de novas técnicas.

Ao amigo Prof. Dr. Ivanildo Costa pela brilhante orientação quanto a questão estrutural da área de estudo. Foi realmente uma contribuição de grande valia para elucidação dos dados coletados.

A Dr. Roseane (IASS-PB) e a Loana Vita pelo brilhante trabalho profissional realizado nesse tempo. Sinceramente, devo muito a vocês a condição para chegar até o final dessa jornada com um mínimo de equilíbrio emocional.

A todos meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

No município de João Pessoa existem feições do relevo formadas por processos cársticos, denominadas depressões fechadas. A dinâmica natural do relevo cárstico é governada pelo processo de dissolução das rochas, principalmente dos carbonatos. Esse processo é resultado da ação conjunta de fatores como aspectos geológicos e condições climáticas, entre outros, resultando na criação de vazios nas camadas rochosas subjacentes, que por sua vez podem evoluir e promover processos como subsidência e colapso, responsáveis pela elaboração do relevo superficial característico das áreas cársticas. As características geológicas identificadas e as condições relativas a evolução do relevo na cidade de João Pessoa a colocam numa condição de área suscetível a ocorrência de processos cársticos, que, soma-se ao forte processo de urbanização observado na área. Assim, esta pesquisa tem como objetivo identificar e caracterizar formas de relevo desenvolvidas por processos de carstificação, de forma a possibilitar a análise de riscos nesses ambientes, considerando, além da susceptibilidade natural, os aspectos relacionados às ações antrópicas sobre esse espaço. Para tanto, foram mapeadas feições de relevo cárstico denominadas depressões fechadas, com base na classificação proposta por Vital (2015). Além da delimitação dessas depressões, novas feições foram mapeadas, com base nos mesmos critérios estabelecidos por este autor: ocorrência de drenagem radial centrípeta e distribuição de curvas de nível. Em seguida, foi realizada a caracterização morfológica e morfométrica das áreas mapeadas, utilizando como critério o método proposto por Williams (1972). Esse procedimento contribuiu para a classificação das áreas de risco relacionadas aos processos cársticos, uma vez que permitiu verificar as características naturais das formas estudadas. Os riscos, por sua vez foram investigados a partir da análise da dinâmica natural relacionada à ocupação antrópica dessas áreas e de suas atividades. As condições estruturais, a espessura da camada capeadora (Formação Barreiras) sobreposta à rocha mais suscetível à dissolução (Formação Gramame) e os aspectos geomorfológicos foram considerados como condicionantes naturais ao processo de carstificação. A dinâmica antrópica foi investigada a partir dos critérios definidos por Gutierrez (2016) por meio da descrição do campo, com o objetivo de observar a existência de problemas visíveis que potencializam ou mesmo desencadeiam situações de risco. Assim, foram definidos 04 (quatro) níveis de risco: muito alto, alto, médio e baixo. Foram identificadas

residências localizadas no contexto das áreas analisadas que apresentam problemas na sua estrutura física (fissuras nas paredes e afundamento), o que atesta a ideia de que estas áreas passam por processo de subsidência lenta. Outra situação de risco identificada foi a abertura de crateras, principalmente no período de maior precipitação relacionada ao rompimento de tubulações pluviais. Essas crateras apresentam fluxo interno em direção a subsuperfície, conectando a drenagem superficial com a subsuperfície, demonstrando assim a existência de vazios subjacentes, o que evidencia o risco eminente a processo de colapso. Portanto, a gênese e evolução das feições cársticas na cidade de João Pessoa condiciona as situações de risco relacionadas aos processos cársticos, potencializadas pelas ações humanas.

Palavras-chave: João Pessoa (PB). Risco Geomorfológico. Processos cársticos. Relevo cárstico.

ABSTRACT

In the municipality of João Pessoa there are features of the relief formed by karst processes, called closed depressions. The natural dynamics of karst relief is governed by the process of dissolving rocks, especially carbonates. This process is the result of the joint action of factors such as geological aspects and climatic conditions, among others, resulting in the creation of voids in the underlying rock layers, which in turn can evolve and promote processes such as subsidence and collapse, responsible for the elaboration of the relief surface characteristic of karst areas. The geological characteristics identified and the conditions related to the evolution of the relief in the city of João Pessoa place it in a condition of an area susceptible to the occurrence of karst processes, which, in addition to the strong urbanization process observed in the area. Thus, this research aims to identify and characterize forms of relief developed by carstification processes, in order to enable the analysis of risks in these environments, considering, in addition to natural susceptibility, the aspects related to anthropic actions on this space. For this purpose, karst relief features called closed depressions were mapped, based on the classification proposed by Vital (2015). In addition to the delimitation of these depressions, new features were mapped, based on the same criteria established by this author: occurrence of centripetal radial drainage and distribution of contour lines. Then, the morphological and morphometric characterization of the mapped areas was carried out, using as a criterion the method proposed by Williams (1972). This procedure contributed to the classification of risk areas related to karst processes, since it allowed to verify the natural characteristics of the studied forms. The risks, in turn, were investigated from the analysis of the natural dynamics related to the anthropic occupation of these areas and their activities. The structural conditions, the thickness of the capping layer (Barreiras Formation) superimposed on the rock most susceptible to dissolution (Gramame Formation) and the geomorphological aspects were considered as natural conditioning factors to the carstification process. Anthropoc dynamics was investigated based on the criteria defined by Gutierrez (2016) through the description of the field, with the aim of observing the existence of visible problems that enhance or even trigger risk situations. Thus, 04 (four) risk levels were defined: very high, high, medium and low. Residences located in the context of the analyzed areas were identified that have problems in their physical structure (cracks in the walls

and sinking), which attests to the idea that these areas undergo a slow subsidence process. Another risk situation identified was the opening of craters, mainly in the period of greatest precipitation related to the rupture of rain pipes. These craters have an internal flow towards the subsurface, connecting the surface drainage with the subsurface, thus demonstrating the existence of underlying voids, which shows the imminent risk of collapse. Therefore, the genesis and evolution of karst features in the city of João Pessoa conditions the risk situations related to karst processes, enhanced by human actions.

Keywords: João Pessoa (PB). Geomorphological risk. karst processes. karst relief.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de formação de condutos por arenização e piping.....	27
Figura 2 - Distribuição das unidades geológicas de rocha carbonática e cavernas no Brasil.	29
Figura 3 - Tipo de formas cársticas.	31
Figura 4 - Formas exocársticas.	33
Figura 5 - Exemplos de dolinas.	34
Figura 6 - Formação de dolinas de colapso e subsidência.	34
Figura 7 - Gênese dos principais tipos de dolina.....	35
Figura 8 - Formação de dolina de colapso em área urbana.....	38
Figura 9 - Dolina de colapso formada na cidade Cajamar (SP).	39
Figura 10 - Localização da área de estudo – município de João Pessoa-PB.	42
Figura 11 - Localização da Bacia da Paraíba.....	43
Figura 12 - Estratigrafia da Bacia da Paraíba e suas subdivisões.	45
Figura 13 - Contato entre a Formação Barreiras e a Formação Gramame.....	46
Figura 14 - Perfil geológico hipotético Leste-Oeste da Sub-bacia Alhandra.	47
Figura 15 - Vista aérea de porção do município de João Pessoa.	49
Figura 16 - Dutos de dissolução formados na Caverna de Marés, localizada na área de estudo.....	50
Figura 17 - Dados climáticos – precipitação e temperatura média para a cidade de João Pessoa-PB.....	51
Figura 18 - Sistema hidrográfico do município de João Pessoa/PB/Brasil.	53
Figura 19 - Medidas consideradas no cálculo de simetria interna de depressões cársticas	58
Figura 20 - Organograma representando procedimento metodológico.	64
Figura 21 - Localização das depressões fechadas na área de estudo.....	65
Figura 22 - Mapa geológico do município de João Pessoa.....	67
Figura 23 - Distribuição das camadas litológicas que formam a Bacia Sedimentar Paraíba no município de João Pessoa e no seu entorno.	67
Figura 24 - Recorte da distribuição das camadas litológicas da Bacia Sedimentar Paraíba para o município de João Pessoa.....	69
Figura 25 - Mapa geomorfológico do Município de João Pessoa/PB.....	70

Figura 26 - Lineamentos estruturais e alinhamento das depressões fechadas na área de estudo.....	73
Figura 27 - Recorte do modelo de elevação em 3D destacando a ocorrência de anfiteatro na área de estudo.....	74
Figura 28 - Recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de feições circulares com morfologia idêntica as depressões fechadas identificadas na área de estudo, localizada na porção sul do município, entre o rio Cuiá e o rio Gramame.....	74
Figura 29 - Recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de feições circulares com morfologia idêntica as depressões fechadas identificadas na área de estudo, localizada na porção norte do município, na confluência dos rios Jaguaribe e Mandacarú, tributários do rio Paraíba.	75
Figura 30 - Recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de cabeceiras de drenagem localizadas na porção sul do município, no contexto hidrográfico do rio Gramame.	75
Figura 31 - Evolução morfogenética das depressões fechadas.	79
Figura 32 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 01.	81
Figura 33 - Visão aérea da depressão 01. Observar forte alteração da superfície devido a construção do viaduto de Oitizeiro, sendo esse o ponto de cruzamento entre as BR's 101 e 230.	82
Figura 34 - Representação aérea da área da depressão 01.....	82
Figura 35 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 02.	83
Figura 36 - Representação aérea da área da depressão 02.....	84
Figura 37 e Figura 38 - Visão aérea da depressão 02.	84
Figura 39 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 03.	85
Figura 40 - Representação aérea da área da depressão 03.....	85
Figura 41 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 04....	87
Figura 42 - Representação aérea da área da depressão 04.....	87
Figura 43 - Imagens da depressão 04.....	87
Figura 44 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 05.	88
Figura 45 - Representação aérea da área da depressão 05.....	89
Figura 46 - Ocupação urbana na depressão 05.....	89
Figura 47 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 06....	90

Figura 48 - visão panorâmica da porção areal da depressão 06.....	91
Figura 49 - Representação aérea da área da depressão 06.....	91
Figura 50 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 07....	92
Figura 51 - Representação aérea da área da depressão 07.....	92
Figura 52 - Visão panorâmica da lagoa do buracão.....	93
Figura 53 - Recorte do modelo de elevação em 3D destacando a superfície de ocorrência da depressão 07.....	94
Figura 54 - Visão da área da depressão 08.	95
Figura 55 - Representação aérea da área da depressão 09.....	95
Figura 56 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 08....	96
Figura 57 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 09....	97
Figura 58 - Representação aérea da área da depressão 09.....	98
Figura 59 - Vista da área da depressão 09.	98
Figura 60 - Ocorrência de lagoa no interior da depressão 09 registrada em imagem de satélite capturada no de 2008.	99
Figura 61 - Representação da área da depressão 09 após o soterramento da lagoa registrada em imagem de satélite capturada no de 2012.....	99
Figura 62 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 10..	100
Figura 63 - Representação aérea da área da depressão 10.....	101
Figura 64 - imagens da depressão 10.....	101
Figura 65 - Mapa hipsométrico e localização da depressão 11.....	102
Figura 66 - Representação aérea da área da depressão 11.....	102
Figura 67 - a) e b) área destinada ao desenvolvimento da atividade agrícola na depressão 11. c) plantio de agricultura de subsistência.....	103
Figura 68 - Mapa hipsométrico e localização da depressão 13.....	104
Figura 69 - Representação aérea da área da depressão 13.....	104
Figura 70 - Tipos de ocupação no contexto da depressão 13.....	105
Figura - 71 - Recorte do modelo de elevação destacando a superfície de ocorrência das depressões 11 e 13.	105
Figura 72 - Hipsometria, localização e perfil longitudinal da depressão 12.....	106
Figura 73 - Representação aérea da área da depressão 12.....	107
Figura 74 - Ocorrência de lagoa no interior da depressão 12 em imagem de satélite capturada no ano de 2005.	107

Figura 75 - Imagem aérea oblíqua representando a situação atual na área da depressão 12.....	108
Figura 76 - Mapa de suscetibilidade natural aos processos cársticos no município de João Pessoa.....	109
Figura 77 - Mapa de risco associado ao relevo cárstico no município de João Pessoa/PB.....	115
Figura 78 - Situações de risco identificadas na área da depressão 12.	119
Figura 79 - Situações de risco identificadas na área da depressão 07.	120
Figura 80 - Representação de feições de dissolução.....	123
Figura 81 - Feição de dissolução identificada por Vital (2015) no contexto da bacia sedimentar da Paraíba, onde se insere a área de estudo.....	123
Figura 82 - Representação em 3D da depressão 07.....	124
Figura 83 - Representação em 3D da depressão 12.....	124
Figura 84 - Situações de risco identificadas na área da depressão 09.	126
Figura 85 - Visão aérea da área da depressão 09.	127
Figura 86 - a), b) e c) Rachaduras identificadas em edificações na depressão 05; d) Disposição clandestina de efluentes domésticos para dentro da antiga lagoa.	129
Figura 87 - Tipos de ocupação observadas na depressão 05.....	129
Figura 88 - Cratera aberta no cruzamento das Avenidas Expedicionário e Júlia Freire, bairro da Torre.....	134
Figura 89 - Cratera aberta no cruzamento da avenida Expedicionário e a rua Silvio Almeida bairro da Torre.....	134
Figura 90 - Cratera aberta na avenida Rio Grande do Sul, bairro dos Estados.	134
Figura 91 - Cratera aberta no cruzamento das ruas Sinésio Guimarães e Caetano Figueira, bairro da Torre.....	134

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Correlação dos índices área/perímetro.....	78
Gráfico 2 - Correlação dos índices área/eixo maior.	78
Gráfico 3 - Correlação dos área/eixo menor.....	78
Gráfico 4 - Correlação entre os eixos.....	78
Gráfico 5 - Correlação entre a eixo maior e a simetria interna.	79
Gráfico 6 - Correlação dos índices área/amplitude altimétrica.	80
Gráfico 7 - Correlação dos índices profundidade/diâmetro.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Mudanças no sistema cárstico e seus efeitos potenciais que podem acelerar ou desencadear o desenvolvimento de depressões cársticas....	60
Quadro 2 - Fatores condicionantes para elaboração de situações de risco em ambiente cárstico no município de João Pessoa/PB.....	116
Quadro 3 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 12.	117
Quadro 4 - Ficha de Atividades de Campo – depressão 07.....	121
Quadro 5 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 09.	125
Quadro 6 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 05.	127
Quadro 7 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 03.	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados morfométricos das depressões fechadas.	77
Tabela 2 - Pesos atribuídos aos fatores de suscetibilidade analisados.	110
Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes temáticas de cada fator analisado.	111
Tabela 4 - suscetibilidade natural aos processos cársticos no município de João Pessoa.	112
Tabela 5 - quantitativo de lotes inseridos dentro das áreas de risco cárstico, conforme cadastro urbano do município de João Pessoa/PB.	114

LISTA DE SIGLAS

PMJP	Prefeitura Municipal de João Pessoa
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
LIDAR	Light Detection And Ranging
MDE	Modelo Digital de Elevação
DP	Depressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	O Ambiente Cárstico	24
2.2	Processos e Formas Cársticas	30
2.3	Riscos Geomorfológicos Presentes em Ambiente Cárstico	36
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
4.1	Classificação e Mapeamento de Feições Cársticas	56
4.2	Caracterização das Feições Cársticas Quanto as Suas Gênese e Morfodinâmica	57
4.3	Análise da Influência Antrópica na Deflagração dos Riscos em Áreas Cásticas	60
4.4	Análise dos Processos Cársticos Subsuperficiais e sua Influência em Situações de Risco	62
4.5	Análise dos Riscos	62
5	RESULTADOS	65
5.1	Aspectos Estruturais e Morfológicos	66
5.2	Morfometria das Depressões	76
5.2.1	Depressão 01	81
5.2.2	Depressão 02	83
5.2.3	Depressão 03	85
5.2.4	Depressão 04	86
5.2.5	Depressão 05	88
5.2.6	Depressão 06	90
5.2.7	Depressão 07	92
5.2.8	Depressão 08	94
5.2.9	Depressão 09	96
5.2.10	Depressão 10	100
5.2.11	Depressões 11 e 13	101
5.2.12	Depressão 12	106

5.3	Análise da Suscetibilidade Natural e dos Riscos.....	108
6	DISCUSSÃO	135
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
	REFERÊNCIAS.....	143
	ANEXO A – Dados de Poços Coletados Para a Pesquisa	150

1 INTRODUÇÃO

A cidade de João Pessoa/PB tem apresentado um crescente nível de urbanização, o que provoca diversos problemas de ordem ambiental, sendo necessária. A cidade de João Pessoa/PB tem apresentado um crescente nível de urbanização, o que provoca diversos a realização de estudos que classifiquem os tipos de risco e os localize, bem como possa apontar a probabilidade de sua ocorrência nas novas áreas de ocupação, baseado na caracterização do meio físico e na situação socioeconômica da população que faz uso dessas novas áreas de usos e ocupações urbanas, geralmente relacionadas com a malha de expansão horizontal das cidades, que demanda orientações para as ações do poder público no que diz respeito à ocupação no referido município, tendo em vista a carência de estudos e mapeamento das áreas suscetíveis a situações de risco, de modo detalhado, e que considere não apenas os processos físicos superficiais, mas também os processos subsuperficiais.

A formação do relevo na cidade João Pessoa sofre influência direta de processos subsuperficiais, decorrentes de suas características geológicas. Sua área territorial está assentada sobre a bacia sedimentar Paraíba, que, dentro de seus limites, apresenta estratigrafia disposta em camadas de rochas de origem marinha (Calcário da Formação Gramame) e terrígenas (arenitos da formação Beberibe/Itamaracá). Recobrimo essas camadas, estão os sedimentos da Formação Barreiras, formada predominantemente por sedimentos argilosos.

A dinâmica natural do relevo cárstico é regida pelo processo de dissolução das rochas, sendo responsável, dentre outros aspectos, pela criação de vazios nas camadas rochosas, as quais podem evoluir e promover processos como a subsidência e colapso do solo, responsáveis pela elaboração do relevo superficial característico de áreas cársticas.

Uma característica da rocha calcária é a ocorrência de zonas de fraqueza, espaçadas e de forma irregulares. Esta condição favorece à meteorização, criando condutos verticais, que, posteriormente, também sofrem a ação da erosão mecânica associada a dissolução, devido a passagem de água proveniente da superfície em direção a subsuperfície. A presença de fluídos acelera a dissolução das camadas de

rochas cársticas e, conseqüentemente, cria feições deprimidas superficiais e vazios no subsolo.

Em áreas cuja camada rochosa mais suscetível a dissolução está recoberta por uma espessa camada sedimentar mais resistente, como é o caso de grande parte da área de estudo, há a tendência de ocorrência do processo de subsidência do material capeador, uma vez que os vazios subsuperficiais tendem a ser preenchidos pelo material sobreposto. Esse processo de subsidência dá origem a feições superficiais típicas, denominadas depressões fechadas.

Na bacia sedimentar da Paraíba, o calcário da Formação Gramame apresenta-se como o principal tipo de rocha que se enquadra nessas condições, que associada aos aspectos estruturais, representam o fator natural ligado a formação de relevos cársticos no município de João Pessoa, e a ocorrência de seus respectivos processos morfodinâmicos.

Na área de estudo, observa-se em superfície a ocorrência destas formas de relevo, sendo uma delas reconhecida como cartão postal, a lagoa do Parque Sólon de Lucena, no centro da cidade de João Pessoa. Também se destaca a ocorrência de áreas de afloramento e exploração da rocha calcária, como as pedreiras nos bairros Ilha do Bispo, Mandacaru e Roger.

A partir da análise das características geológicas identificadas e das condições relativas à evolução do relevo cárstico, é possível afirmar que a cidade de João Pessoa apresenta suscetibilidade a ocorrência de fenômenos que podem gerar áreas de risco. A subsidência, o colapso do solo, as inundações e alagamentos, são exemplos de fenômenos que promovem perigo a ocupação humana nesses ambientes.

Não se tem atualmente conhecimento de nenhum mecanismo advindo do poder público para a gestão do território que faça qualquer menção as situações de riscos que a dinâmica do ambiente cárstico pode causar, ou seja, a ocupação do espaço se dá sem considerar esse aspecto litológico e a morfodinâmica de tal ambiente.

No que se refere às pesquisas acadêmicas, é registrado um número insignificante de trabalhos que tratam da gênese e evolução desse relevo no contexto da bacia sedimentar da Paraíba. Com relação aos riscos nesses ambientes, não há registro do desenvolvimento de quaisquer pesquisas até o momento.

A negligência desse aspecto nos estudos que tratam dos riscos na cidade de João Pessoa/PB pode estar relacionado ao baixo registro de ocorrência de problemas relacionados ao relevo cárstico, até então, ou mesmo pelo não reconhecimento de que determinados casos estão relacionados a fenômenos que ocorrem nesse tipo de ambiente.

Situações como a abertura de crateras são tratadas como simples resultado do rompimento de tubulação pluvial; a ocorrência de rachaduras nas paredes de edificações é considerada como problemas nas estruturas prediais; as inundações e os recorrentes casos de alagamento são tratados como deficiência na drenagem urbana; não se considera a importância das depressões fechadas como ponto de entrada de água para o lençol freático, destinando para elas todo tipo de efluentes produzidos pelas atividades humanas. Desse modo, é observado diversas ações sobre o sistema cárstico que podem se revelar na alteração de sua dinâmica natural, e, conseqüentemente, produzir situações de risco.

Os fenômenos da natureza ocorrem numa escala de tempo distinto da escala de vida humana, fazendo com que ao longo de uma vida, um indivíduo ou grupo social não consigam, por vezes, observar quaisquer mudanças significativas numa paisagem cárstica que, apesar de dinâmicas processuais naturais relativamente lentas, podem apresentar processos abruptos. No entanto, as intervenções antrópicas podem alterar a dinâmica natural destes ambientes, conduzindo ao desencadeamento ou intensificação de processos de diversas ordens.

O reconhecimento das condições de risco que possam atingir o cotidiano das pessoas que fazem uso destas porções do espaço urbano consolidado, ou em expansão, é de grande importância para orientar a ocupação e minimizar a ocorrência de problemas que potencializam os fenômenos naturais.

Assim, é nessa perspectiva que está fundamentada a proposta dessa pesquisa, tendo como objetivo identificar e caracterizar formas do relevo elaboradas por processos de carstificação, para assim possibilitar a análise dos riscos nesses ambientes, considerando além da suscetibilidade natural, os aspectos relativos as ações antrópicas.

O tem como objetivo geral classificar áreas de risco associado a geomorfologia cárstica no município de João Pessoa/PB a partir da análise e caracterização dessas

formas do relevo, correlacionada as variadas formas de alteração antrópica impetradas sobre o mesmo.

Para alcançar tal objetivo geral, são objetivos específicos do estudo:

- Classificar e mapear feições cársticas presentes em pontos de análise;
- Caracterizar as feições cársticas quanto as suas gêneses e morfodinâmica;
- Caracterizar os diferentes tipos de uso e ocupação da terra presentes em pontos de análise, visando verificar a influência antrópica na deflagração dos riscos em áreas cársticas;
- Verificar a provável influência de processos cársticos subsuperficiais na geração de áreas de risco;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse tópico é apresentado um levantamento bibliográfico acerca do estado da arte referente a produção científica sobre o ambiente cárstico e as situações de risco observadas. Desse modo, o desenvolvimento de um carste na perspectiva abordada nessa pesquisa está atrelado a uma conjugação de fatores, e não apenas as características litológicas, como sendo a única possibilidade de desenvolvimento do relevo cárstico.

2.1 O Ambiente Cárstico

O ambiente cárstico é caracterizado pelo predomínio do processo de dissolução das rochas sobre a erosão mecânica, e por apresentar morfologia típicas da dissolução (DE WAELE *et al.*, 2011). Conforme Gutiérrez *et al.* (2014) esse ambiente apresenta rede de drenagem superficial pouco desenvolvida e através de redes de condutos; superfície do solo irregular e zonas de dissolução que podem eventualmente formar zonas de subsidência.

As condições litológicas, geológicas, estratigráfica, climáticas pretéritas e hodiernas, o recobrimento do solo e os movimentos tectônicos representam os fatores fundamentais para o desenvolvimento do relevo cárstico (BIGARELLA *et al.*, 1994).

Um carste pode ser definido como um sistema de transferência de massa associado a uma rocha solúvel com estrutura permeável que possibilitem a percolação de fluído, formando condutos dissolvidos na rocha (KLIMCHOUK e FORD, 2000). Mesmo apresentando alta permeabilidade (porosidade primária) e fraturas (porosidade secundária), a maior parte do fluxo de água nas rochas cársticas é transmitida por condutos (porosidade terciária). As dolinas e depressões se configuram como pontos de convergência de fluxo, pois estabelecem locais de recarga na superfície. Essa configuração sistêmica decorre da evolução conjunta da paisagem superficial e do sistema de condutos subterrâneos (FORD e WILLIAMS, 2007).

A dissolução das rochas constitui o principal fator controlador da geomorfologia e hidrologia nesses ambientes (PILÓ, 2000; FORD e WILLIAMS, 2007; DE WAELE *et al.*, 2011), de modo que o ambiente cárstico pode ser compreendido a partir da perspectiva sistêmica, e suas características estão diretamente relacionado a

dinâmica dos subsistemas hidrológico e geoquímico (FORD e WILLIAMS, 2007). No entanto, a solubilidade das rochas por si só não é responsável pela gênese das áreas cársticas. Tal aspecto deve ocorrer em associação as estruturas geológicas e as características litológicas, sendo o ciclo hidrológico o “gatilho” para a gênese do processo de carstificação (FORD e WILLIAMS, 2007; FRUMKIN, 2013).

Conforme Bigarella *at al.* (1994), uma das características mais importantes do ambiente cárstico é a drenagem vertical e subterrânea, associado a porosidade secundária das rochas. Nessa perspectiva os movimentos tectônicos ganham fundamental importância por serem responsáveis pela elaboração de um sistema de porosidade secundária (diaclases, fraturas e falhas), possibilitando a percolação da água mesmo em rochas maciças. Ainda segundo o mesmo autor, a elaboração de uma paisagem cárstica envolve a correlação das propriedades químicas das rochas (solubilidade) e de sua porosidade secundária, responsáveis pela criação de condutos que permitem a percolação a água meteórica e, conseqüentemente, a dissolução.

Para a geomorfologia cárstica tradicional, o sistema carste é elaborado em associação a rochas carbonática, sobretudo o calcário, uma vez que essas apresentam maior potencial solúvel (PILÓ, 2000). Atualmente, admite-se a formação de feições cársticas elaborada em rocha não-carbonática, como o arenito, por exemplo (HARDAT, 2003).

O conceito de carste, inicialmente, estava associado, unicamente, a solubilidade química das rochas carbonáticas (HARDAT, 2003), uma vez que os primeiros estudos do relevo cárstico se deram na região do Kras, que por sua vez corresponde a um planalto modelado em litologia carbonática, localizado na cordilheira dos alpes Dináricos, na Eslovênia, no continente europeu.

No entanto, a observação de formas características do relevo cárstico em outros substratos rochosos conduziu os geomorfólogos a denominarem inicialmente essas feições como pseudocarsticas, entendendo que sua gênese não estava relacionada a dissolução (HUGGETT, 2016).

Atualmente, observa-se a tendência de se desvincular o conceito de carste do processo formador, não sendo a solubilidade das rochas o fator determinante, partindo do pressuposto de que a dissolução é o fator determinante para sua formação. Sendo assim, além da dissolução, a formação de um carste envolve outros aspectos, como

os condicionantes estruturais e a pluviosidade, agindo em conjunto. As rochas quartzozas representam o grupo de rochas carstificáveis que apresentam menor suscetibilidade de dissolução. Nesse contexto, a dissolução ocorre combinada com a erosão mecânica, de modo lento, em comparação as rochas carbonáticas (FORD e WILLIANS, 2007; FRUMKIN, 2013).

As formas típicas do relevo em áreas cársticas representam uma íntima relação das características litológicas com as condições climáticas pretéritas e atuais. As regiões tropicais úmidas apresentam formas peculiares, uma vez que as altas temperaturas acompanhadas dos elevados índices de pluviosidade contribuem para o maior grau de dissolução das rochas. A dissolução de rocha não-carbonática está associado a esses aspectos, uma vez que o aumento da temperatura a maior exposição a ação da pluviosidade pode alterar as condições físicas naturais das rochas (SELF e MULLAN, 2016). Diversos trabalhos de publicação nacional e internacional veem demonstrando a existência de feições cársticas dissociadas de litologias carbonática (MELO et al., 2000; FORD e WILLIANS, 2007; FRUMKIN, 2013; SELF e MULLAN, 2016; HUGGETT, 2016).

Self e Mullan (2016) descrevem que a ocorrência de cavernas em rochas areníticas ocorre preferencialmente em países de clima quente e úmido. Nesse caso, a gênese dessa feição cárstica resulta do processo de arenização (figura 01). A propensão ao processo de arenização do arenito está relacionado a três razões litológicas:

1. A porosidade primária da rocha que permite a penetração da água subterrânea;
2. A dissolução do cimento (sílica);
3. A presença de pirita no material de cimentação, indicando que a oxidação da pirita é o principal responsável pela arenização.

Tal proposição confirma a ideia de que a formação de um carste não é condicionado apenas pela solubilidade das rochas. Depende então de uma combinação de fatores, sobretudo a caracterização litológica e do seu desenvolvimento hidrológico, que por sua vez está condicionado também as condições climáticas.

Figura 1 - Modelo de formação de condutos por arenização e pipping.



Fonte: Fabri e Augustin (2013).

Do mesmo modo, Hugget (2016) confirma que a formação de feições cársticas em rochas não-carbonáticas pode não estar associada precisamente ao processo de dissolução da rocha como um todo. No caso do quartzo, por exemplo, é necessário apenas a dissolução do material de cimentação dos grãos, que nesse caso é representada pela sílica amorfa, que por sua vez, apresenta maior solubilidade que o grão de quartzo, dando origem ao processo de arenização, conforme citado anteriormente.

A sílica apresenta baixa solubilidade e a velocidade de solução ocorre de maneira lenta, em comparação a calcita. A formação de um carste nesse tipo de rocha exige a atuação em conjunto da dissolução e da remoção mecânica da areia. Desse modo, o carste em litologias não-carbonática devem ser considerados um carste verdadeiro, pois a dissolução é necessária e primordial para ocorrência da feição, considerando a dissolução como fator indispensável para sua formação (WRAY, 1997).

Conforme Sauro et al. (2016) a maioria dos sistemas cársticos em rochas sílicas são controlados predominantemente por fatores estratigráficos. Melo *et al.* (2000), no entanto, aponta para a influência estrutural na formação dessas feições. Conforme esse autor, as depressões do sistema de fumas, localizadas no Parque Estadual de Vila Velha, estado Paraná, ocorrem como resultado das condições criadas pelas falhas e fraturas para atuação da água, mesmo em rocha arenítica.

A influência estrutural configura-se como o fator preponderante na formação de um carste. No caso da região Nordeste do Brasil, esse aspecto se torna ainda mais

evidente, uma vez que nessa região observa-se a ocorrência de estruturas do relevo desenvolvidas em zonas falhadas herdada da estruturação pré-cambriana, reativadas no Cretáceo e no Cenozoico, repercutindo, no caso dos ambientes sedimentares, na orientação da dissecação e conseqüentemente na deposição quaternária. Desse modo, com exceção da planície costeira, as demais estruturas do relevo nessa região apresentam padrão de orientação de dissecação alternando entre N-S, NE-SW e NW-SE (MAIA et al., 2010; MAIA et al., 2013; MAIA e BEZERRA, 2012; MAIA, 2018).

No estado do Rio Grande do Norte/Brasil, Gomes (2008) identifica forte influência estrutural na configuração do relevo cárstico associado ao calcário da Formação Jandaíra, componente estratigráfico da bacia Potiguar. Conforme a referida autora, as direções NW-SE, NE-SW e N-S são correlativas a direção das fraturas, das cavernas e do sistema de falhas da Bacia Potiguar. Outros exemplos da influência estrutural na configuração do relevo cárstico na região Nordeste podem ser observados em (PEREIRA, 1998; LOBO et al., 2013; VITAL, 2015).

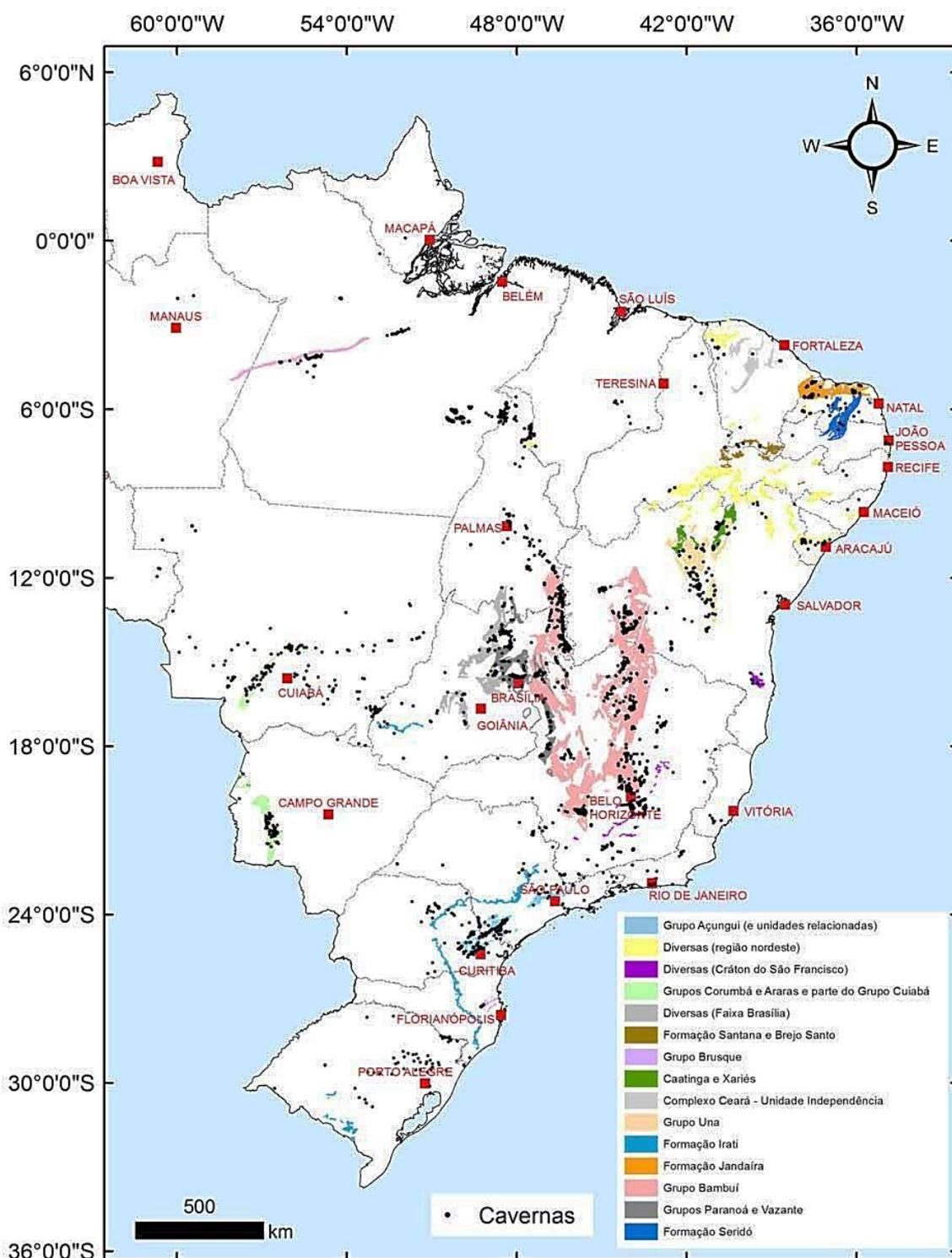
A maior expressão cárstica no Brasil está nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, associado a estratigrafia do grupo Bambuí. Além dessa, outras áreas associadas a litologia carbonática se destacam, sendo elas o grupo Una no estado da Bahia; Apodi, no Rio Grande do Norte; Corumbá e Araras, estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul; e grupo Açungui, nos estados de São Paulo e Paraná, conforme observado na Figura 02 (SALLUN-FILHO e KARMANN, 2012).

Na bacia do Paraná, estados do Mato Grosso do Sul e Paraná, Sallun-Filho e Karmann (2007) identificam que a ocorrência de dolinas está condicionada ao carste subjacente de cobertura arenítica associado a influência estrutural. O primeiro aspecto encontra respaldo no fato das dolinas ocorrerem restritamente nas superfícies areníticas que apresentam embasamento carbonático. Com relação ao controle estrutural, essa condição se espacializa no alinhamento das dolinas.

Por outro lado, também merece destaque a ocorrência de feições cársticas desenvolvidas em litologias não-carbonáticas. De modo geral, essas áreas foram indicadas por Hardt e Pinto (2009), definidas como áreas potencialmente cársticas em rochas não-carbonáticas, sendo elas: região da chapada diamantina, estado da Bahia; Noroeste da Amazônia brasileira, sobretudo nas áreas dominadas por Platôs quartzíticos; região centro-norte do estado de Minas Gerais; região da Serra da Capivara e Sete Cidades, estado do Piauí; no estado do Tocantins; na serra geral,

que se estende desde o estado de Minas Gerais até o estado Rio Grande do Sul, associado aos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia; Chapada dos Guimarães e Parecis, no estado do Mato Grosso. Uma característica peculiar a todas essas áreas citadas é a ocorrência de rochas areníticas.

Figura 2 - Distribuição das unidades geológicas de rocha carbonática e cavernas no Brasil.



Fonte: (SALLUN-FILHO e KARMANN, 2007).

Um exemplo desse contexto citado é apresentado por Pereira et al. (2012), que identificaram feições endocársticas e exocársticas em litologias não-carbonáticas, desenvolvidas em Itabirito e Canga, no estado de Minas Gerais.

Esse aspecto demonstra que no caso brasileiro, independente do carste se configurar como exposto ou subjacente, não só a condição litológica é necessária para sua gênese e evolução, mas o fator estrutural apresenta-se como fundamental, e por vezes até deflagrador da formação desses ambientes. É importante também ressaltar a influência das oscilações climáticas frente as demais características: litológicas e estruturais.

2.2 Processos e Formas Cársticas

O sistema cárstico se origina em ambientes onde ocorrem corpos rochosos suscetíveis a dissolução, que sofrem ação da água meteórica, a partir de condições particulares que favorecem a formação de feições superficiais típicas, como as dolinas, uvalas e depressões fechadas. No contexto subterrâneo predomina a ocorrência de cavernas e condutos (drenagem vertical), além da formação de aquífero, normalmente conectado aos condutos verticais que recebem o fluxo superficial.

Klimchouk (2005) classifica os seguintes tipos de carste:

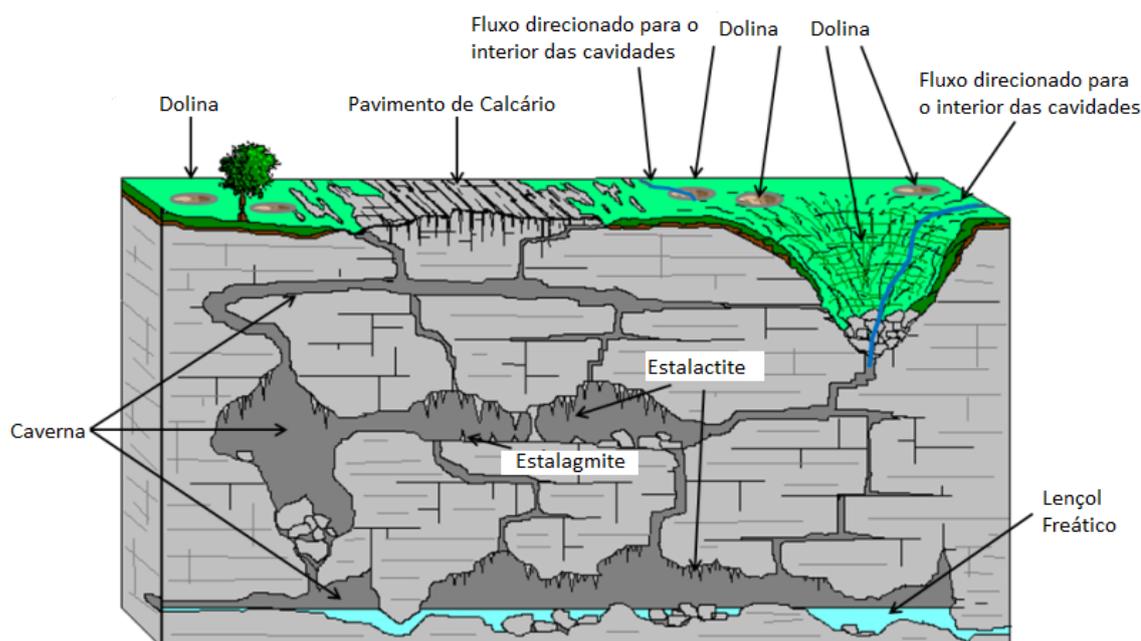
- O carste desenvolvido em zonas profundas, sendo aquele que não se repercute na superfície, e a rocha solúvel não fica exposta;
- O carste subjacente, quando a rocha solúvel é atacada pelos agentes intempéricos e erosivos, ocasionando expressões superficiais cuja a gênese se relaciona ao colapso e subsidência do terreno;
- O carste entrincheirado, como sendo aquele em que a dissolução da rocha forma vales confinados por interflúvios constituídos predominantemente por rochas não solúvel;
- O carste exposto, que por seu turno constitui a exumação ou exposição de rocha solúvel na superfície.

No caso do carste subjacente, o material sobreposto terá influência direta no processo de carstificação, pois sua maior ou menor espessura, o tempo de exposição aos agentes intempéricos e sua permeabilidade irá permitir uma maior ou menor infiltração de fluídos atuantes na dissolução da rocha subjacente.

Alguns Depósitos superficiais como os terraços fluviais e os depósitos residuais são mais propensos ao colapso. Materiais impermeáveis tendem a concentrar o escoamento nas suas margens, sendo essas as áreas mais propensas a formação de feições de dissolução (COOPER *et al.*, 2011). As áreas de depósitos mais espessos apresentam maior proteção das rochas subjacentes do processo de carstificação, mesmo não impedindo totalmente que o processo ocorra (BRINKMANN *et al.*, 2008). No entanto, feições subterrâneas podem surgir sem que haja qualquer relação com formas superficiais. É o caso de cavernas hipogênicas, que tem sua origem no processo de dissolução decorrente da variação do lençol freático (FRUMKIN, 2013).

A geomorfologia cárstica está compartimentada em três domínios (Figura 03): o subterrâneo (endocarste), subsuperficial (epicarste) e o superficial (exocarste). Tais características tem relação direta com o sistema hidrológico (PILÓ, 2000; HUGGETT, 2016).

Figura 3 - Tipo de formas cársticas.



Fonte: Modificado de Geological Survey Ireland (2019).

O endocarste é caracterizado por formas desenvolvidas em ambiente subterrâneo, sobretudo as cavernas, dutos e microdutos, além dos depósitos químicos, clásticos e orgânicos. A formação de uma caverna envolve relação direta da dinâmica superficial e o endocarste, além dos aspectos relacionados as

características litológicas, pelos padrões de juntas, fraturas, falhas e pelo intemperismo (PILÓ, 2000).

O domínio epicárstico compreende a parte superior da rocha subjacente, dominado por cobertura sedimentar e por rede de fissuras. De modo geral, o epicarste representa a conexão ou zona de transição do endocarste e o exocarste, por estar em contato direto com a rocha solúvel e por apresentar influência direta na circulação hídrica e configuração morfológica da superfície (PILÓ, 2000; HUGGETT, 2016).

As formas típicas do exocarste (Figura 04) são representadas por poljés, uvalas e dolinas (formas negativas, formando depressões); maciços, torres e mogotes (formas positivas); e lapiás (microcarste). O conjunto de formas superficiais negativas topograficamente representa um indicativo de um terreno carstico bem desenvolvido (FRUMKIN, 2013).

As dolinas representam a forma mais particular do exocarste. Essa feição é caracterizada como uma depressão fechada circular ou elíptica superficial (Figura 05) resultante da dissolução de rochas em subsuperfície (HUGGETT, 2016). A classificação dos tipos de dolina ocorre em função da sua gênese, que pode ocorrer por processo de colapso, subsidência ou dissolução (FRUMKIN, 2013). Desse modo, as dolinas são classificadas, conforme Jennings (1985) como: dolinas de dissolução, dolina de colapso e dolina de subsidência lenta.

Piló (2000) descreve a referida classificação das dolinas da seguinte forma: a dissolução da rocha em pontos susceptíveis, como fraturas, juntas e planos de acamamento é responsável pela formação de dolinas de dissolução. As dolinas de colapso resultam da maior dissolução da rocha na zona epicárstica (contato solo/rocha) ou no endocarste, e o transporte de material móvel para essa zona interna. Tal processo promove a criação de um vazio entre a rocha e o solo remanescente, que com o aumento da dissolução e alargamento do vazio criado, pode perder sustentação, ocasionando no desabamento da cobertura do solo. As dolinas de subsidência, por sua vez, ocorrem com mais frequência quando a rocha carstificável encontra-se recoberta por uma espessa camada de solo ou outro tipo de material friável. Num processo lento de transferência, o material sotoposto vai sendo introduzido nos vazios criados na zona epicárstica, promovendo a subsidência lenta da superfície e a criação de dolinas (figura 06). Huggett (2016) descreve ainda a ocorrência das dolinas de sufusão (figura 07), que segundo esse autor se formam de

maneira análoga as dolinas de subsidência e de colapso, porém, estando a rocha subjacente recoberta por extenso manto de depósitos superficiais, que por sua vez vai sendo carregado aos poucos para os condutos de dissolução.

Figura 4 - Formas exocársticas. a) Torre cárstica (Yangshuo, Guangxi, China); b) Cone cárstico (Caoping, Guangxi, China); c) Carren (Montenegro); d) Poljé (Bósnia-Herzegovina).



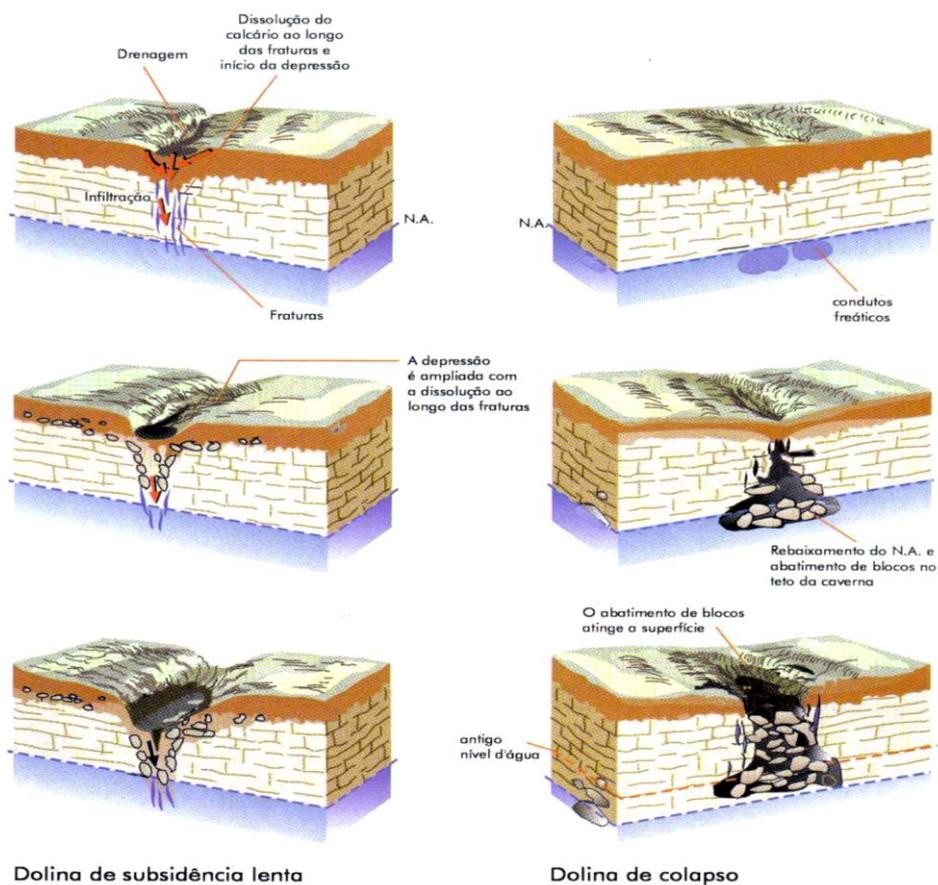
Fonte: FRUMKIN (2013).

Figura 5 - Exemplos de dolinas. a e b (Dolinas de subsidência lenta, ocupadas e alteradas pelo desenvolvimento urbano, localizadas na cidade de João Pessoa/PB/Brasil; C (Dolina de colapso formada em área agrícola na Turquia).



Fonte: Vital (2015); Gutierrez (2016)

Figura 6 - Formação de dolinas de colapso e subsidência.

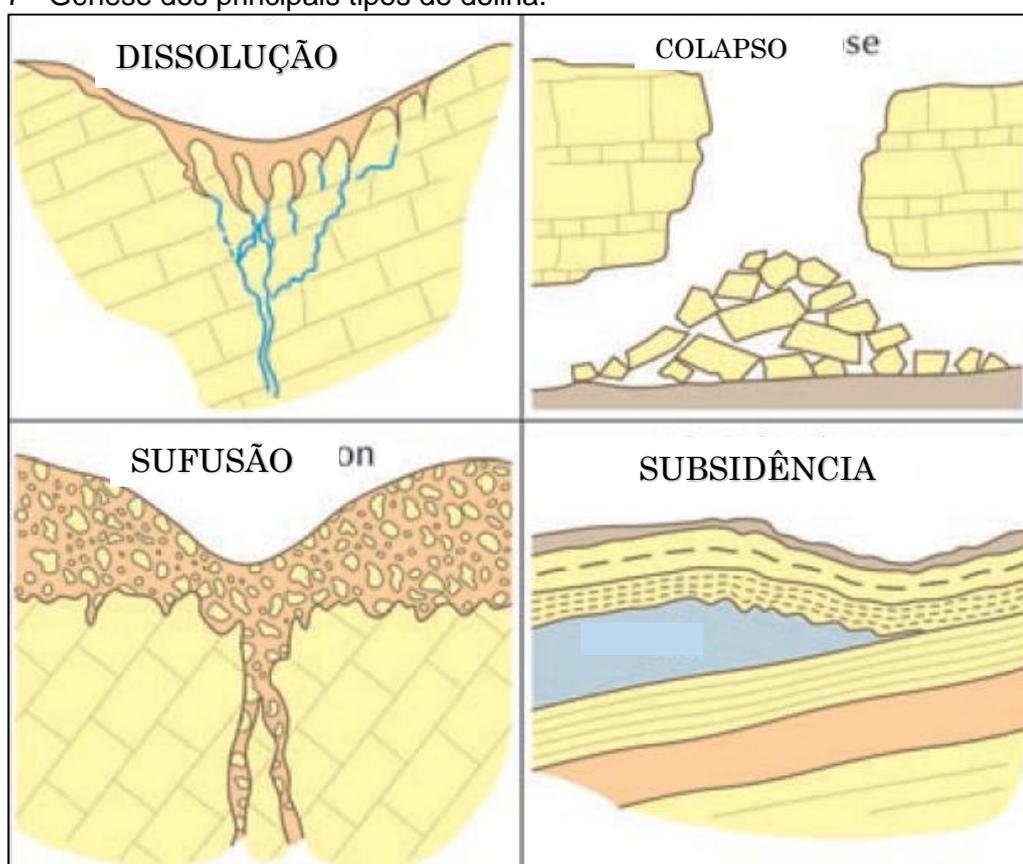


Fonte: Kermann (2000).

A declividade tem papel preponderante na formação no processo de carstificação. Nas áreas mais inclinadas predomina a erosão, enquanto que nas áreas planas tende a uma maior ação dos fluídos (infiltração e fluxo de água subterrânea) facilitando a dissolução da rocha subjacente (GALVE et al., 2008; COOPER et al., 2011).

Do ponto de vista morfodinâmico as dolinas apresentam fundamental importância no que se refere ao ciclo hidrológico, pois constituem pontos de recarga do fluxo superficial para o domínio subterrâneo (PILÓ, 2000).

Figura 7 - Gênese dos principais tipos de dolina.



Fonte: Adaptado de Huggett (2016)

A evolução do relevo cárstico pode produzir outros tipos de formas superficiais deprimidas, como é o caso da uvala e do poljé. O primeiro caso remete a uma feição cárstica que representa a junção de duas ou mais dolinas devido ao processo de expansão da área de captação de águas pluviais, decorrente da coalescência e evolução dessas dolinas. O segundo caso se refere a uma grande depressão alongada e aplainada, limitando-se com vertentes de declive acentuado, podendo ser

atravessado por drenagens e permanecer inundado de modo temporário ou permanente (FORD e WILLIANS, 1989; HUGGETT, 2016).

Algumas formas originadas por ações antrópicas também podem ser consideradas dolinas, como é o caso de depressões geradas decorrente da atividade mineradora, ou em função do rebaixamento do lençol freático, que nesse caso podem ocorrer devido a uso indiscriminado poços artesianos ou como resultado do próprio processo minerador (SAURO, 2016).

Quando o carste é soterrado por rochas não carstificáveis, ocasionando a desconexão com sistema hidrológico contemporâneo, essa passa a ser considerado um paleocarste. Ocasionalmente podem ser novamente exumados, reconectados ao sistema hidrológico devido a atividade tectônica, retomando assim o seu desenvolvimento outrora interrompido (FORD e WILLIANS, 2007)

2.3 Riscos Geomorfológicos Presentes em Ambiente Cárstico

Os riscos em áreas cársticas, por vezes, são originados direta ou indiretamente por ações antrópicas. Desse modo, impactos causados podem ter consequências imprevisíveis devido as peculiaridades características desse ambiente, representadas pela dinâmica subsuperficial. Sua investigação exige a adoção de métodos específicos, considerando os fatores condicionantes do ambiente cárstico e a dinâmica antrópica (DE WAELE *et al.*, 2011; GUTIÉRREZ *et al.*, 2011, GUTIÉRREZ, 2016).

A maior dificuldade para o estudo de áreas cársticas está na atuação de processos ativos em subsuperfície, controlados pela água, que na maioria das vezes não são diretamente observáveis, o que confere aos processos cársticos um caráter oculto, não despertando assim tanto a atenção da sociedade (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014). O caráter oculto da rede drenagem no ambiente cárstico torna extremamente difícil a previsão de resposta do sistema as alterações induzidas pelo homem. Além disso, o sistema cárstico apresenta alta sensibilidade dos elementos geomorfológicos e hidrológicos que o compõem frente às alterações na paisagem (DE WAELE *et al.*, 2011). No entanto, a dinâmica desses ambientes pode ser identificada na superfície e suas evidências superficiais devem ser considerados para o desenvolvimento urbano (PUEYO ANCHUELA *et al.*, 2015).

Fenômenos como o colapso, a subsidência do solo, o alagamento e a inundação estão ligados a evolução de um carste, podendo trazer riscos para a população que ocupa essas áreas (LOLCAMA, 2002; MARÉCHAL *et al.*, 2008).

A ocupação irregular em áreas cársticas resulta em impactos que se materializam notadamente na mudança do regime hidrológico superficial e subsuperficial, decorrente, sobretudo da impermeabilização do solo e do soterramento de dolinas e pequenas depressões; vibrações oriundas do sobrepeso a partir da construção de equipamentos urbanos, responsáveis por acelerar a deflagração de subsidência e colapso da superfície; bem como o problema da poluição do aquífero (VESTENA *et al.*, 2002). De acordo com Pereira (1998), o rebaixamento do nível da água pode provocar a perda do suporte hidrostático, que, assim como o sobrepeso de edificações no teto de cavidades cársticas podem ocasionar a subsidência do terreno, configurando um fator de risco para a população residente.

Conforme Gutiérrez *et al.*, (2014) o planejamento de ações a serem realizadas na superfície devem considerar as características de subsuperfície, no intuito de mitigar os impactos. As dolinas, por exemplo, podem sofrer forte processo de alteração de sua morfologia decorrente de processos naturais ou por ação antrópica (Gutiérrez *et al.*, 2011). O mesmo autor destaca ainda que a construção de edificações sobre essas feições alteradas pode conduzir a ocorrência de danos a sociedade, pois as modificações ocorridas em feições preexistentes podem conduzir ao entendimento dessas áreas como estáveis do ponto de vista dos riscos, como é o caso de depressões soterradas no processo de urbanização.

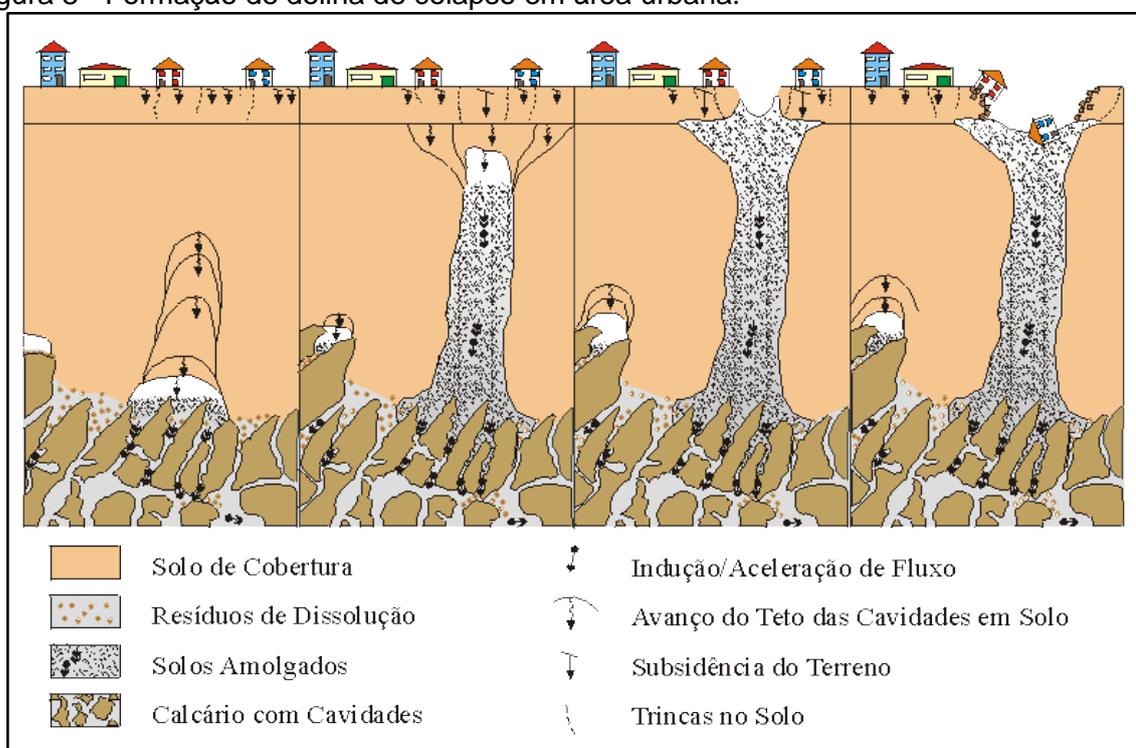
Perrin *et al.*, (2015) apresenta a subsidência/colapso do solo como um grande risco que ocorre em áreas cársticas. A maior ou menor vulnerabilidade de determinada área a ocorrência estará condicionada as suas características litológicas, tendo em vista o grau de permeabilidade das rochas superficiais.

Em estudo realizado na cidade Zaragoza (Espanha) Pueyo Anchuela *et al.* (2015) observou que os processos de cárstificação ocorreram com mais evidência posteriormente ao processo de urbanização, resultando na ocorrência de colapsos do terreno, o que, segundo eles, representa o maior risco relacionado a área cársticas.

O risco de colapso pode resultar do aumento da velocidade da água subterrânea descendente e da erosão subsuperficial decorrente da ampliação dos

condutos em épocas de maior pluviosidade (LOLCAMA, 2002). Os vazios subterrâneos vão se desenvolver sobre as zonas de permeabilidade associadas as fraturas das rochas. Vestena et al. (2002) descreve o colapso do solo como um movimento brusco, resultando na ocorrência de uma cratera em formato circular, sem que haja qualquer sinal prévio de deflagração desse fenômeno, conforme pode ser observado na figura 08. A subsidência representa um movimento lento de afundamento da superfície, decorrendo na ocorrência de trincas e rachaduras. Esses fenômenos podem ocorrer como resposta a evolução natural do sistema cárstico ou de forma induzida, a partir da interferência antrópica.

Figura 8 - Formação de dolina de colapso em área urbana.



Fonte: PROIN/CAPES e UNESP/IGCE (1999).

A figura 09 representa o evento de desastre ambiental relacionado ao ambiente cárstico mais conhecido do Brasil, ocorrido na cidade Cajamar, estado de São Paulo no ano de 1986. Na ocasião, foi formada uma dolina de colapso, de aproximadamente 50 metros diâmetro e 13 metros de profundidade, atingindo diretamente um total de 08 casas.

O rebaixamento do nível d'água decorrente da extração de água subterrânea é o principal fator responsável pela subsidência e colapso da superfície a partir da evolução de cavidades originadas na zona saturada da camada sedimentar que envolve o carste (VESTENA *et al.*, 2002).

Conforme Taheri *et al.* (2015) a captação de água subterrânea em aquífero formado em rocha calcária recoberta por material aluvionar resulta em declínio do nível do lençol freático, favorecendo a ocorrência de dolinas. Isso ocorre devido à perda de sustentação do material superficial, aumento da velocidade

Figura 9 - Dolina de colapso formada na cidade Cajamar (SP).



Fonte: Prefeitura do Município de Cajamar-SP (1986).

Conforme Taheri *et al.* (2015) a captação de água subterrânea em aquífero formado em rocha calcária recoberta por material aluvionar resulta em declínio do nível do lençol freático, favorecendo a ocorrência de dolinas. Isso ocorre devido a perda de sustentação do material superficial, aumento da velocidade do fluxo subterrâneo nos condutos, erosão interna e formação de cavidades.

Com relação a dinâmica hidrológica, Gutiérrez *et al.* (2014) considera a inundação a tipologia de risco mais comum associado a depressões cársticas. Esse risco é notadamente acentuado pelo intenso processo de urbanização, alterando a cobertura do solo, a princípio pela retirada da vegetação seguida pela impermeabilização do solo, impactando a dinâmica hidrológica (PUEYO ANCHUELA *et al.*, 2015).

A principal característica da inundação em ambiente cárstico é a forte interação das águas superficiais e subterrâneas (BONACCI, 2006). Maréchal *et al.* (2008) considera a contribuição da água subterrânea um possível fator potencializador na

ocorrência de inundações repentinas em ambientes cársticos. As condições mais propícias para ocorrência desse evento estão relacionadas aos seguintes fatores: altas taxas de infiltração do solo; a rápida entrada da água no sistema cárstico por meio dos sumidouros; a possibilidade de rápida circulação da água pelos condutos hidráulicos; e a pequena capacidade de armazenamento de fluidos do sistema cárstico.

As dolinas têm papel fundamental no sistema hidrológico cárstico, pois representam pontos de recarga de aquífero, onde o fluxo é direcionado para a zona subterrânea, responsáveis pela rápida transmissão da água superficial para a subsuperfície (Kovačič e Ravbar, 2013). O risco de poluição dessa zona considera o impacto das atividades humanas na qualidade das águas subterrâneas, e a gravidade do impacto depende de fatores, como a vulnerabilidade do aquífero a poluição, probabilidade de ocorrência da contaminação e o valor que o recurso (água) apresenta para a população que dela faz uso (DUCCI *et al.*, 2008). Segundo esses autores é necessário estabelecer estratégias aplicadas a proteção das águas subterrâneas em sistemas cársticos, que podem se concretizar com o zoneamento do uso e ocupação da terra, avaliação e gestão do potencial risco de poluição, além da criação de um código de práticas e de um sistema de monitoramento, tendo em vista que, como afirma Green *et al.* (2006), os aquíferos cársticos correspondem a 25% das águas subterrâneas disponíveis em todo o mundo.

Dogan (2005) descreve um contexto onde as atividades antrópicas representadas pela agricultura, no que tange a irrigação, bem como a perfuração de poços, por vezes destinada a própria irrigação, são responsáveis pela ativação de processos de carstificação, uma vez que modificam a dinâmica hidrológica local, além de transportar agrotóxico para o lençol freático, colocando em risco a qualidade da água consumida pela população. Na ocasião, foram mapeadas diversas dolinas de subsidência e de colapso, algumas delas formadas recentemente, fato relatado pelos próprios agricultores habitantes da área. Desse modo, o autor chega à conclusão que as atividades humanas estão induzindo a formação de dolinas.

Portanto, A análise dos riscos relacionados a geomorfologia cárstica requer a execução de três etapas de análise fundamentais, conforme Gutiérrez (2016):

- Caracterização detalhada dos condicionantes naturais do ambiente cárstico;
- Desenvolvimento e aplicação de modelos de suscetibilidade a ocorrência de fenômenos cársticos a gênese e evolução das formas;

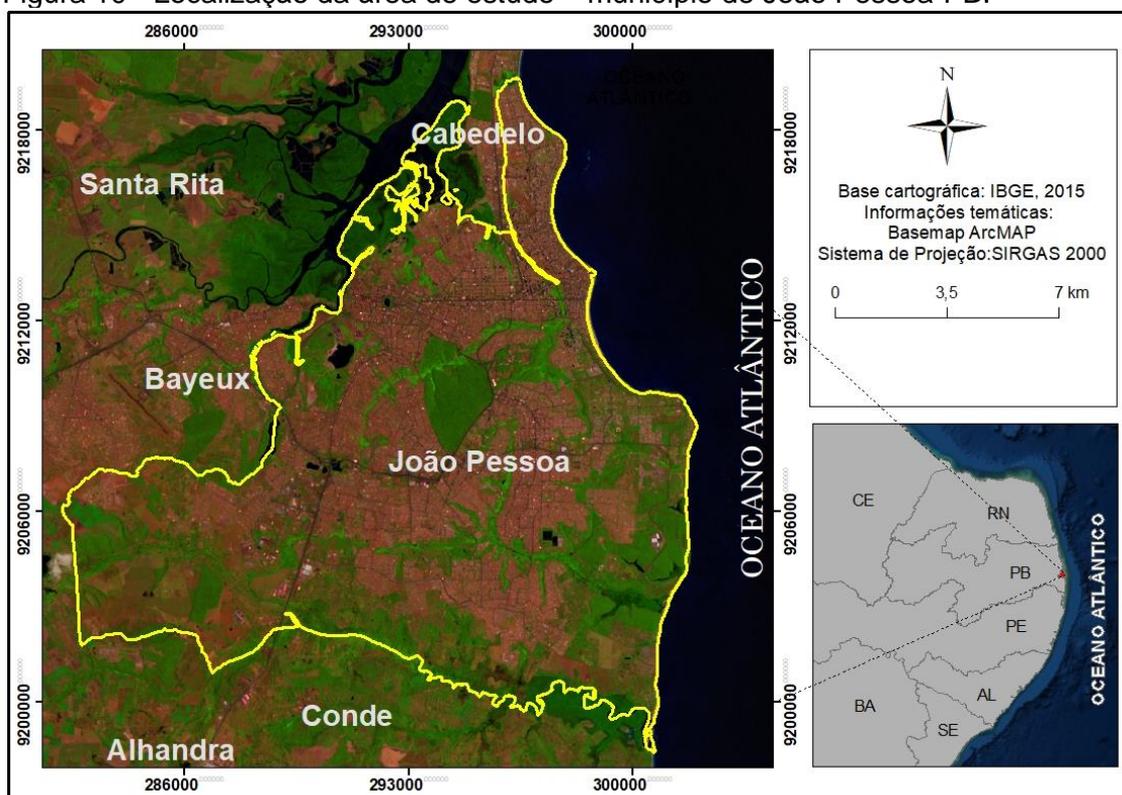
- Avaliação dos riscos considerando os fatores de risco e vulnerabilidade socioambiental.

Desse modo, é fundamental agregar o máximo de dados geoambientais e socioambientais das áreas cársticas, afim de compreender sua dinâmica físico-natural e a interferência antrópica na deflagração de situações de risco, no intuito de mitigar os impactos produzidos nessa relação sociedade/natureza.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende os limites territoriais do município de João Pessoa (Figura 10), capital do estado da Paraíba, inserido na porção leste do estado, numa subdivisão regional denominada Região Geográfica Intermediária de João Pessoa. Essa região é marcada pelo predomínio de aspectos físico-naturais de zonas úmidas, representadas por características típicas, como o porte arbóreo da vegetação, solos profundos, rios caudalosos e chuvas concentradas entre o período outono/inverno, apresentando os maiores volumes pluviométrico entre os meses de junho, julho e agosto, acompanhadas de altas temperaturas e baixa amplitude térmica.

Figura 10 - Localização da área de estudo – município de João Pessoa-PB.

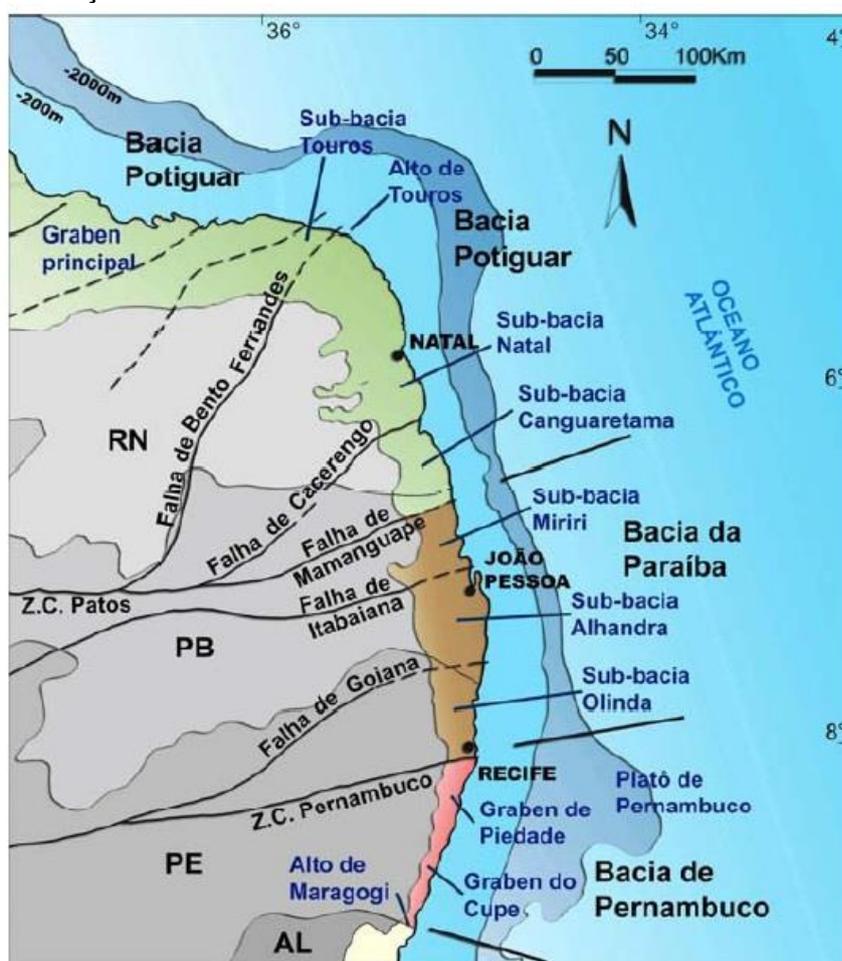


Fonte: Autor (2020).

As condições geológicas observadas no contexto da área de estudo representam, em associação as condições climáticas, fator preponderante na configuração do relevo e, conseqüentemente, na sua caracterização geoambiental, sendo observado uma topografia relativamente plana, pouco dissecada, característico de ambientes deposicionais.

A formação geológica desse ambiente está associada à evolução tectônica sedimentar da margem continental brasileira (ARAÚJO, 1993). Desse modo, a bacia sedimentar marginal Paraíba, se localiza entre os estados de Pernambuco e Paraíba, especificamente fazendo limite ao norte com a bacia Potiguar e ao sul com o lineamento Pernambuco (Figura 11). A referida bacia está subdividida nas sub-bacias Alhandra (onde se insere a área de estudo), Miriri e Olinda (MABESOONE e ALHEIROS, 1998; LIMA FILHO, 1998; BARBOSA e LIMA FILHO, 2005; BARBOSA, 2007).

Figura 11 - Localização da Bacia da Paraíba.



Fonte: Barbosa, 2007.

A evolução tectônica da bacia sedimentar da Paraíba, conforme Araújo (1993) se deu a partir de uma sucessão de quatro estágios comuns a todas as bacias marginais brasileiras. Inicialmente ele apresenta a Fase de intumescência, que corresponde à fase de soerguimento crustal, a partir de atividade ígnea relacionada à "hot spots", com formação de bacias periféricas. Essa fase corresponde ao período

Jurássico-Eocretáceo e se caracterizou pela sequência de depósitos de caráter flúvio-deltáico-lacustrino.

A segunda fase compreende à formação de “*rift*”, que se desenvolveu do Eocretáceo ao Neocretáceo e caracterizou-se por uma intensa atividade tectônica, além da deposição sedimentar continental, em bacias tectônicas limitadas por falhas do tipo *rift valleys*, representada pela formação de sistemas combinados de leques aluviais, sistemas fluviais e lagos interiores.

A terceira fase “transicional” é representada pela deposição de extensos depósitos sedimentares transicionais, classificados como evaporitos, clásticos e carbonáticos, durante o Cretáceo inferior. Para Asmus (1975) nesse período houve uma diminuição das atividades tectônicas nos limites das bacias, o que permitiu o soterramento do relevo acidentado até um nível de equilíbrio da base erosional do continente em nível de base deposicional das bacias. Isso fez surgir um ambiente relativamente raso (golfo), somado a diminuição do fluxo de material clástico, favorecendo assim a deposição de calcários de plataforma.

A quarta e última fase representa a expansão do assoalho marinho, que se iniciou no Cretáceo e perdura nos dias atuais, caracterizando-se pelo desenvolvimento da Plataforma Continental, do Talude e pela sedimentação generalizada de material clástico-carbonático (ASMUS, 1975).

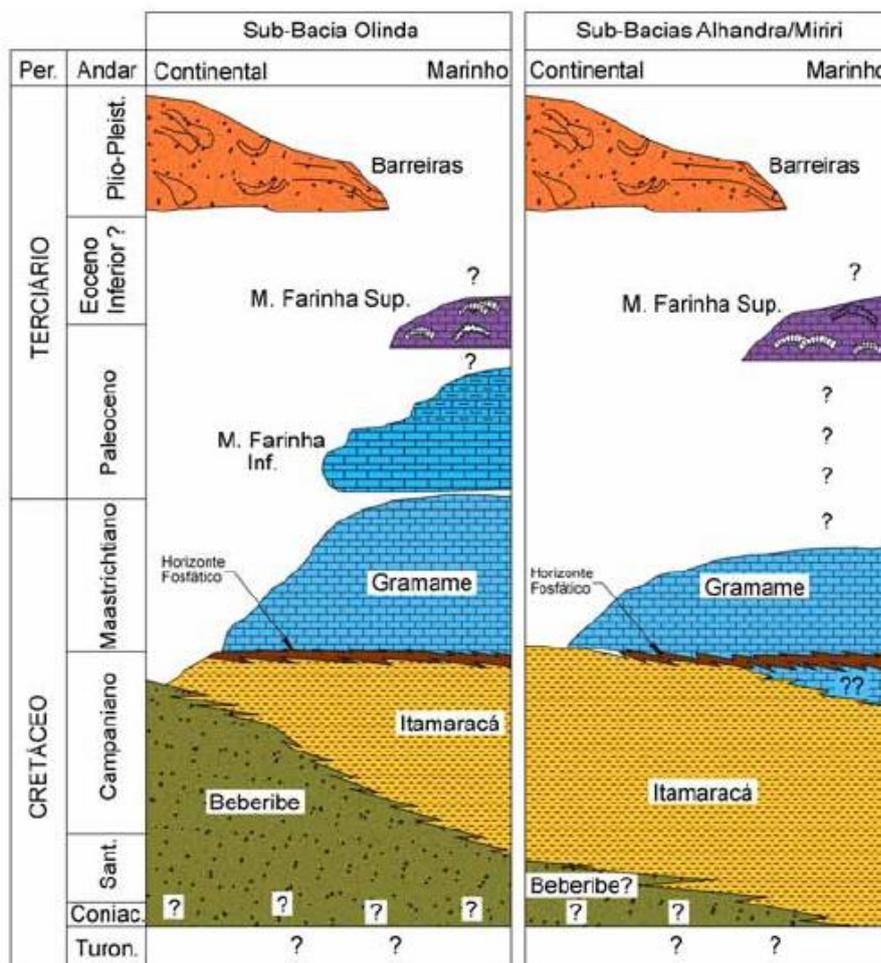
A bacia da Paraíba se comporta como uma rampa estrutural suavemente inclinada para leste, sendo constituída pelas seguintes camadas litoestratigráficas: Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramame e a Formação Maria Farinha, recobertas pelos sedimentos da Formação Barreiras (Figura 12) (BARBOSA e LIMA FILHO, 2005; BARBOSA, 2007).

A Formação Beberibe constitui a camada basal da Bacia da Paraíba, resultado da deposição oriunda da abertura do oceano Atlântico, no processo de separação da África e da América do Sul (ASMUS, 1975). Conforme Barbosa (2007) a Formação Beberibe é composta basicamente por depósitos de arenitos médios e grossos de origem fluvial, de planície de inundação e flúvio-lacustre, ricos em quartzo e feldspato, mal selecionado e bastante litificados devido à silicificação. Há ainda a ocorrência intercalada de arenitos finos com argila e cimento ferruginoso, associados à deposição estuarina.

A deposição da Formação Itamaracá representa uma rápida transição do domínio continental para o domínio marinho, estando sua litologia representada de

forma diversificada, abrangendo folhelhos, arenitos calcíferos, calcários margosos com siliciclastos e calcários com siliciclastos, estando sua ocorrência associada a ambientes flúvio-deltaicos e flúvio-lagunares (BARBOSA, 2007).

Figura 12 - Estratigrafia da Bacia da Paraíba e suas subdivisões.



Fonte: Barbosa, 2004.

Sobrepondo-se a formação anterior, depositaram-se os sedimentos da Formação Gramame, representando uma das formações carbonáticas da bacia, constituída predominantemente por calcários e margas, sem influência siliciclástica, sendo bastante fossilífera, depositada em plataforma rasa com energia baixa e moderada (BARBOSA, 2007). A deposição dessa camada está relacionada ao máximo transgressivo do Grupo Paraíba e, sua área de afloramento é bastante reduzida na sub-bacia Alhandra (BRITO NEVES et al., 2009). Sua área de ocorrência superficial na área de estudo se restringe a alguns pontos de exploração mineral do calcário, localizada nos bairros de Mandacarú, Roger e Ilha do Bispo.

A Formação Maria Farinha é a camada estratigráfica mais superficial do Grupo Paraíba, ficando restrita às sub-bacias Alhandra e Olinda. A deposição dessa camada resulta da regressão marinha, seguida de soerguimento e erosão. No Estado da Paraíba, essa formação aflora somente no Litoral Sul, mais precisamente no Município do Conde, entre as praias do Amor e de Tambaba (BRITO NEVES et al., 2009; BARBOSA, 2007).

Sobreposta a todas as camadas litoestratigráficas anteriores, ocorre a Formação Barreiras (Figura 13), tendo o material sedimentar que a compõe resultado do processo de intemperismo realizado sobre o embasamento cristalino do Planalto da Borborema. A deposição desse sedimento se deu através de sistemas fluviais desenvolvidos sobre leques aluviais. (ALHEIROS et al., 1988).

Figura 13 - Contato entre a Formação Barreiras e a Formação Gramame.

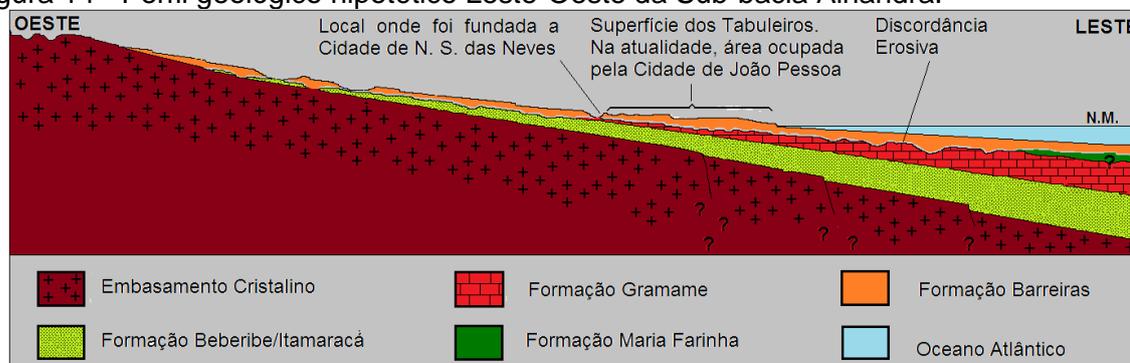


Fonte: Vital (2015).

A figura 14 apresenta um perfil hipotético das camadas litoestratigráficas que compõe a referida bacia. É possível verificar como essas camadas se dispõem na sub-bacia Alhandra. Observa-se a Formação Barreiras recobrindo de forma indistinta as rochas do Embasamento Cristalino e as camadas da Bacia Sedimentar Paraíba. As interrogações representam incertezas na representação dos fatos (ARAUJO, 2012). É importante destacar também que no município de João Pessoa/PB, área de estudo,

não é observado a ocorrência da Formação Maria Farinha, havendo alguns pontos de afloramento da Formação Gramame e Formação Beberibe.

Figura 14 - Perfil geológico hipotético Leste-Oeste da Sub-bacia Alhandra.



Fonte: Araújo, 2012.

Desse modo a Formação Barreiras constitui a principal unidade litoestratigráfica superficial presente na área de estudo, correspondendo a maior representação da cobertura sedimentar Fanerozoica que a compõe. Essa formação é constituída de sedimentos areno-argilosos mal consolidados de origem continental, dispendo-se em camadas areno-siltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos, recobrando de maneira discordante as formações litoestratigráficas que compõe o Grupo Paraíba (ARAÚJO, 1993). Sua origem sedimentológica está relacionada ao intemperismo sofrido pelo embasamento cristalino do planalto da Borborema, que se localiza mais para o interior do continente. A matriz desses sedimentos é representada pelos granitos, xistos e gnaisses (ALHEIROS et al., 1988).

A deposição de idade Holocênica predominante na área de estudo ocorre sobre a Formação Barreiras, representando a ocorrência de colúvio, aluvião, sedimentação fluvial e fluviomarinha (ARAÚJO, 2012). O autor cita como exemplo o caso dos sedimentos da planície fluviomarinha, como também no caso das áreas periféricas das planícies fluviais, onde na maioria das vezes as aluviões se misturam ao colúvio de modo indistinto.

É sobre os depósitos da Formação Barreiras que ocorrem os baixos planaltos costeiros ou tabuleiros litorâneos, exibindo cotas altimétricas variando entre 49 e 77 metros, destacando-se como a feição predominante no município de João Pessoa (FURRIER et. al., 2006). Além dessa unidade morfológica, destaca-se a ocorrência de Planícies Fluviais, Planície Fluviomarinho e Planície Costeira, de falésias e de vertentes (FURRIER, 2007).

Martins (2006) destaca o predomínio de duas grandes feições morfológicas no município de João Pessoa: os Tabuleiros Litorâneos e a baixada litorânea ou Planície Costeira, que se caracterizam por apresentar um relevo plano. Essas duas feições, segundo a autora, representam, respectivamente 40% e 35% da área territorial do referido município.

A baixa energia do relevo, característico do município de João Pessoa, é resultado do forte controle estrutural atuante nos Tabuleiros Litorâneos do estado da Paraíba (FURRIER et. al., 2006). O referido autor confirma tal ideia a partir da distinção de diferentes padrões de dissecação atuantes nos tabuleiros ao norte do rio Gramame (onde se localiza a área de estudo) e ao sul do mesmo rio. A área norte caracteriza-se por apresentar rede de drenagem de baixa densidade e padrão de drenagem fortemente influenciado pelo tectonismo, evidenciado pela formação confluências em ângulos retos. Os rios nessa área não exumam com intensidade as camadas geológicas inferiores da bacia Paraíba (FURRIER et al., 2006).

Conforme Oliveira (2001) o topo dos tabuleiros constitui testemunho de uma superfície de aplainamento, definida como Pós-Barreiras. O entalhamento realizado nessa superfície é resultado dos movimentos eustáticos e do tectonismo que ocorreram no Quaternário, evidenciada pela discrepância existente entre o pequeno caudal dos cursos de águas atuais e os vales relativamente amplos. No momento que se deu o rebaixamento do nível do mar, ocorreu o preenchimento desses vales que foram posteriormente invadidos no momento da última transgressão marinha. Esse tipo de entalhe resultou na formação de vales individualizados, com fundo chato e terraços fluviais com níveis variados (MELO et al., 2001; MARINHO, 2011).

A relativa padronização do relevo tabular plano (Figura 15) sofre poucas variações topográficas, que nesse caso está associada dissecação fluvial, fortemente influenciada pelas condições estruturais, que por seu turno também influencia e gênese de feições cársticas (Figura 16), que nesse caso, ocorre predominantemente em forma de depressões fechadas, havendo também a formação de cavernas (FURRIER et al., 2006; VITAL, 2015).

As feições associada a morfologia cárstica ocorrem com mais evidência sobre os tabuleiros litorâneos, mas também estão associadas as ocorrências superficiais de carbonatos (VITAL, 2015), que, conforme a classificação geomorfológica para a área de estudo proposta por Barbosa (2015), se enquadram como morfologias resultantes de processos atuais (Quaternário), estando sua origem relacionada ao processo de

dissolução atuante nos calcários da formação Gramame. A origem dessas feições é resultado da dissolução do calcário realizado pela infiltração de água na rocha, favorecida por sua forma de estratificação sub-horizontal, não muito pronunciada, grosseira, formando massa compactada, apresentando fraturas e dissolução subterrânea (LUMMERTZ, 1977 *apud* FURRIER e VITAL, 2011).

Figura 15 - Vista aérea de porção do município de João Pessoa.



Fonte: Acervo de Paulo Rosa

Em seu trabalho de tese, Vital (2015) identificou a ocorrência de diversas dolinas e depressões no município de João Pessoa, sobretudo na zona Oeste da cidade, inserida na área denominada por Brito Neves et al. (2009) como tabuleiro das lagoas. Tais feições se desenvolvem com mais frequência sobre os tabuleiros costeiros, que, conforme Furrier *et al.* (2006) apresentam baixo índice de dissecação e superfícies planas extensas exatamente na porção a norte do rio Gramame, correspondendo a área de estudo, o que favorece o processo de dissolução.

A gênese das feições cárstica no município de João Pessoa apresenta ligação direta com as condições estruturais e litológicas da bacia sedimentar Paraíba, sobretudo a questão estrutural, tendo em vista a forma elíptica e a orientação preferencial dos eixos das feições segundas estruturas regionais, demonstrando que

o processo de dissolução ocorre em concordância com as linhas de fraqueza da rocha (VITAL, 2015).

Figura 16 - Dutos de dissolução formados na Caverna de Marés, localizada na área de estudo.



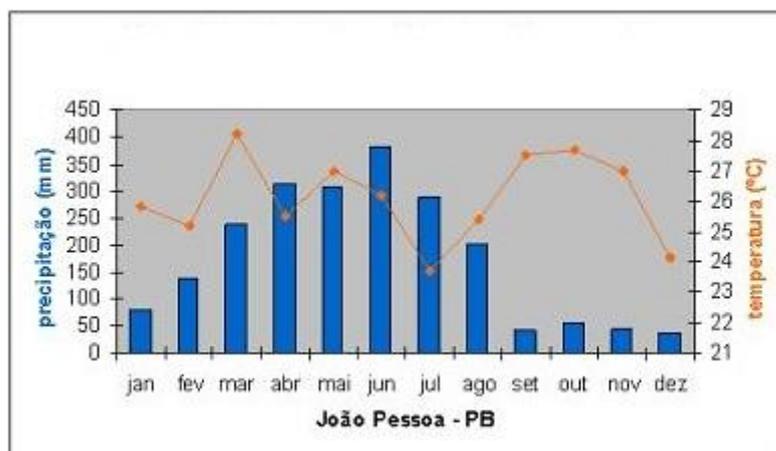
Fonte: Vital (2015)

Com relação as condições litológicas, tais feições não se restringem ao domínio do calcário subjacente ou aflorante da Formação Gramame, mas se estende a áreas dominadas por calcarenitos ou arenitos calcíferos subjacentes da Formação Itamaracá, conforme o autor supracitado. Outros mecanismos pedogenéticos também são apresentados como possíveis responsáveis pela gênese das feições carsticas na área de estudo, representadas pelo processo de arenização no domínio da Formação Barreiras e sobre os sedimentos Quaternários. A formação de depressões nesse domínio pode ocorrer por ocasião de pontos de interrupção de níveis endurecidos formados por ferricrete, denominados fragipã e duripã, propiciando a penetração da água e a consequente dissolução da sílica amorfa que cimenta os minerais, seguido de *piping* (VITAL, 2015).

Tais condições litomorfológicas, fazem com que os condicionantes climáticos constituam fator relevante para o desenvolvimento do relevo cárstico, uma vez que a percolação da água nas zonas de fraqueza da rocha constitui fator preponderante para o desenvolvimento do processo de carstificação.

A cidade de João Pessoa está sobre influência de um clima tropical quente e úmido, ocorrendo os maiores índices de precipitação no inverno, mas com chuvas antecipadas de outono, apresentando média pluviométrica entorno de 2.000 mm anuais (Figura 17).

Figura 17 - Dados climáticos – precipitação e temperatura média para a cidade de João Pessoa-PB.



Fonte: INMET.

Esta condição climática se deve, dentre outros fatores, a atuação de sistemas atmosféricos atuantes na configuração climática da área, definidos por Ferreira e Melo (2005) como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis ou de Alta Troposfera (VCAN ou VCAT), Zona de Convergência da costa leste do Nordeste (ZCEN), incipiente presença de Frentes Frias, como incursões da Frente Polar Atlântica (PFA), e os Sistemas Ondulatórios de Leste (DOLs), ou Ondas de Leste.

Molion e Bernardo (2002) apresentam a ZCIT e os sistemas frontais como mecanismo de grande escala responsáveis pela maior parte das precipitações pluviométricas observadas na região Nordeste. Os referidos autores apresentam ainda mecanismos de mesoescala (perturbações ondulatórias, complexos convectivos e brisa marinha); e mecanismos de microescala (circulações orográficas e pequenas células convectivas).

Os VCANs se formam no oceano Atlântico e sua atuação se dá, sobretudo, entre os meses de novembro e abril, com maior ênfase nos meses de janeiro e fevereiro (FERREIRA e MELO 2005). Este sistema apresenta circulação ciclônica fechada (baixa pressão) com ar subsidente central mais frio que sua periferia, que por sua vez se caracteriza pela ocorrência de grandes totais pluviométricos, enquanto sua

região central é submetida à formação de céu claro sem chuvas (MOLION e BERNARDO, 2002).

As Ondas de Leste (OE) representam o principal sistema atmosférico produtor de chuvas no litoral oriental do Nordeste brasileiro, desde o Recôncavo baiano, até o estado do Rio Grande do Norte, alcançando por vezes o estado do Ceará (FERREIRA e MELO, 2005). Este sistema se caracteriza por uma perturbação barométrica no campo de propagação dos ventos alísios, resultado a convergência dos ventos de sul, associados aos sistemas frontais, com os ventos de leste, se deslocando do oceano para o continente.

Entre os meses de abril a junho ocorre a instalação da Zona de Convergência da costa leste do Nordeste (ZCEN), representando os meses mais chuvosos no leste da região Nordeste do Brasil. Havendo anomalia positiva na temperatura da superfície do mar (TSM), o transporte de umidade é maior e a ZCEN será mais intensa (MOLION e BERNARDO, 2002).

Com base em Cavalcanti e Kousky (1982); Molion e Bernardo (2002); Ferreira e Melo (2005) e; Nóbrega e Santiago (2014), os anos de chuva mais intensa no Nordeste Brasileiro estão relacionados com ocorrência do fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico) associado ao Dipolo negativo do oceano Atlântico. Essa condição permite o deslocamento da ZCIT para posição mais ao Sul da linha do Equador, o que favorece a intensificação das chuvas na região entre o verão e o outono austral.

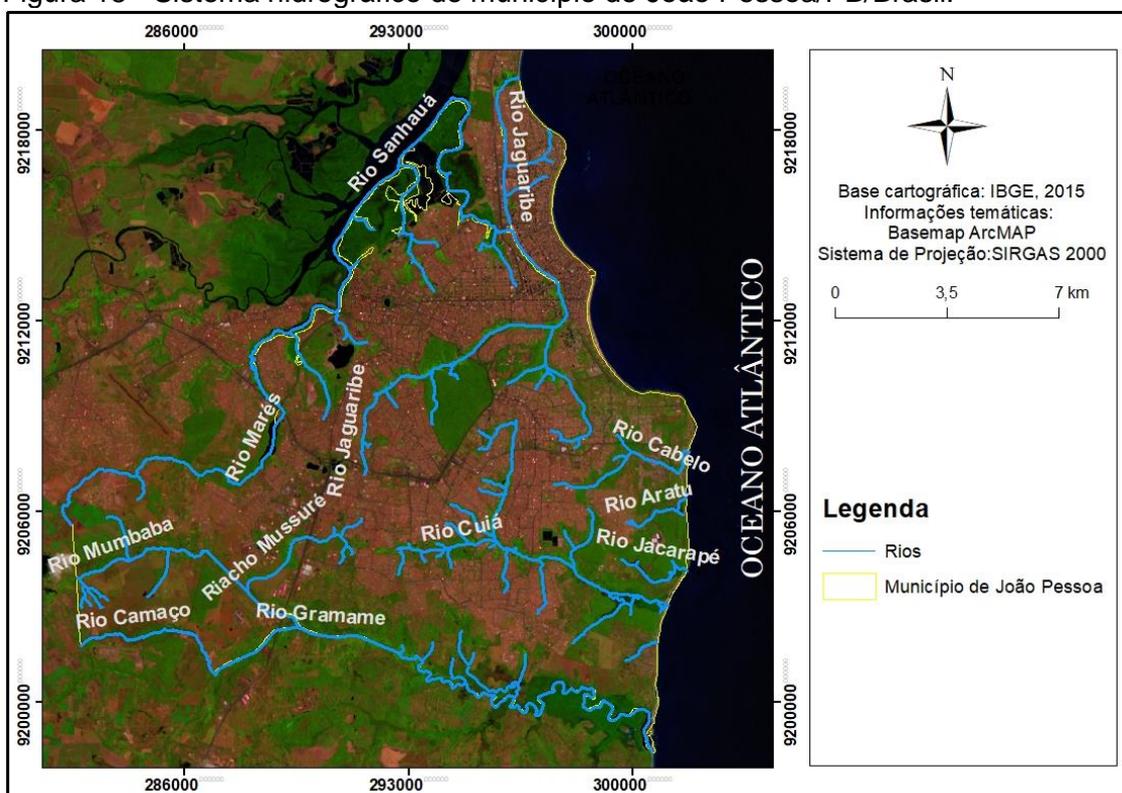
Pereira *et al.* (2012) afirma que o município de João Pessoa apresenta dois regimes climático: a quadra chuvosa, que corresponde ao período estabelecido entre o verão, outono e início do inverno, sendo os meses de abril a julho os mais representativos do período; e a quadra seca equivalente, que corresponde ao período final do inverno e toda a primavera. Ainda segundo o mesmo autor, os sistemas atuantes mais importantes para a geração das chuvas são a ZCIT, os VCAS e OE.

Analisando a série histórica da cidade de João Pessoa, entre os anos de 1981 a 2009, Pereira *et al.* (2012) verificou a ocorrência de 143 eventos pluviométricos de intensa precipitação no município, como chuvas diárias superiores a 60 mm, com maior ênfase para os anos 1985, 1990 e 2009.

Essa abundância pluviométrica se reflete, dentre outros aspectos, na ocorrência de rios caudalosos, perenes, de regime pluvial e de baixo poder erosivo, devido, sobretudo, ao relevo plano-ondulado.

Quanto ao sistema hidrográfico do município de João Pessoa (Figura 18), este é formado por duas bacias hidrográficas que se destacam por seu maior porte, sendo elas a bacia hidrográfica do rio Gramame, ao sul, e a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Norte, na porção norte, que na cidade de João Pessoa é denominado rio Sanhauá. Outros de menor porte se caracterizam como tributários destes, sendo eles: Jaguaribe, Cabelo, Aratú, Jacarapé, Cuiá, Camaço, Mumbaba, Marés e Mussuré. As bacias hidrográficas destes rios de menor porte encontram-se atualmente numa situação de forte urbanização devido ao crescimento desordenado da cidade, verificado com mais evidência a partir da segunda metade do século XX.

Figura 18 - Sistema hidrográfico do município de João Pessoa/PB/Brasil.



Fonte: Dados hidrográficos: SEPLAN/PMJP.

Além das drenagens fluviais, outros corpos hídricos são observados na paisagem na área de estudo. É observado a ocorrência de diversas lagoas perenes, associadas a formação de depressões cársticas, como é o caso da lagoa do Parque Sólton de Lucena, no centro da cidade, e das Três Lagoas, na zona oeste da cidade. Tais corpos hídricos serão caracterizados com maior detalhe no capítulo referente a análise morfométrica das depressões fechadas.

Diferente da maioria das cidades costeiras brasileiras, a cidade de João Pessoa teve seu processo inicial de ocupação as margens do rio Sanhauá, numa porção mais interiorana do território deste município, crescendo, posteriormente, em direção ao mar. Durante aproximadamente 300 anos, a ocupação urbana se restringiu as imediações do bairro Varadouro e Centro (RODRIGUEZ, 1980).

Conforme o documento “Topografia Social” elaborado no ano de 2009 pela administração pública em parceria com a Universidade de São Paulo, a cidade de João Pessoa apresentou seis estágios de evolução urbana:

- Da sua fundação em 1585 até 1885 – nesse período a ocupação urbana se dividia entre duas áreas de topografia distinta, denominadas de cidade alta e cidade baixa. As residências de alto padrão, os órgãos administrativos, as igrejas e os prédio destinados as atividades culturais se localizavam na área colinosa as margens do rio Sanhauá, ao passo que em sua porção baixa, na planície fluvial, se desenvolveu a atividade comercial;
- Entre os anos de 1885 até 1923 a cidade passa por um processo de reestruturação com a implantação de serviços públicos devido a migração de senhores de engenho e fazendeiros para o espaço urbano;
- Entre 1923 até 1963 a cidade passa por um processo de expansão urbana em direção ao mar, decorrente a abertura da avenida Epitácio Pessoa e a criação do campus I da Universidade Federal da Paraíba.
- O período compreendido entre os anos de 1963 até 1978 é o mais representativo quanto a expansão urbana de João Pessoa, impulsionado por medidas da administração pública federal, durante o governo militar, se desenvolvendo através de dois vetores: do centro em direção a praia pela avenida Epitácio Pessoa, representando um processo de urbanização de alto/médio padrão; e do centro em direção a avenida Cruz das Armas, dando origem a bairros de baixo padrão. Diversos bairros surgem nesse período, sobretudo nas zonas sul e oeste.
- Entre os de 1978 e 1980 houve uma forte expansão em direção as zonas sul e sudeste com a criação de conjuntos habitacionais, tendo como base a política habitacional financiada pelo sistema financeiro da habitação.
- A partir de 1990 a cidade passa por um processo de verticalização, iniciado nos bairros da orla marítima.

As áreas periféricas da cidade de João Pessoa apresentam uma característica peculiar, instalando-se, predominantemente ao redor dos corpos hídricos, fazendo com que rios e lagoas apresentem elevados níveis de urbanização e, conseqüentemente, elevada densidade demográfica, com poucas exceções, tanto do ponto de vista da ocupação urbana, quanto ao tipo predominante de ocupação, notadamente as habitações inadequadas.

Desse modo, mesmo apresentando-se como a terceira cidade mais antiga do Brasil, João Pessoa apresenta processo de urbanização recente na maior parte do seu território. Sendo assim, é possível compreender que os problemas de ordem ambiental decorrentes do processo de urbanização podem se manifestar de forma majoradas no futuro próximo, ao passo que se acentuam as alterações antrópicas sobre o ambiente natural.

Conforme o IBGE (2019), atualmente o município de João Pessoa apresenta população estimada entorno de 809.015 mil habitantes e densidade demográfica de 3.421,28 hab/km². Essa população está distribuída em 64 bairros, conforme a Secretaria de Planejamento de João Pessoa.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Classificação e Mapeamento de Feições Cársticas

O mapeamento das feições cársticas no município de João Pessoa tomou por base as feições já mapeadas por Vital (2015), que teve como base cartográfica o modelo de elevação digital elaborado a partir de imagens do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30m. Procedeu-se então uma nova delimitação dos divisores dessas áreas, tendo em vista a maior acurácia da base cartográfica utilizada para essa pesquisa em detrimento da base adotada pelo referido autor.

Além da nova delimitação dessas depressões fechadas, foram mapeadas novas feições, baseando-se nos mesmos critérios estabelecidos por esse autor: ocorrência de drenagem radial centrípeta e a distribuição das curvas de nível. Ocorre nessas feições o tipo de drenagem radial centrípeta, onde todo o fluxo converge para o centro da depressão. Vital (2015) observa que essas feições presentes na área de estudo se caracterizam pela ocorrência de um sistema de drenagem difuso, não convergindo para um único ponto, o que indica que as referidas formas cársticas apresentam fundo chato, relativamente plano.

Esse procedimento foi realizado com auxílio do *software* Global Mapper, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), seguindo a seguinte rotina de trabalho:

- Extração automática das drenagens;
- Geração automática de curvas de nível com equidistância de um metro;
- Delimitação manual das bacias fechadas com base nas drenagens e nas curvas de nível;

Essa análise foi realizada com base no MDE gerado a partir de imagens do sensor de varredura a laser LiDAR (*Light Detection And Ranging*) capturada no ano de 2012, com resolução espacial de dois metros, cedidas pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa (SEPLAN/PMJP).

O funcionamento deste sensor consiste na emissão de pulso *laser* aerotransportado, o que representa vantagem sobre os demais sensores remotos passivos, uma vez que não depende do Sol para obter iluminação, não havendo, desse modo, problemas de interferência de sombra de objetos ou de nuvens. Outro aspecto importante é a capacidade de penetração dos pulsos a laser em pequenos

espaços do dossel das árvores e de outras estruturas, o que possibilita obter informação do relevo com elevada precisão altimétrica (WAGNER et al., 2004).

Também se recorreu à análise de imagens do satélite *Quickbird* referentes aos anos 2005 e 2008 cedidas pela SEPLAN/PMJP e de imagens do *Google Earth*, além de cartas topográficas elaboradas para a área de estudo na década de 1970, fornecidas pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) produzidas na escala de 1:25.000, objetivando identificar depressões fechadas que possam estar atualmente aterradas e com suas formas total ou parcialmente alteradas, devido ao processo de urbanização. Esse procedimento pautou-se na identificação de lagoas descritas nas referidas cartas topográficas, tendo em vista serem um forte indicativo de ocorrência de depressões fechadas.

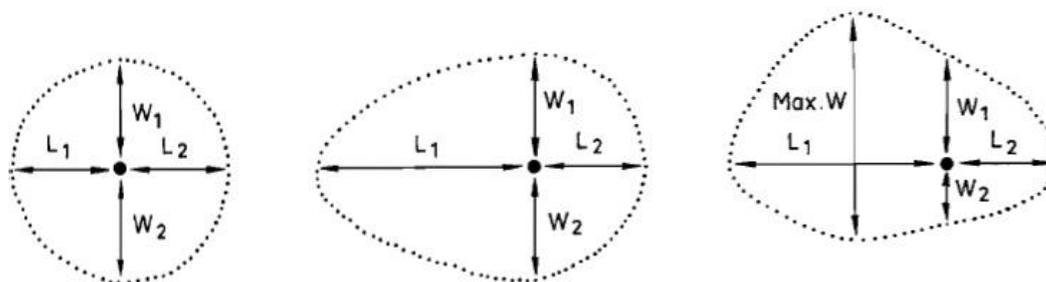
4.2 Caracterização das Feições Cársticas Quanto as suas Gêneses e Morfodinâmica

4.2.1 Caracterização Morfométrica das Depressões Fechadas

A análise morfométrica das feições mapeadas considerou a proposta de Williams (1972). Foram, então, obtidos os valores de área, perímetro, amplitude altimétrica, altitude máxima, altitude mínima, declividade média, tamanho do eixo maior e do eixo menor, elipsidade, simetria interna e relação profundidade/diâmetro. Os referidos valores morfométricos foram obtidos com auxílio do *software* Global Mapper.

A área e o perímetro foram calculados de forma automática, sendo esse o mesmo procedimento utilizado para verificar a declividade média. A amplitude altimétrica considerou a diferença entre o ponto de maior altitude e cota mais baixa no relevo dentro das depressões, ou seja, altitude mínima e altitude máxima. O eixo maior foi determinado considerando a maior distância axial entre os divisores, tendo o ponto de maior profundidade da depressão como referência. Da mesma forma, a determinação do eixo menor considerou a maior distância axial entre os divisores perpendicular ao eixo maior. O valor da variável elipsidade foi calculado considerando a razão entre o eixo maior e o eixo menor. Os valores abaixo de 01 representam formas circulares; valores acima de 01 representam formas mais elípticas. O cálculo da simetria interna considera o produto entre o tamanho (eixo maior) e a largura da depressão (eixo menor), conforme a figura 19:

Figura 19 - Medidas consideradas no cálculo de simetria interna de depressões cársticas



Fonte: Williams (1972).

O cálculo da equação é feito com base na seguinte fórmula:

$$P_s = R_l \times R_w$$

Onde,

PS = Produto de simetria

RI=L1/L2

RW=W1/W2

O índice P/D (profundidade/diâmetro) estabelece uma relação entre amplitude altimétrica e o diâmetro da depressão. Desse modo foi calculado o diâmetro de uma figura geométrica circular com valores de área aproximados aos obtido para a feição mapeada. Valores obtidos abaixo de 01 caracterizam depressões suaves, de pouca profundidade, ao passo que valores superiores a um representam feições íngremes.

Após essa etapa, os dados morfométricos obtidos foram submetidos a uma análise de correlação, no intuito de verificar a ocorrência de um padrão de uniformidade entre as áreas mapeadas. Esse procedimento foi realizado no programa *Microsoft Excel* através da geração de gráficos de dispersão. Esse gráfico permite a construção de uma regressão linear, estabelecendo uma relação entre duas variáveis analisadas.

Esse procedimento consistiu na comparação de parâmetros obtidos para todas as feições mapeadas. Foram inseridos de dois em dois parâmetros morfométricos no *software*, que realizou o procedimento de modo automático.

4.2.2 Análise da suscetibilidade natural

A elaboração do mapa de suscetibilidade aos processos cársticos considerou três aspectos: condições estruturais, espessura da camada rochosa capeadora em relação a camada rochosa carbonática e geomorfologia.

O mapa de lineamentos e alinhamento das depressões fechadas foi elaborado com base no MDE e no alinhamento espacial das feições mapeadas, respectivamente. Esse procedimento consiste na vetorização manual de estruturas lineares (drenagens) identificadas nesse modelo de elevação e na vetorização de linhas retas interligando as depressões, com auxílio do *software* QGIS 3.14. Posteriormente, os dados vetoriais foram exportados para o *software* Spring 5.5.6 onde foram geradas rosetas de direções preferenciais para os lineamentos identificados e o alinhamento das depressões.

O mapa geológico do município de João Pessoa foi adaptado a escala de trabalho adotada nessa pesquisa, equivalente a 1:100.000, a partir do mapa elaborado pela CPRM no ano de 2002 na escala 1:500.000, desenvolvido para o estado da Paraíba. A realização desse procedimento considerou a compartimentação do relevo a partir do MDE utilizado na pesquisa.

A espessura das formações rochosas foi verificada a partir do processo de interpolação de dados referentes a altimetria dessas camadas na Bacia Sedimentar Paraíba. Esses dados foram organizados por Vital (2015), extraídos de documentos que contém informações referentes a topografia das camadas litológicas descritas em dados de poços tubulares, que foram coletados a partir da plataforma SIAGAS (Sistema de Águas Subterrâneas), do CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CAGEPA (Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba), AESA (Agência Executiva de Águas) e empresas privadas (Construções e HIDROTEC).

Esse procedimento consiste na construção de uma tabela (anexo A) que contém os dados descritos utilizando o programa *Microsoft Excel*. Posteriormente essa tabela foi importada para o *software* Surfer 12, onde foi realizado o processo de interpolação e geração de um modelo de superfície para cada camada. Em seguida foram verificados os valores topográficos desse modelo, e procedeu-se a reclassificação desses valores e a atribuição de pesos para cada grupo reclassificado no *software* ArcMap 10.4.

A geomorfologia foi analisada com base no mapeamento geomorfológico para o município de João Pessoa proposto por Barbosa (2015). Este mapa foi sobreposto ao mapa das feições selecionadas para esse estudo. Assim, no processo de reclassificação e atribuição de pesos para cada classe geomorfológica considerou-se maior peso para as classes onde ocorrem as depressões fechadas selecionadas para esse estudo.

Por fim, os valores reclassificados de cada variável considerada na análise da suscetibilidade foram submetidos ao processo de “álgebra de mapas” através da ferramenta “*calculadora raster*” do *software* ArcMap 10.4. Esse processo consiste na ponderação de valores atribuídos a cada variável, obtendo-se como resultado o mapa de suscetibilidade a processos cársticos, que, por sua vez, com base nas informações consideradas e nos valores a elas atribuídas, indicam os locais que estão mais suscetíveis a manifestação de processos cársticos.

Em seguida esse dado foi transformado do formato matricial para o formato vetorial, para possibilitar o cálculo de área de cada classe de suscetibilidade e a sobreposição ao cadastro urbano do município de João Pessoa.

4.3 Análise da Influência Antrópica na Deflagração dos Riscos em Áreas Cásticas

As ações antrópicas foram verificadas através da análise e descrição de campo, tendo como intuito observar a existência de problemas visíveis que potencializem ou até mesmo deflagrem situações de risco. O critério utilizado nessa etapa baseou-se em Gutierrez (2016). Conforme esse autor, os processos que envolvem a gênese de uma dolina podem ser deflagrados ou acelerados devido a mudanças naturais ou antrópicas. Em sua proposta de análise, são considerados os tipos de mudança no sistema cárstico (natural ou antrópico) e os efeitos causados, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Mudanças no sistema cárstico e seus efeitos potenciais que podem acelerar ou desencadear o desenvolvimento de depressões cársticas.

<i>Tipos de mudança</i>	<i>Efeito</i>	(1) (2)	<i>Processo natural</i> <i>Atividades humanas</i>
Aumento da entrada de água no solo	- Aumento da taxa de aceleração da percolação; - Favorece a dissolução; Pode reduzir a resistência mecânica;	(1) (2)	Chuvas Irrigação
Rebaixamento do lençol freático	- Aumenta o peso efetivo dos sedimentos (perda de sustentação flutuante).	(1) (2)	Mudanças climáticas (Diminuição do nível do mar) Extração de água subterrânea (perfuração de poço artesiano)

	<ul style="list-style-type: none"> - Fluxo freático lento substituído por descida mais rápida. - Percolação favorecendo a sufocamento, especialmente quando o lençol freático é rebaixado abaixo da rocha. - Acelera o fluxo de águas subterrâneas em áreas afetadas por cones de depressão. - Pode reduzir a resistência mecânica por dessecação e cristalização de sais. 	
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a espessura e resistência mecânica do material sobreposto. - Pode concentrar o escoamento. - Pode criar um novo nível de base alterando o caminho e a taxa dos fluxos de águas subterrâneas. 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Erosão natural (2) Erosão antrópica
Perfurações	<ul style="list-style-type: none"> - Enfraquece, perfura e sobrecarrega o teto da cavidade. - Causa erosão interna favorecida pelos buracos, vibrações, fluidos de perfuração e bombeamento. - Pode induzir fluxos de águas subterrâneas localizadas e turbulentas. 	<ul style="list-style-type: none"> (2) Perfuração de poços artesianos; abertura de valas para instalação de dutos.

Remoção da vegetação	- Reduz a resistência mecânica dos depósitos de cobertura (coesão da raiz). - Aumenta a infiltração.	(1) Incêndios naturais. (2) Desmatamento
----------------------	---	---

Fonte: adaptada de Gutiérrez (2016).

Também foi aplicada uma ficha de campo na área das feições mapeadas, considerando aspectos físico-naturais e as transformações impetradas pelas atividades antrópicas. Essa análise permitiu verificar os processos morfodinâmicos observados nas formas de relevo cárstico.

4.4 Análise dos Processos Cársticos Subsuperficiais e sua Influência em Situações de Risco

Os processos cársticos subsuperficiais foram analisados com base na geração de modelo de elevação digital da Formação Gramame (camada carbonática) e da Formação Barreiras (camada capeadora). Esse modelo foi gerado com base em dados litológicos descritos em documentos referentes a perfuração de poços artesianos, conforme já descrito no tópico referente a “Análise da suscetibilidade natural”. Foi realizada a sobreposição do mapeamento das feições estudadas a esse modelo de elevação, fazendo o cruzamento da topografia subsuperficial com a feição do relevo superficial, no intuito de verificar se a ocorrência de depressões superficiais estava associada a depressões subsuperficiais.

4.5 Análise dos Riscos

Essa etapa da pesquisa se deu com o desenvolvimento dos seguintes procedimentos:

- sobreposição do mapa de suscetibilidade natural ao cadastro urbano do município de João Pessoa;
- definição de classes de risco geomorfológico;
- verificação e descrição de campo;
- aplicação de ficha de campo.

A sobreposição do mapa de suscetibilidade natural ao cadastro urbano foi realizado com auxílio do *software* ArcMap 10.4, realizando, inicialmente, a adequação dos dados a um mesmo sistema de referência. Em seguida, realizou-se o recorte do *shape* referente aos dados do cadastro urbano com base nas classes de suscetibilidade e a contabilidade do quantitativo de residências inseridas dentro dessas áreas, a partir da tabela de atributos do dado analisado.

Foram, então, definidas 04 (quatro) classes de risco, a saber:

- risco muito alto – área localizada nos limites da classe de suscetibilidade definida com “alta” associada a ocorrência de depressões fechadas onde foram identificados problemas na estrutura de edificações inseridas dentro dos seus limites;
- risco alto – área localizada nos limites da classe de suscetibilidade definida com “alta” associada a ocorrência de depressões fechadas onde **não** foram identificados problemas na estrutura de edificações inseridas dentro dos seus limites;
- risco médio - áreas localizadas nos limites da classe de suscetibilidade definida com “média”;
- risco baixo - áreas localizadas nos limites da classe de suscetibilidade definida com “baixo”;

O ortomosaico elaborado para as depressões 07 e 12 resultou de levantamento fotogramétrico produzido com RPA (Aeronave Remotamente Pilotada). Essas imagens foram processadas no programa de Processamento Digital de Imagens Argsoft, seguindo o seguinte procedimento:

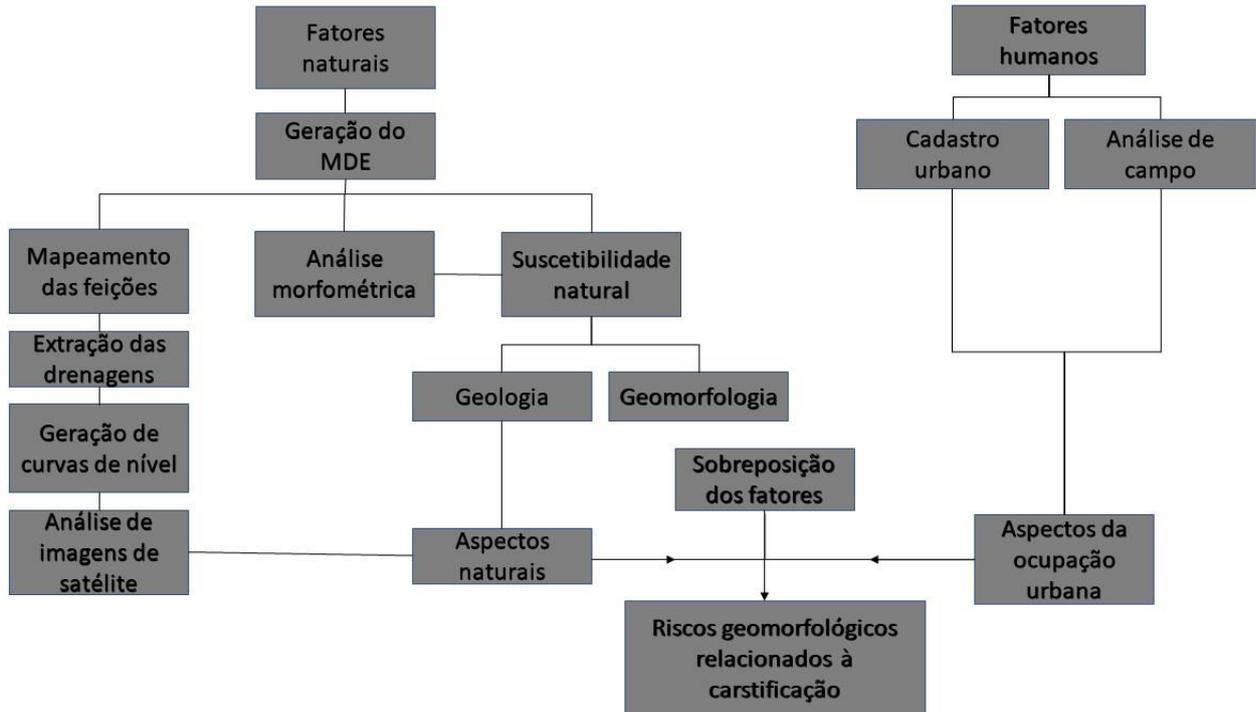
- Seleção das fotografias;
- Alinhamento de fotos;
- Inserção de pontos de controle;
- Ajuste dos pontos de controle;
- Construção de nuvem densa;
- Construção de modelo;
- Construção da ortomosaico.

Em seguida, o ortomosaico foi sobreposto ao MDE elaborado para o desenvolvimento dessa pesquisa no *software* ArcScene 10.4, dando origem ao

modelo representativo em 3D das depressões 07 e 12, com ênfase a ocupação urbana e ao modelado da superfície ocupada.

De modo sintético, a (figura 20) demonstra o itinerário metodológico percorrido no desenvolvimento dessa pesquisa.

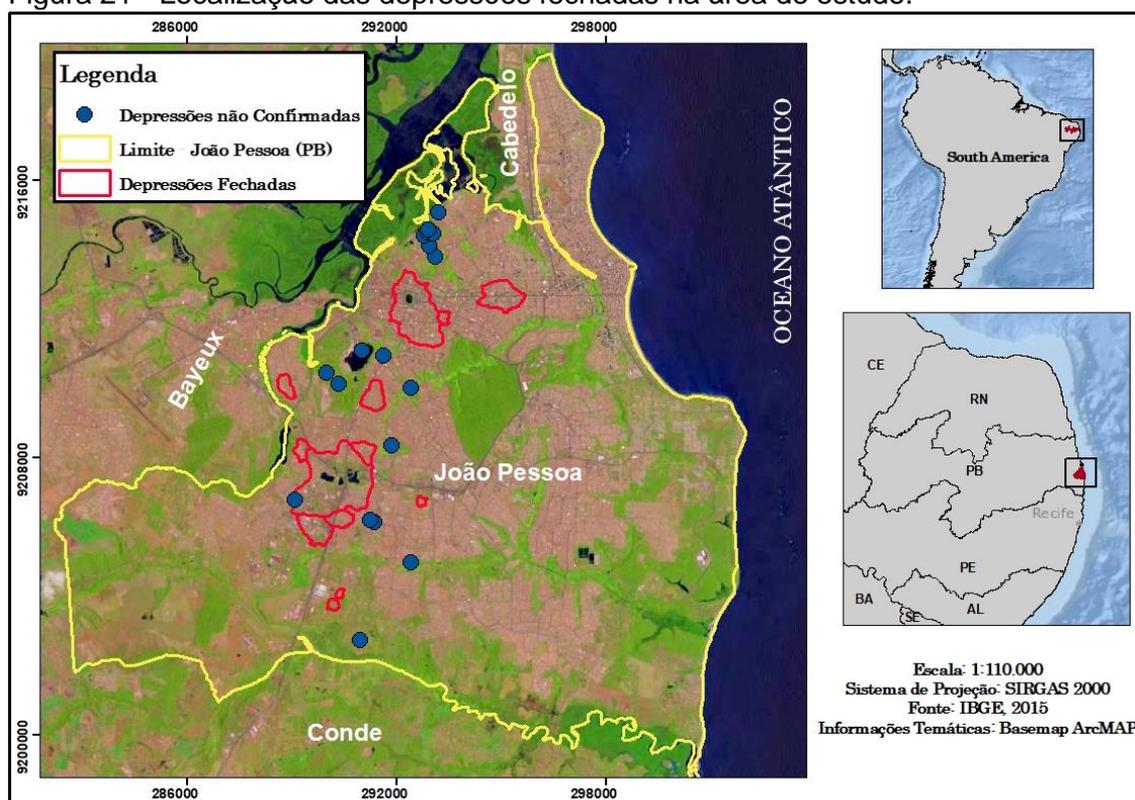
Figura 20 - Organograma representando procedimento metodológico.



5 RESULTADOS

Foram mapeadas um total de 13 (treze) depressões fechadas (figura 21), considerando as feições identificadas por Vital (2015) dentro dos limites territoriais do município de João Pessoa.

Figura 21 - Localização das depressões fechadas na área de estudo.



Além dessas depressões fechadas, foram identificadas outras 18 (dezoito) não confirmadas, as quais foram localizadas a partir da análise de cartas topográficas elaboradas para a área de estudo na década de 1970, fornecidas pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) na escala de 1:25.000. A área de ocorrência dessas possíveis depressões se localiza no mesmo contexto geológico/geomorfológico daquelas definidas como depressões fechadas, e por vezes até nas proximidades das feições mapeadas.

Tais feições foram identificadas nas referidas cartas topográficas como lagos ou lagoas perenes, uma vez que no período da elaboração desse documento cartográfico, o município de João Pessoa apresentava baixo índice de urbanização, estando essas áreas possivelmente ainda pouco alteradas. A formação de lagoa constitui um fator preponderante para identificar depressões cársticas, sabendo, pois,

que tal feição geomorfológica, dentre outras características, apresenta drenagem radial centrípeta, e por vezes, acúmulo de água nas áreas mais deprimidas.

As imagens do radar LiDAR utilizadas nessa pesquisa foram capturadas no ano de 2012, quando o município de João Pessoa/PB já se encontrava fortemente urbanizado, o que promoveu alterações significativas das feições e consequentemente sua descaracterização. Essa situação pode ser confirmada a partir do ocorrido na depressão 12, localizada no bairro do Geisel, onde no ano de 2010 houve o soterramento da lagoa presente nessa depressão a partir de uma ação do próprio poder público, com o objetivo de mitigar os problemas de enchentes que ocorriam no local.

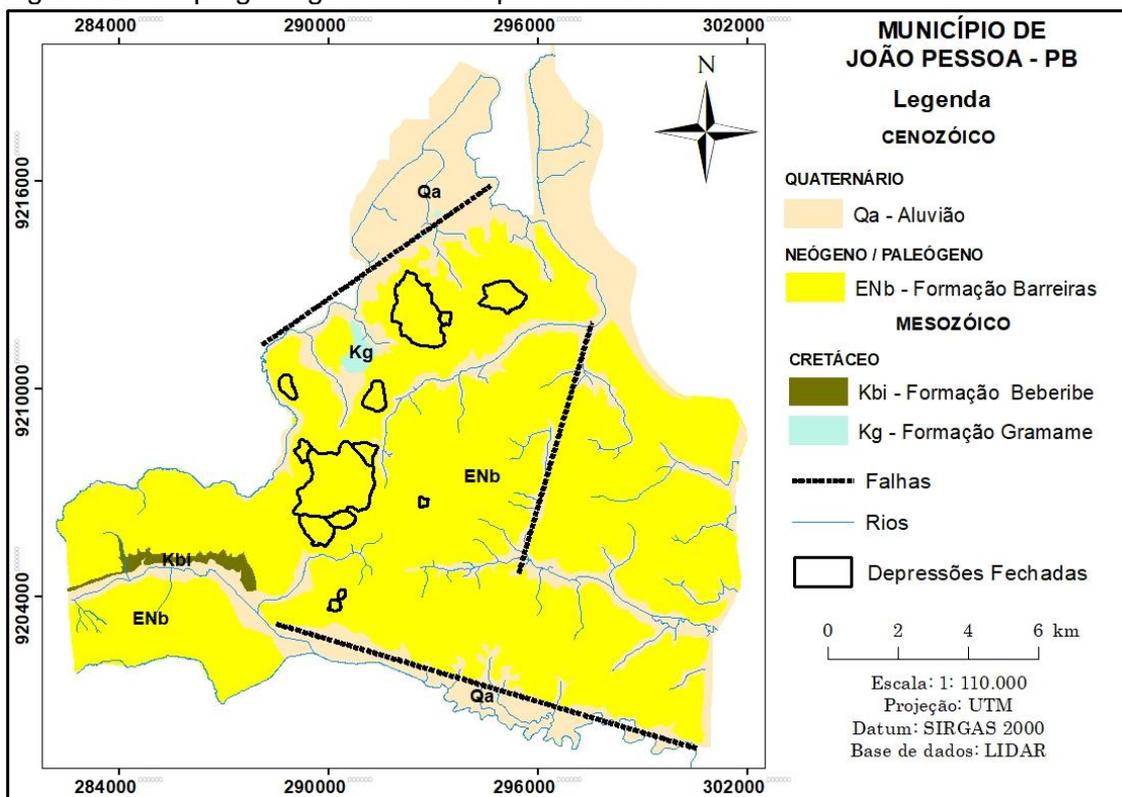
Desse modo, a identificação de depressões fechadas no campo e/ou a partir do método cartográfico adotado não confirmou a existência das depressões identificadas nas cartas topográficas, no entanto, foi observado a existência de formas que resguardam algumas características dessas feições, mas que não atendem a todos os critérios de classificação adotados nessa pesquisa, além daquelas que se encontram em processo de evolução morfodinâmica avançada, conforme será tratado posteriormente, e devido a esses fatos não foram selecionadas para análise nessa pesquisa.

Para a realização da análise morfológica e morfométrica das feições cársticas com maior nível de detalhamento, lançou-se mão da elaboração de gráficos de correlação, relacionando as diferentes variáveis morfométrica que caracterizam as feições, afim de obter um parâmetro sobre o padrão de evolução e de conformidade entre essas variáveis.

5.1 Aspectos Estruturais e Morfológicos

Com relação ao contexto geológico, todas as feições mapeadas ocorrem sobre os sedimentos da Formação Barreiras. Abaixo desta camada litológica encontram-se os sedimentos da Formação Gramame, que constitui uma camada de rochas carbonáticas, aflorando em alguns pontos no município de João Pessoa (Figura 22). Essa condição geológica indica a formação de um carste subjacente, onde os processos de dissolução que ocorrem em subsuperfície repercutem na superfície, notadamente na ocorrência de formas típicas do relevo cárstico, que, nesse caso, se caracterizam como depressões fechadas.

Figura 22 - Mapa geológico do município de João Pessoa.



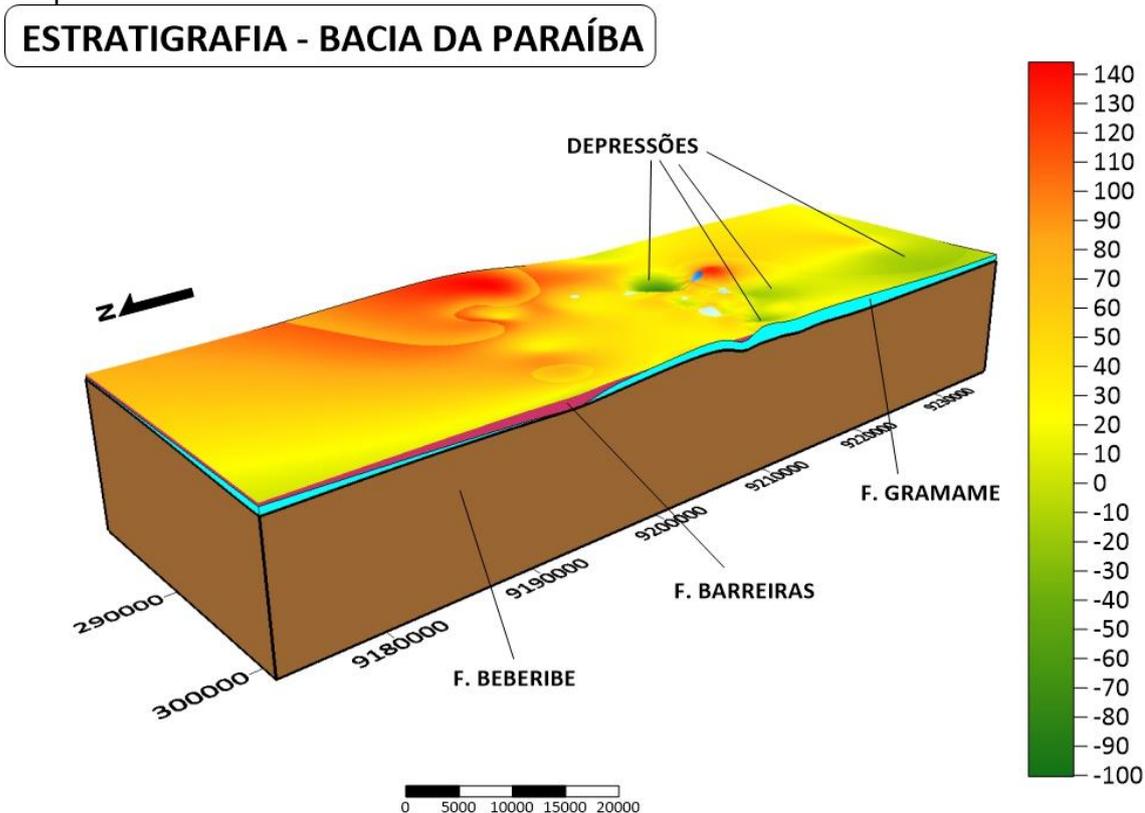
Fonte: Adaptado de Brasil (2002).

Na figura 23 observa-se a representação da distribuição das camadas litológicas que formam a Bacia Sedimentar Paraíba, na sub-bacia Alhandra. Essa representação foi elaborada a partir de dados litológicos descritos em documentos referentes a perfuração de poços. Os documentos consultados foram elaborados para áreas de abrangência das três formações litológicas representadas, não havendo nessa espacialidade a ocorrência da Formação Maria Farinha, cuja abrangência se limita ao litoral sul do estado da Paraíba. É importante ressaltar que a Formação Barreiras não constitui uma camada litoestratigráfica exclusiva da Bacia da Paraíba, mas representa uma unidade capeadora de outras bacias marginais, pois se estende por vasta extensão do litoral brasileiro.

Essa representação não considerou a profundidade das camadas, tendo como objetivo maior a espessura, além de destacar a zona de contato entre as rochas carbonáticas (Formação Gramame) e a camada superficial capeadora (Formação Barreiras), tendo em vista o entendimento de ser essa a relação litológica de maior representatividade no que diz respeito aos processos cársticos na área de estudo. Desse modo, a elaboração do modelo considerou os dados referentes as cotas topográficas de cada camada em relação ao nível de base. Nessa representação,

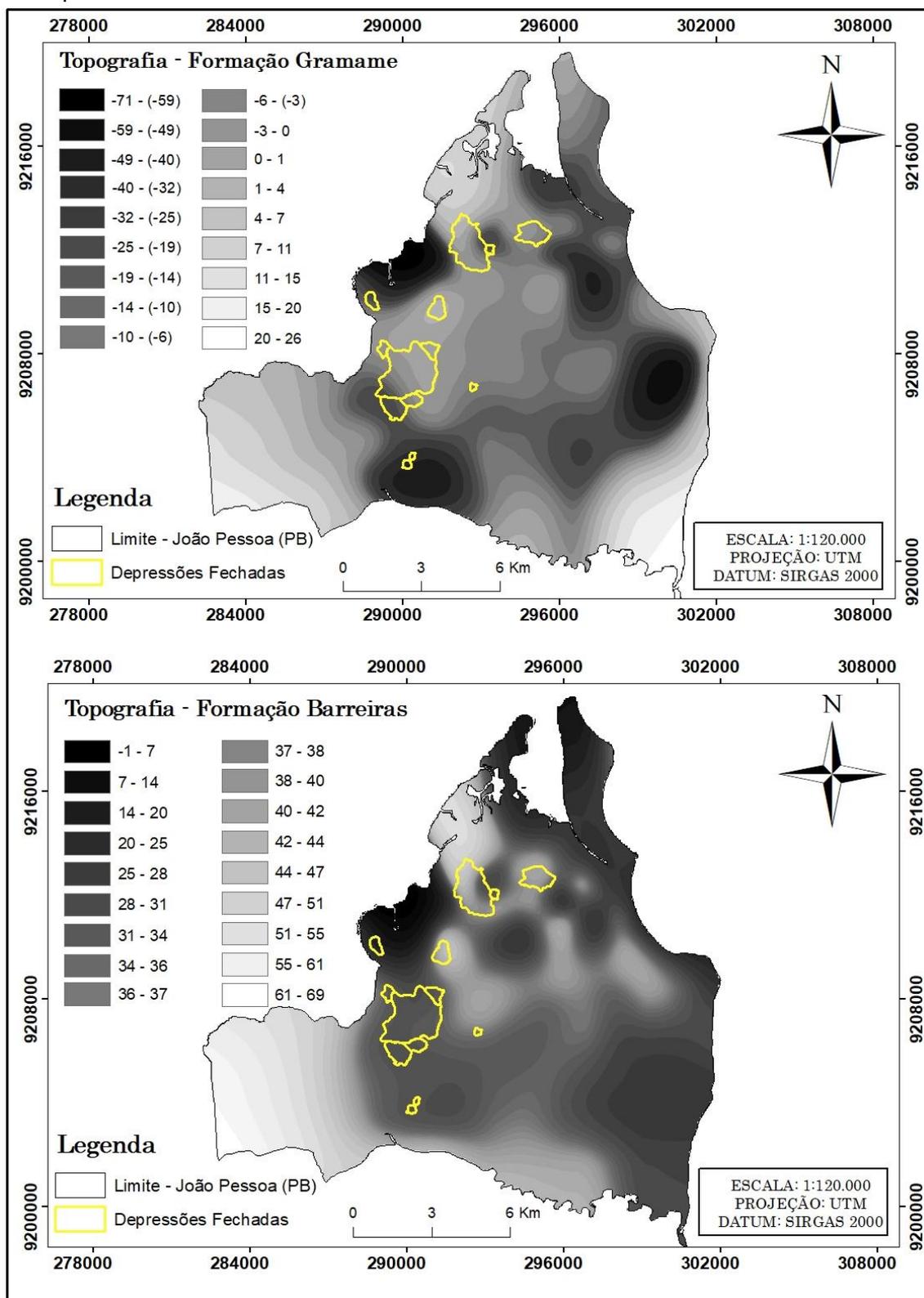
observa-se a correlação entre a menor espessura da Formação Barreiras associada a ocorrência de depressões na superfície. No município de João Pessoa as feições cársticas ocorrem predominantemente nas porções norte e oeste, exatamente onde a Formação Barreiras apresenta pouca espessura e a Formação Gramame aflora em alguns pontos na superfície.

Figura 23 - distribuição das camadas litológicas que formam a Bacia Sedimentar Paraíba no município de João Pessoa e no seu entorno.



A figura 24 apresenta recorte da topografia das Formações Gramame e Barreiras para o município de João Pessoa. As feições mapeadas para esse estudo foram sobrepostas a essa representação, sendo possível verificar que a área de ocorrência de tais feições está associada a menor espessura do Barreiras e da ocorrência de depressões no Gramame. De modo contrário, locais onde o Barreiras apresenta maior espessura, não se verificou a formação de depressões fechadas, mesmo havendo a ocorrência de depressões na camada rochosa subjacente.

Figura 24 - Recorte da distribuição das camadas litológicas da Bacia Sedimentar Paraíba para o município de João Pessoa.



Fonte: Autor, 2020.

Com base na classificação geomorfológica para o município de João Pessoa (figura 25) proposta por Babosa (2015), verificou-se que as depressões fechadas ocorrem numa superfície de denundação, alternando entre formas tabulares e formas convexas. Essa área coincide com a porção da Formação Barreiras que apresenta menor espessura em relação à Formação Gramame, que, por conseguinte, apresenta ocorrência de depressões nessa mesma área.

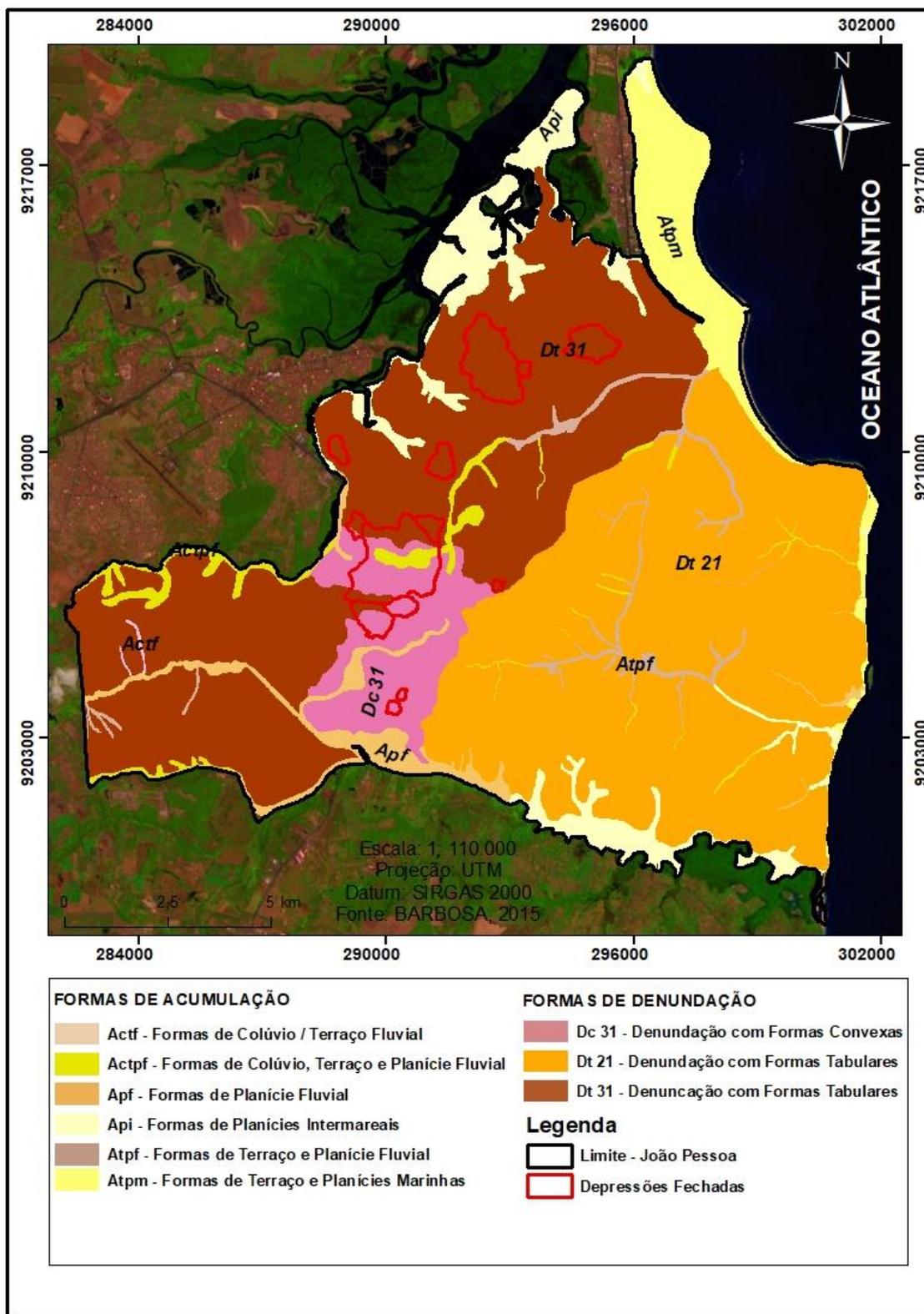
É importante ressaltar que os dados litológicos utilizados para elaboração dos modelos (topografia das Formações Barreiras e Gramame) não apresentam grande acurácia, uma vez que a perfuração de poços na área de estudo dispõe de baixo adensamento espacial. Essa situação representou-se como um problema para o processo de interpolação dos dados, não sendo possível sobrepor com precisão as feições superficiais mapeadas (depressões fechadas) e as depressões identificadas na Formação Gramame a partir do modelo gerado nesse processo. No entanto, foi verificado que a ocorrência destas depressões subjacentes coincide com as superfícies identificadas no mapa geomorfológico, sendo este um fator que reforça a ideia de ocorrência de feições cársticas nas áreas onde a camada litológica capeadora das rochas carbonáticas apresentam menor espessura.

Conforme Vital (2015), a gênese e evolução das formas cársticas na bacia sedimentar da Paraíba apresenta forte controle estrutural. O referido autor detectou direções preferenciais de falhas (NNE-SSW), fraturas (NE-SW) e lineamentos (NNW-SSE), e identificou que essas feições ocorrem alinhadas, além de seus respectivos eixos estarem orientados preferencialmente a essas direções. Essa condição demonstra que a dissolução ocorre nessas linhas de fraqueza, e tem sua evolução predominantemente no sentido horizontal, formando depressões poligonais.

Na figura 26 dois aspectos são fortemente evidenciados: o alinhamento das feições cársticas mapeadas, predominantemente nas direções (NNE-SSW) e (E-W); e a concordância dessas direções com as estruturas lineares observadas na área. A condição estrutural representa elemento preponderante na dinâmica geomorfológica no município de João Pessoa.

Desse modo, destaca-se que o processo de dissolução está condicionado as estruturas falhadas e lineares que ocorrem na área de estudo, observando a existência de áreas de exposição superficial da rocha calcária onde não é observado necessariamente a ocorrência de feições cársticas.

Figura 25 - Mapa geomorfológico do Município de João Pessoa/PB.



Fonte: Adaptado de Barbosa, 2015.

Assim, a formação de depressões fechadas no município de João Pessoa é resultado da associação dos seguintes fatores: ocorrência de zonas falhadas e estruturas lineares que se manifestam desde o embasamento cristalino até as

estruturas rochosas superficiais, conforme (Maia, 2010; Vital, 2015); e a menor espessura da camada rochosa superficial. Enfatiza-se que as feições mencionadas ocorrem em função da ação dos fatores citados agindo em conjunto.

Um aspecto importante a se ressaltar é a tendência destas depressões serem capturadas pelas drenagens fluviais. Essa questão já fora discutida por Vital (2015), quando observou a formação de cabeceiras de drenagem e anfiteatros no processo de evolução das depressões fechadas no contexto da bacia sedimentar Paraíba, a partir da coalescência destas depressões. O referido autor destaca a ocorrência de um anfiteatro com fortes características de uma antiga depressão cárstica localizado no Distrito Mecânico da cidade de João Pessoa (figura 27), numa área paralela à margem direita do rio Paraíba. Nesse mesmo contexto, é observado na depressão 02 (Lagoa do Parque Sólon de Lucena) aspectos morfológicos que indicam a mesma tendência a captura de drenagem dessa feição por drenagem fluvial, uma vez que é em direção dos cursos d'água que ocorrem preferencialmente os processos erosivos.

O processo de urbanização impossibilita a visualização em campo de evidências da evolução morfodinâmica que confirmem essa tese no contexto da depressão 02, uma vez que quase a totalidade dessa área encontra-se impermeabilizada.

Essa condição também foi observada na análise do Modelo de Elevação Digital realizada no processo de mapeamento das feições estudadas nessa pesquisa. Foram observadas diferentes áreas apresentando estrutura circular, típica de depressões cársticas (figuras 28 e 29), conectadas a rede de drenagem fluvial por canal de drenagem cuja orientação de direção predominante corresponde a estruturas lineares, conforme apresentadas na figura 26. Desse modo, a dinâmica fluvial também figura como um fator preponderante no processo morfodinâmico no contexto das feições cársticas, e, também, é produto das condições estruturais observadas na área de estudo, corroborando com ideia de que as feições cársticas nessa área resultam da associação de processos superficiais e subsuperficiais.

Figura 26 - Lineamentos estruturais e alinhamento das depressões fechadas na área de estudo.

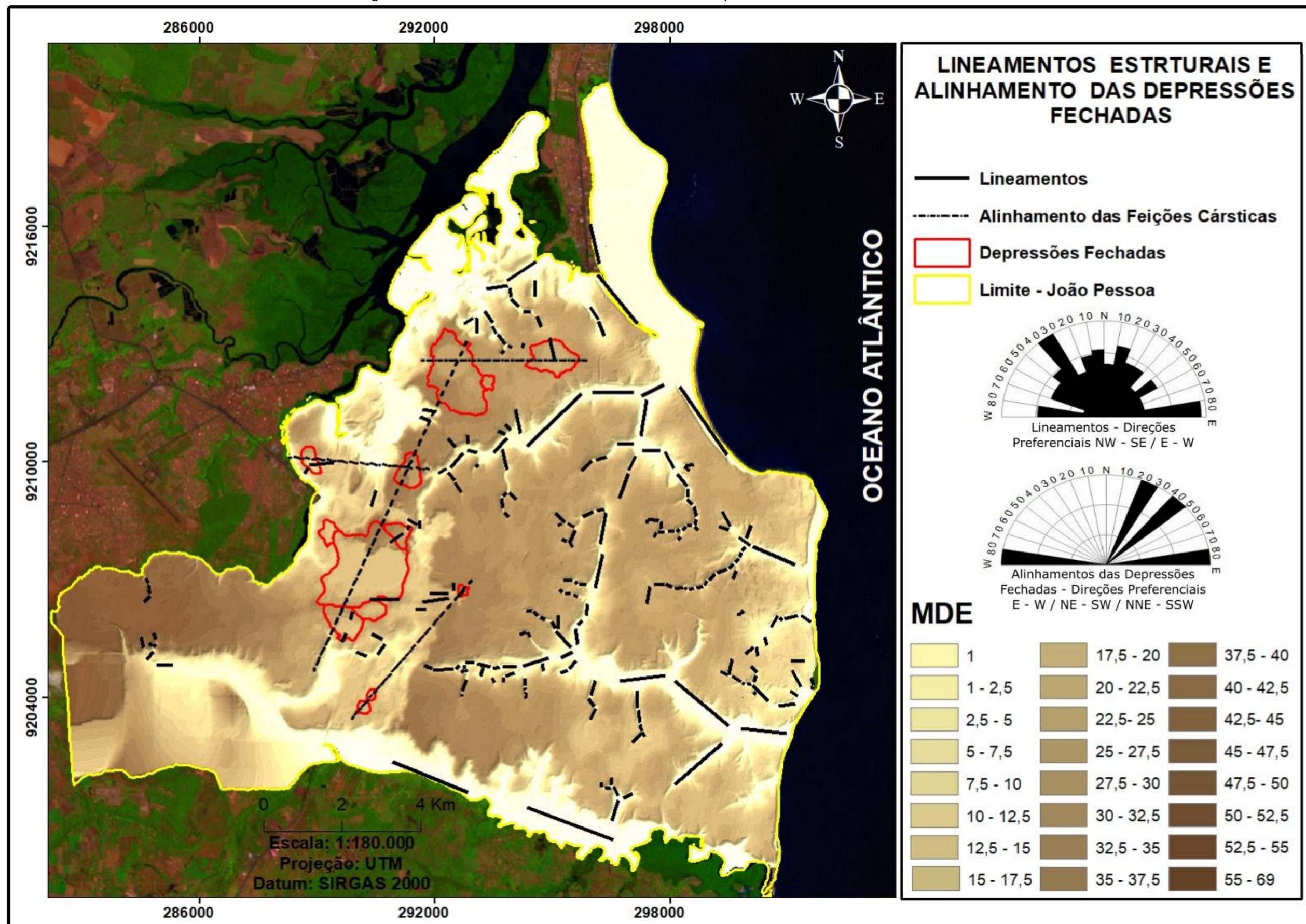
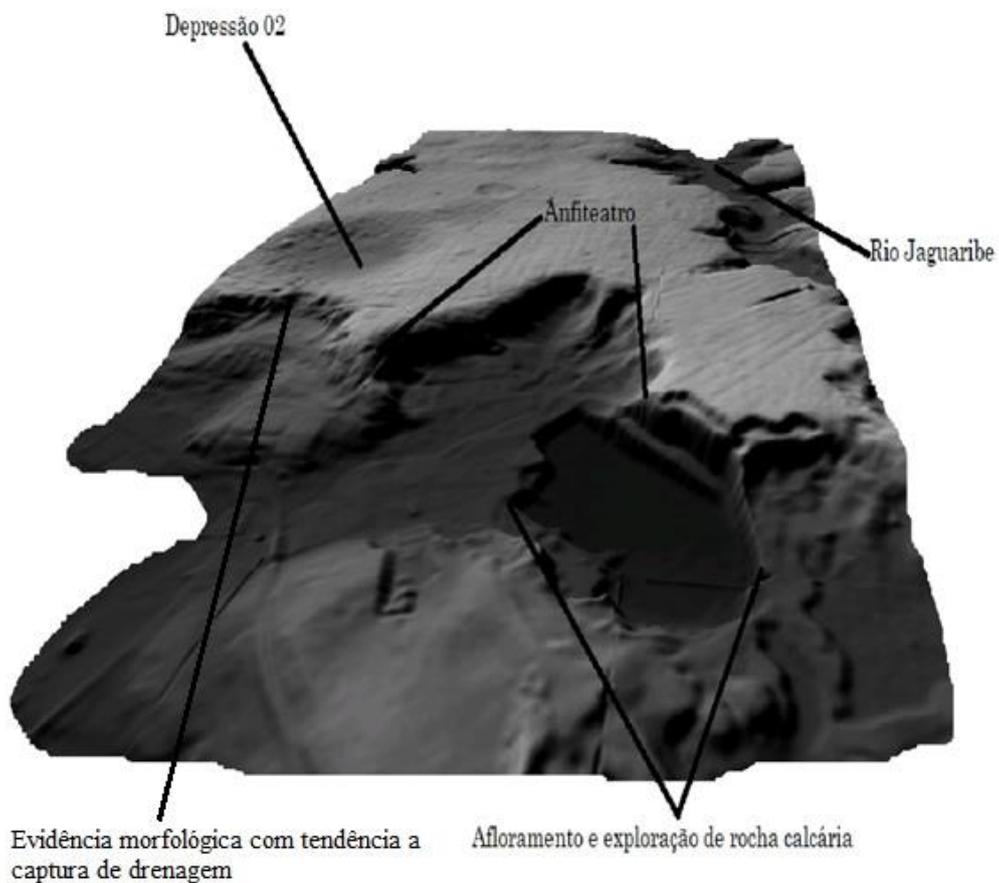
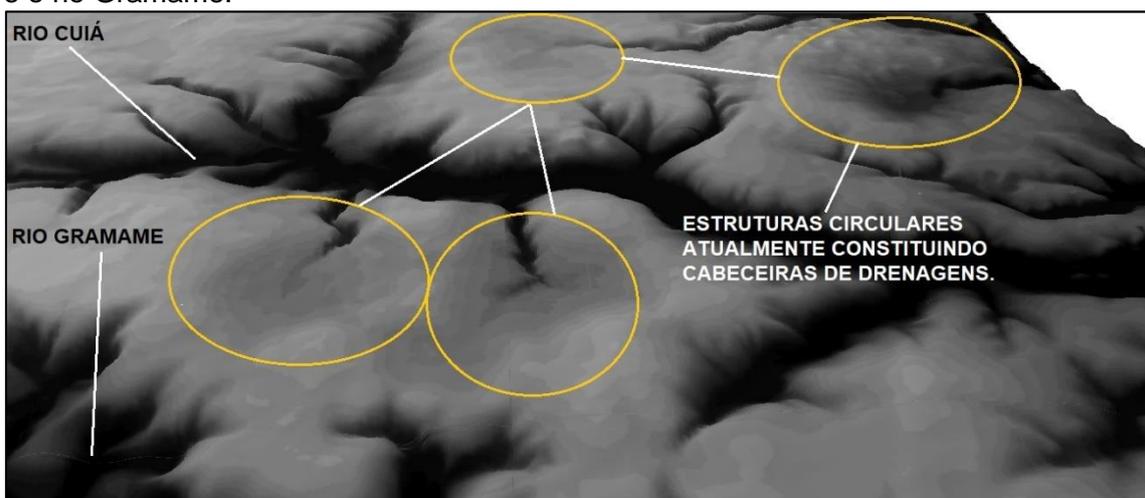


Figura 27 - Recorte do modelo de elevação em 3D destacando a ocorrência de anfiteatro na área de estudo.



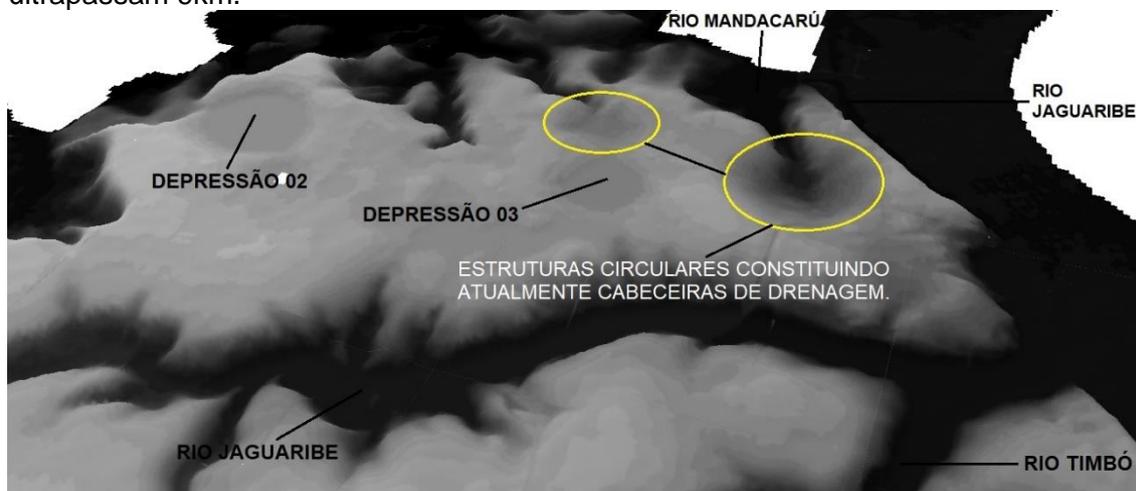
Fonte: Imagem LiDAR. Cedido pela SEPLAN/PMJP.

Figura 28 - recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de feições circulares com morfologia idêntica as depressões fechadas identificadas na área de estudo, localizada na porção sul do município, entre o rio Cuiá e o rio Gramame.



Fonte: Imagem LiDAR. Cedido pela SEPLAN/PMJP.

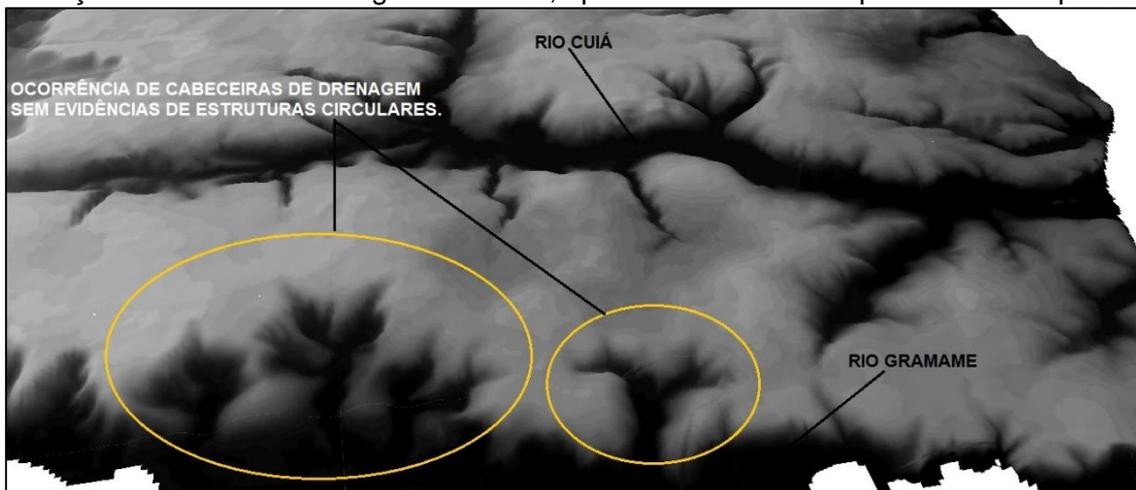
Figura 29 - recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de feições circulares com morfologia idêntica as depressões fechadas identificadas na área de estudo, localizada na porção norte do município, na confluência dos rios Jaguaribe e Mandacarú, tributários do rio Paraíba. A área forma a cabeceira de drenagem do rio Mandacarú, cuja a distância entre a nascente e a desembocadura não ultrapassam 9km.



Fonte: imagem LIDAR. Cedido pela SEPLAN/PMJP.

Também é observado nesse mesmo contexto geomorfológico a ocorrência de cabeceiras de drenagem apresentando morfologia diferenciada (figura 30) em comparação as destacadas nas figuras 28 e 29, demonstrando que sua formação está associada a outros processos geomorfológicos.

Figura 30 - recorte do MDE elaborado para o município de João Pessoa destacando a ocorrência de cabeceiras de drenagem localizadas na porção sul do município, no contexto hidrográfico do rio Gramame. Observar as diferenças morfológicas em relação as feições observadas nas figuras 28 e 29, apesar de sua relativa proximidade espacial.



5.2 Morfometria das Depressões

Os parâmetros morfométricos obtidos para as depressões analisadas são apresentados na Tabela 01. Estas depressões apresentam alto padrão de uniformidade, expresso, sobretudo na correlação dos índices analisados (gráficos 01, 02, 03 e 04) e médio padrão de uniformidade (gráficos 05, 06 e 07).

Verifica-se que o índice área apresenta forte correlação com outros índices morfométricos analisados, tais como o comprimento dos eixos e a amplitude altimétrica. Também foi possível considerar que o processo de coalescência representa etapa evolutiva das referidas feições.

Para além das condições estruturais que se relacionam a gênese das depressões, observa-se no processo de evolução uma clara indicação de que a obliteração de divisores entre duas depressões vizinhas resulta na conseqüente junção das mesmas, criando uma nova feição detentora de formato irregular e sinuoso, seguindo as linhas dos divisores (Figura 31). Essa situação pode ser exemplificada a partir do que se observa na área de estudo nas seguintes situações: ocorrência, em geral, de conjuntos de depressões, estando seus divisores limitados a outras depressões; no formato elíptico e assimétrico (ver tabela 01); na orientação preferencial dos eixos e; pelo alinhamento estrutural das formas.

A padronização das características morfométricas obtidas nessa pesquisa, ou seja, a variação uniforme dos padrões de forma, constitui um fator relevante quanto a evolução morfogenética das feições cársticas presentes na área de estudo, indicando uma íntima relação dos fatores genéticos das áreas que ainda resguardam características de uma depressão fechada, com aquelas que já se encontram em estágio avançado de evolução, formando cabeceiras de drenagem ou anfiteatro.

A análise dos dados indica que todas as depressões apresentam valor de elipsidade maior que 01 (um), o que significa que tais feições exibem forma elíptica, caracterizando depressões poligonais. Essa condição também está relacionada à simetria interna dessas feições, uma vez que seus divisores topográficos ostentam forte irregularidade/sinuosidade, caracterizando formas assimétricas. Tais condições são típicas de áreas originadas por forte controle estrutural.

Tabela 1 - Dados morfométricos das depressões fechadas.

DP	01 (Três lagoas)	02 (Parque Sólton de Lucena)	03 (Av. Epitácio Pessoa)	04 (Distrito Industrial)	05 (Lagoa Antônio Lins)	06 (Gauchinha)	07 (Lagoa do Buracão)	08 (Alto do Matheus)	09 (Jd. Veneza)	10 (Av. Camilo de Holanda)	11 (Via Perimetral Sul)	12 (Geisel)	13 (Via Perimetral Sul)
AR	3,4 km ²	2,1 km ²	801,401 m ²	619,774m ²	407,223 m ²	282,496 m ²	268,699m ²	219,828 m ²	190,642 m ²	97,689 m ²	88,429 m ²	57,447 m	45,332 m ²
PE	8,2 km	6,7 km	3,8 km	3,239 m	2,5 km	2 km	2,199 m	2 km	1,980 m	1,287 m	1,153 m	992 m	841 m
AP	32,08 m	23,336 m	19,467 m	18,856 m	22,582 m	10,718 m	21,081 m	17,427 m	8,4 m	4,4 m	9,3 m	15 m	8,29 m
ATM	54,64 m	51,863 m	44,479 m	45,073 m	53,82 m	41,381m	52,177 m	39,552 m	36,611 m	43,622 m	36,702 m	50 m	35,998 m
ATMI	22,56 m	28,527 m	25,012 m	26,217 m	31,298 m	30,663m	31,096 m	22,125 m	28,134 m	39,198 m	27,449 m	35 m	27,708 m
DM	2,37%	2,19%	2,12%	2,50%	5,66%	3,21%	2,70%	3,98%	2,47%	2,93%	4,20%	4,20%	4,50%
EM	2,665 m	2,359 m	1,375 m	1,148 m	912 m	878 m	812 m	757 m	682 m	409 m	400 m	503 m	304 m
EMO	2,293 m	1,308m	944 m	795 m	707 m	510 m	539 m	382 m	539 m	382 m	342 m	459 m	234 m
ELP	1,16	1,80	1,46	1,44	1,28	1,72	1,5	1,98	1,26	1,07	1,16	1,19	1,3
SI	1,7	2,5	3,9	1,7	4,8	3,1	7,8	3,6	2,4	4,5	2,3	1,8	2,2
P/D	0,017	0,016	0,019	0,02	0,028	0,018	0,046	0,03	0,016	0,012	0,03	0,061	0,036

Abreviações: DP = Depressões; AR = Área; PE = Perímetro; AP = Amplitude; ATM = Altitude máxima; ATMI = Altitude mínima; DM = Declividade média; EM = Eixo maior; EMO = Eixo menor; ELP = Elipsidade; SI = Simetria Interna; P/D = Profundidade x Diâmetro.

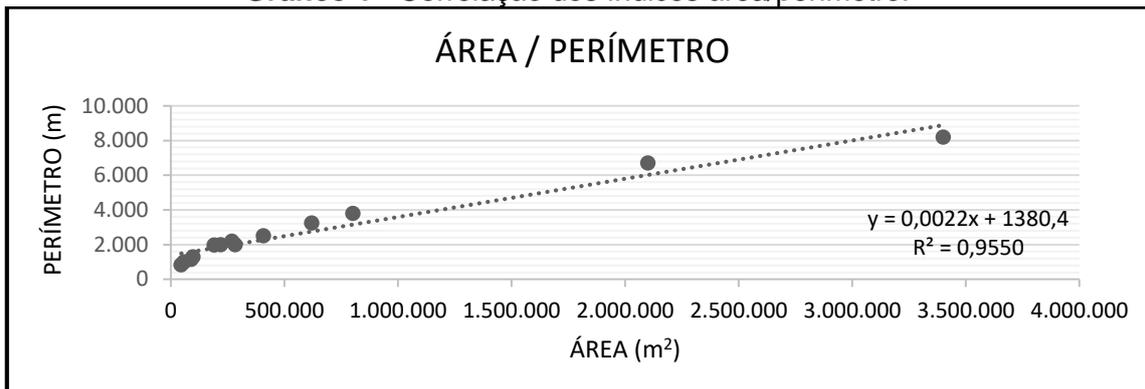
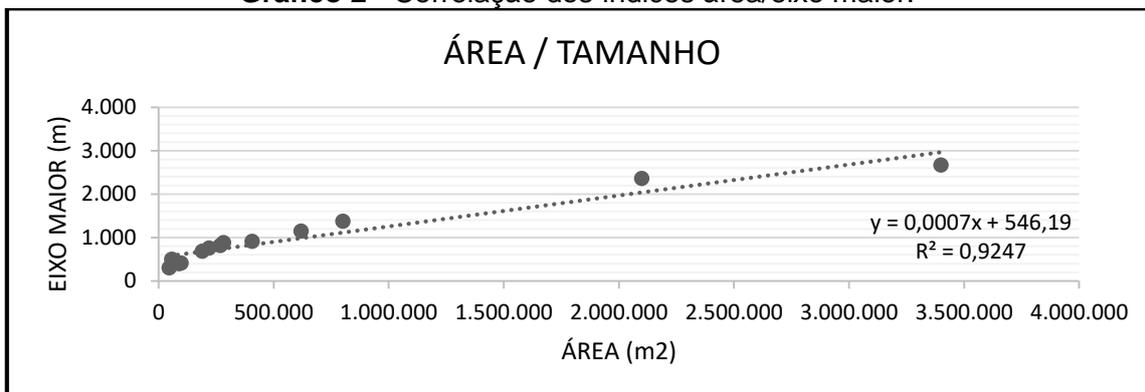
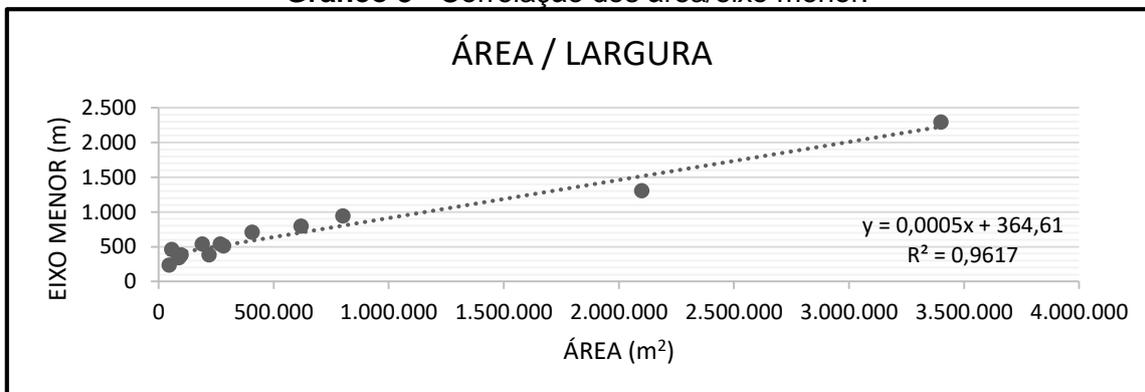
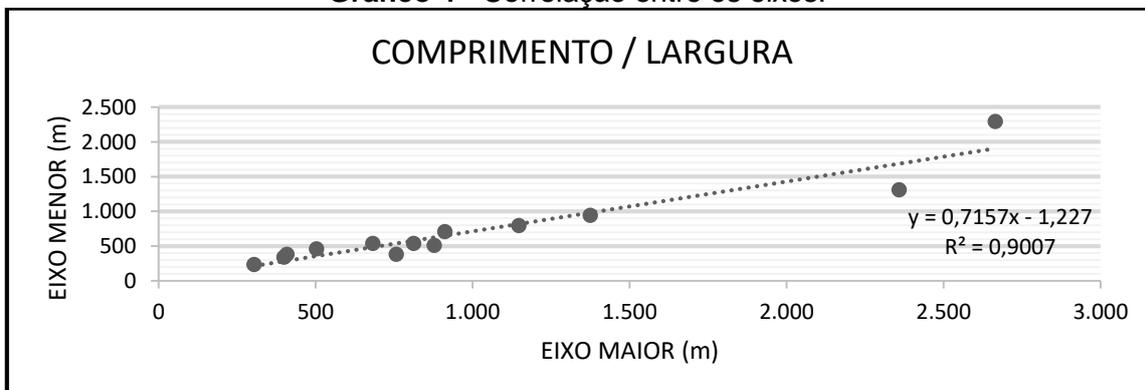
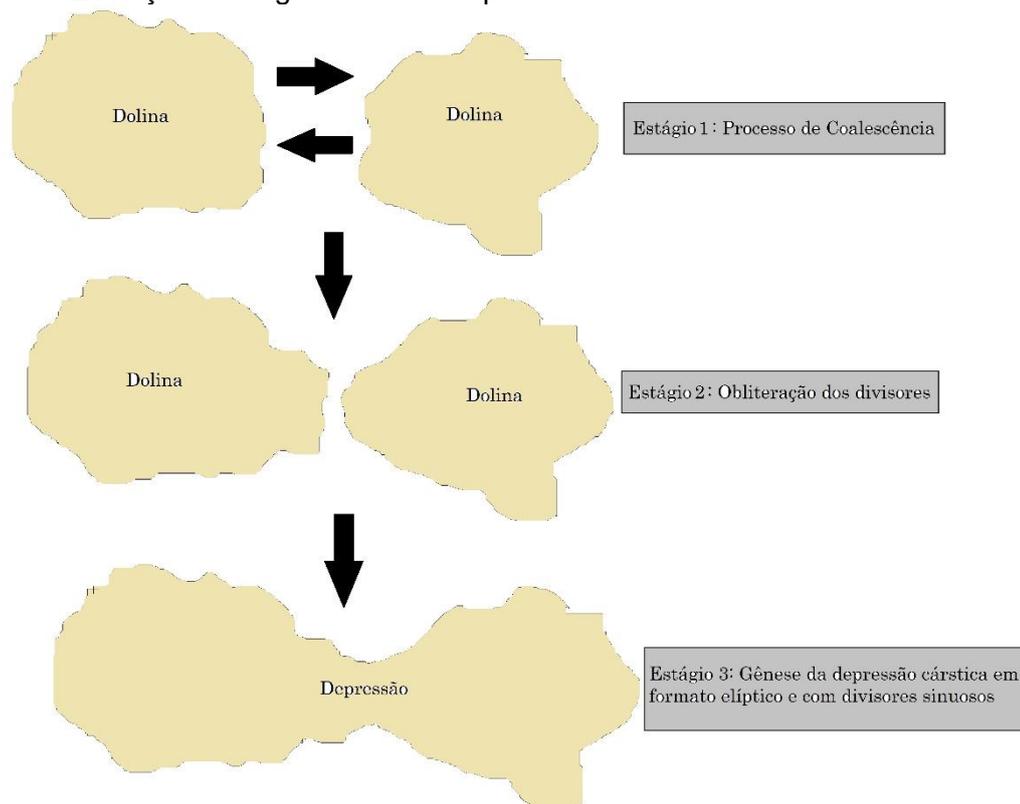
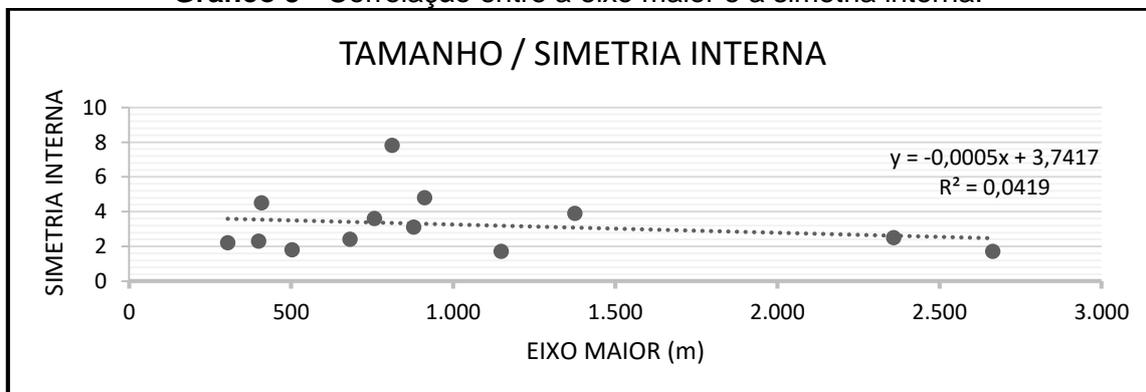
Gráfico 1 - Correlação dos índices área/perímetro.**Gráfico 2 - Correlação dos índices área/eixo maior.****Gráfico 3 - Correlação dos área/eixo menor.****Gráfico 4 - Correlação entre os eixos.**

Figura 31 - Evolução morfológica das depressões fechadas.



A análise da correlação entre a simetria interna e o tamanho das depressões revela que em alguns casos, quanto maior a área, menor será a simetria interna, sendo o contrário também verdade (Gráfico 05), ou seja, a evolução e crescimento dessas formas implica em alteração da sua morfologia. Esse dado apresenta médio nível de correlação, demonstrando que a situação descrita não se aplica exatamente dessa forma em todas as feições estudadas.

Gráfico 5 - Correlação entre a eixo maior e a simetria interna.



Com relação a amplitude altimétrica (variação entre a altitude máxima e a altitude mínima), obteve-se valores oscilantes entre 04 e 32 metros. A maior

amplitude encontra-se na depressão 01 (três lagoas). O gráfico de correlação obtido para esses parâmetros (gráfico 06) revela a existência de forte correlação entre o tamanho e a amplitude altimétrica das depressões. Tal aspecto revela uma tendência evolutiva das depressões expressa no alargamento e aumento da amplitude da forma, ou seja, a evolução morfodinâmica se revela no aumento do desnível entre o topo da superfície e a base. Esse aspecto pode ser confundido com o índice Profundidade/Diâmetro (P/D), conforme o (gráfico 07), que por sua vez indica que a profundidade é inversamente proporcional ao diâmetro das depressões, demonstrando que as formas de menor diâmetro se apresentam obrigatoriamente mais profundas. De fato, há uma relação entre o aumento da profundidade em função da diminuição do diâmetro, porém, a variação do índice P/D se relacionada, sobretudo, com a variação do índice área (diâmetro), e em menor proporção em relação a profundidade, que por sua vez, apresenta pouca variação altimétrica em função do tamanho das depressões.

Gráfico 6 - Correlação dos índices área/amplitude altimétrica.

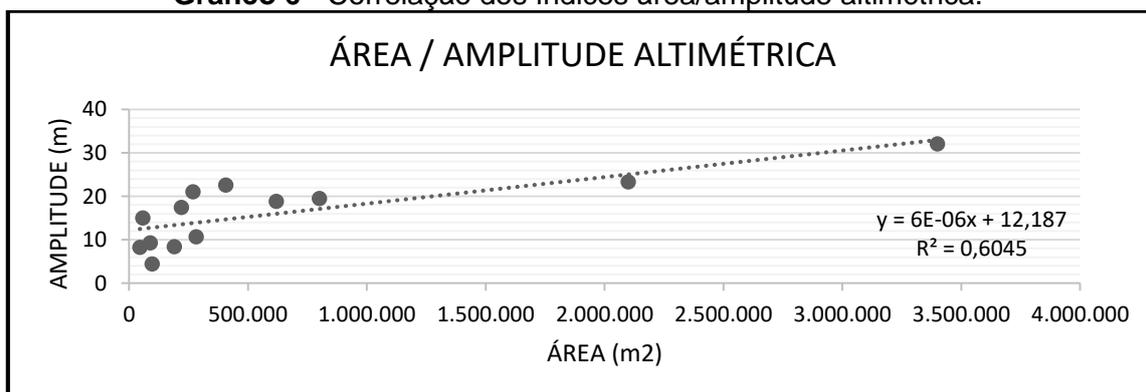
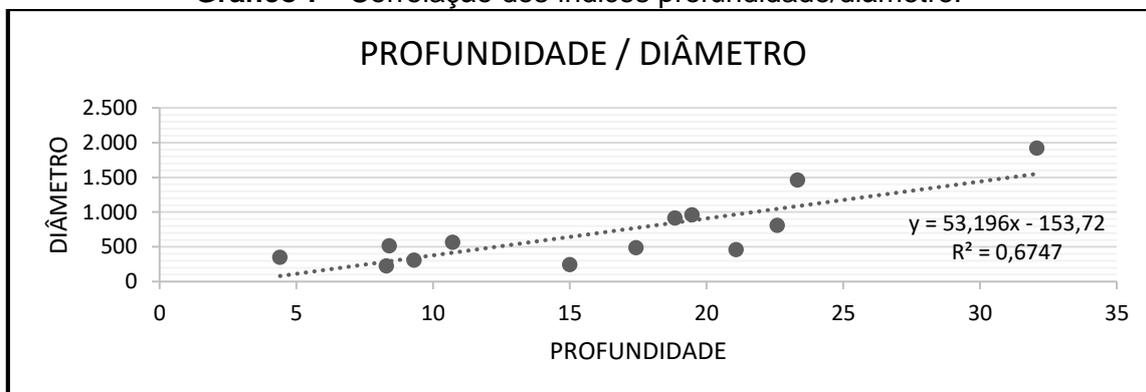


Gráfico 7 - Correlação dos índices profundidade/diâmetro.



Por seu turno, o índice P/D caracteriza, no geral, feições de pouca profundidade e grande extensão, uma vez que os valores obtidos são inferiores

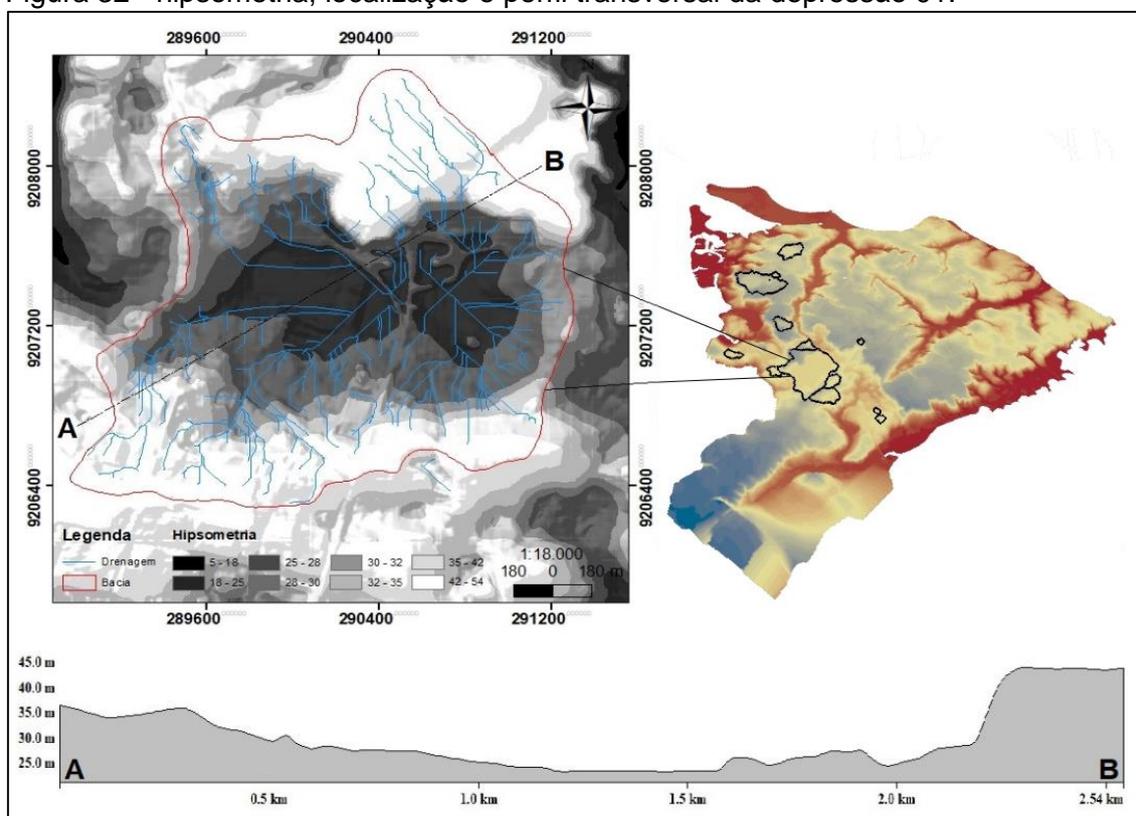
a 1, característico de depressões, dolinas e uvalas originadas por subsidência lenta do terreno, ou seja, a profundidade da feição diminui em função do aumento do seu diâmetro.

Em relação à declividade, as depressões apresentam, de modo geral, declividade suave, em média 2%. No entanto, a depressão 05 (Lagoa Antônio Lins) apresenta a maior média de declividade de todas as feições mapeadas (5,6%).

5.2.1 Depressão 01

A depressão 01 (Três Lagoas) está localizada no bairro de Oitizeiro, zona oeste do município de João Pessoa. Na área de estudo, essa depressão constitui a feição cárstica de maior extensão areal, alcançando aproximadamente 3,4 km² de área e 8,2 km de perímetro (figura 32). No seu interior ocorrem lagoas perenes o ano inteiro, mesmo em períodos de menor pluviosidade, apontando para uma conexão dessas lagoas com o lençol freático (figura 33 e 34).

Figura 32 - hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 01.



Com relação a sua evolução morfogenética, as condições observadas na depressão das três lagoas sugerem ser essa a feição que apresenta o maior estágio de evolução, tendo em vista sua área (maior depressão) e a maior variação altimétrica (32 m), observando estar numa área extravasada, relativamente plana e de baixa altitude em comparação as demais áreas, que por sua vez se encontram no topo dos tabuleiros, num contexto mais elevado. Outro fator relativo a esse aspecto é o índice simetria interna (1,7), que para essa depressão expressa os valores mais próximos de 1 da área de estudo, indicando uma tendência ao alargamento e arredondamento da forma no processo de evolução morfogenética (Figura 31).

Figura 33 - visão aérea da depressão 01. Observar forte alteração da superfície devido a construção do viaduto de Oitizeiro, sendo esse o ponto de cruzamento entre as BR's 101 e 230.



Fonte: Divulgação/Autor desconhecido

Figura 34 - representação aérea da área da depressão 01.



Fonte: Google Earth.

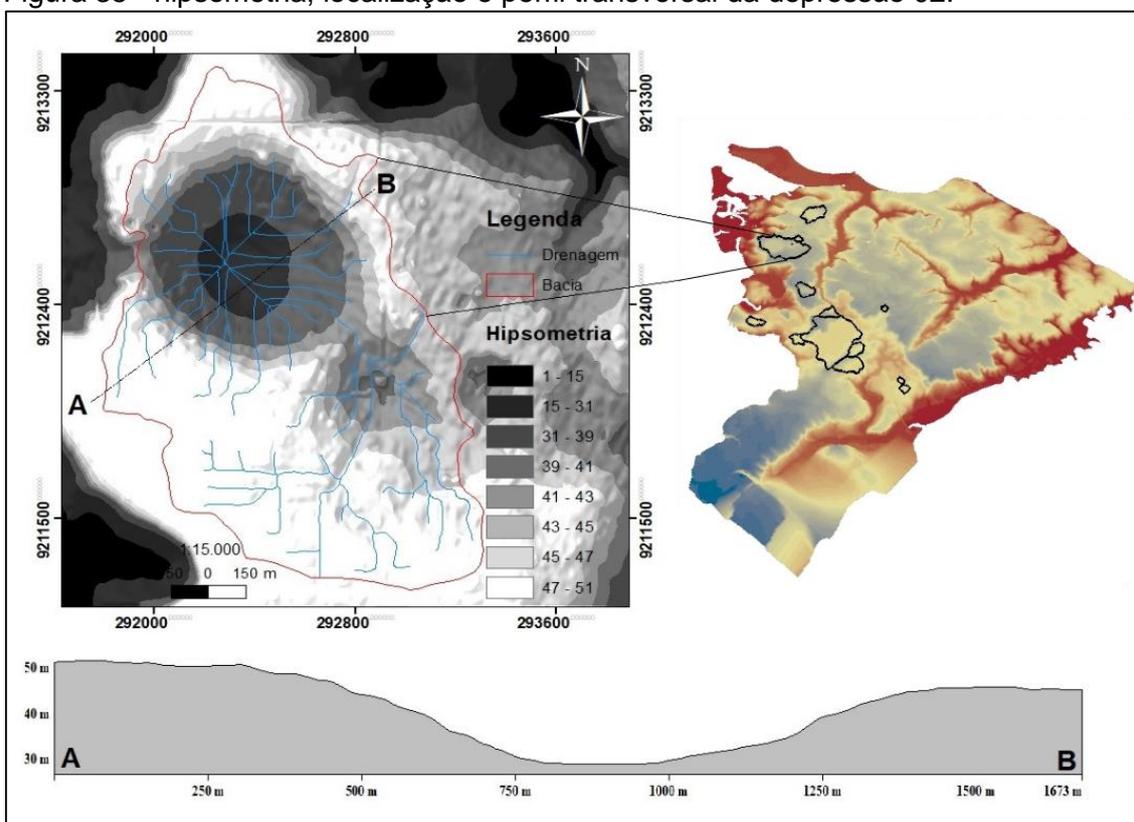
Em alguns pontos é observado a ocorrência de vertentes declivosas próximo aos divisores da bacia. Essa situação ocorre na porção norte, no contato com níveis mais elevados dos tabuleiros costeiros no município de João Pessoa, exatamente onde está localizado o bairro de Oitizeiro.

Conforme característica das depressões, outrora observado, a depressão 01 apresenta uma tendência clara a conexão da sua drenagem com a bacia do rio Jaguaribe a leste e com a bacia do rio Marés a oeste, tendendo a forma de anfiteatro.

5.2.2 Depressão 02

A depressão 02 (figura 35) está localizada no centro da cidade de João Pessoa, numa área denominada como Parque Sólton de Lucena, sendo esta densamente urbanizada (figura 36) e, voltada, sobretudo, para a atividade comercial (figuras 37 e 38). Representa a segunda maior depressão da área de estudo, com aproximadamente 2,1 km² e 6,7 km de perímetro. É observado a presença de água durante o ano inteiro nesta lagoa perene, mesmo no período de menor pluviosidade.

Figura 35 - hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 02.



Os índices morfométricos atribuídos a depressão 02 a coloca numa condição geomorfológica equivalente com a depressão 01, sobretudo no que se refere a relação P/D, a simetria interna, a elipsidade e a declividade média. A amplitude altimétrica atinge aproximadamente 23 metros, numa condição de declividade mais suave (2,19%) em comparação a depressão 01, caracterizando um relevo plano a pouco ondulado. Os desníveis mais significativos ocorrem nos limites topográficos com a bacia hidrográfica do rio Sanhauá, porção noroeste a depressão, observando-se uma tendência ao processo de captura de drenagem e a formação de cabeceira de drenagem nesta porção.

Figura 36 - representação aérea da área da depressão 02.



Fonte: *Google Earth*.

Figura 37 e Figura 38 - Visão aérea da depressão 02. Observa-se a ocupação urbana preferencial para a atividade comercial no contexto do entorno da depressão.



Fonte: Vavá da Luz (2015).

5.2.3 Depressão 03

A depressão 03 (figura 39) está localizada entre o bairro dos Estados e o bairro da Torre, inserida na porção norte do município de João Pessoa. Representa uma área fortemente alterada pelo processo de urbanização, predominando a ocupação residencial paralela a atividade comercial, o que lhe confere a ocorrência de um elevado nível de impermeabilização do solo (figura 40).

Figura 39 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 03.

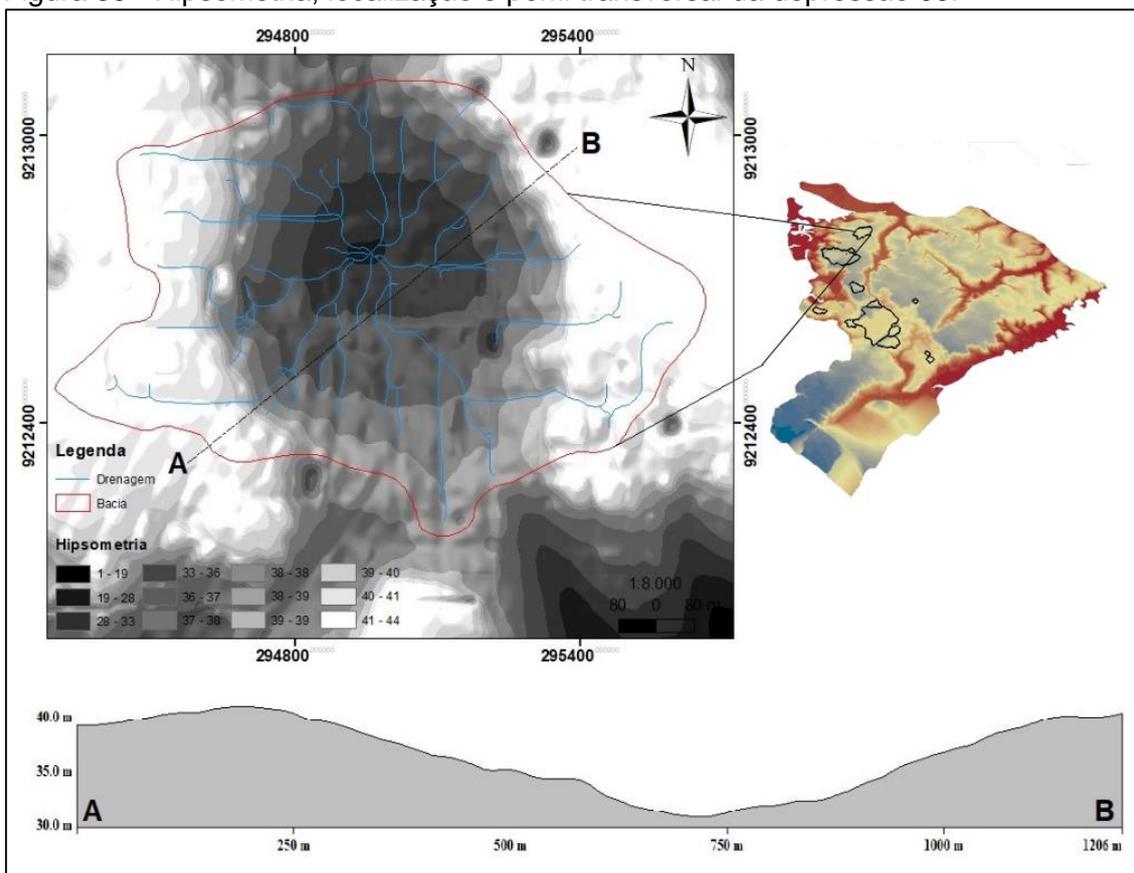
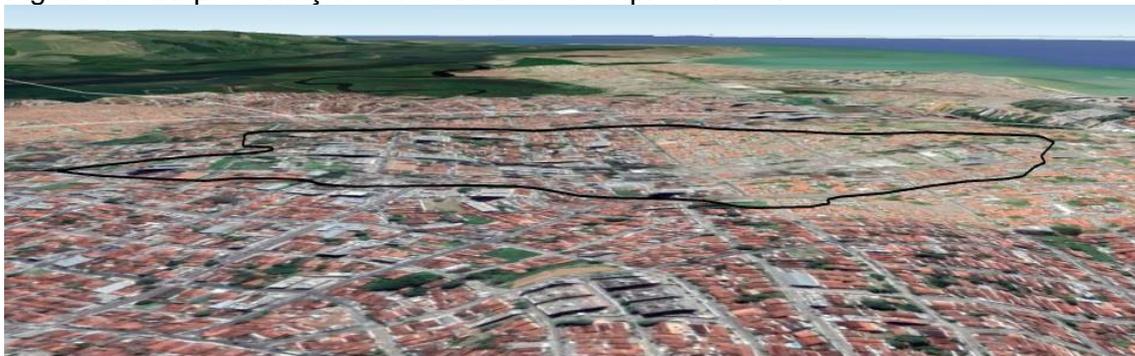


Figura 40 - Representação aérea da área da depressão 03.



Fonte: Google Earth

Essa depressão apresenta um claro alinhamento E-W com a depressão 02 e com outras feições nas suas proximidades, cuja forma resguarda aparência de antigas depressões cársticas, que no processo de evolução tiveram sua drenagem capturada e atualmente configuram cabeceiras de drenagem, como demonstrado na (figura 29). Sua área de ocorrência também se insere no contexto da dinâmica fluvial do rio Paraíba.

Sua extensão areal é de aproximadamente 801.401 m² e perímetro equivalente a 3.8 km. Apresenta a menor média de declividade entre todas as demais depressões (2,12%) e a menor amplitude altimétrica, aproximadamente 19m. A relação P/D (0,019) está no mesmo padrão apresentado pelas depressões 01 e 02, assim como os índices elipsidade (1,46) e simetria interna (3,9), caracterizando uma feição extensa e de pouca profundidade, elíptica com divisores sinuosos. A harmonia do relevo plano suavemente ondulado só é perturbada nas porções norte nos limites com a bacia do rio Paraíba e sul nos limites com a bacia do rio Jaguaribe, onde observa-se a ocorrência de declividades mais acentuadas e uma tendência a conexão das drenagens da depressão com a bacia fluvial.

5.2.4 Depressão 04

A depressão 04 está inserida no Distrito Industrial de João Pessoa, sendo ocupada, predominantemente por edificações voltadas para o desenvolvimento de atividades do setor industrial (figura 41, 42 e 43).

Essa área apresenta extensão areal correspondendo a 619.774 m² e perímetro equivalente a 3.239 m. De modo geral, representa uma superfície relativamente plana em sua maior parte, com declives suaves, em média 2,5%, inclinados em direção a base, que por sua vez apresenta-se de forma achatada; forma elíptica e sinuosidade assimétrica; amplitude altimétrica correspondente a aproximadamente 18m e relação P/D mediana, na casa de 0,020.

Sua proximidade com a depressão 01 indica uma clara possibilidade de coalescência e junção dessas duas áreas, tendo em vista a característica morfogenética observada na área de estudo.

Figura 41 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 04.

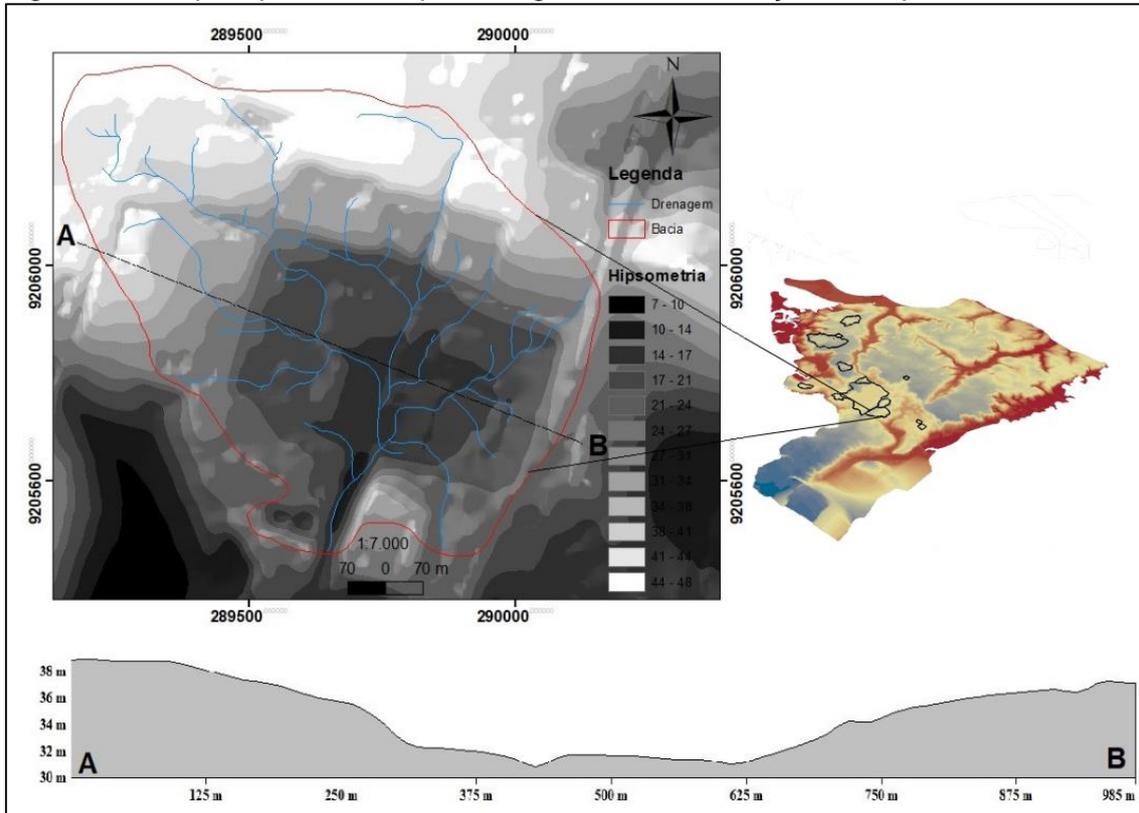
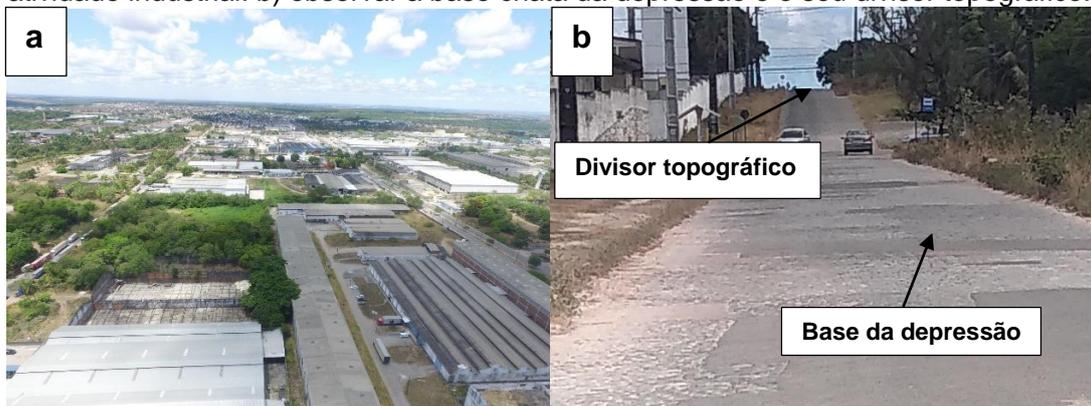


Figura 42 - Representação aérea da área da depressão 04.



Fonte: Google Earth.

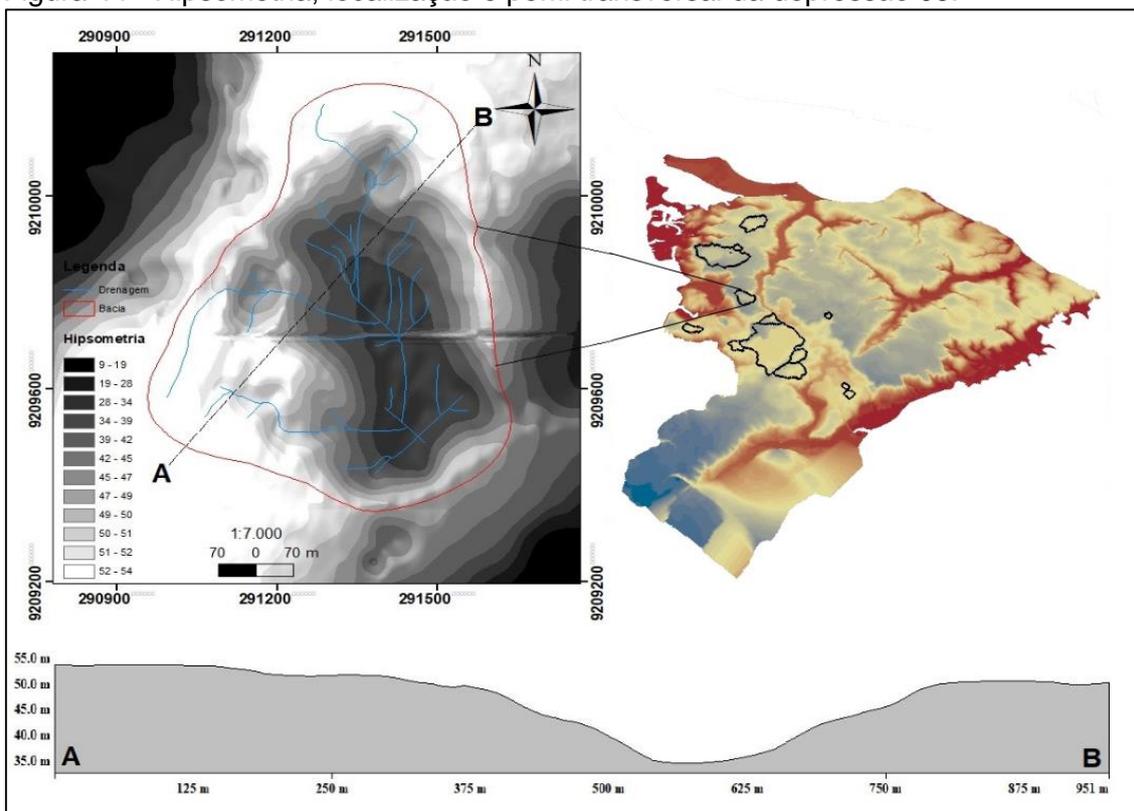
Figura 43 - Imagens da depressão 04. a) visão aérea destacando a ocupação voltada para a atividade industrial. b) observar a base chata da depressão e o seu divisor topográfico.



5.2.5 Depressão 05

A depressão 05 é conhecida popularmente como lagoa Antônio Lins, está localizada no bairro de Cruz das Armas (figuras 44, 45 e 46). Apesar de ser denominada de lagoa, a área não apresenta atualmente a ocorrência de fluxo perene, devido, sobretudo ao despejo de aterramento oriundo do processo de ocupação urbana. Está inserida na porção interfluvial interposta entre os rios Jaguaribe e da Graça.

Figura 44 - Hipsometria, localização e perfil transversal da depressão 05.



Em relação aos índices morfométricos essa depressão apresenta valor de área correspondente a (407.223 m²); perímetro (2,5 km); elipsidade (1,28); simetria interna (4,8); declividade média (5,66%) e; amplitude altimétrica (22,5 m). Os divisores topográficos apresentam-se pronunciados, sendo facilmente identificados na paisagem.

Essa depressão apresenta, em relação as demais, índices significativos relativos à declividade média, simetria interna e amplitude altimétrica, o que lhe confere aspectos relativamente distintos da maioria das feições mapeadas, que no geral apresentam declividade suave e baixa amplitude altimétrica. Desse

modo, é possível afirmar que do ponto de vista morfogenético essa é uma das áreas de menor estágio evolutivo, onde os processos morfodinâmicos estão mais ativos.

Figura 45 - Representação aérea da área da depressão 05.



Fonte: Google Earth.

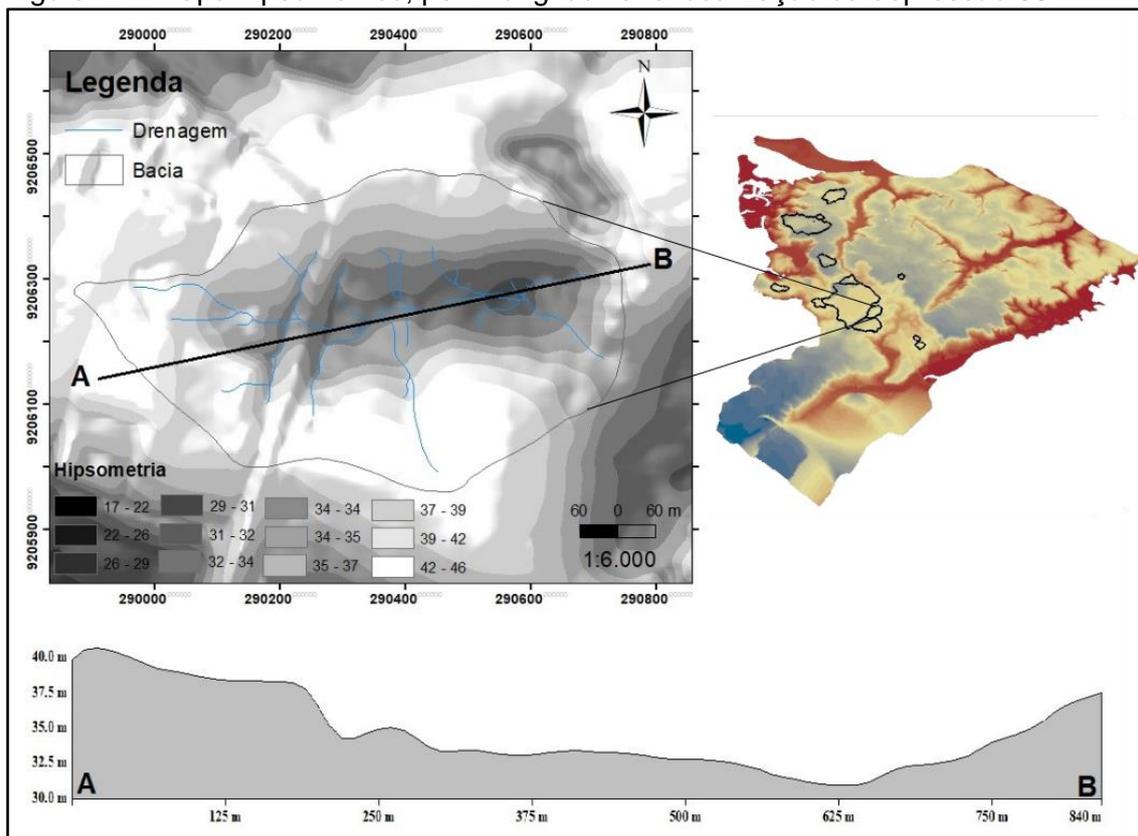
Figura 46 - Ocupação urbana na depressão 05.



5.2.6 Depressão 06

A depressão 06 está localizada aos arredores da depressão 01, numa localidade denominada Gauchinha, as margens da BR 101, Distrito Industrial de João Pessoa, onde predomina uma ocupação heterogênea, alternando entre residências, áreas de lazer, atividade comercial e serviços (figura 47).

Figura 47 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 06.



Na figura 48 A e B é possível observar a convergência de efluentes para o centro da depressão originados das variadas atividades antrópicas desenvolvidas na área, sendo essa uma área fortemente urbanizada (figura 49). Esta situação constitui um fator potencializador dos processos cársticos, uma vez que os efluentes acidificam a água que percola as rochas subjacentes, majorando sua carstificação, constituindo um fator de risco.

Nessa área não ocorre formação de lagoa perene. No entanto, conforme verificado em campo e como observado na figura 48 C, ocorre a concentração do fluxo no centro da depressão, denotando ser esse o ponto de conexão entre a superfície e subsuperfície, indicando haver nesse ponto um possível processo de dissolução das rochas subjacente.

Os dados morfométricos dessa feição são indicados pelos seguintes valores: área (282.496 m²); perímetro equivalente a 2 km; amplitude altimétrica 10m e; declividade média equivalente a (3,21%). Com relação a sua morfologia essa feição apresenta forma elíptica (1,72) e simetria interna equivalente (3,1), o que a coloca na condição de uma forma irregular, característica marcante nas feições estudadas (figuras 47 e 49).

Figura 48 - visão panorâmica da porção areal da depressão 06. A) e B) convergência de efluentes para o centro da depressão; C) concentração de fluxo no centro da depressão.



Figura 49 - Representação aérea da área da depressão 06.

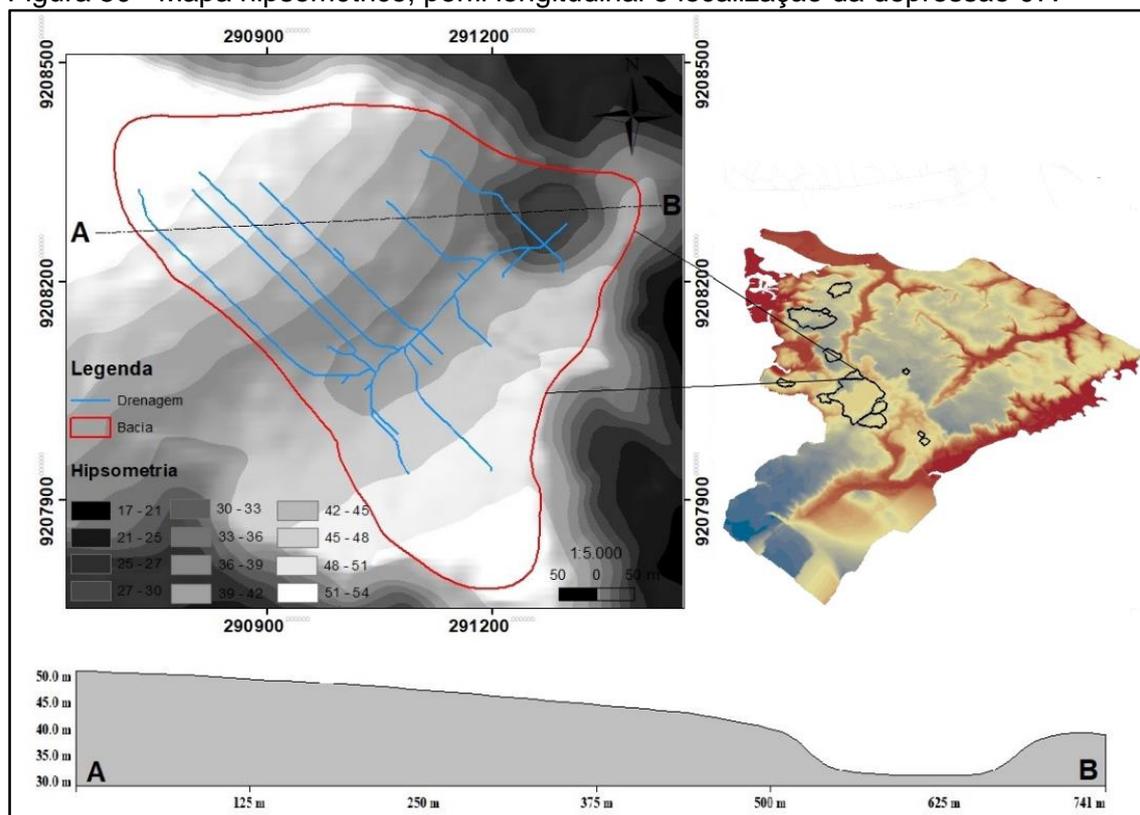


Fonte: Google Earth.

5.2.7 Depressão 07

A depressão 07 está localizada no bairro Funcionários I, tendo como forma mais reconhecida uma lagoa popularmente denominada de Lagoa do Buracão (Figura 50 e 51). Observa-se nessa área o predomínio da ocupação urbana residencial, além do desenvolvimento da atividade comercial (figura 52).

Figura 50 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 07.



A área da bacia apresenta-se relativamente extensa, aproximadamente 268.699 m^2 e 2.199 m de perímetro. A amplitude altimétrica corresponde a aproximadamente 52 m . Mesmo assim, a declividade média apresenta-se relativamente baixa, ocorrendo de modo mais acentuado nas proximidades da Lagoa do Buracão. Esse fato se deve a grande extensão areal da bacia de drenagem no contexto da área de estudo, associada a declividade acentuada apenas no contexto da referida lagoa.

A morfologia e morfometria desta área apresenta a ocorrência de uma bacia em forma de triângulo, denotando um formato elíptico (1,50), de acentuada simetria interna (7,8). A drenagem superficial apresenta-se de forma

relativamente retilínea, havendo convergência de fluxo para uma área mais rebaixada, que por sua vez atua como um canal de captação, de onde o fluxo é direcionado para dentro da lagoa. A morfologia dessa área de captação de fluxo indica ser esse ponto de conexão da referida depressão com a depressão 01 e o rio Jaguaribe, tendo em vista o processo de evolução morfogenética das depressões fechadas, conforme pode ser observado na figura 53. É encontrado uma relação P/D que coloca essa feição numa situação de grande extensão areal e grande amplitude altimétrica (21m).

Figura 51 - Representação aérea da área da depressão 07.

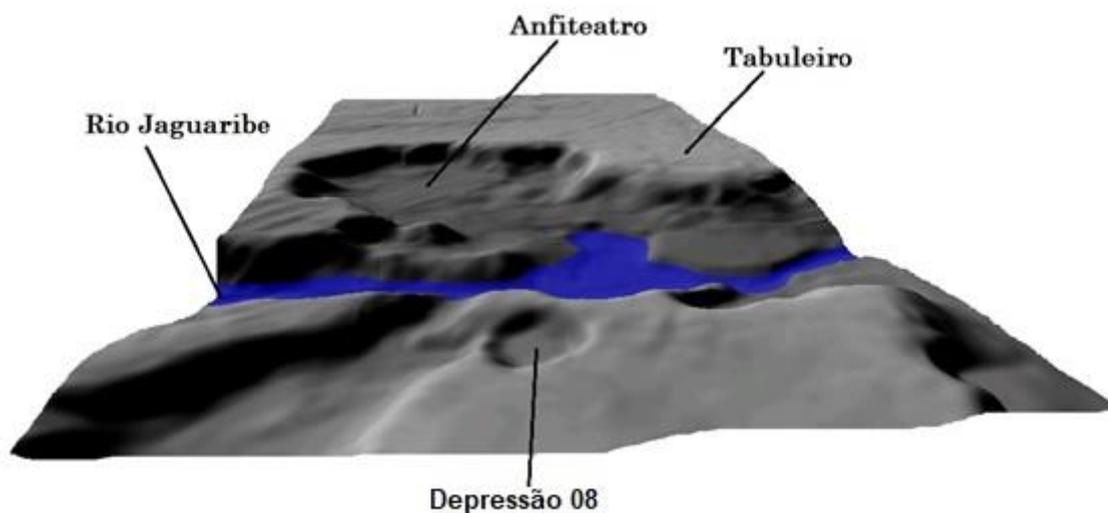


Fonte: Google Earth.

Figura 52 - Visão panorâmica da lagoa do buracão. Observar o forte processo de eutrofização da lagoa, o que indica a presença de poluentes em suas águas.



Figura 53 - Recorte do modelo de elevação em 3D destacando a superfície de ocorrência da depressão 07.



Fonte: imagem LIDAR. Cedido pela SEPLAN/PMJP.

5.2.8 Depressão 08

A depressão 08 está localizada no bairro Alto do Mateus, zona oeste do município de João Pessoa. Nesta área, observa-se predomínio de ocupação residencial, com forte processo de impermeabilização do solo, devido ao forte adensamento de edificações e ao fato de estarem a maioria das vias asfaltadas ou calçadas (figura 54). A exceção está na ocorrência de um campo de futebol exatamente no ponto de convergência de fluxo da bacia, caracterizando-se como um sumidouro. Devido ao processo urbanização essas feições apresentam-se fortemente descaracterizadas, resguardadas apenas as linhas de divisores e os desníveis topográficos (figura 55).

Na figura 56 é apresentada a hipsometria, localização e perfil topográfico da depressão 08. Nessa representação da área é possível verificar que o processo de evolução morfológica segue o mesmo padrão das demais áreas descritas, havendo a tendência a formação de cabeceira de drenagem em direção a drenagem fluvial a sudoeste da bacia, além da ocorrência de uma superfície a leste da bacia que resguarda características de uma depressão fechada, que nessa caso já se encontra capturada pela drenagem fluvial, uma vez que essa área está inserida na porção interfluvial entre a bacia do rio Marés e a bacia do rio da Graça, afluentes do rio Paraíba do Norte. Desse modo, é

observado uma tendência a coalescência dessas áreas através do extravasamento dos seus divisores e conexão das drenagens.

Figura 54 - Visão da área da depressão 08. a) visualização de base e divisor topográfico em segundo plano; b) visão panorâmica da área da depressão.

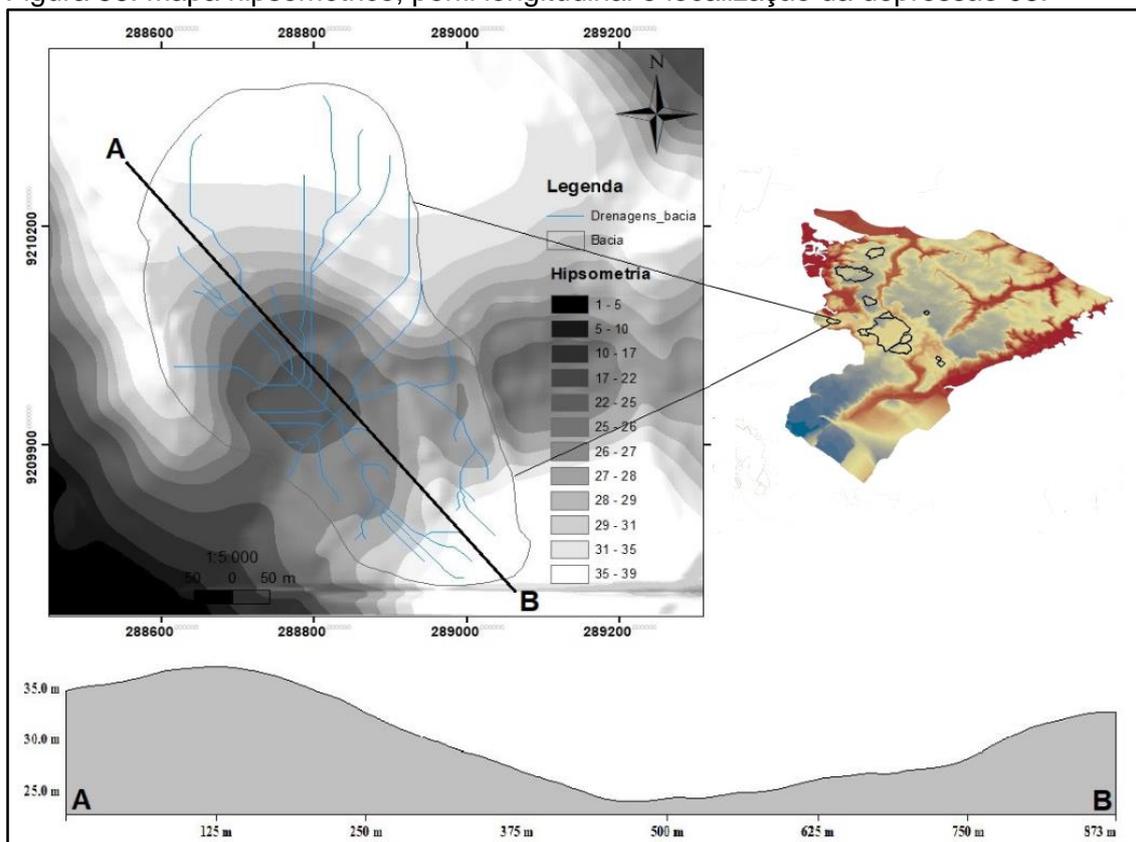


Figura 55 - Representação aérea da área da depressão 09.



Fonte: Google Earth.

Figura 56: Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 08.



É importante ressaltar que as questões morfológicas que caracterizam essa área comprovam as evidências estruturais destacadas nessa pesquisa para a formação de feições cársticas e sua evolução morfológica. Conforme destacado no tópico que trata dos aspectos estruturais e morfológicos, a ocorrência de depressões fechadas obedece a orientação das linhas de falhas.

Evidenciou-se o alinhamento E-W entre a depressão 08 e a depressão 05 (figura 26), além de haver entre estas feições a ocorrência de superfícies extravasadas que resguardam feições doliniformes (figura 56), cujo processo erosivo obliterou seus divisores, conectando a drenagem da antiga bacia com a drenagem fluvial.

5.2.9 Depressão 09

A depressão 09 está inserida no bairro Jardim Veneza, na comunidade denominada Nova Trindade, numa área predominantemente residencial, havendo também a ocorrência de galpões para armazenamento de produtos industriais (figuras 57, 58 e 59).

Os dados morfométricos obtidos para essa área revelam ser essa uma depressão relativamente pequena, de aproximadamente 190.642 m² e 1.980 m de perímetro. Apresenta uma superfície com declividade suaves, em média 2,4% e amplitude altimétrica em torno de 8,4 m. Esse contexto também é observado no perfil longitudinal e na relação P/D, que por seu turno apresenta baixa valor. Assim como todas as outras formas já discutidas, a depressão 09 apresenta forma elíptica (1,26) e assimétrica (2,4).

Assim como observado na depressão 12, essa área também passou por processo de aterramento de uma lagoa que ocorria no interior da bacia, com o objetivo de propiciar a ocupação da área, que está dentro de uma propriedade particular e atualmente encontra-se ocupada por edificações utilizadas para armazenamento de produtos industriais, sobretudo móveis e medicamentos. Imagens de satélite capturadas no ano de 2008 atestam a ocorrência dessa lagoa (figura 60). Imagens capturadas no ano de 2012 já demonstram a inexistência de lagoa e a consequente ocupação da área (figura 61).

Figura 57 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 09.

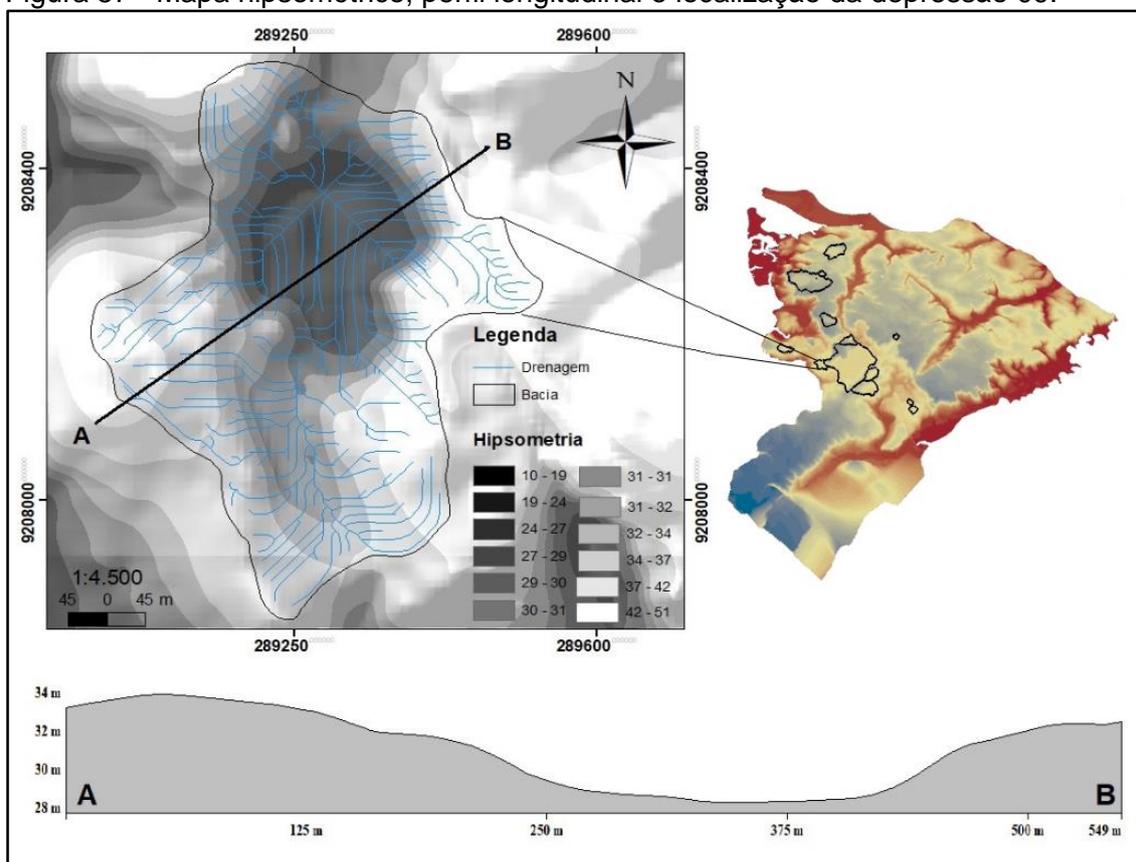


Figura 58 - Representação aérea da área da depressão 09.



Fonte: Google Earth.

Essa depressão faz limite topográfico com a depressão 01 e com a bacia do rio Marés. Desse modo, é observado no mapa hipsométrico três orientações preferenciais de captura de drenagem para essa área, sendo uma no sentido WNW-SSE em direção a depressão 01, outra no sentido N-S em direção ao rio Marés e a outra no sentido W-E também em direção a bacia do rio Marés.

Figura 59 - Vista da área da depressão 09. a) Edificação do quartel do corpo de bombeiros do estado da Paraíba; b) Visão panorâmica da área com destaque para os galpões que se sobrepõem a lagoa soterrada.



Figura 60 - Ocorrência de lagoa no interior da depressão 09 registrada em imagem de satélite capturada no de 2008.



Fonte: SEPLAN/PMJP.

Figura 61 - Representação da área da depressão 09 após o soterramento da lagoa registrada em imagem de satélite capturada no de 2012.



Fonte: Google Earth.

5.2.10 Depressão 10

A depressão 10 está inserida no centro urbano do município de João Pessoa, fazendo limite com a depressão 02 (figura 62, 63 e 64). Sua área de ocorrência apresenta predominantemente o desenvolvimento de atividades comerciais, além da ocorrência menos expressiva de ocupação urbana residencial.

Os dados morfométricos apontam para uma feição com área correspondendo a aproximadamente 97.689 m^2 e perímetro equivalente a 1.287 m . A análise superficial e do perfil longitudinal demonstra a ocorrência de uma superfície com baixa declividade, correspondendo a $2,93\%$ e apenas $4,4 \text{ m}$ de amplitude altimétrica; relação P/D baixa ($0,012$) tendo em vista a pequena extensão da área e da baixa amplitude altimétrica. Além desses parâmetros, ressalta-se também formato elíptico e sinuoso dessa depressão.

Figura 62 - Mapa hipsométrico, perfil longitudinal e localização da depressão 10.

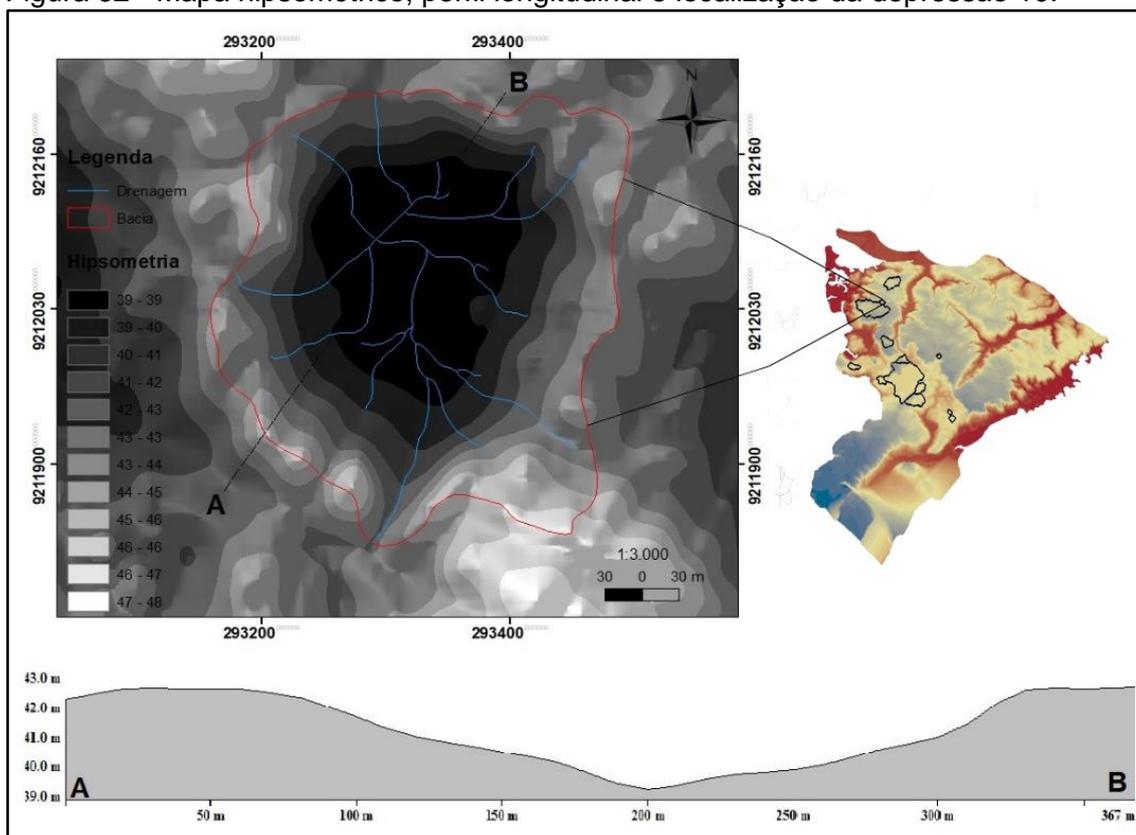
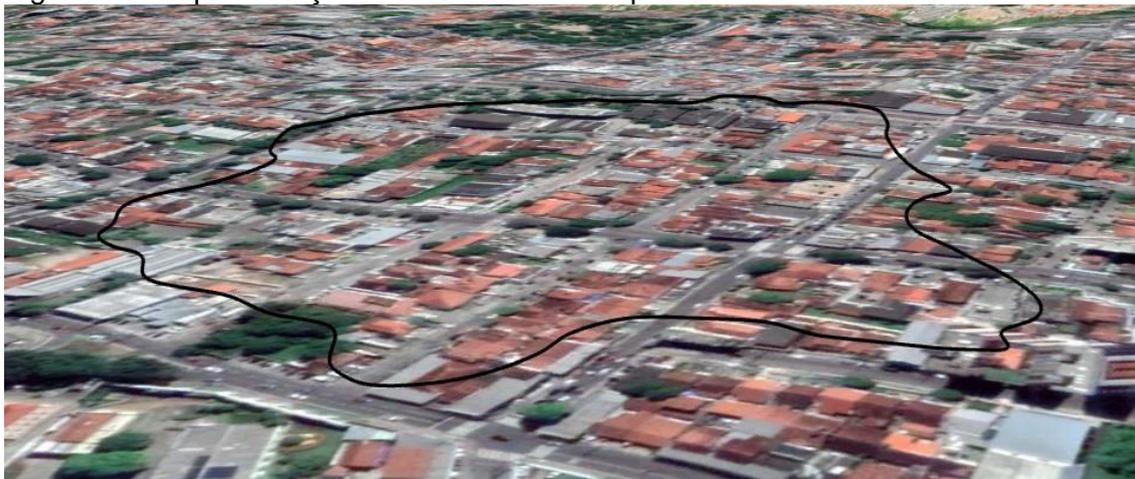


Figura 63 - Representação aérea da área da depressão 10.



Fonte: *Google Earth*.

De modo geral, com base nas características morfogenéticas observadas na área de estudo, verifica-se que a depressão 02 e a depressão 10 tendem a coalescer e formar uma única depressão cárstica. Esse aspecto pode ser observado na área dos divisores entre as duas formas mencionadas, onde a depressão 02 apresenta formato alongado e retangular, indicando que essa porção representa a captura de antiga depressão menor, caracterizando uma sub-depressão.

Figura 64 - imagens da depressão 10.



5.2.11 Depressões 11 e 13

A descrição das depressões 11 e 13 foi realizada no mesmo tópico por constituírem áreas vizinhas, inseridas entre o Distrito Industrial de João Pessoa e o bairro Gramame, numa área que apresenta além da atividade industrial, pequenos espaços voltados para a atividade agrícola.

A depressão 11 (figuras 65, 66 e 67) encontra-se ocupada predominantemente pela atividade agrícola. Apresenta valores relativos aos índices área (88.429 m^2) e perímetro (1.153 m) equivalentes ao dobro dos valores obtidos para a depressão 13.

Figura 65 - Mapa hipsométrico e localização da depressão 11.

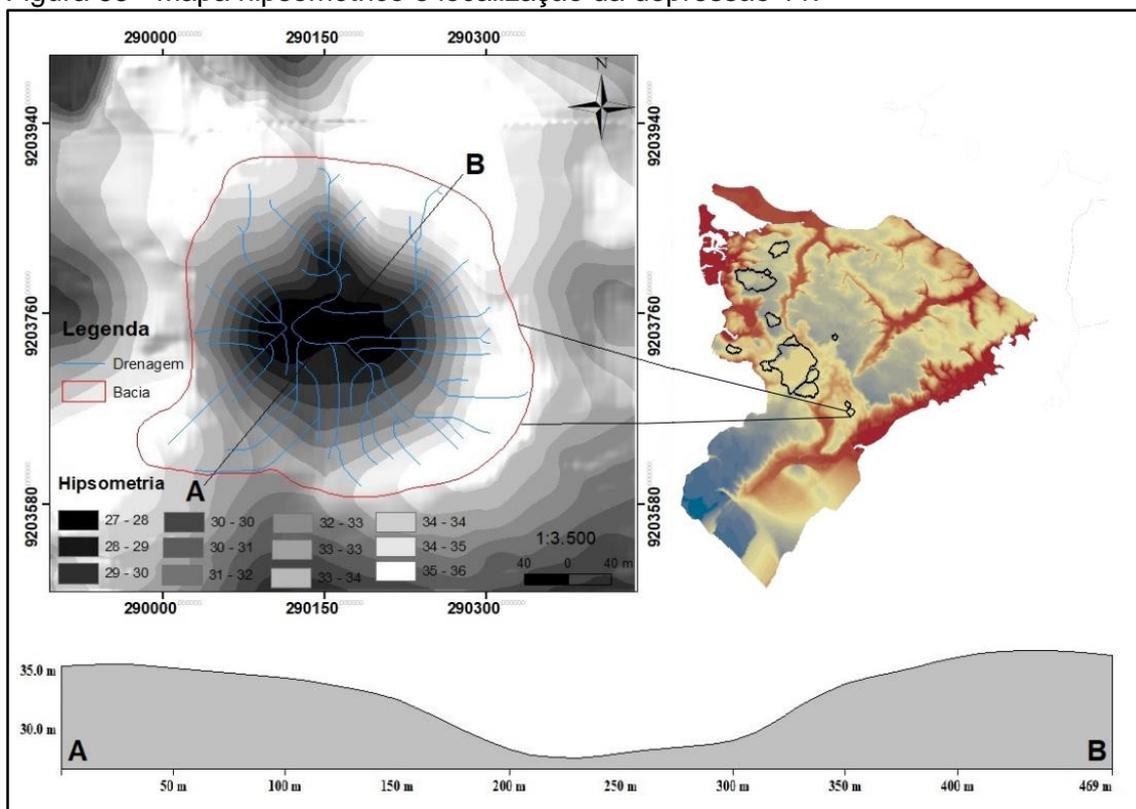


Figura 66 - Representação aérea da área da depressão 11.



Fonte: Google Earth.

Figura 67 - a) e b) área destinada ao desenvolvimento da atividade agrícola na depressão 11. c) plantio de agricultura de subsistência.



Na depressão 13 (figura 68 e 69) o espaço apresenta-se ocupado predominantemente por estruturas voltadas para a prática esportiva (campos de futebol) (figura 70a). Observa-se também o desenvolvimento da atividade agropecuária, havendo a presença de pastos e plantações de culturas agrícolas (figura 70b).

Os índices morfométricos obtidos para a depressão 13 a colocam na condição da feição de menor extensão areal de toda a área de estudo, aproximadamente 45.332 m² e perímetro equivalente a 841m. A amplitude

altimétrica 8,29m e declividade média entorno de 4,5%, lhe confere um formato superficial suavemente ondulada. No tocante a simetria interna, elipsidade e relação P/D, a referida depressão resguarda o caráter assimétrico elíptico, de pouca profundidade.

Figura 68 - Mapa hipsométrico e localização da depressão 13.

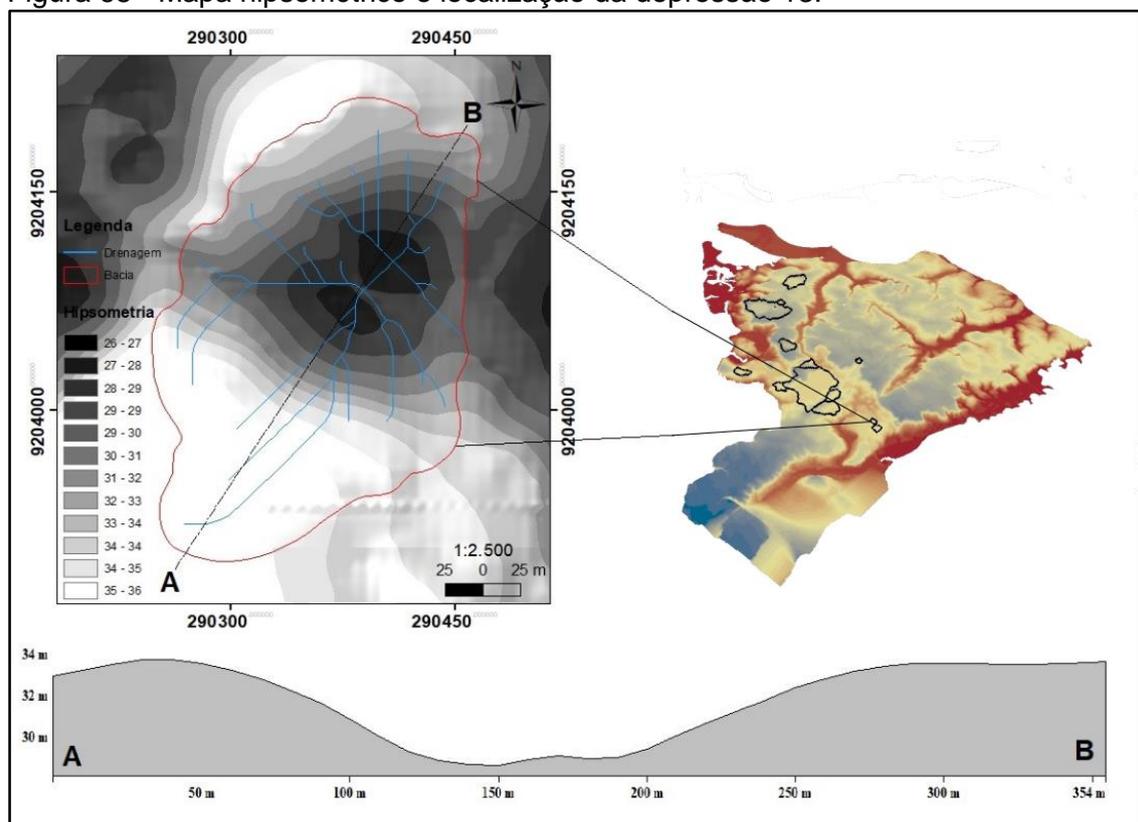


Figura 69 - Representação aérea da área da depressão 13.



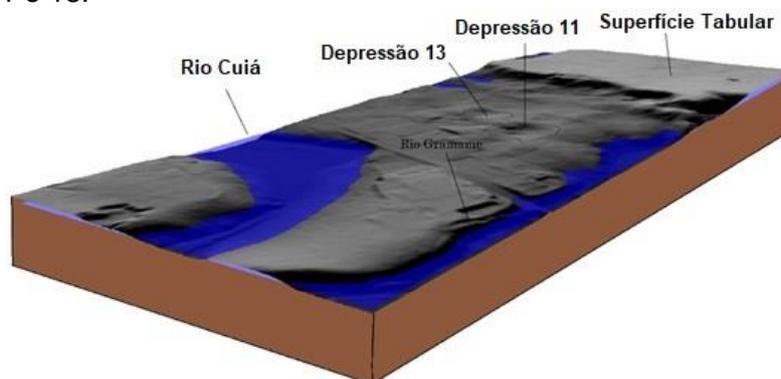
Fonte: Google Earth.

Figura 70 - Tipos de ocupação no contexto da depressão 13. a) campo de futebol; b) evidências da atividade agropecuária.



As referidas depressões fechadas ocorrem no domínio interfluvial, no contexto das bacias hidrográficas dos rios Cuiá e Gramame, numa superfície relativamente rebaixada em relação ao seu entorno tabular (figura 71).

Figura 71 - Recorte do modelo de elevação destacando a superfície de ocorrência das depressões 11 e 13.

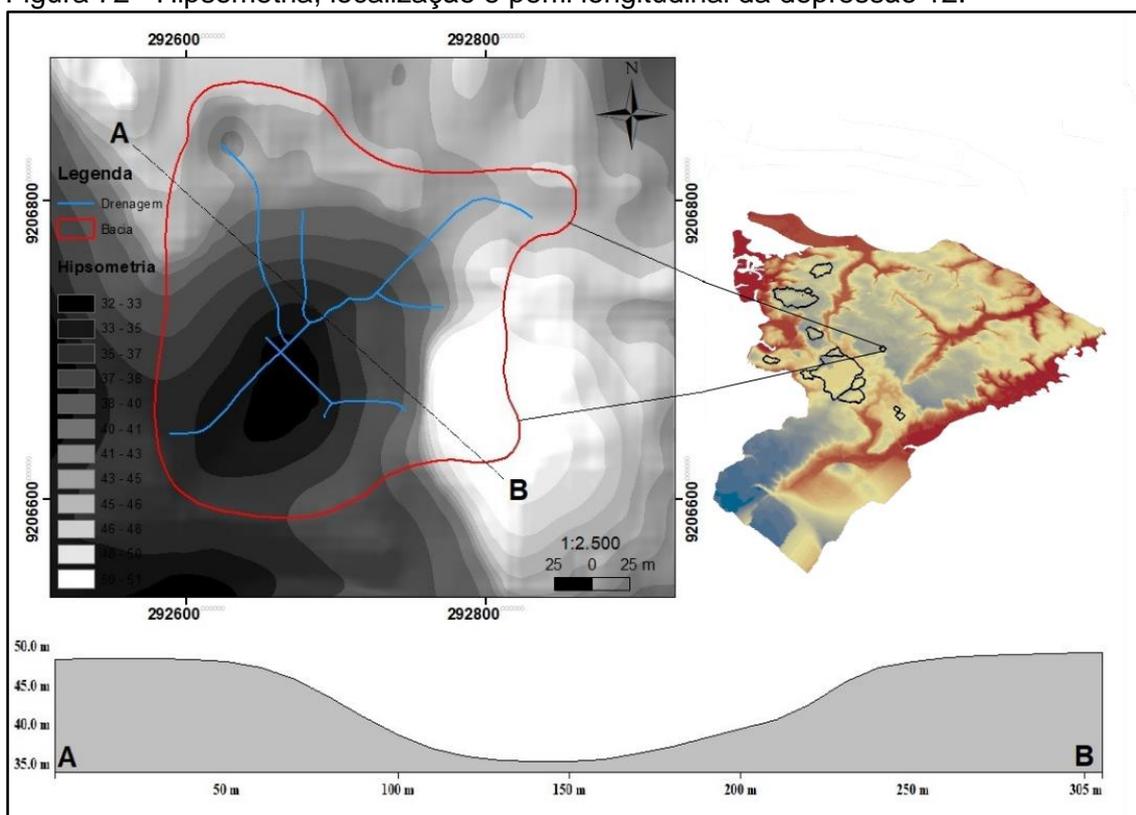


Fonte: imagem LiDAR. Cedido pela SEPLAN/PMJP.

5.2.12 Depressão 12

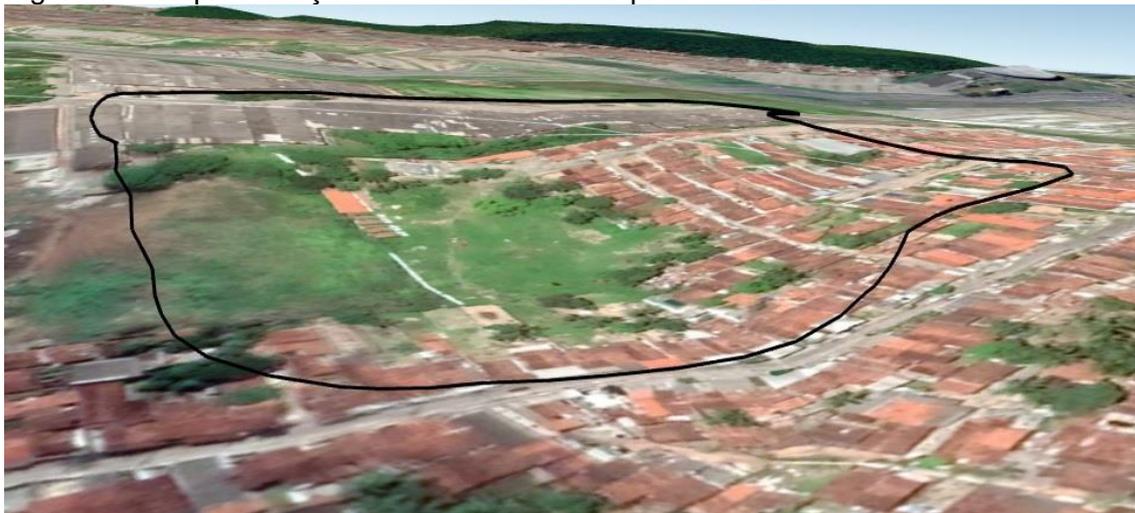
A depressão 12 (figura 72 e 73) está inserida num contexto urbano residencial, apesar de ser encontrada no seu interior o galpão de uma fábrica (Brastex S.A). Está localizada entre os bairros Ernesto Geisel e João Paulo II, numa comunidade denominada Citex. Como já descrito anteriormente, essa depressão apresentava a ocorrência de uma lagoa até meados do ano 2010, quando devido aos recorrentes episódios de enchente, a prefeitura municipal de João Pessoa promoveu o aterramento dessa área, no intuito de mitigar o problema e propiciar a ocupação residencial. Na (figura 74) é observado a ocorrência dessa lagoa em imagem de satélite capturada no ano de 2005. Na (figura 75) é apresentado a situação superficial atual após o soterramento da lagoa.

Figura 72 - Hipsometria, localização e perfil longitudinal da depressão 12.



O aspecto morfológico dessa depressão apresenta resultado de processo erosivo acentuado, decorrendo na formação de uma superfície extravasada na porção sudoeste da bacia, coincidindo com a orientação (NE-SW) do eixo maior. Essa condição demonstra um forte condicionamento estrutural na evolução morfogenética desta forma.

Figura 73 - Representação aérea da área da depressão 12.



Fonte: Google Earth.

Figura 74 - Ocorrência de lagoa no interior da depressão 12 em imagem de satélite capturada no ano de 2005.



Fonte: Secretaria de Planejamento – SEPLAN/PMJP.

Em relação aos índices morfométricos, a referida depressão apresenta-se como a segunda menor área estudada, com aproximadamente 57.447 m² de área e 992 m de perímetro. A amplitude altimétrica de 15 m a coloca numa condição mediana dentre as demais áreas quanto a esse índice. No entanto, apresenta a maior média de declividade (4,7%) e o maior valor para a relação P/D (0,061), demonstrando ser uma depressão relativamente pequena e com

forte contraste altimétrico entre o topo e a base da forma. Os dados referentes a simetria interna e elipsidade demonstram o formato elíptico e irregular.

Figura 75 - Imagem aérea oblíqua representando a situação atual na área da depressão 12.



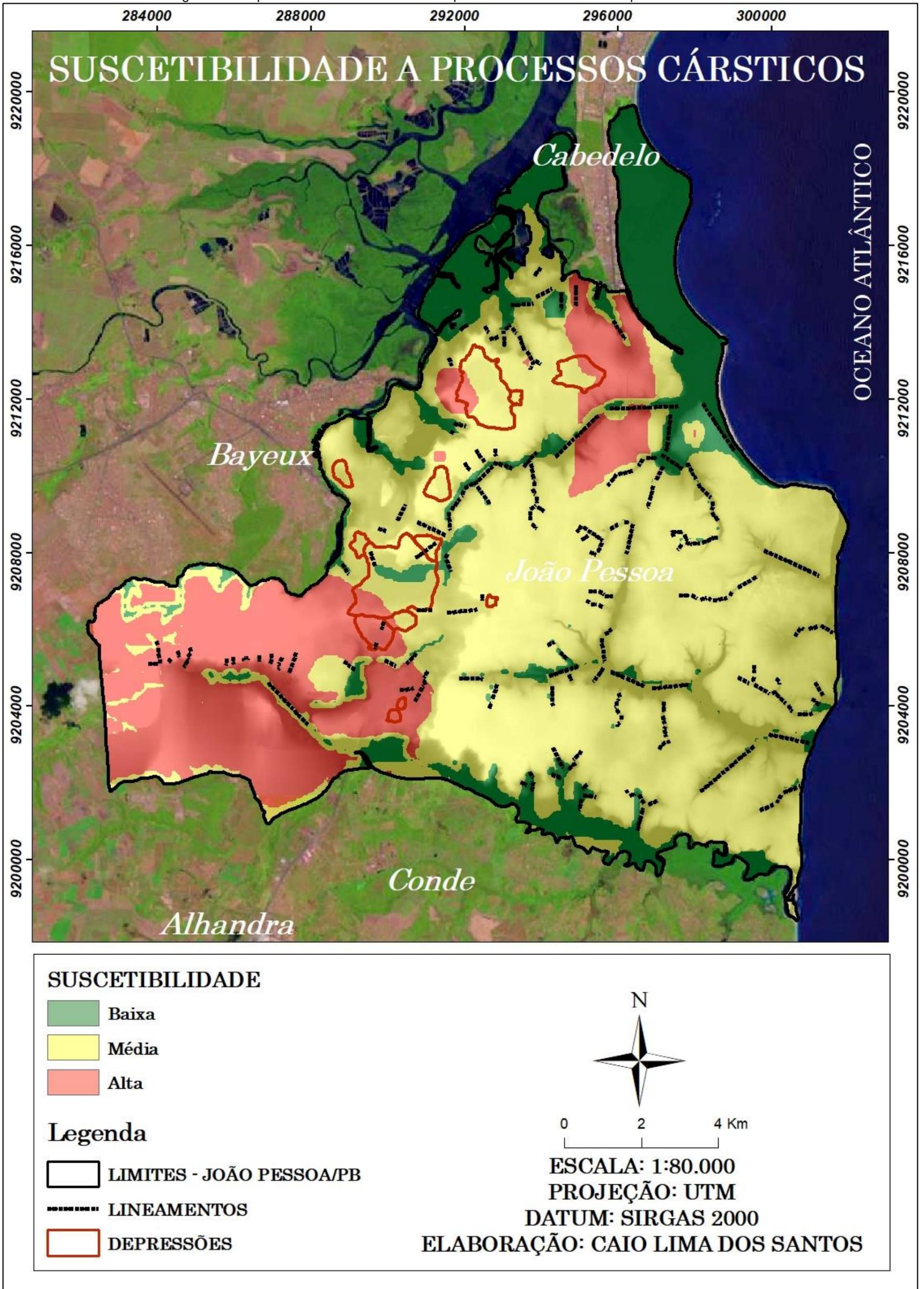
5.3 Análise da Suscetibilidade Natural e dos Riscos

A análise da suscetibilidade natural aos processos cársticos (figura 76) considerou os seguintes aspectos: geomorfologia, espessura da camada capeadora (Formação Barreiras) em relação a rocha carbonática (Formação Gramame) e aspectos estruturais.

Partiu-se do princípio de que as feições (depressões) representam a manifestação superficial de processos cársticos que ocorrem em subsuperfície, e que esta repercussão superficial está condicionada a conjunção de fatores relacionados aos aspectos citados.

Conforme já discutido no tópico sobre os aspectos morfológicos e estruturais, a ocorrência das feições estudadas está relacionada a menor espessura da Formação Barreiras em relação a Formação Gramame, coincidindo com as superfícies de denundação, no que diz respeito a geomorfologia, associando-se aos aspectos estruturais.

Figura 76 - Mapa de suscetibilidade natural aos processos cársticos no município de João Pessoa.



Desse modo, a atribuição de pesos aos fatores condicionantes da suscetibilidade aos processos cársticos atribuiu os seguintes valores aos fatores analisados, conforme Tabela 02.

Tabela 2 - Pesos atribuídos aos fatores de suscetibilidade analisados.

Fator Analisado	Peso
Ocorrência de depressões na F. Gramame	0,30
Espessura da F. Barreiras	0,30
Geomorfologia	0,40
Total	1,0

Tendo em vista o alinhamento estrutural de todas as feições cársticas mapeadas nesse estudo, sendo, desse modo, as condições estruturais o provável “gatilho” para o processo cárstificação, foi atribuído ao fator “lineamentos” o maior peso (0,45). Desse modo, entende-se que as áreas localizadas entre as depressões representam àquelas que estão sob influência direta das condições estruturais, entendendo que é nessas zonas que os fluidos superficiais encontram maior facilidade para percolar as rochas a partir de suas linhas de fraqueza, promovendo o respectivo processo de dissolução.

Os dados obtidos para essa pesquisa indicaram a existência do processo de carstificação a partir da relação da rocha subjacente com fluidos superficiais. No entanto, não foi possível atestar tal assertiva mediante ausência de dados detalhados que comprovem a dinâmica cárstica a partir de fluxo superficial ou a existência de um carste hipogênico, ou até mesmo a atuação dos dois processo em conjunto. Desse modo, considerou-se que a menor espessura da Formação Barreiras permite maior contato dos fluxos superficiais com as rochas carbonáticas subjacentes, sendo atribuído peso (0,35) a este fator.

Com relação a geomorfologia, foi atribuído a peso (0,20), considerando-o como o fator de menor relevância na análise, entendendo que os demais fatores analisados são superlativos a este.

Cada fator considerado foi reclassificado, atribuindo-lhes pesos variando de 1 a 3, conforme importância na análise da suscetibilidade, conforme tabela 03.

Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes temáticas de cada fator analisado.

Peso	Espessura F. Barreiras	Espessura F. Gramame	Geomorfologia
1	50 – 116 m	(-70) – (-40) m	Atpm / Api / Apf / Actpf
2	25 – 50 m	(-40) – 0 m	Dt 21
3	0 – 25 m	0 – 25 m	Dt 31 / Dc 31

Actf - Formas de Colúvio / Terraço Fluvial; **Actpf** - Formas de Colúvio, Terraço e Planície Fluvial; **Apf** - Formas de Planície Fluvial; **Api** - Formas de Planícies Intermareais; **Atpf** - Formas de Terraço e Planície Fluvial; **Atpm** - Formas de Terraço e Planícies Marinhas; **Dc 31** - Denundação com Formas Convexas; **Dt 21** - Denundação com Formas Tabulares; **Dt 31** - Denundação com Formas Tabulares. Fonte: Barbosa, 2015.

A espessura da Formação Barreiras foi dividida em 03 classes, atribuindo-lhe peso 01 onde a variação se deu entre 50 e 116 metros; peso 02 onde a variação se deu entre 25 e 50 metros; peso 03 onde a espessura dessa camada não ultrapassa 25 metros.

Com relação a espessura da Formação Gramame, foi atribuído maior peso (03) a variação altimétrica estabelecida entre 0 e 25 metros, considerando que quanto mais próximo à superfície a rocha carbonática estiver, maior será o seu contato com os fluxos superficiais. Tendo por base essa ideia, foi atribuído peso (02) à variação altimétrica entre -40 e 0 metros e peso (01) à variação altimétrica entre -70 e -40 metros.

Como a área de ocorrência das feições mapeadas coincidem com superfícies de denundação (Dt 31 e Dc 21), esse compartimento geomorfológico recebeu valor máximo (03); a classe definida como (Dt 21) constitui um compartimento geomorfológico de denundação com formas tabulares, onde a rede de drenagem apresenta-se mais densa, se comparado com o compartimento (Dt 31). A área de ocorrência desse compartimento também coincide com a área de maior espessura da Formação Barreiras, sendo esse o critério utilizado para a atribuição do peso (02) a esse fator.

Foi atribuído peso (01) as demais formas identificadas no mapeamento geomorfológico adotado nessa pesquisa (Atpm / Api / Apf / Actpf), considerando a não ocorrência de feições cársticas nesses compartimentos.

No mapa geomorfológico (figura 25) uma porção da depressão 01 está inserida no compartimento definido como formas de Colúvio, Terraço e Planície Fluvial. Essa definição foi feita a partir da geração de modelo de elevação elaborado com base em curvas de nível extraídas de cartas topográficas de escala 1:25.000 e equidistância de 10m entre as curvas de nível, o que impossibilitou a definição da depressão 01 como uma bacia fechada, conforme Barbosa (2015). Essa situação gerou uma inconsistência no mapa de suscetibilidade, uma vez que foi atribuído a essa unidade do relevo o menor peso considerado no processo de análise, gerando no referido mapa a ocorrência de uma área de baixa suscetibilidade dentro dos limites de uma depressão fechada.

Conforme a tabela 04 mais da metade da área territorial do município de João Pessoa (59,18%) apresenta média suscetibilidade a processos cársticos; 22,49% apresenta baixa suscetibilidade e; 18,33% alta suscetibilidade.

Considerando que o referido município encontra-se quase totalmente urbanizado, e que diversas atividades antrópicas constituem fator potencializador dos processos cársticos, é possível afirmar que a população de João Pessoa apresenta forte vulnerabilidade frente as situações de risco que podem ser geradas no desenvolvimento do relevo cárstico, considerando que os fenômenos atrelados a gênese dessas formas ocorrem em subsuperfície, mas se repercutem superficialmente, atingindo pessoas de todas as classes sociais, sem restrições.

Tabela 4 - suscetibilidade natural aos processos cársticos no município de João Pessoa.

<i>Suscetibilidade</i>	<i>Área / Km²</i>	<i>Porcentagem</i>
Baixo	45,683	22,49%
Médio	120,24	59,18%
Alto	37,2447	18,33%
Total	203,1679	100%

O mapa de risco associado aos processos cársticos no município de João Pessoa (figura 77) é resultado da sobreposição do mapa de suscetibilidade ao

cadastro urbano do referido município. Foram definidos 04 (quatro) classes de risco a partir dos seguintes critério:

- **Risco muito alto:** Corresponde a área das depressões fechadas (05, 07, 09 e 12) mapeadas nesse estudo onde foi observado processo de subsidência do terreno a partir da constatação de problemas estruturais em edificações prediais localizadas no interior dessas depressões.
- **Risco alto:** Corresponde as áreas definidas como alta suscetibilidade natural aos processos cársticos e as demais depressões mapeadas, onde não foram identificados problemas estruturais em edificações prediais no seu interior. Essas áreas estão interpostas entre as bacias fechadas atuais, que segundo Vital (2015) são resultado da subsidência lenta do terreno. Pode ocorrer a formação de novas depressões, associada a dinâmica natural apenas, quanto potencializado pelas atividades antrópicas. Essas áreas apresentam maior suscetibilidade a ocorrência de processos relacionados a dinâmica do relevo cárstico, como o processo de subsidência do terreno.
- **Risco médio:** Corresponde as áreas definidas como média suscetibilidade natural aos processos cársticos; nesse contexto não é observado a ocorrência de feições cársticas atuais, no entanto, verifica-se a existência de feições cuja forma atual (cabeceiras de drenagem e anfiteatros) testemunham evolução morfodinâmica de antigas formas cársticas. Além disso, as atividades humanas podem configurar gatilho para ativar e/ou potencializar processos cársticos.
- **Risco baixo:** Corresponde as áreas definidas como baixa suscetibilidade natural aos processos cársticos; essas áreas correspondem as formas deposicionais atuais, tais como as planícies fluviais e marinha, tendo em vista a não ocorrência de bacias fechadas nesses compartimentos geomorfológicos.

Desse modo, o mapa de risco considerou apenas as áreas ocupadas pelo processo de urbanização, definidas a partir dos dados cadastrais de lotes disponibilizados pela SEPLAN/PMJP, desprezando áreas que predominam atividades rurais. A tabela 05 apresenta o quantitativo de lotes inseridos dentro de cada área de risco mapeada.

Tabela 5 - quantitativo de lotes inseridos dentro das áreas de risco cárstico, conforme cadastro urbano do município de João Pessoa/PB.

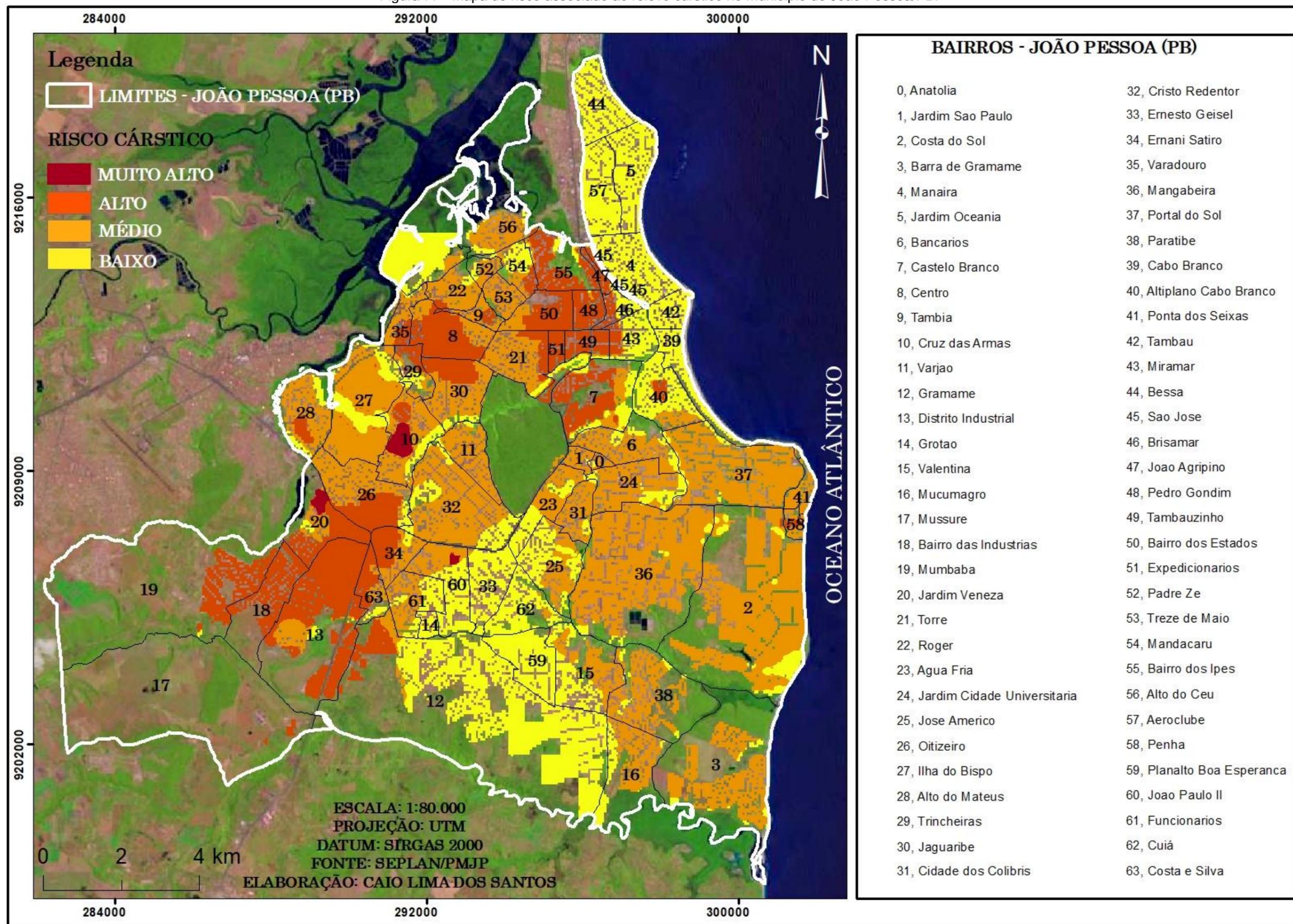
RISCO	Número total de lotes
MUITO ALTO	1.790
ALTO	73.064
MÉDIO	58.320
BAIXO	60.341
Total	193.515

Fonte: Dados cadastrais cedidos pela SEPLAN/PMJP.

As situações de risco nas feições cársticas estão relacionadas a ocorrência de fenômenos geomorfológicos característicos desses ambientes, tais como a subsidência e o colapso do solo, quando repercutem no cotidiano social. Esses fenômenos representam etapa do processo de evolução natural do relevo cárstico, no entanto, as ações humanas podem alterar e/ou potencializar esses processos a partir de intervenções relacionadas as atividades como a exploração de água subterrânea, a irrigação, a disposição de efluentes nas depressões cársticas, a mineração, bem como o próprio processo de urbanização quando realiza as alterações superficiais necessárias para a ocupação. A principal alteração produzida na intervenção antrópica observada na área de estudo é na drenagem natural, seja introduzindo ou até mesmo diminuindo a entrada de água no sistema.

No Quadro 02 é descrito, conforme metodologia proposta por Gutiérrez (2016), os efeitos causados no sistema carstico decorrentes de alterações introduzidas pela dinâmica natural e pelas ações antrópicas observadas na cidade de João Pessoa. Considerando esses aspectos, é possível inferir situações que potencializam nesses ambientes a ocorrência de fenômenos que podem afetar o cotidiano social, configurando situações de risco.

Figura 77 - Mapa de risco associado ao relevo cárstico no município de João Pessoa/PB.



Quadro 2 - Fatores condicionantes para elaboração de situações de risco em ambiente cárstico no município de João Pessoa/PB.

Fator	Efeito	(1) Processo natural (2) Atividades humanas	Área de atuação
Suscetibilidade natural.	Formação natural das depressões fechadas.	(1) Clima; condições estruturais; litologia.	Município de João Pessoa/PB
Impermeabilização do solo.	- Diminuição da infiltração da água no solo; - Rebaixamento do lençol freático; - Diminuição da pressão hidrostática.	(2) Urbanização	Evidente em todas as feições estudadas
Escavações	- Causa erosão interna favorecida pelos buracos, vibrações, fluidos de perfuração e bombeamento. - Pode induzir fluxos de águas subterrâneas localizadas e turbulentas.	(2) Introdução de galerias pluviais.	Depressão 03
Soterramento de depressões	- Desconexão da drenagem superficial com a drenagem subsuperficial - Rebaixamento do lençol freático; - Diminuição da pressão hidrostática.	(2) Urbanização	Depressões 05, 07 e 09
Impermeabilização parcial da superfície	- Aumento potencial do escoamento superficial; - Aumento do fluxo para o interior da depressão; - Erosão linear.	(2) Urbanização	Depressão 07

Com releção as área de risco muito alto, merecem destaque a área das depressões 05, 07, 09 e 12. Estas áreas receberam uma atenção especial quanto a descrição das situações de risco, uma vez que são nestas localidades que se

identificou situações de risco com mais evidência. Além dessas, situações de risco ganharam maior evidência também na depressão 03, neste caso, relacionadas a problemas em tubulações pluviais.

A depressão 12 representa umas das áreas de risco muito alto com o menor número de lotes em seu interior, no entanto, é a área onde as situações de risco estão mais evidente (subsistência lenta do solo), além de ser o local onde as alterações antrópicas se sobressaem. O Quadro 03 apresenta a descrição do contexto ambiental observado nessa localidade.

Quadro 3 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 12.

Identificação do ponto		
Município: JOÃO PESSOA		
Bairro: ERNESTO GEISEL		
Rua: EXPEDITO GOMES		
Coordenadas: Lat. 9206687.21	Long. 922684.36	Alt. 43
Data: 30/01/2019		
Dados Geoambientais locais		
Geologia (unidade estrutural e litologia):		
<ul style="list-style-type: none"> • Formação Barreiras 		
Unidade Geomorfológica:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiros costeiros • Depressão Fechada 		
Descrição do relevo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Depressão aterrada, bordejada por divisores declivosos, descontínuos a oeste e sudoeste. 		
Descrição da estrutura e dinâmica superficial da paisagem		
Tipo de estruturas superficiais (rocha sã, regolito, colúvio e alúvio):		
<ul style="list-style-type: none"> • Depósito antropogênico (aterro), bastante poroso, apresentando caos de granulometria grosseira e areia. 		
Processos intempéricos evidenciados:		
<ul style="list-style-type: none"> • ***** 		
Evidências de fluxos superficiais e subsuperficiais:		
<ul style="list-style-type: none"> • Escoamento superficial em lencól; 		

<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo subsuperficial evidenciado pela subsidência do terreno e ocorrência de depressão fechada.
Processos superficiais relativos à erosão, deposição e dissolução: <ul style="list-style-type: none"> • Erosão nos divisores.
Presença de formas/feições erosivas, deposicionais e de dissolução: <ul style="list-style-type: none"> • Evidência de processo de subsidência, sendo essa a possível causa de ocorrência de rachaduras nas paredes das edificações e afundamento das mesmas. <p>Obs: as edificações não foram construídas na área aterrada, mas ao redor dela.</p>
Caracterização do(s) uso(s) da terra
<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de fruticultura de baixo porte; • Edificações (residências); • Atividade industrial (fábrica têxtil).
Evidências de influências do(s) uso(s) da terra sobre a dinâmica processual
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de fossa negra; • Disposição de efluentes domésticos; • Deposição de aterro.

Na depressão 12 foram encontradas edificações que apresentam rachaduras nas paredes e no piso (Figura 78), além de relatos de moradores sobre recorrentes eventos de afundamento do solo, provocando o desabamento de residências, ou apenas de partes delas, o que evidencia a ocorrência do processo de subsidência do terreno nessa área.

Na área de estudo, o processo de subsidência foi verificado com mais evidência depressão 12. Esse fato pode ser explicado a partir da observação das transformações observadas nessa área devido a ocupação urbana, que configuram como o fator antrópico responsável por potencializar esse fenômeno natural.

Como já mencionado, essa área apresentava ocorrência de lagoa perene, conforme relato de moradores e observação de imagens de satélite (figuras 74 e 75). Esses mesmos moradores relataram que no período de maior pluviosidade eram recorrentes os casos de enchentes, gerando transtorno a população local. No intuito

de resolver esse problema, a prefeitura municipal de João Pessoa procedeu com o soterramento dessa lagoa, formando uma camada de depósito de aproximadamente 07 (sete) metros, conforme relatos de moradores da área. Esse material é formado sobretudo por metralha (material demolido de antigas edificações), e apresenta alta porosidade devido a sua variação granulométrica. Esse depósito representa um considerável aumento do sobrepeso na superfície, sendo esse um gatilho para o processo de subsidência do terreno.

Figura 78 - Situações de risco identificadas na área da depressão 12. a) no primeiro plano observa-se a área da depressão que foi aterrada. No segundo plano observa-se as edificações. b) piso de residência, que segundo o morador, teve parte afundada recentemente (parte que apresenta piso sem cerâmica). c) parede de residência trincada. d) Parede de residência trincada. e) construção recente de fossas negras. Conforme o proprietário do imóvel, essa área constituía um vão da residência, que afundou recentemente.



Além desse aspecto foi observado que os fluxos de efluentes domésticos são despejados no interior da depressão sem que haja qualquer tipo de tratamento. Também foi observado a construção de fossas negras. Esses fatores que podem ativar ou até mesmo potencializar o processo de dissolução da rocha subjacente, uma vez que esses efluentes apresentam alta acidez.

Na depressão 07 também foram identificadas ocorrência de rachaduras em imóveis (figura 79). As evidências observadas no campo (Quadro 04), bem como nas características morfométricas descritas para essa área apontam que, no processo de evolução morfogenética essa depressão tende a conectar sua drenagem a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, formando uma cabeceira de drenagem. Foram identificadas feições que indicam a ocorrência de processo superficial (erosão linear) e processo subsuperficial (subsistência do terreno), materializado na exposição de raízes da vegetação de médio e baixo porte, bem como na manifestação de rachaduras nas paredes das residências e exposição do alicerce das mesmas.

Figura 79 - Situações de risco identificadas na área da depressão 07. As figuras (a) e (b) representam a mesma área vista de ângulos diferentes. Nessas imagens é possível perceber o rebaixamento da superfície, sendo evidente processo de erosão. Também foi identificado a ocorrência de rachaduras nas paredes das residências, além da exposição do alicerce. c) processo erosivo potencializado pela disposição de efluentes domésticos. d) ocorrência de vegetação de médio porte e construção de residências na média encosta. e) canalização de galerias pluviais e disposição de esgotos clandestinos para dentro da lagoa do Buracão, além do depósito de resíduos sólidos.





Quadro 4 - Ficha de Atividades de Campo – depressão 07.

Identificação do ponto		
Município: JOÃO PESSOA		
Bairro: Cidade dos Funcionário I		
Rua: Ana Ney		
Coordenadas: Lat.	Long. 922684.36	Alt. 43
Data: 30/01/2019		
Dados Geoambientais locais		
Geologia (unidade estrutural e litologia):		
<ul style="list-style-type: none"> • Formação Barreiras 		
Unidade Geomorfológica:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiro costeiro; • Depressão Fechada 		
Descrição do relevo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Encosta apresentando erosão remontante em direção a lagoa presente na depressão. 		
Descrição da estrutura e dinâmica superficial da paisagem		

<p>Tipo de estruturas superficiais (rocha sã, regolito, colúvio e alúvio):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depósitos coluvionares.
<p>Processos intempéricos evidenciados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo químico
<p>Evidências de fluxos superficiais e subsuperficiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • escoamento superficial concentrado; • Formação de lagoa. • Fluxo subsuperficial evidenciado pelas evidencias de subsidência do terreno.
<p>Processos superficiais relativos à erosão, deposição e dissolução.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear. • Evidências de subsidência do terreno.
<p>Presença de formas/feições erosivas, deposicionais e de dissolução:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Encosta do interflúvio no alto curso do rio Jaguaribe; • Cabeceira de drenagem.
<p>Caracterização do(s) uso(s) da terra</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Aglomerado de residências de baixo padrão imobiliário; • Vegetação arbustiva; • Vegetação herbácea sobre as encostas; • Ocorrência vegetação arbórea;
<p>Evidências de influências do(s) uso(s) da terra sobre a dinâmica processual</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de fossa negra; • Disposição de efluentes domésticos; • Corte na encosta, formando patamares planos; • escoamento superficial induzido por efluentes.

Foi identificado nas incursões de campo na depressão 07 uma feição (figura 80) que guarda características que se assemelham a feições de dissolução descrita por Vital (2015) (figura 81) para a área da bacia sedimentar da Paraíba. Esse aspecto atrelado as condições morfogênicas já destacadas indicam que o processo de carstificação na área mencionada está ativo, o que a torna mais suscetível a

ocorrência desses fenômenos. Essa evidência de processo de dissolução representa a conexão da drenagem da depressão com a bacia do rio Jaguaribe.

Figura 80 - Representação de feições de dissolução. a) feição identificada nas bordas da depressão 07. Essa feição se interpõe entre a depressão fechada e a bacia do rio Jaguaribe, indicando uma tendência dessas feições a evoluírem formando cabeceiras de drenagem.



Figura 81 - Feição de dissolução identificada por Vital (2015) no contexto da bacia sedimentar da Paraíba, onde se insere a área de estudo.



Fonte: Vital (2015).

De modo ilustrativo, observa-se nas figuras 82 e 83 a representação em 3D do ortomosaico sobreposto ao modelo de elevação criados para as área das depressão 07 e 12. Essas duas áreas foram selecionadas para essa ilustração por representarem os locais onde as situações de risco são mais proeminentes.

Figura 82 - Representação em 3D da depressão 07. Ortomosaico sobreposto ao Modelo de elevação.



Figura 83 - Representação em 3D da depressão 12. Ortomosaico sobreposto ao Modelo de elevação.



Outra área que apresenta sensíveis alterações na sua configuração espacial é a depressão 09, observando-se com maior representação a ocupação residencial e, em segundo plano, a construção de galpões para armazenamento de mercadorias de produção industrial (Quadro 05). Também aí foram encontradas evidências do processo de subsidência lenta do terreno, tendo em vista a ocorrência de rachaduras nas paredes das residências (figura 84) e relatos de moradores sobre o comprometimento da estrutura de suas casas. Vale ressaltar que conforme já mencionado, também essa depressão apresentava a ocorrência de lagoa que veio a ser soterrada, nesse caso para a construção de galpões industriais. A construção dessas edificações aumenta o sobrepeso na área, constituindo também um fator potencializador do processo de subsidência.

Foram contabilizados um total de 307 lotes dentro da bacia de drenagem dessa depressão, sendo a maior parte deles destinados a ocupação residencial, conforme já destacado.

Quadro 5 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 09.

Identificação do ponto		
Município: JOÃO PESSOA		
Bairro: Jardim Veneza		
Rua: Luís Barbalho		
Coordenadas: Lat. 289133	Long. 9208194	Alt. 35
Data: 06/12/2019		
Dados Geoambientais locais		
Geologia (unidade estrutural e litologia):		
<ul style="list-style-type: none"> • Formação Barreiras 		
Unidade Geomorfológica:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiro costeiro; • Depressão Fechada 		
Descrição do relevo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Relevo relativamente plano, tabular, com declividade suave, formando depressão fechada com fundo chato, fortemente descaracterizada devido ação antrópica. 		
Descrição da estrutura e dinâmica superficial da paisagem		
Tipo de estruturas superficiais (rocha sã, regolito, colúvio e alúvio):		
<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos coluvionares. 		
Processos intempéricos evidenciados:		
<ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo químico 		
Evidências de fluxos superficiais e subsuperficiais:		
<ul style="list-style-type: none"> • escoamento superficial concentrado; • Formação de lagoa. • Fluxo subsuperficial evidenciado pelas evidências de subsidência do terreno. 		
Processos superficiais relativos à erosão, deposição e dissolução.		
<ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear. • Fortes evidências de subsidência do terreno. 		

Presença de formas/feições erosivas, deposicionais e de dissolução: <ul style="list-style-type: none"> • Depressão Fechada
Caracterização do(s) uso(s) da terra
<ul style="list-style-type: none"> • Residências de baixo padrão imobiliário; • Galpões destinados ao armazenamento de produtos industriais; • Instalações militares (Departamento de apoio logístico da polícia militar do estado da Paraíba).
Evidências de influências do(s) uso(s) da terra sobre a dinâmica processual
<ul style="list-style-type: none"> • Soterramento da área da antiga lagoa; • Disposição de efluentes domésticos; • escoamento superficial induzido por efluentes.

Figura 84 - Situações de risco identificadas na área da depressão 09: a), b), c) e d) representam rachaduras nas paredes das residências construídas dentro da área da depressão.



Os casos de rachaduras em residências nessa área evidenciam que a subsidência do terreno nas depressões ocorre no ponto mais rebaixado do terreno,

onde se localiza o sumidouro. Tal assertiva pode ser constatada, no caso da depressão 09, pelo fato de estarem todas as residências comprometidas pelo processo de subsidência localizadas exatamente na lateral dos galpões construídos em cima da lagoa aterrada, conforme (figura 85). Essa situação não foi identificada em outras residências nessa área.

Figura 85 - Visão aérea da área da depressão 09. As residências que apresentam rachaduras são as que se localizam na lateral esquerda dos galpões.



Outra área onde foi identificado o soterramento de lagoa para a construção de edificações é na depressão 05. A descrição das condições ambientais (Quadro 06) demonstra o forte processo de alteração antrópica promovida nesse local. Como consequência têm-se a elaboração de situações, que nesse caso, são bastante evidentes: ocorrência de rachaduras em residências (figura 86), evidenciando o processo de subsidência lenta do solo; inundação nos períodos de maior pluviosidade, atingindo, sobretudo, as residências localizadas dentro da antiga lagoa.

Quadro 6 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 05.

Identificação do ponto
Município: JOÃO PESSOA
Bairro: Cruz das Armas

Avenida: Dr. Antônio Lins		
Coordenadas: Lat. 291514	Long. 9209567	Alt. 37
Data: 06/12/2019		
Dados Geoambientais locais		
Geologia (unidade estrutural e litologia):		
<ul style="list-style-type: none"> • Formação Barreiras 		
Unidade Geomorfológica:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiro costeiro; • Depressão Fechada. 		
Descrição do relevo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Relevo relativamente ondulado, declivoso, formando depressão fechada com fundo chato. 		
Descrição da estrutura e dinâmica superficial da paisagem		
Tipo de estruturas superficiais (rocha sã, regolito, colúvio e alúvio):		
<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos coluvionares. 		
Processos intempéricos evidenciados:		
<ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo químico 		
Evidências de fluxos superficiais e subsuperficiais:		
<ul style="list-style-type: none"> • escoamento superficial concentrado; • Ocorrência de lagoa. • Fluxo subsuperficial evidenciado pelas evidências de subsidência do terreno. 		
Processos superficiais relativos à erosão, deposição e dissolução.		
<ul style="list-style-type: none"> • Erosão linear. • Fortes evidências de subsidência do terreno. 		
Presença de formas/feições erosivas, deposicionais e de dissolução:		
<ul style="list-style-type: none"> • Encosta do interflúvio no alto curso do rio Jaguaribe; • Depressão cárstica 		
Caracterização do(s) uso(s) da terra		
<ul style="list-style-type: none"> • Aglomerado de residências de baixo padrão imobiliário; • Ocupação inadequada; • Forte processo de impermeabilização do solo; 		

<ul style="list-style-type: none">• Vegetação de baixo porte em partes das encostas.
Evidências de influências do(s) uso(s) da terra sobre a dinâmica processual
<ul style="list-style-type: none">• Soterramento da área da antiga lagoa;• Disposição de efluentes domésticos;• Escoamento superficial induzido por efluentes.

Figura 86 - a), b) e c) Rachaduras identificadas em edificações na depressão 05; d) Disposição clandestina de efluentes domésticos para dentro da antiga lagoa.



A depressão 05 representa uma das feições mapeadas para esse estudo que apresenta forte processo de ocupação urbana, desde os divisores da bacia fechada até sua base, sobre a área da antiga lagoa. Essa ocupação urbana se dá, sobretudo,

por edificações de baixo valor imobiliário, ocorrendo edificações construídas de alvenaria, além de construções precárias (figura 87).

Essa dinâmica ambiental envolve também problemas relacionados a destinação de efluentes domésticos, que também nessa área é direcionado para a área da antiga lagoa. Além de haver edificações nesse local, os esgotos domésticos acidificam os fluídos que são injetados na subsuperfície através do sumidouro, potencializando o processo de carstificação, e, por conseguinte, os riscos de subsidência do solo.

Figura 87 - Tipos de ocupação observadas na depressão 05. a) Disposição de efluentes para dentro da área da antiga lagoa; b) área impermeabilizada na base da depressão; c) e d) representam a área da antiga lagoa soterrada, apresentando ocorrência de residências construídas e outras em processo de construção; e) e f) destacam a ocorrência de residências dentro da área de acúmulo de fluxo.



As depressões 12 e 07 estão inseridas numa área predominantemente de solo exposto nos pontos mais baixos do relevo, onde é observado a ocorrência de lagoa, apesar de uma delas está aterrada atualmente, caso da depressão 12. Conforme as características dos ambientes cársticos, esse ponto configura-se como o sumidouro, onde há uma conexão da drenagem superficial com a subsuperfície, através da elaboração de drenagens verticais. É exatamente nesses pontos onde o processo de carstificação é mais evidente, ocasionando na criação de vazios na rocha subjacente e, conseqüentemente, a subsidência do terreno.

Na depressão 07 é observado um fator que representa um atenuante potencializador dos processos naturais. As vias públicas das áreas que bordejam a lagoa do Buracão, onde a declividade é mais suave, encontram-se impermeabilizadas, estando as ruas asfaltadas ou calçadas. Esse aspecto associado a construção de edificações promove a concentração e o aumento potencial do fluxo do escoamento superficial, refletindo no aumento considerável do quantitativo e da velocidade de água que entra no sistema cárstico. Esse fato representa um fator relevante para a elaboração de erosão linear dentro da depressão, onde a declividade é mais acentuada, além da geração de fluxo turbulento, que por seu turno promove o alargamento da drenagem vertical subsuperficial devido a remoção mecânica dos sedimentos, atenuando a criação de vazios no subsolo e o conseqüente processo de subsidência.

Com exceção das depressões 11, 12 e 13, todas as demais encontram-se numa área predominantemente impermeabilizada. Esse aspecto tem influência direta no rebaixamento do lençol freático, tendo em vista a diminuição considerável de água que infiltra no solo. Como conseqüência, há diminuição da pressão hidrostática, potencializando o processo de subsidência e o conseqüente surgimento de novas depressões.

A elaboração de situações de risco decorrente da impermeabilização do solo pode ser observado no período de maior pluviosidade, uma vez que os eventos pluviométricos de alta magnitude sobrecarregam o sistema de drenagem pluvial, ocasionando, por vezes, no seu rompimento, e conseqüentemente promovendo uma alta e rápida entrada de fluxos superficiais no sistema cárstico, deflagrando o processo de remoção mecânica de sedimentos em direção a subsuperfície, culminando no surgimento de novas depressões. Essa situação pode ser deflagrada também pelo rompimento de tubulações do sistema de abastecimento de água potável da cidade.

Esse aspecto se torna evidente na observação de duas situações: os vazios no solo ocorrem quase sempre relacionados ao rompimento de tubulações da drenagem pluvial ou de tubulações do sistema de abastecimento de água, que por sua vez estão instaladas no subsolo abaixo das vias urbanas; o segundo aspecto está no fato do fluxo infiltrar completamente nas cavidades formadas em situações de rompimento de tubulações, o que atesta a existência de drenagem vertical no subsolo dessas áreas. A injeção de fluxo turbulento no subsolo constitui o fator deflagrador da abertura da cratera através da remoção mecânica dos sedimentos, reestabelecendo-se a conexão entre a drenagem superficial e a subsuperfície. Existem situações em outros ambientes na própria cidade de João Pessoa em que o rompimento de tubulações faz o fluxo de água jorrar para a superfície, diferente do que é observado na situação descrita.

Essas cavidades, que na literatura estadunidense recebem a denominação de “*Sinkholes*” (dolinas urbanas) ocorrem com frequência na cidade de João Pessoa, sobretudo na área da depressão 03 (Bairros dos Estados, Torre e Expedicionários), promovendo uma série de problemas para a população destes bairros, pois seu surgimento se dá pela abertura de crateras no terreno capazes de dragar automóveis e até mesmo comprometer a estrutura de edificações, conforme pode ser observado nas figuras 88, 89, 90 e 91. O Quadro 07 apresenta a descrição das condições ambientes observadas nas observações de campo para a depressão 03.

Quadro 7 - Ficha de Atividades de Campo – Depressão 03.

Identificação do ponto		
Município: JOÃO PESSOA		
Bairro: Estados / Torre / Expedicionários		
Avenida: Presidente Epitácio Pessoa		
Coordenadas: Lat. 294889	Long. 9212610	Alt. 39
Data: 06/12/2019		
Dados Geoambientais locais		
Geologia (unidade estrutural e litologia):		
<ul style="list-style-type: none"> • Formação Barreiras 		
Unidade Geomorfológica:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiro costeiro; • Depressão Fechada 		

<p>Descrição do relevo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relevo relativamente plano, com declividade suave, formando depressão fechada com fundo chato.
<p>Descrição da estrutura e dinâmica superficial da paisagem</p>
<p>Tipo de estruturas superficiais (rocha sã, regolito, colúvio e alúvio):</p> <ul style="list-style-type: none"> • *****
<p>Processos intempéricos evidenciados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo químico
<p>Evidências de fluxos superficiais e subsuperficiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • escoamento superficial concentrado; • Fluxo subsuperficial evidenciado pelas evidências de subsidência do terreno.
<p>Processos superficiais relativos à erosão, deposição e dissolução.</p> <ul style="list-style-type: none"> • *****
<p>Presença de formas/feições erosivas, deposicionais e de dissolução:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depressão cárstica
<p>Caracterização do(s) uso(s) da terra</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Área fortemente impermeabilizada, não sendo possível visualizar em campo a ocorrência de área de solo exposto; • Variados tipos de ocupação, predominando áreas comerciais e residenciais;
<p>Evidências de influências do(s) uso(s) da terra sobre a dinâmica processual</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Constante rompimento galerias pluviais e tubulações de água. • Forte processo de impermeabilização do solo.

Figura 88 - Cratera aberta no cruzamento das Avenidas Expedicionário e Júlia Freire. Fonte: Portal G1 Paraíba.



Figura 89 - Cratera aberta no cruzamento da avenida Expedicionário e a rua Silvio Almeida. Fonte: Portal G1 Paraíba.



Figura 90 - Cratera aberta na avenida Rio Grande do Sul, bairro dos Estados. Fonte: Blog do Bruno Lira.



Figura 91 - Cratera aberta no cruzamento das ruas Sinésio Guimarães e Caetano Figueira. Fonte: Portal T5.



6 DISCUSSÃO

As condições de risco em ambientes cársticos no município de João Pessoa/PB são elaboradas a partir da junção de fatores naturais (susceptibilidade aos processos morfodinâmicos) com aspectos da ocupação urbana.

A análise morfométrica das feições cársticas mapeadas demonstrou que o processo de gênese e evolução destas formas do relevo está associada as condições litológicas e estruturais características da Bacia Sedimentar da Paraíba, onde a área de estudo está inserida. Esta condição foi observada por Vital (2015) quando verificou que no município de João Pessoa as feições cársticas ocorrem predominantemente nas porções norte e oeste, exatamente onde a Formação Barreiras apresenta pouca espessura e a Formação Gramame aflora em alguns pontos na superfície.

As depressões fechadas localizadas próximo aos cursos fluviais apresentam uma clara tendência a conectar sua drenagem aos rios, sempre na direção preferencial das falhas e lineamentos descritos. Aquelas inseridas mais afastadas dos cursos fluviais tendem a coalescer e fundir com outras, formando depressões maiores. Estas também tendem a conectar sua drenagem aos cursos fluviais, como é observado com forte evidência nas depressões 02 e 03.

De modo geral, observa-se que as feições de menor dimensão areal apresentam-se de forma mais poligonal, tendendo ao arredondamento conforme evoluem. Esse aspecto demonstra que as formas mais jovens são menores, mais elípticas e mais declivosas. De modo contrário, as mais antigas são maiores, mais arredondadas e menos declivosas. É possível então afirmar que as depressões menores representam formas mais jovens, e tendem a formar cabeceira de drenagem ou se fundir para formar depressões maiores, num estágio de evolução mais avançado.

As depressões menores estão mais suscetíveis aos processos morfodinâmicos, sendo a subsidência e a coalescência os fenômenos modeladores dessas feições, tendo como condição essencial a elaboração de drenagem vertical devido a concentração do fluxo, atuando como fator para o processo de dissolução nas zonas de fraqueza da rocha subjacente.

O controle estrutural orienta a dissolução subsuperficial e o processo erosivo superficial (coalescência), promovendo a formação de vazios que evoluem em direção a superfície. A condição estrutural é o fator condicionante para o processo de

dissolução, uma vez que existem áreas de exposição da rocha calcária na área de estudo onde não se observa a ocorrência de feições cársticas. Da mesma forma, a espessura da camada capeadora sobre a rocha carbonática também constitui fator controlador secundário da repercussão em superfície da dissolução subsuperficial. Tal assertiva pode ser verificada na ocorrência de depressões na Formação Gramame que não se repercutem na superfície.

Portanto, a espessura da Formação Barreiras é um aspecto relevante para ocorrência de depressões cársticas, sendo importante considerar os processos erosivos nessa camada rochosa. A análise geomorfológica demonstra que a superfície de denundação (Dt 21) onde ocorrem as depressões fechadas mapeadas apresenta maior densidade de drenagem e, conseqüentemente maior índice de erosão se comparada a superfície de denundação (Dt 31), onde não foi detectada a ocorrência de depressões cársticas superficiais, porém, ocorre depressão em subsuperfície, demonstrando que, mesmo havendo dissolução subsuperficial, a erosão é fator fundamental para que haja repercussão em superfície. Sendo assim, as áreas definidas como risco médio apresentam forte tendência para a formação de depressões cársticas no processo de evolução do relevo.

João Pessoa, capital do estado da Paraíba é uma das cidades mais antigas do Brasil, fundada no período colonial. Porém, durante muitos anos a concentração urbana ocorreu de modo restrito a uma pequena porção do território, as margens do rio Sanhauá. A expansão urbana só ocorre com mais evidência a partir da segunda metade do século XX. A partir de então se observa um forte processo de alteração da superfície e a ocupação de áreas que atualmente se constituem como áreas de risco. Desse modo, a urbanização desse município pode ser definida como recente.

Áreas definidas como lagoas ou lagos perenes identificados nas cartas topográficas produzidas na década de 1970 encontram-se atualmente ocupadas por edificações. Essa ocupação provavelmente promoveu a descaracterização morfológica dessas feições, mascarando sua forma original e alterando os processos morfodinâmicos, podendo ser gerados e/ou atenuados as situações de risco. É necessário analisar com maior rigor de detalhes esse contexto, uma vez que os procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa não conseguiram abarcar todas essas áreas.

O soterramento de lagoas tem sido a alternativa encontrada para resolver os problemas da ocupação urbana no município de João Pessoa. Foram ouvidos

diversos relatos testemunhando essa situação durante as incursões de campo em vários locais da cidade, sobretudo nos arredores do bairro Gramame, próximo ao Distrito Industrial do referido município, além do testemunho de moradores antigos sobre o desaparecimento de diversas lagoas na região onde hoje se encontram os bairros do Geisel, José Américo e Água Fria.

Os aspectos da ocupação urbana na área de estudo têm se revelado como fatores atenuadores dos processos naturais. A subsidência é mais evidente nas depressões 05, 09 e 12, provavelmente como consequência do aterramento das lagoas que ocorriam no interior dessas áreas, causando a desconexão da drenagem superficial com a subsuperfície. Esse fato pode ter provocado o rebaixamento do lençol freático e, conseqüentemente potencializado a subsidência.

Nas depressões 01, 02 e 04 observa-se que a forma de ocupação do solo promove aumento e concentração de fluxo superficial em direção as lagoas localizadas em seu interior. Essas áreas encontram-se predominantemente impermeabilizadas, havendo poucos locais que haja a possibilidade de infiltração de água no solo, sobretudo na depressão 02. Nesse caso, a maior quantidade e velocidade de chegada dos fluxos superficiais podem acelerar o processo de dissolução e remoção mecânica na rocha subjacente, e conseqüentemente aumentar a taxa de subsidência.

No caso das depressões 11 e 13, mesmo estando inseridas no setor industrial da cidade de João Pessoa, essas áreas encontram-se ocupadas por atividades agropecuárias de pequeno porte, sem haver uma efetiva introdução de energia no sistema cárstico, como seria no caso de atividades que se utilizam da irrigação agrícola. Conforme descrito pelo proprietário da pequena propriedade onde se insere essas duas depressões, havia também aí a ocorrência de lagoas perenes, que, também, encontram-se aterradas. Como não foi aplicado nenhuma técnica de medição de taxa de subsidência do solo e, devido à ausência de edificações adensadas, não foi possível identificar fatores que indicasse a ocorrência desse processo nessa área.

Os dados coletados para essa pesquisa não permitem atestar o grau de contribuição antrópica no processo de carstificação observado na área de estudo. No entanto, é possível afirmar que as áreas que têm recebido maiores impactos devido as alterações antrópicas do ponto de vista da ocupação urbana residencial, são

exatamente aquelas onde se verifica uma maior ocorrência de problemas do ponto de vista do risco.

É importante destacar que as depressões 05, 07, 09 e 12 apresentam algumas singularidades que as individualizam com características próprias, que não são observadas nas demais áreas. Esses aspectos podem ser cruciais para o entendimento das diferentes manifestações de risco para os ambientes cársticos na área de estudo. Essas áreas são aquelas que merecem maior atenção no que se refere as condições de risco, pois estão inseridas num contexto de alta vulnerabilidade socioambiental. Esse contexto se constrói na conjugação de fatores de ordem natural e social, sendo eles a evolução natural das depressões fechadas, conforme destaca os dados morfométricos, associados a um tipo de ocupação urbana de baixo padrão imobiliário, dotada de péssimas condições de infraestrutura.

Desse modo, é possível definir que os fatores responsáveis deflagração do processo de subsidência e conseqüentemente para a gênese de novas depressões configurando situações de risco em ambiente cárstico no município de João Pessoa, são:

- A impermeabilização do solo, promovendo rebaixamento do lençol freático e conseqüentemente a diminuição da pressão hidrostática;
- Aumento do fluxo superficial ou geração de fluxo turbulento para o interior das depressões fechadas;
- Entrada de fluxo em subsuperfície devido ao rompimento de tubulações de drenagem urbana, fator recorrente no período chuvoso;
- Alteração morfológica decorrentes do soterramento de lagoas, causando a desconexão do fluxo superficial com a subsuperfície.

A área das depressões, bem como as porções localizadas entre elas apresentam maior suscetibilidade a formação de novas formas deprimidas, sobretudo aquelas que estão na mesma direção preferencial das falhas e fraturas. Esse aspecto pode ser potencializado pelas alterações antrópicas, sendo mais evidente no contexto da depressão 03, devido a conjugação de dois fatores antrópicos já apresentados: a impermeabilização do solo e a introdução de fluxo devido ao rompimento de tubulações de drenagem urbana em evento de alta pluviosidade.

Outro aspecto relevante a ser destacado é a importância que essas feições do relevo apresentam para o sistema hidrológico, pois representam a porta de entrada superficial do fluxo que alimenta os aquíferos cársticos, numa relação dinâmica entre

o regime pluvial e o armazenamento de água subterrânea. O soterramento dessas feições representa uma perturbação na dinâmica desse sistema, repercutindo, conforme já discutido, na configuração de situações de risco.

Atualmente o município de João Pessoa não apresenta nenhum instrumento jurídico nem um plano de contingência que vise a proteção dessas áreas, tendo em vista a sua importância ambiental. No estado de Minas Gerais a lei 18.043, de 23 de janeiro de 2009 estabelece como áreas de proteção especial as áreas que apresentam processo de carstificação, representando uma importante iniciativa para a preservação dos recursos e redução dos impactos.

O mapeamento das áreas de risco relacionados a dinâmica do relevo cárstico mostra-se confiável, uma vez que considerou os aspectos relacionados a morfodinâmica destas feições e as atividades antrópicas que nelas ocorrem. No entanto, com relação a outros fatores de risco, cuja descrição exige maior riqueza de detalhes quanto aos dados, o mesmo deixa a desejar. Alguns critérios que poderiam ter sido analisados na elaboração deste mapa, são apresentados a seguir:

- O processo de subsidência identificado em algumas áreas poderia ser comparado a outras áreas que não sofreram direta ou indireta intervenção antrópica, no intuito de comparar se essa ação acelerou esse processo, ou até mesmo o ativou;
- O aterramento e a impermeabilização do solo, parcial ou total, constituem um fator potencializador dos processos naturais e, conseqüentemente, das situações de risco. Esse fator pode ser considerado numa análise futura que disponha de maior de rigor de detalhes de dados;
- A análise da evolução morfodinâmica pode indicar a direção preferencial do processo de erosão superficial e a conseqüente coalescência de depressões cársticas, bem como a tendência a formação de cabeceiras de drenagem. A elaboração de um documento cartográfico com essa finalidade exigiria a adoção de uma escala cartográfica de maior detalhe, diferente da escala adotada para esse trabalho.
- A avaliação do estágio de evolução morfodinâmica também permite verificar o nível de estabilidade das formas cársticas frente aos processos deflagradores de situações de risco.

- A utilização de métodos geofísicos permite verificar com maior detalhe a dinâmica subsuperficial, que pode apresentar a ocorrência de vazios subterrâneos que não necessariamente se repercutem na superfície na elaboração de depressões cársticas, como verificado na interpolação de dados litológicos referentes a Forma Gramame. Todavia, as alterações promovidas pela dinâmica social podem promover *inputs* energéticos de alta magnitude, deflagrando o colapso do solo, conforme verificado no contexto da depressão 03.

De modo geral, ressalta-se a importância de estudos mais detalhados e com maior riqueza de dados para aferir com maior precisão as condições de risco presentes no contexto da geomorfologia cárstica no município de João Pessoa. O presente estudo constitui uma tentativa preliminar de descrever os problemas atrelados a ocupação urbana sobre as feições geomorfológicas geradas pelo processo de carstificação. Procedimentos metodológicos que se utilizam da geofísica podem responder com maior detalhe as indagações provenientes das incertezas quanto aos processos de subsuperfície, tendo em vista a impossibilidade de averiguar tal contexto a partir dos métodos adotados na presente pesquisa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A condição estrutural representa o fator preponderante para a gênese e evolução de depressões cársticas no município de João Pessoa/PB. Todas as formas mapeadas estão alinhadas preferencialmente nas direções E-W e NE-SW, de acordo com as direções dos lineamentos mapeados na área de estudo.

As feições que apresentam menor dimensão areal (depressões 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13), de modo geral apresentam maior instabilidade quanto aos processos naturais relativos ao relevo cárstico. Esse fato está relacionado a condição de menor estágio de evolução que apresentam em relação as demais feições, que por sua vez exibem as maiores dimensões areais mapeadas nesse estudo e se caracterizam por apresentar estágio mais avançado no processo de evolução morfodinâmico, e, portanto, mais estáveis.

Os processos cársticos identificados foram a subsidência lenta e a coalescência, observados a partir da identificação de problemas na estrutura de edificações e no processo de evolução das feições, respectivamente.

O crescimento urbano na área promoveu fortes alterações superficiais, constituindo fator preponderante na análise dos riscos, além de promover a infiltração de fluidos para subsuperfície, tais como esgotos e efluentes domésticos, que podem atuar como potencializadores ou deflagradores do processo de dissolução das rochas carbonáticas, acelerando a criação de vazios subterrâneos que podem se manifestar superficialmente no processo de subsidência do solo, caracterizando uma situação de risco. Os métodos adotados para essa pesquisa não possibilitaram verificar o grau de influência do direcionamento de fluidos para a subsuperfície no processo de dissolução subjacente, havendo apenas a verificação das áreas onde esse processo foi observado.

As áreas mais problemáticas identificadas do ponto de vista dos riscos são as depressões 05, 07, 09 e 12 localizadas nos bairros Cruz das Armas, Cidade dos Funcionários I, Jardim Veneza e João Paulo II, respectivamente.

As condições naturais associadas aos problemas relacionados as ações antrópicas identificadas na área da depressão 03 indicam aí uma forte tendência ao risco de colapso do solo devido a entrada rápida de energia no sistema oriunda do rompimento de tubulações pluviais em períodos de alta pluviosidade, conectando os

prováveis vazios subterrâneos a superfície, a partir do colapso do solo e a criação de depressões fechadas.

A inexistência de registros de desastres relacionados ao relevo cárstico no município de João Pessoa pode estar atrelada ao fato dessa cidade apresentar processo de expansão urbana recente, ocorrido a partir da segunda metade do século XX, quando se deu com mais evidência a ocupação e as alterações superficiais de várias feições cársticas. Desse modo, se faz urgente e propício o desenvolvimento de pesquisas que se utilizem de métodos mais detalhados para se verificar as condições de risco associadas aos processos cársticos no município de João Pessoa, sem que antes seja necessária a perda de vidas humanas para que seja dada a devida importância e atenção a esse problema.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: **Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia**, 35. Belém. Belém: SBG, v. 2, p. 753-760, 1988.
- ARAUJO, M. E. **Estudo Geomorfológico do extremo Sul do Litoral da Paraíba**. 142f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 1993.
- ARAUJO, M. E. **Água e Rocha na Definição do sítio de Nossa senhora das Neves, atual Cidade de João Pessoa – Paraíba**. 297f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2012.
- ASMUS, H. E. Controle estrutural da deposição Mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. In: **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 160-175, 1975.
- BARBOSA, J. A. **Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil**. 230f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- BARBOSA, J. A., LIMA-FILHO, M. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás**. Salvador, 2005.
- BARBOSA, J. A. **A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos**. 270f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.
- BARBOSA, T. S. **Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa – PB, Brasil**. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D. E. SANTOS, G. F. Fundamentos geológico geográficos, alterações químicas e físicas das rochas relevo cárstico e dômico. In: **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**, v.1, 425p Florianópolis: UFSC, 1994.
- BONACCI, O. LJUBENKOV, I. ROJE-BONACCI, T. Karst flash floods: an example from the Dinaric karst (Croatia). In: **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 6, n. 2, p. 195-203, 2006.
- BRINKMANN, R. PARISE, M. DYE, D. Sinkhole distribution in a rapidly developing urban environment: Hillsborough County, Tampa Bay area, Florida. In: **Engineering Geology**, v. 99, n. 3-4, p. 169-184, 2008.

BRITO NEVES, B. B. ALBUQUERQUE, J. P. T. COUTINHO, J. M. V. BEZERRA, F. H. R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). In: **Revista do Instituto de Geociências. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v.9, n.2, p.63-87, 2009.**

CAVALCANTI, I. F. A. KOUSKY, V. E. Influência da Circulação da Escala Sinótica na Circulação da Brisa Marítima na Costa NNE da América do Sul. **INPE-2573-PRE/221, INPE, São José dos Campos (SP), 13p, 1982.**

COOPER, A. H. FARRANT, ANDREW R. PRICE, S. J. The use of karst geomorphology for planning, hazard avoidance and development in Great Britain. In: **Geomorphology, v. 134, n. 1-2, p. 118-131, 2011.**

CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba.** Organizado por Edilton José dos Santos, Cícero Alves Ferreira, José Maria Ferreira da Silva Júnior – Recife: CPRM, 2002. 142 p. il. 2 mapas. Escala 1:500.000.

DE WAELE, J. GUTIÉRREZ, F. PARISE, M. PLAN, L. Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review. In: **Geomorphology, v. 134, n. 1-2, p. 1-8, 2011.**

DOĞAN, U. Land subsidence and caprock dolines caused by subsurface gypsum dissolution and the effect of subsidence on the fluvial system in the Upper Tigris Basin (between Bismil–Batman, Turkey). In: **Geomorphology, v. 71, n. 3-4, p. 389-401, 2005.**

DUCCI, D. DE MASI, G. PRISCOLI, G. Contamination risk of the Alburni karst system (southern Italy). In: **Engineering Geology, v. 99, n. 3-4, p. 109-120, 2008.**

FABRI, F. P. AUGUSTIN, C. H. R. R. Fatores e processos envolvidos no desenvolvimento de formas cársticas em rochas siliciclásticas em Minas Gerais, Brasil. In: **Revista Geografias. Vol. 9, nº 1, p. 86-96. UFMG: Belo Horizonte, 2013.**

FERREIRA, A. G. MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. In: **Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.**

FORD, D. WILLIAMS, P. **Karst Geomorphology and Hydrology**, Unwin Hyman, London, 601 pp., 1989.

FORD, D. WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 578p, 2007.

FRUMKIN, A. New Developments of Karst Geomorphology Concepts. In: John F. Shroder (ed), Frumkin, A. (Volume Editor). **Treatise on Geomorphology, Vol 6, Karst Geomorphology**, San Diego: Academic Press. p. 1-13, 2013.

FURRIER, M., Araújo, M. E., Meneses, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. In: **Revista do Instituto de Geociências – USP, v.6, n.2, p.61-70, 2006.**

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000**. 213f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo, 2007.

FURRIER, M., Vital, S. R. O. A formação de Dolinas em áreas urbanas: o caso do bairro de Cruz das Armas em João Pessoa (PB). In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, n.1, v.4, p.161-173, 2011.

GALVE, J. P. BONACHEA, J. REMONDO, J. GUTIÉRREZ, F. GUERRERO, J. LUCHA, P. SÁNCHEZ, J. A. Development and validation of sinkhole susceptibility models in mantled karst settings. A case study from the Ebro valley evaporite karst (NE Spain). In: **Engineering geology**, v. 99, n. 3-4, p. 185-197, 2008.

GEOLOGICAL SURVEY IRELAND. Paisagem cárstica. Disponível em <[https://www.gsi.ie/en-ie/programmes andprojects/groundwater/activities/understanding-irish-karst/karst-landforms/Pages/default.aspx](https://www.gsi.ie/en-ie/programmes_andprojects/groundwater/activities/understanding-irish-karst/karst-landforms/Pages/default.aspx)> Acesso em 03/08/2019.

GOMES, I. P. A importância das fraturas no desenvolvimento de feições cársticas em calcários da formação Jandaíra (cretáceo da bacia Potiguar), Felipe Guerra, RN. 165f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará, 2008.

GREEN, R.T. PAINTER, S. L. SUN, A. WORTHINGTON, S. R. H. Groundwater contamination in Karst Terranes. In: **Water Air Soil Pollut. Focus 6 (1-2)**, 157-170, 2006.

GUTIÉRREZ, F. GALVE, J. P. LUCHA, P. CASTAÑEDA, C. BONACHEA, J. GUERRERO, J. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes in the mantled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain). In: **Geomorphology**, n. 134, 144-156, 2011.

GUTIÉRREZ, T. PARISE, M. DE WAELE, J. JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. In: **Earth-Science Reviews**, v. 138, p. 61-88, 2014.

GUTIÉRREZ, F. Sinkhole Hazards. **Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science**, 2016. Acesso em: 05 de julho de 2019. Disponível em <<https://oxfordre.com/naturalhazardscience/view/10.1093/acrefore/9780199389407.01.0001/acrefore-9780199389407-e-40>>.

HARDT, R. Carste em arenito: considerações gerais. In: **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia**. p. 163-167, 2003.

HARDT, R. PINTO, S. A. F. Carste em litologias não carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2009.

HUGGETT, R. **Fundamentals of Geomorphology**. Routledge, London, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2019. Rio de Janeiro. 2019. Diretoria de pesquisas – DPE. Coordenação de população e indicadores sociais – COPIS.

JENNINGS. J. N. **Karst Geomorphology**. New York, Basil Blackwell Inc., 293 p, 1985.

LIMA FILHO, M. F. **Análise estratigráfica e estrutural da bacia Pernambuco**. 180f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

LIRA, B. **Blog do Bruno Lira**. Disponível em <<http://www.blogdobrunolira.com.br/2019/02/cratera-engoli-carro-em-joao-pessoa/>> Acesso em 19.06.2019.

LOBO, H. A. S. PEREIRA, R. G. F. A. SÁ, L. P. Carste da região de São Desidério (Bahia, Brasil): proteção ambiental e gestão territorial. **Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia**. v. 32, p. 11-14, 2013.

LOLCAMA, J. L. COHEN, H. A. TONKIN, M. J. Deep karst conduits, flooding, and sinkholes: lessons for the aggregates industry. In: **Engineering Geology**, v. 65, n. 2-3, p. 151-157, 2002.

LUMMERTZ, F. B. **Aspectos da hidráulica subterrânea na área da Grande João Pessoa**. Dissertação (Mestrado) UFPE/Escola de Geologia, Recife, 1977.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte – base estrutural. In: **Estudos geológicos UFPE, série B, Recife**, v. 10, p. 33-44, 1991.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. In: **Revista Brasileira de Geociências**. vol. 18, n. 4, p. 476-482, 1998.

MAIA, R. P. BEZERRA, F. H. SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste: Concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 27, p. 6-19. 2010.

MAIA, R. P. SOUSA, M. O. L. BEZERRA, F. H. R. NETO, P. X. MOURA LIMA, E. N. SILVA, C. C. N. SANTOS, R. D. A importância do controle tectônico para a formação da paisagem cárstica na Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, 2013.

MAIA, R. P. BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2014.

MAIA, R. P. Geomorfologia Estrutural, Neotectônica e Carste: exemplos no Nordeste Brasileiro. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, 2018.

MARÉCHAL, J. C. LADOUCHE, B. DÖRFLIGER, N. Karst flash flooding in a Mediterranean karst, the example of Fontaine de Nîmes. In: **Engineering Geology**, v. **99**, n. **3-4**, p. 138-146, 2008.

MARINHO, E. G. A. **Bases geológicas e geomorfológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB)**. 318f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

MARTINS, V. P. **Análise ambiental e legal do processo de ocupação e estruturação urbana da cidade de João Pessoa/PB, numa visão sistêmica**. 146f. Dissertação de (Mestrado). Programa Regional de pós-graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal da Paraíba, 2006.

MELO, M. S. GIANNINI, P. C. F. PESSENDA, L. C. R. Gênese e evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa/PR. In: **Revista do Instituto Geológico**, v. **21**, n. **1-2**, p. 17-31, 2000.

MELO, A. S. T. HECKENDORFF, W. D. ALVES, E. L. GUIMARÃES, M. M. M. O meio ambiente natural: componentes abióticos e bióticos. In: Melo, A. S. T. (Org.). **Projeto de Pesquisa: Vale do Jaguaribe, João Pessoa**: Ed. UNIPÊ, 2001.

MOLLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. In: **Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro**, v. **17**, n. **1**, p. 1-10, 2002.

NÓBREGA, R. S. SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. In: **Revista Mercator**, v. **13**, n. **1**, p. 107-118, 2014.

OLIVEIRA, F. B. **Degradação do meio físico e implicações ambientais na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa – PB**. 93f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

PAPARAZZO, W. **Portal G1 Paraíba**. Disponível em <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/asfalto-cede-e-crateras-se-formam-em-cruzamentos-apos-chuvas-em-joao-pessoa.ghtml>> Acesso em 18/06/2019.

PAPARAZZO, W. **Portal G1 Paraíba**. Disponível em <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2017/03/tubulacao-rompe-e-abre-cratera-em-cruzamento-de-joao-pessoa.html>> Acesso em 18/06/2019.

PEREIRA, R. G. F. A. **Caracterização Geomorfológica e Geoespeleológica do Carste da Bacia do Rio Una, Borda Leste da Chapada Diamantina (Município de Itaetê, Estado da Bahia)**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências USP, 1998.

PEREIRA, M. D. B. MONTEIRO, D. C. S. SILVA, N. T. MOURA, M. O. Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba. In: **Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.1, n.5**, p.921 – 929, 2012.

PEREIRA, M. C. RODET, J. G. M. A. SALGADO, A. A. R. Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, 2013.

PERRIN, J. CARTANNAZ, C. NOURY, G. VANOUDHEUSDEN, E. A multicriteria approach to karst subsidence hazard mapping supported by weights-of-evidence analysis. *Engineering Geology*, N° 197, p. 296-305, 2015.

PILÓ, L. B. Geomorfologia Cárstica. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 1: 88-102, 2000.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

PUEYO-ANCHUELA, Ó. SORIANO, M. A. POCOVÍ JUAN, A. CASAS-SAINZ, A. M. Characterization of karst hazards from the perspective of the doline triangle using GPR. Examples from Central Ebro Basin (Spain). In: **Engineering Geology 108**: 225–236, 2009.

PUEYO ANCHUELA, Ó. CASAS SAINZ, A. M. POCOVÍ JUAN, A. GIL GARBÍ, H. Assessing karst hazards in urbanized areas. Case study and methodological considerations in the mantle karst from Zaragoza city (NE Spain). In: **Engineering Geology, N° 184**, p. 29-42, 2015.

RODRIGUEZ, J. L. Acumulação de capital e produção do espaço: a caso da Grande João Pessoa. Ed. Universitária/UFPB: João Pessoa, 1980.

SALLUN FILHO, W. KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: HASUI, Y. CARNEIRO, C. D. R. BARTORELLI, A. ALMEIDA. F. F. M (Org.). *Geologia do Brasil*. 1ed.São Paulo, SP: Beca, p. 629-641. 2012.

SAURO, F. PICCINI, L. MECCHIA, M. DE WAELE, J. Comment on “Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst?” by R. Aubrecht, T. Lánczos, M. Gregor, J. Schlögl, B. Smída, P. Liscák, Ch. Brewer-Carías, L. Vlcek, *Geomorphology* 132 (2011), 351–365. *Geomorphology*, v. 197, p. 190-196, 2013.

SAURO, U. Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification. In: **Acta carsologica**, v. 32, n. 2, 2016.

SELF, C. A.; MULLAN, G. J. Rapid karst development in an English quartzitic sandstone. In: **Acta carsologica**, v. 34, n. 2, 2016.

SORRENTINO, P. **Portal T5**. Disponível em <<https://www.portalt5.com.br/noticias/paraiba/2018/4/80568-apos-chuvas-asfalto-cede-e-abre-cratera-em-bairro-de-joao-pessoa>> Acesso em 19/06/2019.

WAGNER, W. ULLRICH, A. MELZER, T. BRIESE, C. KRAUS, K. From single pulse to full-waveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35(B3), 2004. Disponível em <https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/267.pdf> Acesso em 13/08/2019.

WILLIAMS, P. W. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. In: **Geological Society of America Bulletin**, 83, 761-96, 1972.

WRAY, R. A. L. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. In: **Earth Sci. Rev.** 42, 137–160, 1997.

ROMERO, C. M. **Riscos e qualidade ambiental urbana no caso de Cajamar (SP)**. Rio Claro: IGCE/UNESP. (Trabalho de Conclusão de Curso: Bacharelado em Geografia), 2007.

TAHERI, K. GUTIÉRREZ, F. MOHSENI, H. RAEISI, E. TAHERI, M. Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude–frequency relationships: a case study in Hamadan province, Iran. In: **Geomorphology**, v. 234, p. 64-79, 2015.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: **Decifrando a Terra. São Paulo**, Oficina de Textos, p. 114-138, 2000.

KLIMCHOUK, A. B. FORD, D. Types of Karst and Evolution of Hydrogeological Setting. In A. B. Klimchouk, D. C. Ford, A. N. Palmer & W. Dreybrodt (Eds.) **Spleogenesis, Evolution of Karst Aquifers**. National Speleological Society, Alabama, USA, pp. 45-53, 2000.

KLIMCHOUK, A. Subsidence hazards in different types of karst: evolutionary and speleogenetic approach. In: **Environmental geology**, v. 48, n. 3, p. 287-295, 2005.

KOVAČIČ, G. RAVBAR, N. Analysis of human induced changes in a karst landscape — the filling of dolines in the Kras plateau, Slovenia. In: **Science of the Total Environment**, p. 143- 151, 2013.

VESTENA, L. R. KOBAYAMA, M. SANTOS, J. C. Considerações sobre gestão ambiental em áreas cársticas. In: **RA'EGA**, p. 81-94, 2002.

VITAL, S. R. O. **Análise geológica-geomorfológica das depressões fechadas e dolinas em sedimentos da Formação Barreiras na região de João Pessoa (PB)**. 216f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2015.

ANEXO A – Dados de Poços Coletados Para a Pesquisa

Ordem	Fonte	Perfurador	ID	X	Y	Cota(m)	Solo	Barreiras	Gramame	Beberibe	Prof.(m)
1	CPRM-SIAGAS	CONESP	Alto do Mateus II	288217	9211026	25	-	0	-	26	300
2	CAGEPA	CONESP	Buraquinho	294407	9210820	22	0	3	14	70	373
3	CPRM-SIAGAS	CONESP	Cabo Branco	298055	9211072	41	0	8	80	135	300
4	CPRM-SIAGAS	CONESP	Conj. Vieira Diniz	288798	9206606	45	0	3	-	63	322
5	CPRM-SIAGAS	CONESP	Cristo Redentor	293029	9208685	49	-	0	42	99	350
6	CPRM-SIAGAS	CONESP	D.I.	289785	9205596	34	0	2	55	205	300
7	CPRM-SIAGAS	CONESP	Espaço Cultural	296532	9212378	45	-	0	68	122	148
8	CPRM-SIAGAS	CONESP	Fábrica Toalia	289128	9203735	40	-	0	-	66	285
9	CPRM-SIAGAS	CONESP	Funcionário II	291973	9206293	38	-	0	31	70	303
10	CPRM-SIAGAS	CONESP	Grotão	291058	9206155	34	-	0	9	66	288
11	CPRM-SIAGAS	CONESP	Hosp. Edson Ramalho	293712	9212896	33	-	0	36	84	150
12	CPRM-SIAGAS	CONESP	Inst. R. do Menor	297810	9208148	38	-	0	43	125	160
13	CPRM-SIAGAS	CONESP	Col. Juliano Moreira	293462	9211501	50	0	2	44	104	144
14	CPRM-SIAGAS	CONESP	Mares	288911	9208922	30	-	0	11	30	292
15	CPRM-SIAGAS	CONESP	Toalia	289062	9203322	39	-	0	80	221	286
16	CPRM-SIAGAS	CONESP	Torre R-6	294239	9212502	46	-	0	39	93	315
17	CPRM-SIAGAS	CONESP	Lucena	293010	9237146	4	0	-	30	98	121
18	CPRM-SIAGAS	CONESP	Costinha	290550	9229513	7	0	-	-	-	120
19	CPRM-SIAGAS	-	Costinha	294855	9229496	6	0	-	55	98	120
20	CPRM-SIAGAS	-	Lucena (Sede)	292365	9236433	4	0	-	-	-	121
21	CPRM-SIAGAS	CONESP	Santa Rita	282526	9210609	65	0	8	-	135	200.50
22	CPRM-SIAGAS	CONESP	Sede D.N.E.R	278215	9206724	69	0	-	-	-	116
23	CPRM-SIAGAS	CONESP	Livramento	281300	9212000	13	-	-	-	0	343
24	CPRM-SIAGAS	CONESP	Santa Rita	281300	9212000	13	-	0	39	102	214
25	CPRM-SIAGAS	CONESP	Santa Rita - I	281400	9212000	10	0	3	-	84	170
26	CPRM-SIAGAS	CONESP	Santa Rita - II	281400	9212100	15	0	3	-	31	185
27	CPRM-SIAGAS	CONESP	Santa Rita - Piezometro	281000	9212000	19	-	0	-	-	28
28	Melo et al., (2001)	DNOCS	Parque de Exp. Cristo	292325	9207385	50	-	0	37	85	110
29	Melo et al., (2001)	DNOCS	15º Batalhão	291970	9210541	51	0	1	30	75	81.5
30	Melo et al., (2001)	DNOCS	CEASA	294035	9207519	46	0	2	38	56	67
31	Melo et al., (2001)	DNOCS	UNIPÊ	295166	9208265	44	-	0	48	101	120
32	Melo et al., (2001)	DNOCS	IFPB-CAMPUS-I	293096	9210837	50	-	0	37	68.5	100
33	Melo et al., (2001)	DNOCS	UFPB-CAMPUS-I	296255	9210793	45	-	0	53	96	133
34	Melo et al., (2001)	DNOCS	Granja Santana-JP	295895	9211947	18	-	0	44	92.5	92,5
35	Melo et al., (2001)	DNOCS	Alto Boa Vista	286000	9211000	55	-	0	18	65	300
36	Brito Neves et al., 2009	Construções	Mineral Plantina	278258	9209018	73	0	-	-	6	72
37	Brito Neves et al., 2009	Construções	SPA/Miner.	278983	9209546	74	0	-	-	2	70
38	Brito Neves et al., 2009	Polipoços	Alpargatas	280272	9212068	7	-	-	-	96	96
39	Brito Neves et al., 2009	CAGEPA	Cruz das Armas	291342	9210425	53	-	0	28	87	328

40	Brito Neves et al., 2009	-	Pavilhão do Chá	2918 45	92123 13	53	-	0	30	72	210
41	Brito Neves et al., 2009	-	UNIMED	2948 30	92114 77	45	-	0	43	73	150
42	Brito Neves et al., 2009	CAGEPA	Castelo Branco	2960 00	92116 00	14	-	0	47	56	253
43	Brito Neves et al., 2009	CAGEPA	Altiplano	2973 00	92110 00	8	-	0	80	135	300
44	Brito Neves et al., 2009	-	Hotel Igatu	2986 26	92117 68	8	0	10	28	88	130
45	Brito Neves et al., 2009	CONESP	Livramento	2895 00	92207 00	68	0	1	-	81	343
46	Construções	Construções	Res. Ticiano	2970 80	92225 58	6	0	-	38	128	152
47	Construções	Construções	Cond. Varandas do Atl.	2977 01	92224 38	8	0	-	40	132	152
48	Construções	Construções	Res. Mallorca	2962 98	92212 23	10	0	-	32	90	120
49	Construções	Construções	Ind. Benef. Camarão	2963 17	92218 25	5	0	-	28	92	112
50	Construções	Construções	Cond. Atlanta Ville	2961 01	92202 33	5	0	-	33	90	128
51	Construções	Construções	Res. Villas Atlantico	2951 87	92199 06	6	0	-	23	96	150
52	Construções	Construções	Jardim Michelangelo	2966 68	92176 93	7	0	-	32	88	148
53	Construções	Construções	Rest. Golfinho	2977 47	92169 43	10	0	-	33	90	120
54	Construções	Construções	Res. Trianom	2963 28	92153 53	12	0	-	19	82	107
55	Construções	Construções	Palazzo Firenze	2969 04	92160 15	13	0	-	27	88	150
56	Construções	Construções	Res. Jeová Mesquita	2970 35	92158 86	12	0	-	30	88	120
57	Construções	Construções	Res. Atlante Plaza	2981 04	92130 66	14	0	-	26	88	119
58	Construções	Construções	Rest. Tererê	2985 57	92119 43	9	0	10	23	132	153
59	Construções	Construções	Alpha Village	2986 40	92102 02	42	-	0	56	128	152
60	Construções	Construções	AMIP	2926 52	92124 10	42	-	0	33	82	103
61	Construções	Construções	Cond. Blue Tower	2974 34	92129 53	10	-	0	34	88	103
62	Construções	Construções	IPEP	2939 71	92127 71	42	-	0	34	82	122
63	Construções	Construções	Res. Andrés Segovia	2976 24	92137 30	9	0	-	29	82	109
64	CAGEPA	HIDROGE SP	Mandacarú	2944 58	92142 98	18	-	0	18	65	255
65	CAGEPA	CAGEPA	Fazenda Graça	2909 32	92102 83	23	0	5	7,5	55	90
66	CDRM	CDRM	Praia da Penha	3012 88	92075 60	28	0	3	58	149	205.3
67	CDRM	CDRM	Fazenda Andreza	2940 45	91851 00	94	-	0	72	-	150
68	CDRM	CDRM	Granja Cametá	2865 95	91822 60	86	0	3	39	45	80
69	CDRM	CDRM	Granja Mesopotâmia	2824 66	91891 31	45	0	10	-	-	70
70	CDRM	CDRM	Caixa d'água CAGEPA	2892 57	91779 51	66	0	3	39	-	170
71	CDRM	CDRM	Mata de Garapú II	2911 36	91890 97	30	0	4	-	-	96
72	CDRM	CDRM	REPET-NE Reciclagem	2866 17	91984 52	79	0	2	38	56	150
73	CDRM	CDRM	Granja Três Irmãos	2881 29	91821 43	84	0	3	83	-	84
74	CDRM	CDRM	Santa Rosa	2825 78	91888 48	39	0	-	-	1	38
75	CDRM	CDRM	Paripe	2941 42	91965 48	29	0	1	50	97	129
76	CDRM	CDRM	Pousada do Conde II	2872 29	91989 47	59	0	8	60	70	100
77	CDRM	CDRM	Sítio Paraíso-Guruji	2957 00	91966 59	80	0	3	69	-	76
78	CDRM	CDRM	CAGEPA	3005 02	91942 39	41	0	5	43	147	188
79	CDRM	CDRM	CBM	2870 44	91990 69	65	0	2	33	44	78
80	CDRM	CDRM	Granja Iana	2911 48	92008 37	22	0	2	5	-	11
81	CDRM	CDRM	Mituassu I	2940 05	91999 58	41	-	0	37	-	76

82	CDRM	CDRM	Guruji	2958 32	91958 79	77	0	3	60	145	194
83	CDRM	CDRM	Parque da Criança II	2878 47	91978 43	17	0	5	-	-	8.5
84	CDRM	CDRM	Complexo Maçonico	2938 48	92315 73	7	0	-	11	53	85
85	CDRM	CDRM	Tabapara	2858 72	92372 86	39	-	0	-	-	78
86	CDRM	CDRM	CAGEPA	2944 86	92302 65	6	-	0	40	86	160
87	CDRM	CDRM	Estivas de Geraldo	2803 22	92355 43	24	-	0	47	72	99
88	CDRM	CDRM	Sítio Vieira	2910 49	92333 45	20	0	1	107	176	211
89	CDRM	CDRM	Marcos João Jardim	2912 86	92348 81	8	0	8	31	-	66
90	CDRM	CDRM	Santuário da Guia	2923 75	92311 98	50	0	3	56	98	131
91	CDRM	CDRM	Faz. Santa Rita	2798 99	91974 19	44	0	2	59	-	72
92	CDRM	CDRM	Faz. Santa Rita II	2785 24	91973 51	61	0	9	45	-	50
93	CDRM	CDRM	Lerolândia	2802 93	92278 61	62	-	0	-	70	102
94	CDRM	CDRM	CIEF-CODEF	2954 54	92134 52	44	0	1	54	100	114
95	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco II	2981 34	92110 66	40	0	1	50	-	61
96	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco III	2981 27	92129 09	9	0	1	52	-	60
97	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco I	2981 95	92110 97	40	0	1	56	-	63
98	CDRM	CDRM	Praia da Penha	3013 09	92075 45	28	0	3	54	147	205
99	CDRM	CDRM	Cabo Branco Res. Privê	3006 30	92085 26	34	0	2	59	153	160
100	CDRM	CDRM	FEBEMAA	2979 92	92081 47	39	0	4	62	-	64
101	CDRM	CDRM	CIAD	2963 12	92126 78	39	0	2	44	99	138
102	CDRM	CDRM	ENERGISA	2928 41	92071 43	49	-	0	43	94	150
103	CDRM	CDRM	Hosp. Padre Zé	2932 15	92131 36	40	-	0	24	77	107
104	CDRM	CDRM	Hospital e Pronto Socorro	2964 99	92130 57	30	0	1	36	91	120
105	Construpoços	Construpoços	Cond. Igr. S. Júlia.	2944 39	92124 76	48	-	0	36	63	100
106	Construpoços	Construpoços	Rest. Saboreli	2953 31	92123 87	43	-	0	42	72	72
107	Construpoços	Construpoços	Sem nome	2956 07	92124 80	46	-	0	43	-	50
108	Construpoços	Construpoços	Pousada do Conde	2872 98	91991 60	54	-	0	46	62	150
109	CAGEPA	HIDROTEC	Sem nome	2928 49	92370 68	5	-	0	30	86	160
110	CAGEPA	HIDROTEC	Sem nome	3004 69	91735 01	7	-	0	30	110	170
111	CAGEPA	-	Caixa d'água Cristo	2931 29	92086 68	49	-	0	42	87	350
112	CAGEPA	-	Reservatório Castelo Branco	2960 68	92112 21	36	-	0	47	114	246
113	CAGEPA	-	Mata Redonda	2853 27	91859 42	47	-	0	-	37	100
114	AESA	ATM	Fazenda Santa Terezinha	2878 42	91789 10	68	0	4	-	82	95
115	AESA	ATM	Cond. Holanda Sun Place	2976 62	92124 38	17	-	0	35	-	35
116	AESA	HIDROTEC	Res. Alphaville	2878 68	92088 74	55	-	0	50	100	200
117	AESA	Construpoços	Prínc. Borgonha	2975 99	92134 88	10	0	-	28	92	120
118	AESA	ATM	TEXPAR	2803 54	92100 89	75	-	0	-	97	100
119	AESA	João Batista	Auto Posto Ronaldão	2935 66	92069 76	47	-	0	40	-	60
120	AESA	Construpoços	Condomínio Príncipe de Veneza	2979 60	92137 26	8	-	0	29	81	115
121	AESA	ATM	Posto Cabo Branco	2942 07	92077 26	45	-	0	50	-	52
122	AESA	Construpoços	Cond. Res. Tour's Geneve	2981 85	92113 31	41	0	-	49	114	120
123	AESA	HIDROTEC	Conj. Habitacional Cizone Acioly	2877 31	92063 23	55	-	0	60	80	150

124	AESA	ATM	Alpargatas S.A.	2895 67	92061 46	39	0	4	-	96	98
125	AESA	-	Shopping Mangabeira	2978 15	92078 17	41	0	5	43	120	213
126	AESA	ATM	ACQUAFIBER	2890 42	92055 91	38	-	0	-	117	137
127	AESA	ATM	MABINOR	2871 16	91979 88	78	-	0	-	-	65
128	AESA	Arcoverde	Sem nome	2973 30	92163 63	10	0	3	26	-	42
129	AESA	HIDROTE C	Hotel Mauro Miranda	2985 57	92118 33	9	-	0	18	-	19
130	AESA	HIDROTE C	Cond. Vista Verde II	2877 47	92061 94	54	-	0	60	72	120
131	AESA	HIDROTE C	Cond. Vista Verde I	2877 93	92062 96	53	-	0	60	72	120
132	AESA	ATM	Cond. Res. Alta Vista	2981 98	92110 05	40	-	0	42	-	42
133	AESA	ATM	Cond. Res. Luna Plaza	2968 71	92128 62	37	-	0	45	-	45
134	AESA	ATM	Cond. Res. Almanara	2980 26	92112 01	42	-	0	45	-	45
135	CPRM		INOCOP	2919 80	92120 00	57	0	12	48	108	201
136	CPRM		RESINOR	2921 00	92122 00	48	0	-	-	36	100
137	CPRM		Conj. Valentina Figueiredo	2920 00	92120 00	57	-	0	35	97	250
138	CPRM		Conj. Paratibe	2920 40	92120 00	55	0	3	36	89	201
139	CPRM		Alto do Mateus	2920 20	92120 00	56	-	0	-	26	300
140	CPRM		Conj. Vieira Diniz	2889 44	92065 34	43	0	3	-	63	322
141	CPRM		Conj. Mangabeira	2966 87	92068 24	42	-	0	44	113	310
142	CPRM		Mangabeira II	2964 60	92057 20	43	0	7	60	107	152
143	CPRM		Alhandra (SEDE) I	2884 68	91769 65	9	-	0	-	-	36
144	CPRM		Alhandra (SEDE) II	2884 68	91769 34	8	-	0	-	-	107
145	CPRM		Fazenda Alhandra	2887 72	91771 74	24	-	0	-	100	244
146	CPRM		PZ-01-IIA	2889 00	91908 00	90	-	-	-	0	240
147	CPRM		SUDENE/19/PB	2870 00	92120 00	14	0	3	20	79	252
148	CPRM		SUDENE/02/14/PB	2871 00	92121 00	14	0	3	-	-	65
149	CPRM		SUDENE/02/04/PB	2870 20	92120 00	12	-	0	-	33	47,5
150	CPRM		SUDENE 5.1/21/PB	2880 40	92120 20	15	0	8	-	23	170
151	CPRM		SUDENE 5.5/02/PB	2880 00	92120 00	15	-	0	-	82	312
152	CPRM		SUDENE 5.5/01/PB	2880 20	92120 00	15	0	6	-	48	282
153	CPRM		SUDENE 09/33/PB	2866 00	92120 00	14	-	0	-	42	206
154	CPRM		SUDENE 09/32/PB	2866 00	92121 00	15	0	-	-	6	224
155	CPRM		Caxitú	2889 62	92006 12	95	-	0	51	81	112
156	CPRM		Jacumã	3007 57	91941 86	25	-	0	63	135	150
157	CPRM		Alto Conde	2895 00	91967 00	120	0	3	9	48	162
158	CPRM			2814 00	92115 00	54	0	3	-	42	275
159	AESA	Arcoverde	-	2862 61	91978 58	92	-	0	27	67	99
160	AESA	HIDROTE C	Distrito Industrial	2881 31	92047 27	43	0	3	-	50	123
161	AESA	ATM	Altiplano - LIÉGE	2978 92	92114 83	39	-	0	60	-	60
162	AESA	Construções	Loteamento Novo Bairro	2810 11	92070 87	71	-	0	-	87	152
163	AESA	ATM	Altiplano - Palazzo	2980 16	92112 10	42	-	0	42	-	42
164	AESA	ATM	Miramar - Cond. Mozart	2976 92	92124 32	14	-	0	20	60	102
165	AESA	Arcoverde	-	2981 78	92129 47	10	0	5	28	88	120

166	AESA	Arcoverde	-	2988 00	92109 61	10	0	5	28	88	110
167	AESA	ATM	Alpargatas	2804 45	92101 39	73	-	0	-	88	96
168	AESA	ECOMAX	Bosque das Gameleiras	2990 21	92086 61	39	0	6	-	58	160
169	AESA	-	Ind. VALTEX	2828 93	92110 56	64	-	0	-	82	100
170	AESA	-	Ind. VALTEX	2830 43	92111 15	62	-	0	-	84	100
171	AESA	-	-	2895 46	92064 62	42	0	4	-	-	72
172	AESA	Magno	Mecânica Rio	2887 02	92046 86	39	-	0	30	40	40
173	AESA	Construções	Res. Tour's Geneve	2859 75	92064 69	60	0	3	-	70	100
174	AESA	Arcoverde	-	2943 46	92030 09	50	0	5	43	88	110
175	CDRM	-	Mituassú II	2940 05	91999 58	-	-	0	16	85	128
176	CDRM	-	Sede - SAELPA	2928 41	92071 43	-	-	0	43	94	150