UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Saulo Roberto de Oliveira Vital

ANÁLISE GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA DAS DEPRESSÕES FECHADAS E DOLINAS EM SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE JOÃO PESSOA (PB)

Tese de doutorado

RECIFE
2015

SAULO ROBERTO DE OLIVEIRA VITAL

Geógrafo, Universidade Federal da Paraíba, 2009

Mestre em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2011

ANÁLISE GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA DAS DEPRESSÕES FECHADAS E DOLINAS EM SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE JOÃO PESSOA (PB)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pela Profª. Drª. Alcina Magnólia Franca Barreto (Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco) e co-orientada pelo Prof. Dr. William Sallun Filho (Instituto Geológico do Estado de São Paulo), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

RECIFE, PE

2015

Catalogação na fonte
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260

V836a Vital, Saulo Roberto de Oliveira.
Análise geológica-geomorfológica das depressões fechadas e dolinas em sedimentos da formação barreiras na região de João Pessoa (PB)/ Saulo Roberto de Oliveira Vital. - Recife: O Autor, 2015.
127folhas, Il. e Tabs.

Orientada: Profª. Dra Alcina Magnólia Franca Barreto.
Coorientador: Prof. Dr. William Sallun Filho.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2015.
Inclui Referências, e Anexos.

1.Geociências. 2. Depressões fechadas. 3. Dolinas. 4. Carste subjacente. 5. Formação gramame. 6. Bacia da Paraíba. I. Barreto, Alcina Magnólia de Franca. (Orientadora) II. Sallun Filho,William. (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.) BCTG/2015-175

ANÁLISE GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA DE DEPRESSÕES FECHADAS E DOLINAS EM SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE JOÃO PESSOA (PB)

Saulo Roberto de Oliveira Vital

APROVADO EM: 28/05/2015

BANCA EXAMINADORA

_____

Profa. Dra. Alcina Magnólia Franca Barreto
UFPE

_____

Profa. Dra. Ignez de Pinho Guimarães
UFPE

_____

Prof. Dr. Max Furrier
UFPB

_____

Prof. Dr. Ricardo Fraga de Araújo Pereira
UFBA

_____

Prof. Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos
PUC-MG

Dedico este trabalho à minha avó, Rita Maria de Oliveira (in memorian) e a toda minha família.

“[...] foi Ele quem me deu a verdadeira ciência de todas as coisas, que me fez conhecer a constituição do mundo e as virtudes de seus elementos [...] a sucessão dos solstícios e as mutações das estações [...]”.

Livro de Sabedoria 7, 17-18b

AGRADECIMENTOS

Sem dúvida, trabalhar os aspectos geológicos e geomorfológicos do meu estado é, mais uma vez, um ato de enorme prazer, tendo em vista, primeiramente, o amor que tenho por este chão e, posteriormente, por todos os ilustres pesquisadores que já passaram por aqui.

Ao término de mais esta etapa de minha vida, gostaria de prestar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão desta pesquisa.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me concedeu a oportunidade de cursar este doutorado através de sua providência.

À minha família, na pessoa da minha esposa (Hamanda) e minha filha (Sarah). A elas, agradeço pela compreensão nos momentos de ausência e pela força prestada nos momentos de desânimo.

Ao meu pai (José Carlos), pelo imenso apoio nos trabalhos de campo, estando sempre presente nos momentos que precisei. Para mim, um geógrafo na vida.

À minha mãe (Maria da Penha), pelo amparo, sempre apostando nos meus estudos por meio do seu incentivo. Sem ela, não teria chegado até aqui.

Aos meus orientadores.

À Profª. Drª. Alcina Magnólia Franca Barreto, pela presença constante enquanto orientadora. Com certeza, ficaram lições de uma grande mestra na academia e, sobretudo, na vida.

Ao Prof. Dr. William Sallun Filho, por ter aceitado contribuir com esta pesquisa enquanto co-orientador. Também agradeço pela prontidão em sempre ajudar, a constante disponibilidade e o interesse em tornar este trabalho cada vez melhor.

Ao meu amigo Wellington Stanford Dantas, pelo apoio constante, pelas conversas, sugestões e a disponibilidade constante. A este agradeço não só pelos dados fornecidos, mas, sobretudo, pela amizade.

Ao meu amigo Bruno Ferreira, pelo apoio nas dúvidas e nos momentos difíceis desta pesquisa. Na verdade, um apoio constante que vem desde a época do mestrado e, principalmente, uma amizade verdadeira.

Ao Prof. Dr. Magno Erasto de Araújo pelas conversas e importantes sugestões.

Ao Prof. Dr. José Augusto Costa de Almeida pelo importante auxílio no início desta pesquisa.

À amiga, Profª. Drª. Ana Lúcia Vendel, pela concessão do espaço no Laboratório de Ictiologia da Universidade Estadual da Paraíba, onde nasceu grande parte desta pesquisa. E a todos os amigos do DCB/UEPB, Campus-V.

À colega Lucilene Santos do PPGEOC/UFPE pelo auxílio e pronto atendimento no momento da interpretação dos dados estruturais.

Aos funcionários do DGEOC/UFPE, especialmente a Igor Bandim, pelo trabalho brilhante, sempre dando assistência e cumprindo com muita responsabilidade sua missão. Sem dúvida, foi de suma importância para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

Ao amigo Caio Lima, pela constante companhia nos trabalhos de campo, sempre se colocando à disposição.

Aos alunos e amigos, Jorge Santos, Jefferson Santos e Idálio, pelo importante auxílio nos trabalhos de campo.

Ao meu querido amigo a padrinho, Jorcemar Bezerra de Albuquerque, pois, além de me incentivar a ser geógrafo, sempre torceu por mim em todos os momentos da minha caminhada acadêmica até aqui.

Por fim.

A todos os órgãos públicos e privados que atenderam com solicitude às necessidades de dados para o desenvolvimento deste trabalho: Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba, Prefeitura Municipal de João Pessoa, Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado da Paraíba, Serviço Geológico do Brasil e as Empresas Construpoços e HIDROTEC.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGEOC), por terem me proporcionado a valiosa oportunidade de um sólido aprendizado neste departamento.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos ao longo de todo o período e desenvolvimento da presente pesquisa.

RESUMO

Na Bacia da Paraíba ocorrem formas de relevo que chamam a atenção por serem frequentes e por apresentarem características que remetem a depressões originadas por processos cársticos, porém ocorrendo sobre sedimentos areno-argilosos. São depressões fechadas de aspecto circular a semicircular para onde converge o escoamento superficial, constituindo, em alguns casos, lagoas. No intuito de elucidar as características destas feições, foi realizado um estudo geológico-geomorfológico buscando investigar uma possível relação com um sistema cárstico subjacente estabelecido ao longo das formações carbonáticas da Bacia Sedimentar da Paraíba ou dissolução nos próprios sedimentos areno-argilosos. Para tanto, foram utilizados dados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e cartas topográficas para a extração das drenagens e das curvas de nível do terreno, visando identificar as depressões e delimitar seus divisores, além de obter dados morfométricos referentes à área, perímetro, profundidade, elipsidade, simetria interna, relação profundidade/diâmetro, eixo maior e eixo menor. A análise morfoestrutural objetivou estabelecer relações genéticas entre os lineamentos e as depressões fechadas a partir de dados do SRTM, mapas existentes na literatura e trabalhos de campo. As informações litoestratigráficas foram coletadas por meio de descrições de poços tubulares e do mapeamento geológico do estado da Paraíba, além de observações de campo. Foram realizadas modelagens com os dados dos poços, visando identificar depressões soterradas a partir da detecção de variações do topo dos calcários da Formação Gramame e da espessura da Formação Barreiras. Os dados do SRTM se mostraram eficientes na extração de drenagens centrípetas, na delimitação das bacias fechadas e na caracterização morfométrica em oposição às cartas topográficas. A partir dos dados morfométricos percebeu-se que as depressões se apresentaram bastante amplas e rasas, expondo divisores sinuosos, formas elípticas, com eixos maiores bem orientados segundo direções preferenciais de estruturas regionais e locais. Os dados morfoestruturais apresentaram ampla relação entre as direções dos eixos maiores das depressões, seus alinhamentos e os lineamentos, havendo predominância das direções N30-40W e N10-20E. Direções análogas também foram identificadas em afloramentos de calcários correspondentes à Formação Gramame, medidas a partir da bússola geológica. Os dados litoestratigráficos revelam que estas feições não se encontram restritas à zona de domínio da Formação Gramame. No entanto, na zona de domínio dos calcários, foram encontradas amplas relações entre as depressões superficiais e depressões soterradas, tanto a partir da modelagem como a partir dos trabalhos de campo, onde foram detectadas feições de dissolução associadas a ocorrência de Epicarste. As características morfométricas e estruturais apontam para uma forte participação do condicionamento estrutural na gênese das mesmas, reforçando a hipótese de dissolução nos planos de descontinuidades. O fato de não estarem restritas aos domínios da Formação Gramame abre espaço o entendimento de que o processo de dissolução e carstificação também tem se desenvolvido nos calcarenitos da Formação Itamaracá e/ou nos próprios sedimentos areno-argilosos.

Palavras-chave: Depressões Fechadas, Dolinas, Carste Subjacente, Formação Gramame, Bacia da Paraíba.

ABSTRACT

The relief forms found in Paraiba Basin are remarkable for being frequent and for having characteristics that lead to depressions caused by karst processes, but occurring over sandy-clay sediments. They are closed depressions with shape that varies from circular to semicircular, to where the superficial runoff converge, constituting, in some cases, small lakes. In order to elucidate the characteristics of these features, a geological and geomorphological study was carried out, seeking to investigate a possible relationship with an underlying karst system, set up along the carbonate formations of sedimentary basin of Paraiba or caused by dissolution of the sandy-clay sediments. Therefore, SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) data and topographic maps for the extraction of drainage and terrain contours were used to identify depressions and define their divisors, besides getting morphometric data on the area, perimeter, depth, ellipticity, internal symmetry, depth/diameter ratio, major axis and minor axis. The morphostructural analysis aimed to establish genetic relationships between the guidelines and closed depressions from SRTM data, existing maps in the literature, and field work. The lithostratigraphic information was collected through descriptions of wells, geological mapping of the state of Paraiba, and field observations. Modeling was performed with the data from wells to identify buried depressions, through the detection of the limestone top variations of Gramame Formation and the thickness of the Barreiras Formation. The SRTM data were efficient in extracting centripetal drainages, in the delimitation of enclosed bays and morphometric characterization in opposition the topographic maps. From the morphometric data, it was noticed that the depressions were fairly broad and shallow, exposing winding dividers, elliptical shapes, with major axes oriented along preferential directions of regional and local structures. The morphostructural data showed broad relationship between the directions of the major axes of the depressions, their alignments and guidelines, with predominance of N30-40W and N10-20E directions. Similar directions were also identified in outcrops of limestone corresponding to Gramame Formation, measured from the geological compass. The lithostratigraphic data reveal that these features are not restricted to the zone of Gramame Formation domain. However, in the limestones domain zone, extensive relations between surface depressions and buried depressions were found, both from modeling and from field work, where dissolution features associated with the occurrence of Epicarste were detected. The morphological and structural features point to a strong participation of structural conditioning in their genesis, reinforcing the event of dissolution in discontinuities plans. The fact that they are not restricted to Gramame Formation domains make us understand that the process of dissolution and karstification has also developed in the Itamaracá Formation calcarenite and/or in their own sandy-clay sediments.

Keywords: Closed Depressions, Dolines, Karst Underlying, Gramame Formation, Paraiba Basin.

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT
1 **INTRODUÇÃO**..... 18
2 **OBJETIVOS**..... 21
2.1 Objetivo Geral..... 21
2.2 Objetivos Específicos..... 21
3 **LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**..... 22
3.1 **Localização da área de Estudo**..... 22
3.2 **Geologia**..... 23
3.2.1 Estratigrafia..... 24
3.3 **Geomorfologia**..... 30
3.4 **Clima**..... 33
4 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**..... 34
4.1 **O Ambiente Cárstico**..... 34
4.1.1 Depressões Fechadas e Dolinas..... 34
4.1.2 Depressões Fechadas e Dolinas em Arenitos..... 38
4.1.3 Carste Subjacente..... 44
5 **METODOLOGIA**..... 46
5.1 **Mapeamento e morfometria das depressões**..... 46
5.2 **Obtenção dos dados morfoestruturais**..... 49
5.3 **Análise dos poços**..... 51
5.4 **Trabalhos de campo**..... 52
6 **RESULTADOS**..... 54
Mapeamento das depressões e dolinas..... 54
6.1 **Depressões fechadas com drenagem centrípeta (feições em maior escala)**..... 55
6.1.1 Depressão I..... 56
6.1.2 Depressão II..... 58
6.1.3 Depressão III..... 59
6.1.4 Depressão IV..... 60
6.1.5 Depressão V..... 61
6.1.6 Depressão VI..... 62
6.1.7 Depressão VII..... 63
6.2 **Dolinas e lagoas (feições em menor escala)**..... 65
6.3 **Evidências morfoestruturais**..... 75
6.3.1 Direções das fraturas no campo..... 80
6.4 **Evidências Litoestratigráficas**..... 84
6.4.1 Paleotopografia da Formação Gramame..... 94
7 **DISCUSSÃO**..... 102
8 **CONCLUSÕES**..... 115
REFERÊNCIAS..... 117
ANEXO..... 123

LISTA DE FIGURAS

Fig.1 Mapa de localização da área de estudo..... 22
Fig.2 Limites das bacias, Potiguar, Paraíba e Pernambuco..... 23
Fig.3 Carta estratigráfica da faixa costeira Recife-Natal..... 25
Fig.4 Mapa geológico da porção sudeste da margem atlântica da Paraíba, do vale do Paraíba à divisa com Pernambuco..... 27
Fig.5 Seção geológica W-E na porção do Tabuleiro das Lagoas – Graben João Pessoa para a praia de Tambaú..... 28
Fig.6 Afloramento de Calcários da Formação Gramame..... 29
Fig.7 Mapa geomorfológico de parte da área de estudo..... 32
Fig.8 Modelo Digital de Elevação da Uvala Klekovacka..... 36
Fig.9 Processo de formação de depressões em diferentes litologias.. 39
Fig. 10 Vista parcial de uma depressão localizada no Planalto de Tennit..... 41
Fig. 11 Medições efetuadas para estimar a geometria bidimensional de uma depressão..... 48
Fig.12 Orientação de vertentes em isolinhas (esq.) e em MDE (direita)..... 50
Fig.13 Curvatura horizontal em isolinhas (esquerda) em MDE (direita)..... 50
Fig.14 Processo de mapeamento das depressões através de trabalhos de campo..... 53
Fig.15 Processo de medição da direção de fraturas sobre afloramentos da Formação Gramame..... 53
Fig.16 Mapa hipsométrico contendo as dolinas e depressões analisadas na área de estudo..... 55
Fig.17 Depressão I, localizada no município de Lucena (PB)..... 56
Fig.18 Subdepressão localizada no interior da Depressão I..... 57
Fig.19 Depressão II, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento..... 58
Fig.20 Depressão III, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento..... 59
Fig.21 Depressão IV, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento..... 61
Fig.22 Depressão V, localizada no município de Santa Rita (PB)..... 62
Fig.23 Depressão VI, lagoa do Parque Solon de Lucena em João Pessoa (PB)..... 63
Fig.24 Depressão VII, localizada no bairro de Cruz das Armas, João Pessoa (PB)..... 64
Fig.25 Lagoa do Aristóteles, localizada nas imediações do Distrito Mecânico de João Pessoa (PB)..... 66
Fig.26 Fragmento da carta topográfica 1:10.000, contendo a topografia da região onde ocorre a Lagoa Aristóteles..... 67
Fig.27 Parte da Lagoa da Graça, localizada no interior da fábrica de cimentos InterCement..... 68
Fig.28 Saída do fluxo de água na zona de contato Barreiras-Gramame, onde se encontra a Lagoa da Graça..... 69
Fig.29 Lagoa da Granja, localizada na bacia do rio Jaguaribe, João

Pessoa (PB)..... 70
Fig.30 Lagoa do Buracão, localizada no bairro Cidade dos Funcionários, João Pessoa (PB)..... 71
Fig.31 Dolina localizada na região das Três Lagoas, no cruzamento entre as rodovias BR-101 e BR-230, em João Pessoa (PB)..... 72
Fig.32 Mapa de parte da cidade de João Pessoa (PB) no período colonial..... 73
Fig.33 Lagoa do Cágado, localizada no município do Conde (PB)..... 74
Fig.34 Lagoa do Sítio Santana, localizada no município do Conde (PB)..... 74
Fig.35 Mapa morfoestrutural e correlações com dolinas e depressões fechadas..... 76
Fig.36 Rosáceas correspondentes aos alinhamentos e eixos das depressões..... 79
Fig.37 Rosáceas correspondentes às falhas, fraturas e lineamentos identificados na área de estudo..... 81
Fig.38a Fratura subvertical N40E medida sobre os calcários da Formação Gramame nas dependências da Mineradora InterCement em João Pessoa – PB..... 82
Fig.38b Dolinas associadas ao cruzamento de fraturas nos calcários da Formação Gramame..... 82
Fig.39 Imagem Google Earth do afloramento analisado com destaque para ocorrência de dolinas (elipses vermelhas) associados aos calcários e sobre a cobertura areno-argilosa..... 83
Fig.40a Fratura localizada em afloramento de calcário da Formação Gramame, Mandacarú..... 83
Fig.40b Fratura localizada em afloramento de calcário da Formação Gramame, Roger..... 83
Fig.41 Ocorrência de dolina e sua relação com fraturas (N30E e N40W) no afloramento do Roger, João Pessoa (PB)..... 84
Fig.42 Mapa geológico contendo as depressões fechadas, dolinas, poços tubulares e principais estruturas presentes na área estudada. Perfil YX/MN da figura 55..... 85
Fig.43 Descrição litológica referente ao poço Sítio Vieira..... 87
Fig.44 Descrição litológica referente ao poço Livramento..... 88
Fig.45 Descrição litológica referente ao poço Lerolândia..... 89
Fig.46 Descrição litológica referente ao poço Estivas de Geraldo..... 89
Fig.47 Dutos de dissolução formados na Caverna de Marés, João Pessoa (PB)..... 91
Fig.48 Processo de irrigação a partir do bombeamento das águas do interior da Depressão I..... 92
Fig.49 Descrição litológica referente ao poço Estivas de Geraldo..... 93
Fig.50 Variações da topografia do topo da Formação Gramame sob a Formação Barreiras e sua relação com as depressões fechadas e dolinas..... 95
Fig.51 Afloramento de calcários da Formação Gramame na região de Caxitú, Conde (PB)..... 96
Fig.52 Variações da topografia dos calcários Gramame sob a Formação Barreiras no oeste do município de João Pessoa

utilizando o método de interpolação Radial Basins..... 97
Fig.53 Mapa de contornos referentes à espessura da Formação Barreiras na área de estudo..... 98
Fig.54 Imagem de satélite contextualizando a localização de afloramentos de calcários e ocorrência de lagos em suas proximidades..... 100
Fig.55 Seções geológicas referentes aos perfis XY/MN..... 101
Fig.56 Alinhamento entre dolinas e depressões na zona oeste da cidade de João Pessoa (PB) e ocorrência de calcários subjacentes..... 107
Fig.57 Visão panorâmica de anfiteatro que circunda o Distrito Mecânico, João Pessoa (PB)..... 108
Fig.58 Microduto formado por dissolução em calcário da Formação Gramame na Indústria InterCement, João Pessoa (PB)..... 109
Fig.59 Região das Três Lagoas no período de estiagem (A) e período úmido (B)..... 110
Fig.60 Formação de depressões em afloramentos de calcários, com preenchimento argiloso..... 111
Fig.61 Dolina completamente eutrofizada. Lagoa do Buracão, bairro Cidade dos Funcionários, João Pessoa (PB)..... 113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Índices morfométricos das dolinas confirmadas..... 65
Tabela 2 Índices morfométricos das depressões fechadas analisadas..... 104
.

1 INTRODUÇÃO

No município de João Pessoa-PB e regiões circunvizinhas ocorrem formas de relevo que chamam a atenção por serem muito comuns e por apresentarem características típicas de depressões originadas por processos cársticos, porém ocorrendo sobre coberturas areno-argilosas.

Alguns pesquisadores chegaram a tratar dessas feições, especialmente no sítio urbano de João Pessoa, denominando-as como formas resultantes de carste ou pseudocarste (Lummertz, 1997; Oliveira, 2001; Melo et al., 2001; Furrier, 2007; Marinho 2011 e Araújo 2012), mas até o momento, não houve nenhuma investigação científica pormenorizada e exclusivamente voltada a este tema.

A princípio, observa-se que essas depressões se desenvolvem sobre os sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras, que se constitui como uma unidade capeadora de diversas bacias sedimentares da margem continental brasileira, inclusive, da Bacia da Paraíba, repousando de forma discordante sobre os calcários e margas da Formação Gramame (Maastrichtiano), na região de João Pessoa.

Há certo tempo, admite-se a ocorrência de depressões cársticas sobre litologias não-carbonáticas, estando relacionadas a certo nível de intemperismo químico, originadas por colapsos de níveis endurecidos como consequência da dissolução seguida de erosão mecânica (Twidale, 1987; Hardt, 2011).

Além disso, depressões fechadas também podem estar relacionadas à ocorrência de carste subjacente, quando o processo de circulação e dissolução se processa em calcários soterrados (Klimchouk e Ford, 2000).

Mesmo assim, a ocorrência de dolinas sobre arenitos e os mecanismos responsáveis por sua gênese ainda constitui um temário pouco abordado, tanto na literatura nacional como internacional, mas algumas ocorrências importantes são descritas por Twidale, (1987); Sponholz, (1994); Soriano e Simón, (1995); Sallun Filho e Karmann, (2007).

Em alguns casos, o conjunto de formas é classificado como carste, em virtude do processo de dissolução nos próprios arenitos (Wray, 1997; Hardt, 2011), em

outros, são descritas como pseudocarste (Maurity e Kotschoubey, 2001; Aubrecht et al., 2011; Aubrecht et al., 2013; Stafford et al., 2013).

A definição de cavernas e depressões sobre arenitos como sendo de origem cárstica ou pseudocárstica ainda é uma questão bastante controversa na literatura nacional e internacional (Hardt, 2011; Eberhard e Sharples, 2013; Sauro et al., 2013; Aubrecht et al., 2013).

Por outro lado, Halliday (2007) define o carste como um tipo específico de terreno ou paisagens com características bem distintas e formas de dissolução de superfície e subsuperfície, apresentando drenagem subterrânea integrada. Sendo que, variedades de processos alheios à dissolução formam terrenos análogos, os quais recebem a designação de pseudocarste.

Na opinião de Eberhard e Sharples (2013) pseudocarste é um termo definido principalmente com referência na morfologia, mais comumente utilizado para definir ocorrências de cavernas e depressões fechadas em terrenos não-carbonáticos.

De acordo com Hardt (2011) o termo pseudocarste não traz em si base científica, pois foi criado sem qualquer estudo ou avaliação dos processos envolvidos na origem de tais formas, sendo então, não conveniente, limitar o relevo a um tipo de rocha, os quais devem ser definidos sobretudo em função dos processos formadores.

Entretanto, isto tem se tornado um problema mais conceitual do que de ordem prática, pois, de certo modo, tem desviado a atenção frente a questões mais urgentes, tais como: Quais as consequências que tais relevos proporcionam à sociedade? Com planejar e ocupar o território mediante estes processos naturais? Independentemente de ser carste ou pseudocarste.

Em algumas situações as feições cársticas podem se encontrar encobertas, constituindo um carste do tipo intraestratal, sendo subdividido em profundo, subjacente, entrincheirado e desnudado. Nesse sentido, o carste é visto a partir de uma abordagem evolutiva, onde os seus subtipos representam fases que vão desde o soterramento em ambiente profundo até a sua completa exposição (Carlson, 1992; Klimchouk e Ford, 2000).

Assim, a existência de um relevo dominado por depressões indica que processos cársticos estão ocorrendo em ambiente profundo ou subsuperficial através de rochas suscetíveis à dissolução (Guerrero et al., 2013).

Nesse sentido, é indispensável a realização de estudos que visem esclarecer as características geomorfológicas dessas feições, a amplitude do fenômeno e suas relações com a geologia regional, gerando suporte para o esclarecimento de questões voltadas ao entendimento dos processos que as originaram, de como estão evoluindo atualmente e suas consequências para a sociedade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar estudo geológico-geomorfológico das depressões fechadas e dolinas que ocorrem na região de João Pessoa (PB), no intuito de elucidar sua relação com um possível processo de carstificação estabelecido ao longo da Bacia da Paraíba.

2.2 Objetivos Específicos

- identificar e mapear a distribuição das dolinas, depressões fechadas e suas drenagens, através do uso de diversas bases e trabalhos de campo, bem como, compreender suas características morfométricas e relações com a geologia local;
- elaborar mapa morfoestrutural da região visando compreender as relações entre as feições analisadas e os lineamentos estruturais, no intuito de identificar zonas preferenciais de possíveis dissolução e carstificação
- analisar as características litoestratigráficas das áreas de ocorrência das feições estudadas através de dados de subsuperfície obtidos a partir de poços tubulares e identificar relações com a paleotopografia da Formação Gramame possivelmente associada a estas feições;
- buscar evidências para interpretação da origem das depressões e dolinas.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo encontra-se localizada na faixa costeira do estado da Paraíba, inserida no retângulo envolto pelas coordenadas UTM 257449mE e 297084mE, e 9239778mN e 9197696mN, zona 25 (Figura 1).

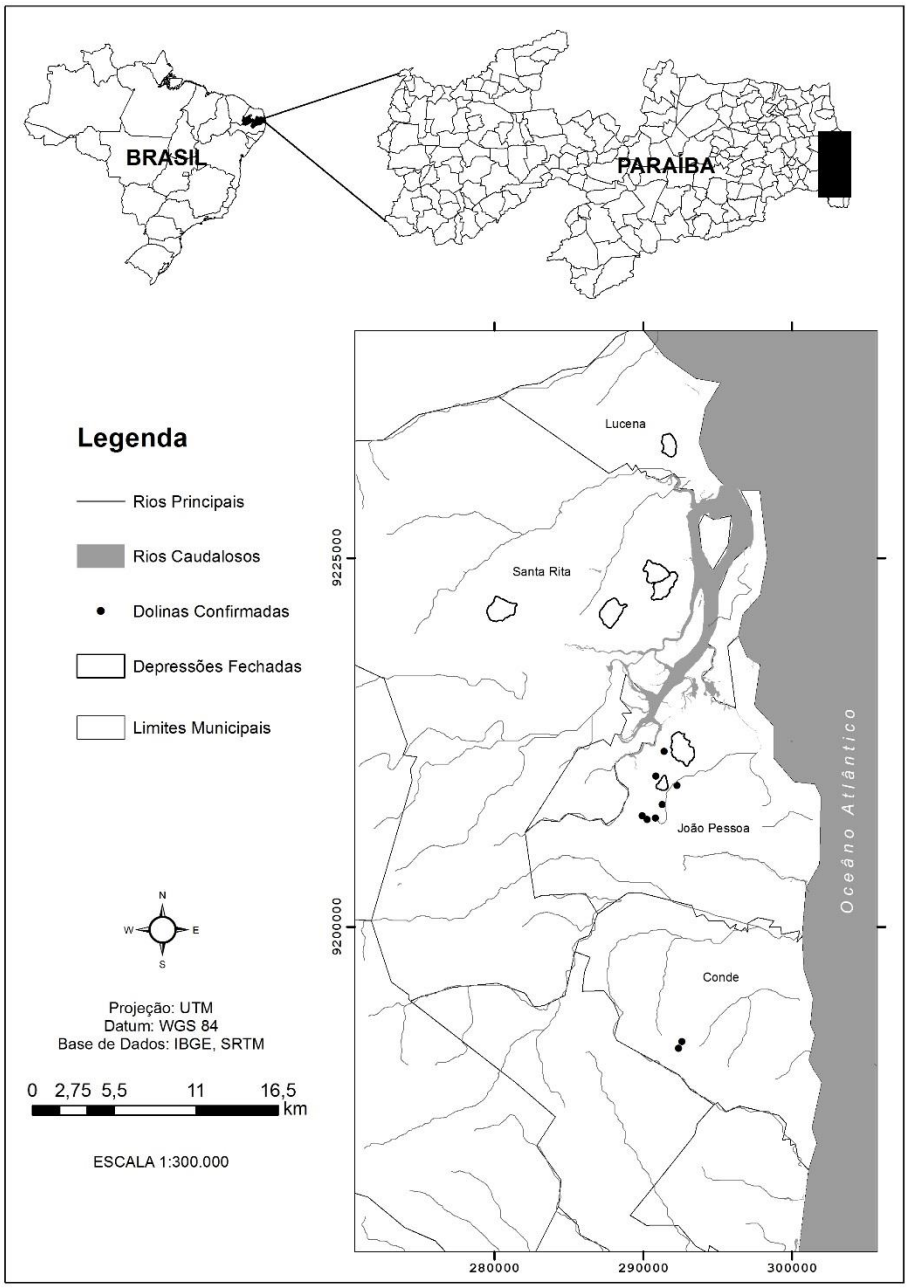


Fig. 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Os limites da área estudada detêm uma área total de 1.871 km^2, perfazendo parte dos municípios de João Pessoa, Bayeux, Lucena, Santa Rita, Cabedelo, Conde e Alhandra.

3.2 Geologia

A geologia da área se encontra inserida no contexto das formações geológicas que compõem a Bacia Sedimentar da Paraíba. A mesma é formada por rochas que remontam do Cretáceo, Paleógeno/Neógeno e Quaternário, que se estendem numa faixa de, aproximadamente, 40 km de largura de extensão, sendo delimitada a Norte pela falha de Mamanguape e a Sul pelo Lineamento Patos (Brito e Campos, 1971; Barbosa e Lima Filho, 2005) (Figura 2).

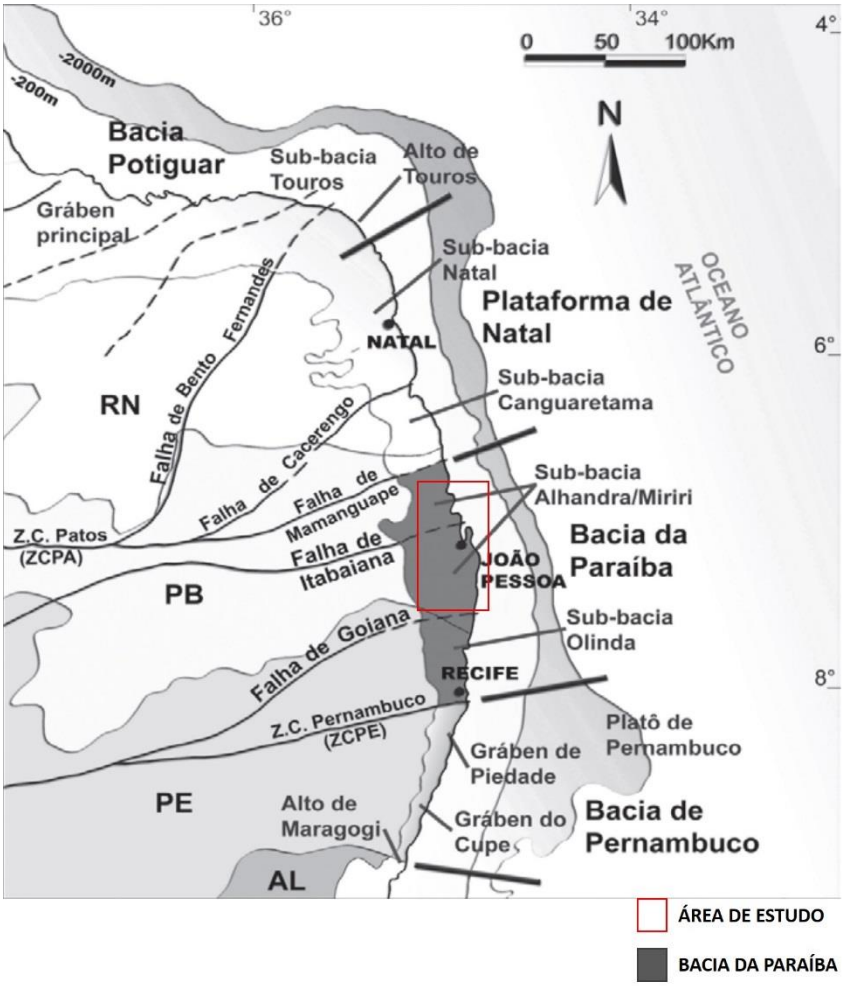


Fig. 2 – Limites das bacias, Potiguar, Paraíba e Pernambuco. Notar falhas que delimitam a Bacia da Paraíba. Fonte: Modificado de Barbosa et al. (2007, p.5).

A origem da Bacia da Paraíba, assim como as demais bacias da margem do atlântico sul, encontra-se ligada ao processo de fragmentação da Gondwana, originado por processos de rifte associado a separação dos continentes da América do Sul e África, com início no Cenomaniano e abertura total no Albiano-Cenomaniano (Mabesoone e Alheiros, 1988; Barbosa e Lima Filho, 2005).

Nesse contexto, o movimento de rotação horária do continente sul-americano em relação ao continente africano diferenciou segmentos de extensão e compressão ao longo da margem continental, dando origem a riftes no sentido E-W com desvios para NE, sendo essas estruturas provavelmente originadas por linhas estruturais do embasamento (Mabesoone e Alheiros, 1988; Mabesoone, 1996).

Este *trend* influenciou substancialmente a compartimentação da Bacia da Paraíba em sub-bacias, constituindo um sistema tafrogênico formado por uma sucessão de grábens e *horsts* implantados ao longo do extremo leste da Paraíba (Mabesoone e Alheiros, 1988; Brito Neves et al., 2004, Barbosa et al., 2007).

As unidades litoestratigráficas pertencentes exclusivamente à Bacia da Paraíba encontram-se truncadas por essas estruturas, não ocorrendo para além do Alto Estrutural de Mamanguape, nem para além da ZCPE (Zona de Cisalhamento Pernambuco) (Barbosa et al., 2007).

Bezerra et al. (2014) trataram da ocorrência de evidências referentes a múltiplos estágios de falhamentos pós-sedimentares formados por descontinuidades orientadas para E-W e NE, citando a região de Coqueirinho, localizada no litoral sul da Paraíba, como uma área bastante representativa no tocante à ocorrência de falhas que se revelam em unidades siliciclásticas tanto na Formação Barreiras quando nos sedimentos Pós-Barreiras. Este atual campo de tensão caracterizado pela compressão de orientação E-W e N-S, favorece à movimentação de falhas NW, NE e E-W, em virtude da reativação de zonas de cisalhamento dúcteis.

3.2.1 Estratigrafia

A Bacia da Paraíba apresenta uma sucessão sedimentar principiada por arenitos de origem continental, fluviais e fluvio-lacustres, depositados sobre o

embasamento cristalino, que constituem a Formação Beberibe, cuja origem remonta do Coniaciano? – Santoniano. Em seguida, ocorrem arenitos calcíferos cuja gênese encontra-se associada ao início de um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais, recebendo o nome de Formação Itamaracá, de idade Neo-Campaniano-Eo-Maastrichtiano. Por sobre os estratos da Formação Itamaracá ocorrem calcários compactos sem influência de siliciclastos, cognominada Formação Gramame, depositada no máximo transgressivo, durante o Maastrichtiano. Acima destes, e separados por um evento erosivo regional, ocorrem calcários com uma gradativa influência de siliciclastos, por vezes, magnesianos, devido a ocorrência de um evento regressivo que se processou no final do Maastrichtiano, constituindo a Formação Maria Farinha, de idade Paleoceno-Eoceno? (Barbosa et al., 2007) (Figura 3).

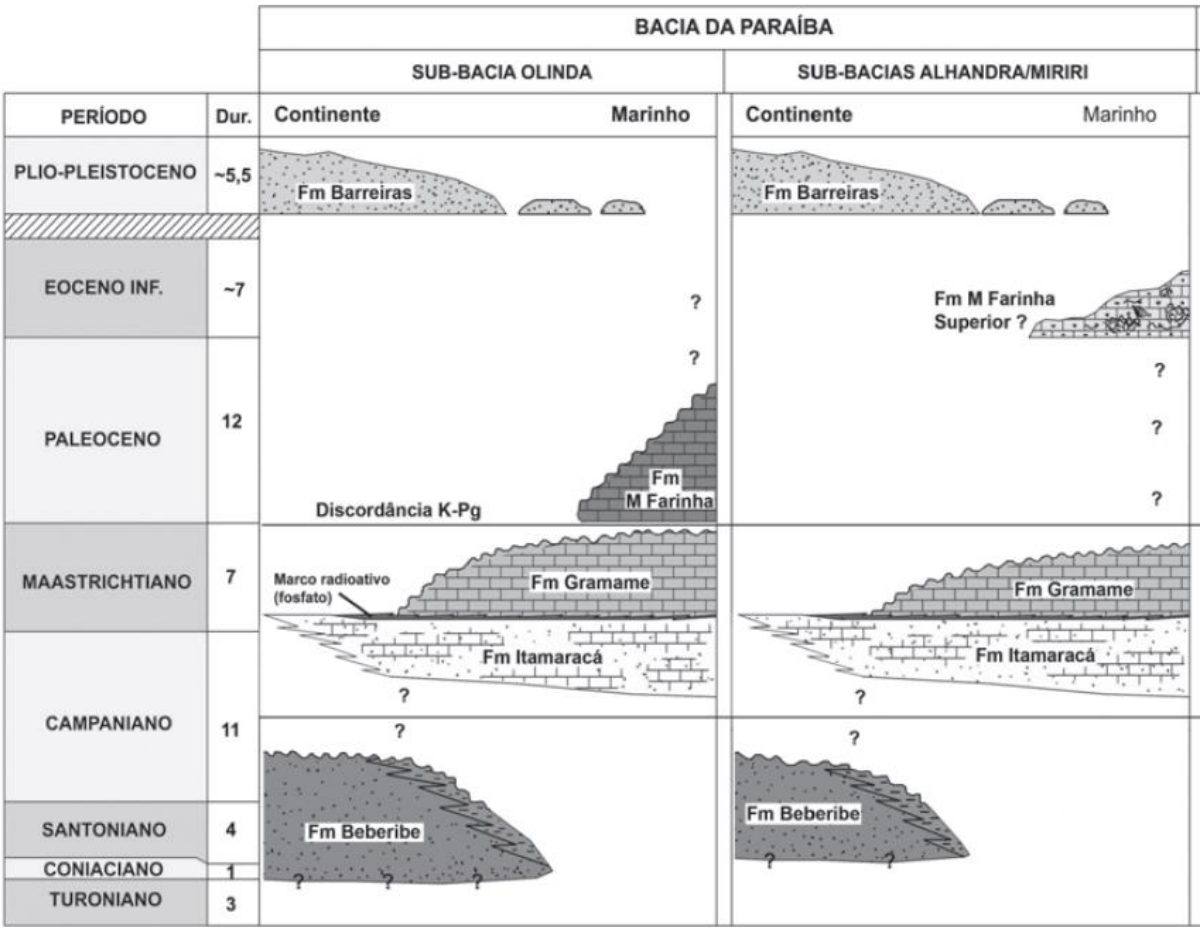


Fig. 3 – Carta estratigráfica da faixa costeira Recife-Natal. Copiado de Barbosa et al., (2007, p.25).

Recobrindo os depósitos do Grupo Paraíba ocorrem os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras. Esta formação abrange grande parte da faixa litorânea brasileira, desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá, se estendendo ainda pelas baixadas amazônicas. A mesma se apresenta como uma sequência notável e contínua de sedimentos, pouco ou não consolidados, variando entre argilas e conglomerados, apresentando normalmente uma estratificação irregular e muito indistinta. Esta sequência, bem típica como unidade e bem delimitada dentro da coluna estratigráfica, repousa em alguns locais sobre o embasamento cristalino, em outros sobre as formações cretáceas, e em outros sobre as formações paleógenas e neógenas marinhas (Mabesoone et al., 1972; Mabesoone e Rolim,1982; Arai, 2006).

No norte da Bacia da Paraíba, mais especificamente na região do município de João Pessoa, entre as sub-bacias Alhandra e Miriri, as camadas da Formação Maria Farinha e do topo do Maastrichtiano, correspondentes ao Gramame Superior, desapareceram gradativamente, de modo que a Formação Barreiras repousa de forma discordante sobre os calcários da Formação Gramame (Barbosa et al., 2003).

De acordo com Barbosa et al., (2007), a ausência de depósitos da Formação Maria Farinha na Sub-bacia Alhandra-Miriri aponta para duas possibilidades: primeiramente, que estes nunca foram depositados, e a segunda, que nunca existiram e foram erodidos a partir do Paleoceno, por efeito da exposição e erosão da plataforma carbonática na parte norte da Bacia da Paraíba.

Segundo Brito Neves et al., (2009), dados de dezenas de poços mostram espessuras médias predominantes entre 40 – 50m nessa região, havendo um trecho, a oeste do município de João Pessoa, além dos municípios de Bayeux e Santa Rita, onde vários poços profundos não detectaram a presença da Formação Gramame, indicando uma provável erosão e tectonismo Pré-Barreiras (Figuras 4 e 5).

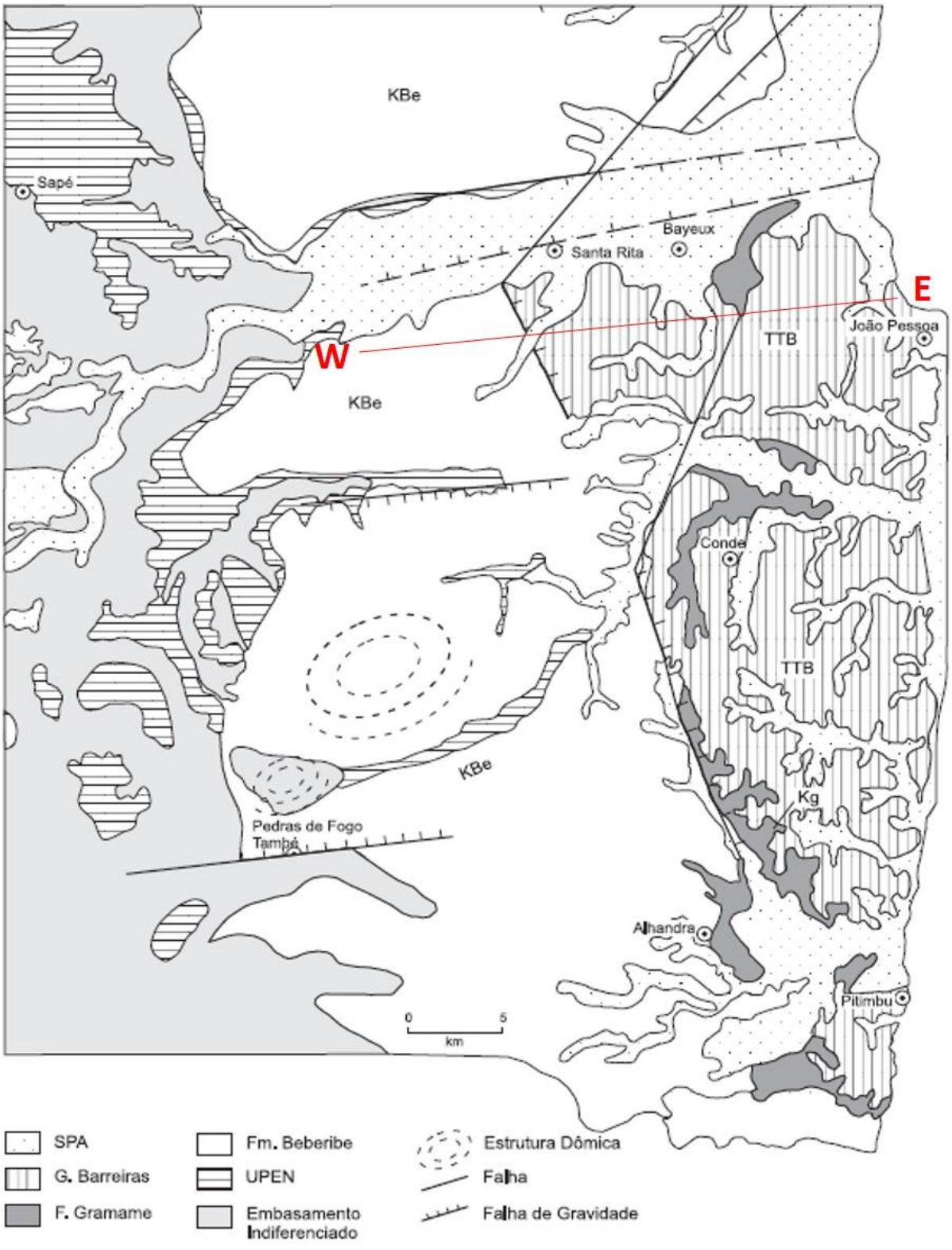


Fig. 4 – Mapa geológico da porção sudeste da margem atlântica da Paraíba, do vale do Paraíba à divisa com Pernambuco. Escala ~1:2.500.000. Brito Neves et al., (2009, p.66).

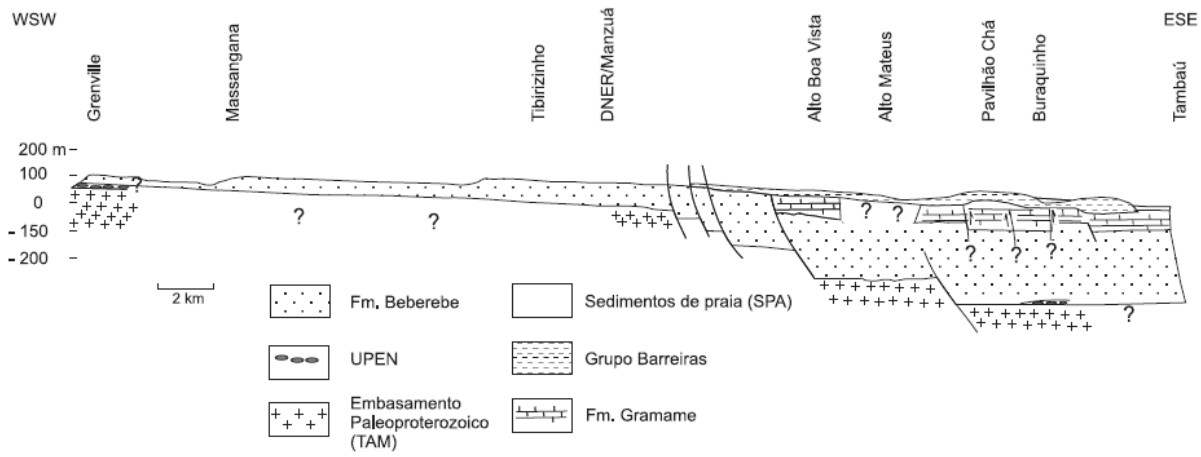


Fig. 5 – Seção geológica W-E na porção do Tabuleiro das Lagoas – Graben João Pessoa para a praia de Tambaú. Brito Neves et al., (2009, p.68).

Os depósitos da Formação Gramame estão acamados em bancos horizontais plano-paralelos, com modestas inclinações, não muito pronunciados (0,80 a 3 metros de espessura), formando massas compactas, apresentando fraturas e dissolução subterrânea e com expressiva continuidade lateral, evidenciando o predomínio do processo de agradação em uma extensa plataforma de inclinação sutil (Lummertz, 1997; Barbosa, 2007).

Ao longo da Formação Gramame são encontrados diversos pontos com a ocorrência de pirita. Segundo Piló (2000), a ocorrência desse mineral em rochas solúveis, como o calcário, aponta para um processo de oxidação de sulfetos, atribuído ao início do desenvolvimento do carste subterrâneo, onde o ácido sulfúrico é considerado um agente importante.

A Formação Gramame é composta por calcários com baixo teor de magnésio e bastante solúveis, sendo suscetível a ação meteórica das águas carregadas de dióxido de carbono (Andrade, 1955).

No estado da Paraíba, os principais afloramentos dessa formação são encontrados na Fazenda do Tabu (PB), Fazenda Alexandria em Alhandra (PB), Fazenda do Congo (PB) – na margem direita do rio Gramame e em inúmeras pedreiras na cidade de João Pessoa (PB). (Andrade e Lins, 1963; Mabesoone, 1967; Brito e Campos, 1971) (Figura 6).

Fig. 6 – Afloramento de Calcários da Formação Gramame. Foto modificada de Brito Neves et al. (2009, p.82).

Outra formação que possui certo teor de carbonatos e que ocorre ostensivamente na área de estudo é a Formação Itamaracá. A mesma se encontra posicionada entre as formações Beberibe (basal) e Gramame. São sedimentos de origem transicional que representam o início da transgressão marinha, constituídos por arenitos calcíferos, fosfatos, carbonatos com siliciclastos e folhelhos acumulados nas águas rasas da plataforma submersa. O teor de calcita pode aumentar paulatinamente chegando a um autêntico calcário, como é o caso do encontrado na Fazendo do Congo, tratando-se, portanto, de um arenito bastante calcífero com um teor de calcita de mais de 50%, finamente conglomerático, tornando-se gradativamente mais calcífero para o topo, por redução dos elementos do arenito (Kegel, 1955; Beurlen, 1967b; Mabesoone e Alheiros, 1988; Barbosa, 2007).

É nesse contexto litoestratigráfico, especificamente sobre a Formação Barreiras, onde ocorrem depressões fechadas, circulares ou elípticas que podem

estar associadas à subsidência topográfica gerada por dissolução através de fenômenos cársticos de subsuperfície (carste inumado) ou nos próprios sedimentos areno-argilosos, constituindo um provável sistema cárstico.

3.3 Geomorfologia

Tomando como base a classificação geomorfológica do estado da Paraíba (Carvalho, 1982), a área analisada nesse estudo abrange as seguintes unidades do relevo: Baixada Litorânea, Baixos Planaltos Costeiros e Planícies Aluviais.

A Baixada ou Planície Litorânea, especialmente ao sul de João Pessoa, é geralmente caracterizada por praias estreitas e arenosas configurando pequenas enseadas, atravancadas pelo avanço dos Baixos Planaltos e pelos estuários dos rios consequentes que desaguam no Atlântico (Carvalho, 1982).

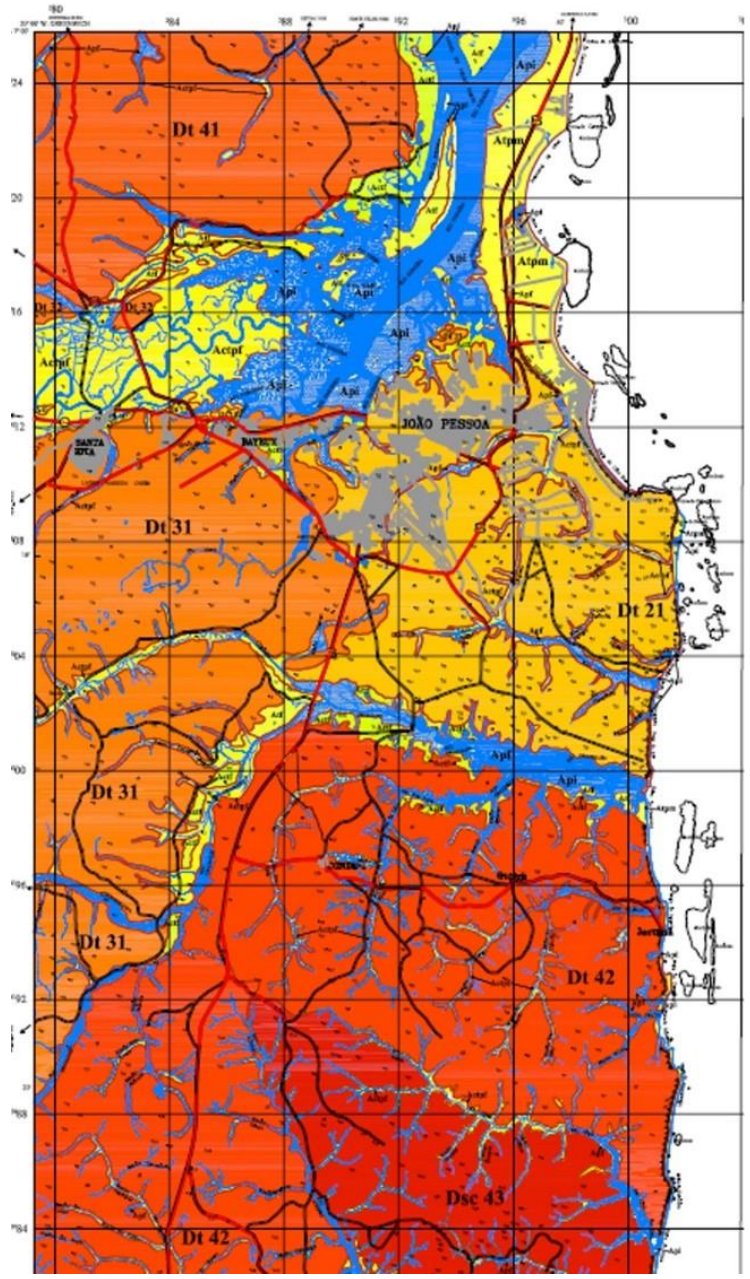
O Baixo Planalto Costeiro ou Tabuleiro Costeiro é constituído por sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, apresentando-se bastante recortado no sentido W-E por drenagens paralela entre si, ocasionando fortes sinais de dissecação em colinas residuais de topos semi-aplainados e vertentes convexas. As encostas exibem escarpas de até 45º, com altitudes entre 30-40m em média, constituindo falésias vivas e mortas no litoral. O modelado das vertentes é variado, em geral se apresentam alongadas, côncavas e predominantemente convexas, bastante dissecadas, expondo sulcos e ravinas alargadas pela ação do escoamento superficial, seja de origem natural ou antrópica. Estas vertentes apresentam-se por vezes lobuladas ou festonadas devido aos entalhes fluviais, caracterizando grotões, coincidindo quase sempre com porções de cabeceiras, destacando-se como alvéolos ou anfiteatros de declives acentuados. Os vales que entalham esta unidade, apresentam fundo chato, com desenvolvimento de terraços. Um aspecto interessante dessas áreas diz respeito à existência de concreções lateríticas, comuns na meia encosta, que atuam como horizonte impermeável, dando origem a aquíferos, originando “bicas” e fontes (Carvalho, 1982).

As planícies aluviais, por sua vez, são constituídas por rios consequentes, cujo entalhe foi originado no decorrer do quaternário, comandado por processos

geomórficos provenientes de variações do nível de base glacio eustático, flutuações climáticas e movimentos tectônicos através de falhas e fraturas. Nesse contexto, as planícies de maior expressão correspondem aos rios Paraíba e Mamanguape, configurando planícies de subsidência tectônica, denominando graben (Kegel, 1955; Carvalho, 1982).

De acordo com Marinho (2011), os rios consequentes da Paraíba, com destaque para o Paraíba, talharam seus talvegues e alargaram seus canais sobre os Baixos Planaltos Costeiros. Por conseguinte, o aprofundamento dos talvegues não se limitou tão somente a esta unidade, em função da erosão remontante. Esse tipo de entalhamento resultou em notáveis vales individualizados, por possuírem, basicamente, fundo chato e terraços fluviais em diversos níveis, realçados pela atuação dos movimentos eustáticos e pela tectônica.

Segundo Furrier et al. (2006), a influência do tectonismo sobre os Tabuleiros Litorâneos do Estado da Paraíba é bastante evidente, o que pode ser claramente observado pelo comportamento geral das drenagens que apresentam padrões retilíneos e desvios bruscos em função de soerguimentos. Nesse contexto, ocorrem dois padrões distintos de dissecação, onde, no setor norte, predominam tabuleiros com superfícies bastante extensas e aplainadas, dissecados por vales fluviais, e a sul o entalhe promove a exumação de rochas sotopostas, culminando em anfiteatros encaixados, delineados por vertentes complexas e terraços estruturais originados pelas diferenças litológicas, com bastante ocorrência de afloramentos da Formação Gramame (Figura 7).



1º TÁXON	2º TÁXON	3º TÁXON	4º TÁXON
MORFOESTRUTURA	MORFOESCULTURA	PADRÕES DE FORMAS DE RELEVO	TIPOS DE FORMAS DE RELEVO
SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS	BAIXADA LITORÂNEA		Api Apf Atpm Actpf Atf Actf
COBERTURA SEDIMENTAR DE PLATAFORMA (Formação Barreiras)	BAIXOS PLANALTOS COSTEIROS (Tabuleiros Litorâneos)		Dt 13 Dt 21 Dt 23 Dc 24 Dt 31 Dt 32 Dc 33 Dt 41 Dt 42 Dsc 43 Falésia Ativa Falésia Inativa
BACIA SEDIMENTAR PERNAMBUCO – PARAÍBA			

FORMAS DE DENUDAÇÃO	FORMAS DE ACUMULAÇÃO
D – DENUDAÇÃO Dc – Formas com topos convexos Dsc – Formas com topos semi-convexos Dt – Formas com topos tabulares	A – ACUMULAÇÃO Apl – Formas de planície lnterdial (mangue) Apf – Formas de planície fluvial Atpm – Formas de terraço e planície marinha Actpf – Formas de colúvlo, terraço e planície fluvial Atf – Formas de terraço fluvial Actf – Formas de colúvio e terraço fluvial

Dlmensão Interfluvial Médla (classes) / Entalhamento Médlo dos Vales (classes)	Multo Grande (1) > 1500m	Grande (2) 1500m a 700m	Médla (3) 700m a 300m	Pequena (4) 700m a 100m	Multo Pequena (5) < 100m
Multo Fraco (1) (<20m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (40 a 80m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 160m)	41	42	43	44	45
Multo Forte (5) (>160m)	51	52	53	54	55

VIAS DE CIRCULAÇÃO

Auto-Estrada — 4 vias
Estrada pavimentada
Estrada sem pavimentação:
Tráfego permanente — 2 ou mals vlas
Tráfego permanente — 1 vla
Tráfego periódico
Caminho
Prefixo de estrada: federal, estadual — 87 — 50

ESTRADAS DE FERRO — Via simples — Via dupla ou múltipla
Bitola larga
Bitola estreita

LIMITES
Internacional
Estadual. Municipal
Linha transmissora de energia. Cerca — AT BT
Igreja. Escola. Mina
Moinho de vento. Moinho de água
Ponto trigonométrico. Referência de nível — 792 — RN 792
Ponto astronômico. Ponto barométrico — B 792
Cota comprovada. Cota não comprovada — 792 — 792

Curso d'água intermitente, permanente
Lago ou lagoa intermitente. Seco ou ciclico
Terreno sujeito a inundação
Brejo ou pântano
Poço (água). Nascente
Rápidos e cataratas grandes
Rápidos e cataratas
Rocha submersa e a descoberto
Molhe e represa de alvenaria
Ancoradouro. Rio seco ou de aluvião
Recife rochoso

Escala 1:100.000

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Quilômetros

Fig. 7 – Mapa geomorfológico de parte da área de estudo. Adaptado de Furrier (2007).

3.4 Clima

De acordo com Melo et al., (2001), o clima da área que compreende a Bacia da Paraíba pode ser classificado como Tropical Úmido ou Tropical Oceânico, com temperatura média anual de 26ºC e pluviosidade média em torno de 1.750mm, com amplitude térmica anual girando em torno de 5ºC, registrando os maiores picos na primavera, no período que coincide com os menores índices pluviométricos e acentuados índices de evapotranspiração. Por outro lado, no inverno, no triênio junho-julho-agosto, registra-se uma redução dos valores térmicos, alcançando 23ºC. Dos 1.750mm de pluviosidade anual, aproximadamente metade do montante de precipitação sofre evaporação, o que corresponde a 842,3mm, principalmente nos meses de novembro e dezembro (verão).

Os meses de junho a julho constituem-se naqueles de maior precipitação na faixa oriental do nordeste, tendo como causas eventuais as invasões da Frente Polar Atlântica e, sobretudo, instabilidades formadas por cavados barométricos originadas sobre o Atlântico e que avançam rumo a oeste, fenômeno conhecido como Ondas de Leste, que consiste na supressão da superfície de inversão térmica que separa a camada inferior, fresca e úmida, da camada superior, quente e seca, que forma a estrutura vertical dos ventos alísios austrais. Nesse sentido, os excedentes pluviométricos ensimesmados entre os meses de maio a julho, fazem desse período o mais crítico no que se refere aos problemas resultantes de agravos naturais (Girão et al., 2006).

A área se encontra na rota de quatro sistemas de circulação atmosférica, cuja passagem é acompanhada por instabilidades e chuvas: ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que atua principalmente entre os meses de dezembro e junho; Sistema do Sul (Frente Polar do Atlântico Sul Atlântica), atuando nos meses de abril a setembro; Sistema de Leste (Ondas de Leste – EW e alísios, com atuação de março a setembro (Nimer, 1979).

No outono e inverno tem-se uma atuação máxima da ZCIT, Ondas de Leste e Frente Polar Atlântica, onde se registra o máximo de precipitações consecutivas (MPC) (Nimer, 1979).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O Ambiente Cárstico

Carste é um termo utilizado internacionalmente para designar terrenos entalhados por rochas solúveis, onde o relevo é originado por processos de dissolução da rocha, dando origem a um ambiente marcado, dentre as feições mais típicas, por drenagens subterrâneas, depressões fechadas e cavernas. Este ambiente agrega características morfológicas e hidrológicas específicas ocorrendo, principalmente, sobre rochas carbonáticas (UIS, 2002).

Em relação à sua tipologia evolutiva o carste pode experimentar diferentes estágios, sendo eles descritos por Klimchouk e Ford (2000), a partir das seguintes etapas: carste singenético (corresponde ao estágio de ocorrência do calcário em plataformas costeiras, experimentando lenta subsidência ou soerguimento), carste intraestratal (estágio profundo, subjacente e entrincheirado), carste exposto (carste aberto e carste denudado).

Os tipos de carste também podem variar em função do arranjo morfológico de seus principais componentes, sendo eles: carste de dolinas, carste em torres, carste em pavimento, carste labiríntico, carste poligonal e fluviocarste (White, 1988).

4.1.1 Depressões Fechadas e Dolinas

De acordo com Sauro (2012), as dolinas são as formas de relevo mais representativas do ambiente cárstico. O termo é de origem eslava, sendo utilizado para designar depressões que ocorrem na superfície terrestre. O uso do termo sumidouro como sinônimo de dolina na literatura norte-americana acabou criando uma ambiguidade no uso da palavra, pois a designação sumidouro é aplicada, principalmente, para se referir a pontos de colapso do terreno, para onde é direcionado o escoamento autogênico.

As dolinas apresentam características marcantes que podem servir como parâmetros norteadores no momento da sua identificação. Em geral, apresentam bordas íngremes ou levemente inclinadas, em seu interior podem ocorrer afloramentos rochosos, geralmente constituídos por calcário (Christofoletti, 1980).

Essas feições se distribuem seguindo um padrão semelhante ao da rede de descontinuidades do terreno, refletindo antigos lineamentos estruturais e podendo ocorrer na paisagem como indivíduos isolados ou em grupos adensados. A ocorrência em sequências de calcários essencialmente horizontais, intercalados entre rochas clásticas, pode constituir um fator limitante para o desenvolvimento do carste e, portanto, das dolinas (Ford e Williams, 2007).

O desenvolvimento de dolinas é uma expressão em superfície da presença de cavernas e outros condutos onde ocorre fluxo de águas subterrâneas. Sua formação pode ocorrer de forma natural ou por meio de atividades antrópicas (Rose et al., 2004).

Segundo Karmann (2008), a ação antrópica pode contribuir a partir da exploração indiscriminada de poços tubulares, uma vez que a perda de sustentação que a água exerce sobre as paredes dos vazios subterrâneos, através do rebaixamento do nível freático, promove o abatimento de cavidades em profundidade.

As dolinas atuam como pontos de convergência de drenagens centrípetas, de modo que, quanto maior a contribuição, maiores podem se tornar. Além disso, dolinas de menores dimensões (secundárias) podem ser formar a partir do surgimento de outros pontos de recarga ao longo da bacia fechada, sendo que, em carstes subjacentes, a recarga do aquífero é relativamente difusa. Também, é possível que dolinas se formem sem que haja necessariamente o desenvolvimento de protocavernas, mas por meio do aproveitamento de uma zona permeável pré-existente (*ready-made*), onde a zona vadosa é herdada de fases anteriores de carstificação (Ford e Williams, 2007).

Segundo Ćalić (2011) grandes depressões fechadas também podem ser classificadas como uvalas. Para o mesmo, a definição de uvala como sendo resultante apenas da coalescência de dolinas faz parte de uma visão redutiva e errônea, pois estas apresentam fatores genéticos estruturais e particularidades

hidrológicas que as individualiza enquanto feições próprias de relevos cársticos. Segundo este autor, algumas características gerais das uvalas devem ser observadas: (a) possuem perímetros irregulares (Figura 10), na maioria dos casos; (b) suas dimensões em planta excedem 1 km de eixo maior, com valores de profundidade abaixo de 50 m; (c) as inclinações de suas encostas são, geralmente, mais suaves do que nas dolinas; (d) os fundos dessas depressões estão sempre acima do lençol freático; (e) geralmente, possuem pouca água, pequenos riachos sazonais ou lagoas muito rasas; (f) a dissolução não ocorre em pontos específicos como em dolinas, mas de forma areolar, desenvolvendo-se, na maioria dos casos, em zonas falhadas ou fraturadas. No entanto, é preciso ratificar que as características gerais das uvalas em regiões tropicais apresentam diferenças (Figura 8).

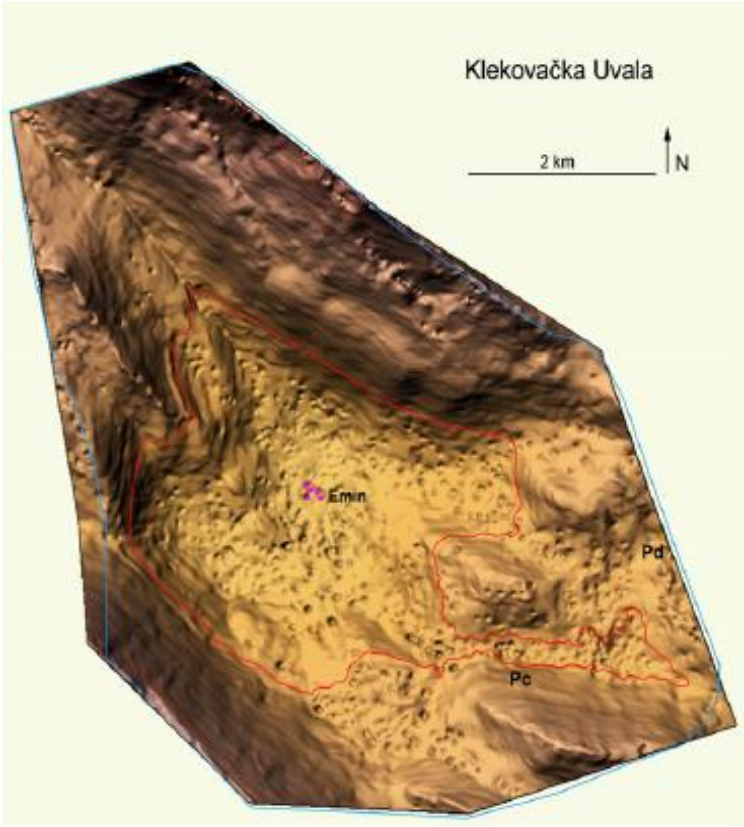


Fig. 8 – Modelo Digital de Elevação da Uvala Klekovacka. Ćalić (2011, p.40)

Gillijns et al. (2005) definiram depressões fechadas como acidentes geográficos onde as encostas cercam sedimentos que ficam retidos no interior de um sistema. Na opinião desses autores, embora essas feições sejam muito

relatadas na literatura, são poucas as investigações pormenorizadas sobre a sua origem. Nesse estudo, foram verificadas as características morfológicas e gênese de depressões fechadas na Bélgica central, dais quais foram coletados valores morfométricos (diâmetro, área, profundidade e declividade), destacando diferenças significativas na morfologia de feições presentes em áreas florestais e aquelas existentes em áreas agrícolas, onde se apresentam rasas e delimitadas por encostas suavizadas. O substrato onde ocorrem é essencialmente constituído por calcários, que podem alcançar vários metros de espessura, cobrindo arenitos terciários. Algumas das depressões encontradas foram classificadas como de origem antrópica, sendo interpretadas como antigas pedreiras de calcário ou ferro.

Outra classificação baseada no tamanho das depressões fechadas é a apresentada por Sauro (2012), onde o mesmo designa depressões menores como dolinas, dolinas compostas e uvalas na escala intermediária e poljés como feições maiores, chegando a uma escala de dezenas de quilômetros. Na opinião do autor, grandes depressões fechadas podem se originar através da combinação da dissolução e erosão em *piping*, ou pelo colapso do teto de cavidades profundas.

Günok (2011) tratou da ocorrência de uvalas, poljés e anfiteatros como formações interessantes e pouco conhecidas na topografia cárstica sobre a Formação Kaplankaya, essencialmente constituída por calcários margosos, ardósias e arenitos. Para o mesmo a presença de anfiteatros indica uma erosão cárstica acelerada.

Na literatura, depressões fechadas também são descritas como poljés. Segundo Bonacci (2014), essas feições são definidas como formas de relevo em grande escala, atreladas a regiões cársticas tectonicamente ativas, exibindo características hidrológicas e hidrogeológicas complexas.

Os poljés são grandes depressões fechadas com fundos planos, desenvolvidas sobre rochas carstificadas. Os limites dessas feições são constituídos por encostas relativamente íngremes, constituídas por calcários com hidrologia interna composta por sumidouros. Além disso, as depressões cársticas do tipo poljés também podem sofrer capturas pela rede fluvial. Neste trabalho, os autores levantaram evidencias estruturais de poljé desenvolvido em um graben ativo. A

litologia da região é basicamente constituída por formações carbonáticas sobre evaporitos (Gracia et al., 2003).

4.1.2 Depressões Fechadas e Dolinas em Arenitos

A existência de trabalhos que tratam da ocorrência de dolinas em arenitos ou sedimentos arenosos ainda são relativamente escassos. No entanto, alguns pesquisadores vêm trabalhando com esta temática em diferentes regiões do mundo há certo tempo.

De acordo com Martini (1979) *apud* Wray (1997), o processo de formação de vazios em quartzitos ocorre por meio do processo de arenização, uma vez que a dissolução da rocha é seguida da remoção mecânica de areia na zona vadosa, gerando vazios.

Na opinião de Jennings (1983) *apud* Wray (1997), embora a erosão física seja um fator preponderante para a formação dessas feições, a dissolução, mesmo atuando em segundo plano, confere aspectos de um verdadeiro carste, pois somente pela ação da erosão física as formas exibiriam características bastante diferentes. Nesse sentido, as cavernas e dolinas constituem indicadores comuns da ocorrência de dissolução, tendo apenas variações das taxas de dissolução e do tamanho de acordo com a litologia específica. Neste caso, as cavernas não atingem tamanhos comparáveis àquelas formadas sobre rochas calcárias, no entanto, as dolinas apresentam dimensões comparáveis. O mesmo também vale para a ocorrência de bacias de dissolução que, do mesmo modo, também não são limitadas a carbonatos, pois tem sido encontrado diversos relatos em diversas rochas silicosas, dentre elas estão, arenitos, quartzitos e lateritas, sendo encontradas na América do Sul, EUA, Europa, Austrália e África. Essas bacias podem reter a água da chuva por longos períodos a apresentam geometria geralmente circulares ou ovais, sendo bastante irregulares, com piso suave plano ou irregular, cercadas por paredes suavemente inclinadas à vertical e são geralmente mais amplas que profundas, algumas chegando a alcançar dezenas de metros.

O trabalho de Twidale (1987) é um dos mais representativos, pois trata da ocorrência de dolinas no Planalto de Sturt, na Austrália, onde ocorrem calcários e basaltos paleozóicos sobrejacentes à um sistema dobrado e falhado de idade neoproterozóica. Repousando de forma discordante às rochas paleozóicas, ocorrem arenitos e siltitos (*Mullaman*), compreendidos por arenitos do Cretáceo Inferior. Esta formação apresenta grande quantidade de concreções ferruginosas onde são observados grupos de dolinas claramente alinhados, dispostas sobre zonas que coincidem com lineamentos (Figura 9).

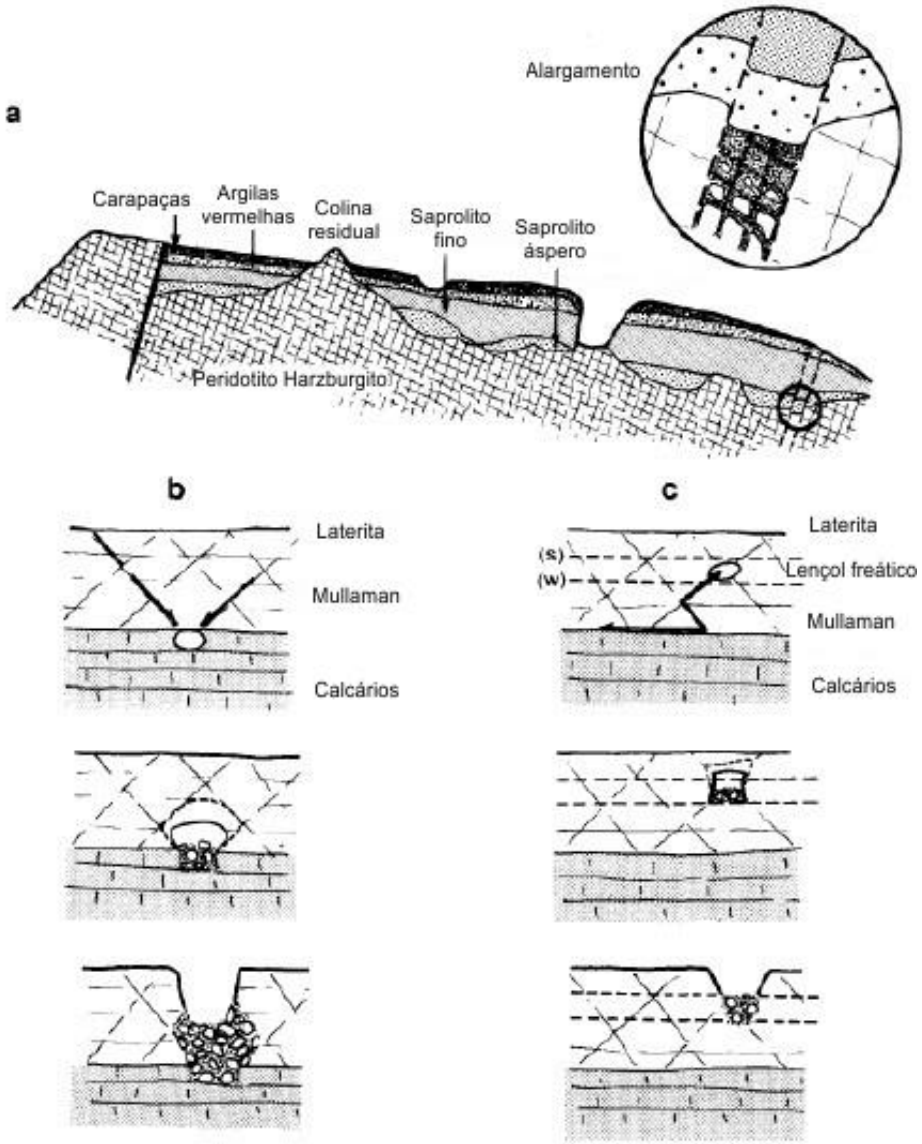


Fig. 9 – Processo de formação de depressões em diferentes litologias. (a) Desenvolvimento de dolinas por lavagem (*flushing*) na frente de intemperismo; (b) Desenvolvimento de sumidouro através do colapso de um vazio de calcário; (c) Desenvolvimento de sumidouro através de colapso em um vazio desenvolvido no arenito ou no regolito. Fonte: Modificado de Twidale (1987, p. 45).

Levantamentos geofísicos foram realizados nesse estudo, através de métodos como a eletrorresistividade detectando espaços vazios na subsuperfície rasa associados à zona laterítica e às camadas areníticas. As depressões dessa região são elípticas, expondo formas bastante assimétricas e paredões e escombros originados por colapsos, com ocorrência de lagoas temporárias. Os autores concluem que a gênese dessas depressões se deve ao colapso da laterita sobre vazios desenvolvidos a algumas dezenas de metros abaixo da superfície (Twidale, 1987).

Em alguns pontos da região do Planalto Sturt são observados afloramentos de calcários com ocorrência de cavernas. Em outros, existem dolinas que ocorrem em áreas que não são embasadas por calcários ou quaisquer outras rochas carbonáticas. Nesses casos, o quartzo pode sofrer dissolução em condições adversas àquelas encontradas na superfície terrestre (Twidale, 1987).

Para Twidale (1987), a origem de depressões em rochas silicosas contraria a visão amplamente difundida de que a sílica é imutável, pois, dependendo do tempo, a sílica torna-se significativamente solúvel, sobretudo em determinados ambientes.

Busche e Sponholz (1992) descrevem a ocorrência de grandes depressões (dolinas, uvalas e poljés) em silicatos no Planalto de Tennit no leste de Níger onde ocorrem diversas depressões de fundo plano, com diâmetros que vão desde poucos metros quadrados a mais de um quilometro, indicando uma fase de carstificação anterior à etchplanação (Figura 10).

Nessa região, encontram-se no interior das depressões, diversas aberturas descritas como tubos cársticos sub-verticais densamente espaçados em uma crosta ferruginosa, atestando ligações com feições em subsuperfície (Busche e Sponholz, 1992).

Sponholz (1994), também descreve a ocorrência de depressões sobre arenitos e crostas ferruginosas no leste de Níger em uma área dominada por vastas planícies pontuadas por planaltos tabuliformes de constituição arenítica e ferruginosa. Na região ocorrem depressões situadas sobre sedimentos terrígenos, sendo preenchidas, principalmente, por caulinitas, expondo formas irregulares como sumidouros ramificados (*ramose sinkholes*), com aspecto semelhante às depressões do Planalto Sturt na Austrália.

Fig. 10 – Vista parcial de uma depressão localizada no Planalto de Tennit. Busche e Sponholz (1992, p.5).

Soriano e Simón (1995) realizaram trabalho sobre a ocorrência de dolinas em sedimentos aluviais na bacia do Ebro, Espanha. Feições desse tipo são geradas quando solos ou depósitos superficiais que recobrem as rochas calcárias ruem em condutos ampliados por dissolução, causando a subsidência da superfície do terreno. As mesmas são originadas devido a mobilização de matéria pelas águas subterrâneas criando cavidades no subsolo, podendo ocorrer por meio da dissolução do substrato solúvel ou *piping* na cobertura detrítica. A bacia do Ebro é preenchida por sedimentos do Paleógeno e Neógeno, incluindo evaporitos e fácies carbonáticas. Nessa região, as dolinas se desenvolvem onde depósitos de terraços sobrepõem evaporitos do Neógeno.

Filizola e Boulet (1996) relataram a ocorrência de depressões sobre rochas sedimentares quartzo-cauliníticas da Bacia de Taubaté no Vale do Paraíba. Para estes autores, as depressões analisadas desenvolvem-se em função de fatores tectônicos, no cruzamento entre descontinuidades, também favorecido pela ocorrência de uma camada argilosa subjacente. Devido sua impermeabilidade forma-se um lençol suspenso. Os mesmos também relatam, além da abundância de

depressões, a ocorrência de cabeceiras de vales em forma de anfiteatro, que podem ser explicadas pela lixiviação diferencial em áreas afetadas pela tectônica.

Wray (1997) elaborou uma importante revisão sobre ocorrência de formas de dissolução em quartzos e arenitos, reunindo relatos dispersos sobre feições de dissolução produzidas sobre arenitos em diferentes regiões do planeta. A partir deste trabalho foi averiguado que ocorrem oito tipos distintos de sílica na natureza, onde três desses tipos são muito significantes em termos de dissolução, sendo eles: o quartzo comum, opala-A e a sílica amorfa.

No Brasil, Filizola et al. (2001) relacionaram a dimensão de depressões com os solos que apresentam lateritas nos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras no nordeste brasileiro. Os mesmos observaram que as linhas de plaquetas têm sua origem derivada da ferruginização das juntas de sedimentação da porção superior desta formação durante sua fase de alteração, dando origem um nível impermeável fragmentado em plaquetas. Este endurecimento foi atribuído a ocorrência de sílica, alumínio e ferro, formando fragipãs e duripãs. Essas estruturas são descontínuas, chegando a medir 1 cm de espessura, tornando-se bandas contínuas de 2 a 5 cm de espessura no centro da depressão. Na estação chuvosa os duripãs constituem assoalho de um lençol suspenso com zona de flutuação. No entanto, esses lençóis são ausentes em locais onde os duripãs encontram-se reduzidos a volumes descontínuos. Para os mesmos, a formação das depressões possibilita certa circulação lateral em direção ao seu centro, promovendo a formação de drenagem radial centrípeta e proporcionando condições redutoras nas áreas deprimidas a partir da instalação de lençóis suspensos. Nesse sentido, a hidromorfia aumenta com a ampliação e aprofundamento da depressão, acelerando a dissolução e migração do ferro. O rebaixamento do lençol suspenso corresponde à abertura parcial da depressão. Além disso, foi verificado que o alinhamento dessas depressões indica provável determinismo tectônico, sendo observado sua localização em cruzamento de eixos, que podem corresponder a pontos de fuga vertical da água em consequências de falhas. Mesmo assim, considera-se a dissolução de calcários subjacentes em zonas falhadas como um fator complementar ao processo de formação e evolução das depressões.

Melo e Giannini (2007), trataram da ocorrência furnas originadas por desabamento de cavidades, além de lagoas, depressões, alvéolos, lapiás, perfurações geradas por organismos e relevos ruiniformes que indicam a ação combinada da dissolução e erosão mecânica. Neste trabalho, os autores consideram estas feições como resultantes da interação entre a mineralogia e a textura dos arenitos, falhas, fraturas, clima úmido e a ação de microorganismos. O contexto geológico da região é marcado pela ocorrência da Formação Furnas, constituída por arenitos quartzarênicos e pouca fração de feldspato e fragmentos líticos, sendo intensamente cimentados por caulinita, que estão soterrados acerca de 1.600 metros de profundidade, repousando de forma discordante sobre as rochas do embasamento Proterozóico e a Formação Iapó. Neste trabalho, foram detectadas correlações entre as feições do relevo e as estruturas, onde algumas furnas têm eixos alongados na direção NW-SE, estando próximas a essas estruturas ou até mesmo em seus cruzamentos. Além disso, os mesmos trazem evidências que apontam para processos de remoção do cimento caulinítico e enfraquecimento da rocha onde a remoção mecânica desses grãos origina cavernas (arenização), tendo a provável ocorrência deste processo em profundidade. Isto é evidenciado a partir de várias ressurgências próximas controladas por falhas e fraturas ao longo dos principais rios da região. Também é levada em consideração, a influência de estruturas atectônicas na formação dessas feições, como fraturas atectônicas sub-verticais e sub-horizontais, parcialmente controladas por estratificações.

Em outro trabalho, Sallun Filho e Karmann (2007) trataram da ocorrência de dolinas em arenitos na Bacia do Paraná, atribuindo sua gênese ao processo de *piping* e colapso nos arenitos em decorrência da existência de um sistema cárstico em carbonatos subjacentes. Esta afirmativa foi corroborada por evidências, como: existência de dolinas restritas apenas às localidades com ocorrência de rochas carbonáticas no embasamento da bacia e pelo alinhamento entre as dolinas, demonstrando o controle estrutural. Os mesmos vinculam a ocorrência de feições ruiniformes na região de Ponta Grossa (PR) a ação erosiva ou intempérica superficial nos arenitos atribuídas a pseudocarste, não tendo relação direta com as dolinas, que constituem pontos de injeção das águas meteóricas, conectados em profundidade ao sistema cárstico.

Ocorrências de uvalas em arenitos também são descritas por Hardt (2011), desenvolvidas na Formação Itaqueri, em arenitos friáveis mal selecionados, numa zona de contato com basaltos da Serra Geral, onde se desenvolve uma fina camada de argila que isola a porção superior, originando um lençol suspenso. Isto, gera uma tendência de alargamento de dolinas ao invés de aprofundamento, as quais tendem a coalescer.

4.1.3 Carste Subjacente

Uma superfície cárstica pode ser soterrada devido mudanças de condições geotectônicas locais, regionais ou por mudanças do nível global do mar. Dependendo das condições, o carste pode tornar-se ativo ou inativo, como resultado de uma elevação ou subsidência, transgressão marinha ou deposição continental em massa (sedimentos clásticos). Podem existir casos de suberosão, onde o processo de dissolução subterrânea das rochas é acompanhado de remoção mecânica, chamada de carstificação intraestratal, capaz de gerar grandes depressões em superfície (Bosák, 1989).

O carste pode ser definido como um tipo específico de sistema de circulação capaz de auto desenvolver-se e auto organizar-se, evoluindo para amplas variedades de ambientes geológicos profundos, sem apresentar quaisquer relações aparentes com a superfície, configurando sistemas de circulação confinados. Nesse sentido, o carste precisa ser visto a partir de uma visão evolutiva, onde são estabelecidos diferentes tipos de carste, representando fases distintas de desenvolvimento. Esta tipologia evolutiva considera o carste desde sua formação geológica, com um período de exposição, seu profundo soterramento, até sua desnudação. Desse modo, o carste intraestratal inclui os tipos: profundo, subjacente, entrincheirado e desnudado (Klimchouk e Ford, 2000).

Segundo Jennings (1966), no relevo australiano é frequente a ocorrência de dolinas devido a dissolução de calcários em subsuperfície, com a evolução para dolinas de colapso, devido o desmoronamento do teto de cavernas. Essas feições

ocorrem em solos residuais avermelhados, com diâmetros entre 100-120 metros, localizadas no intercruzamento entre fraturas.

Carlson (1992), descreve um exemplo de reativação de um carste intraestratal em rochas do siluriano superior no oeste de Lake Erie (E.U.A). Segundo o mesmo, após uma longa interrupção, o carste dessa região foi exumado e reativado. As feições cársticas que se desenvolvem são, normalmente, cavernas e dolinas de colapso.

De acordo com Ford (1995), o modelo de erosão de um carste soterrado evolui por meio da ação da água à medida que o mesmo sofre exumação, desde condições iniciais, onde o gradiente hidráulico e a porosidade são baixos, até condições finais, onde a cobertura sedimentar é bastante delgada, elevando as condições de porosidade e gradiente hidráulico.

A partir da presente revisão, conclui-se que o termo “depressão fechada”, na literatura geomorfológica, tem sido frequentemente utilizado para designar feições exocársticas, servindo para designar dolinas, uvalas e poljés, independente da litologia em que ocorrem (Busche e Sponholz, 1992; Filizola e Boulet, 1996; Hardt, 2011). Além disso, as mesmas podem ter sua gênese em virtude da influência da dissolução em calcários subjacentes ou nos próprios arenitos (Twidale, 1998; Fillizola et al., 2001).

5 METODOLOGIA

5.1 Mapeamento e morfometria das depressões

Para a realização da presente pesquisa foram utilizados os seguintes dados:

- Cartas topográficas do mapeamento sistemático brasileiro fornecidas pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), na escala de 1:25.000;
- Cartas topográficas cedidas pela Prefeitura Municipal de João Pessoa (PB), na escala de 1:10.000;
- Imagens dos satélites Landsat e Rapideye;
- Imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM);
- Dados de poços tubulares;

As cartas topográficas 1:25.000 foram utilizadas no intuito de extrair a rede de drenagem para distinguir os lagos, os rios principais com suas nomenclaturas, a identificação dos padrões e feições indicativas de lineamentos.

No entanto, outra base de drenagens também foi extraída a partir do SRTM, visando compará-la com aquela da carta 1:25.000 para verificar qual seria a mais eficiente na identificação dos padrões de drenagens, inclusive das drenagens centrípetas.

As cartas também foram utilizadas no intuito de extrair as rodovias e demais vias de acesso a determinados locais para o desenvolvimento dos trabalhos de campo, tais como: afloramentos, depressões e demais áreas de interesse.

As cartas de 1:10.000 foram utilizadas em razão do seu nível de detalhe e de sua eficiência na identificação de depressões. Esse material foi georreferenciado e adicionado à base de dados da pesquisa. Com isso, todas as depressões foram identificadas e vetorizadas visando estabelecer correlações com outros dados.

As imagens de satélites serviram como apoio na visualização dos lagos. Nesse caso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat, obtidas no Catálogo de

Imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do satélite Rapideye no Geocatálogo do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

As drenagens foram extraídas a partir da obtenção de informações referentes ao fluxo acumulado e direção de fluxo dos canais. Além disso, as curvas de nível do terreno foram obtidas com uma equidistância de 5 metros, tornando possível a identificação de depressões mais suaves.

A partir dessas informações foram delimitados os divisores topográficos das bacias fechadas, tornando possível a obtenção de dados quantitativos e caracterização morfométrica dessas feições, através da aquisição de valores de amplitude, eixo maior/menor, elipsidade, simetria interna, profundidade/diâmetro, área e perímetro.

As informações de amplitude foram obtidas a partir da diferença entre a altitude máxima e mínima da depressão, onde, a altitude máxima equivale ao cume do interflúvio, e a mínima ao ponto de convergência das drenagens.

Vale ressaltar que, pelo fato desses parâmetros terem sido inferidos a partir das informações detectadas pelo sensor do SRTM, em alguns casos, a presença de espelho d'água pode mascarar a verdadeira profundidade da depressão.

O eixo maior e menor foi obtido com base na geometria da depressão, com base na medição da distância entre os divisores. Neste procedimento, foi de grande auxílio à comparação do polígono da depressão com figuras geométricas, como: círculos e elipses.

Os dados relativos à elipsidade foram obtidos a partir da razão entre o eixo maior e menor, onde, valores abaixo de 0 são representativos de depressões mais circulares que elípticas e, acima de 1, mais elípticas. Este parâmetro é importante para o estudo de bacias poligonais, uma vez que depressões elípticas estão orientadas na direção do fluxo das águas subsuperficiais.

$$\text{Elipsidade} = \text{Eixo maior} / \text{Eixo menor}$$

Onde,

≤ 0 – Depressões circulares

≥ 1 – Depressões elípticas

A simetria interna corresponde à regularidade dos divisores da depressão, sendo obtida a partir da relação entre comprimento e largura e entre as partes do eixo longitudinal de cada lado do sumidouro (produto de simetria) (Williams, 1972). A figura 11 representa as medidas que devem ser obtidas para a base de cálculo da simetria interna.

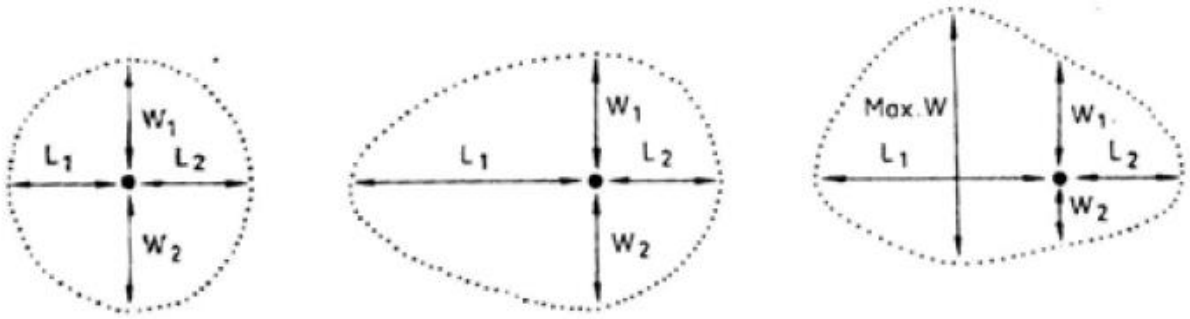


Fig. 11 – Medições efetuadas para estimar a geometria bidimensional de uma depressão. Fonte: Adaptado de Williams (1972).

$$P_S = R_1 x R_w$$

Onde,

P_S = Produto de simetria

$R_I = L_1/L_2$

$R_W = W_1/W_2$

Os valores de profundidade/diâmetro (P/D) foram estimados a partir do produto entre a amplitude da depressão e seu eixo médio (eixo maior/eixo menor). O P/D é um índice importante no estudo da gênese de depressões cársticas, pois caracteriza quantitativamente a forma em perfil de dolinas, classificando tipos de perfis em suave (abaixo de 1) e íngreme (acima de 1). O perfil íngreme é característico de chaminés, poços, abismos e fendas e o perfil suave é típico de dolinas de dissolução, uvalas e *poljés*.

Os valores de área e o perímetro foram auferidos a partir de Sistemas de Informações Geográficas, com base no sistema de coordenadas métricas (UTM). Tais dados são importantes, pois concedem um panorama geral do tamanho das depressões e, consequente de seu desenvolvimento horizontal.

Os valores morfométricos das dolinas foram coletados com base nas cartas topográficas 1:10.000 e com o auxílio de imagens de satélites, tendo em vista que não foi possível a realização de interpretação a partir de estereoscopia com fotografias áreas. Tendo em vista serem feições que não chegam a formar bacias, apenas alguns índices foram coletados, como: área, perímetro, profundidade e relação profundidade/diâmetro.

5.2 Obtenção dos dados morfoestruturais

Após a caracterização morfométrica partiu-se para a confecção do mapa morfoestrutural, visando identificar uma possível influência dos lineamentos na gênese das depressões.

Para a extração dos lineamentos foi utilizada a imagem do SRTM, a partir da qual foram realçadas as estruturas com base em informações de orientação das vertentes e curvatura horizontal do terreno. As drenagens extraídas anteriormente também foram de grande auxílio para a demarcação de lineamentos, a partir da identificação de trechos retilíneos e inflexões bruscas.

A orientação de vertentes é determinada a partir da direção transversal às curvas de nível no sentido descendente, equivalente ao fluxo previsto do escoamento superficial (Valeriano e Albuquerque, 2010) (Figura 12).

A curvatura horizontal é determinada com base nas variações da orientação de vertentes no sentido horizontal, ao longo das curvas de nível. Sua estimativa a partir de MDE (Modelos Digitais de Elevação) se baseia na comparação entre as diferentes orientações em torno do ponto analisado (Valeriano e Albuquerque, 2010) (Figura 13).

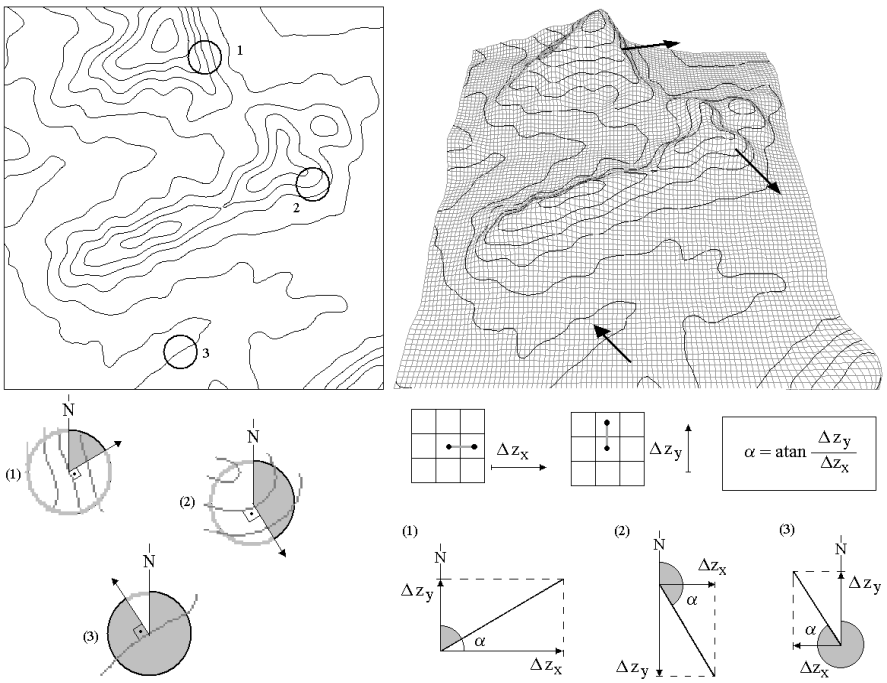


Fig. 12 – Orientação de vertentes em isolinhas (esq.) e em MDE (direita). Valeriano e Albuquerque (2010, p.35).

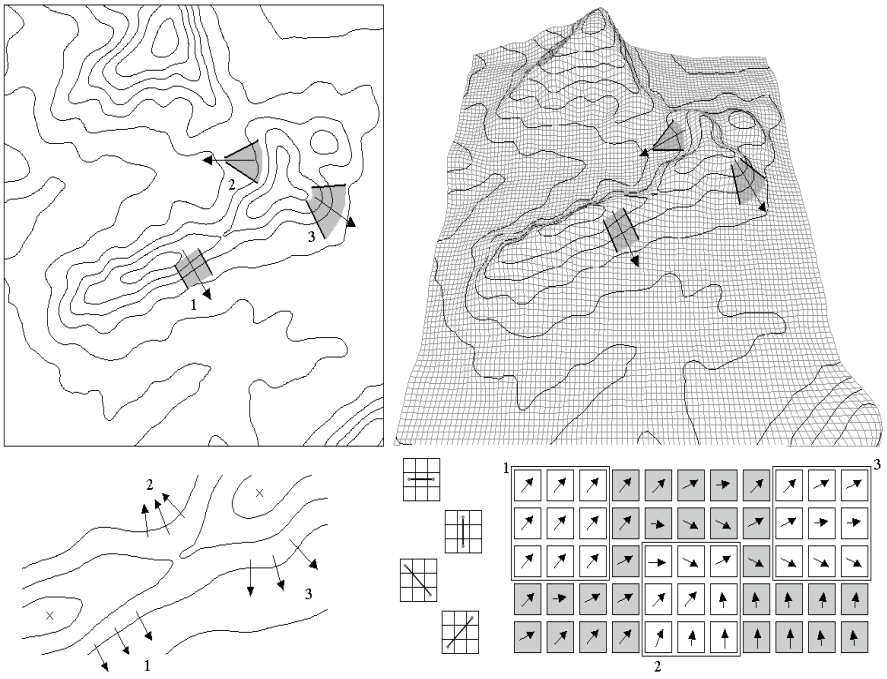


Fig. 13 – Curvatura horizontal em isolinhas (esquerda) em MDE (direita). Valeriano e Albuquerque (2010, p.38).

Os lineamentos foram submetidos à análise estatística através do programa STEREO32, onde foram construídos os diagramas de roseta referentes aos

lineamentos, as direções dos alinhamentos das depressões e seus respectivos eixos maiores, além das fraturas identificadas no campo, com o objetivo de estabelecer relações entre ambas as informações.

5.3 Análise dos poços

Para a análise geológica foram utilizados dados de poços tubulares 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 do Estado da Paraíba) e empresas privadas (Construpoços e HIDROTEC).

Os dados coletados foram organizados em uma planilha onde foram inseridos os valores referentes à profundidade (m) do topo de cada formação e a cota topográfica do terreno (m). Incialmente, as profundidades dos topos das formações foram inseridas da forma como estão nas descrições litológicas, isto é, levando em consideração o nível do solo como sendo 0m. Após isso, utilizando as imagens do SRTM, foram estimados os pontos cotados de cada uma das áreas onde foram perfurados os poços, visando obter a diferença entre a profundidade do topo (m) e a cota do terreno (m) para aquisição do valor real de profundidade, ou seja, levando em consideração a cota topográfica do terreno.

Posteriormente, os valores referentes ao topo de cada formação foram subtraídos a partir da cota topográfica fornecida pelo dado SRTM. A extração dos valores de altitude a partir da imagem de radar foi realizada após um procedimento de transformação do formato matricial para vetorial, tornando possível a consulta dos valores de altitude.

Com esses valores foi possível realizar uma modelagem geológica das formações em subsuperfície.

Os dados presentes nas planilhas foram importados para o ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) sendo possível a visualização da sua localização sobre a área de estudo e modelagem dos dados a partir dos valores de suas coordenadas X, Y, Z.

Foram realizadas operações a partir de diversos interpoladores, visando realizar uma modelagem geomorfológica dos calcários da Formação Gramame em subsuperfície e as depressões fechadas na Formação Barreiras em superfície.

Inicialmente, o procedimento foi realizado para toda a área de estudo, depois, por setores, para a obtenção de análises em diferentes escalas. Com isso, o único setor analisado foi a cidade de João Pessoa, onde a densidade de dados foi consideravelmente superior permitindo o estabelecimento de relações com as depressões.

O mapa de espessura da Formação Barreiras foi confeccionado com base em valores obtidos a partir da diferença entre a cota topográfica do terreno e o topo da Formação Gramame. Os valores foram interpolados a partir do programa Surfer gerando um mapa com curvas de nível com valores relativos à sua espessura na área contemplada pelos dados de poços tubulares.

5.4 Trabalhos de campo

Trabalhos de campo foram realizados no intuito de confirmar a ocorrência das depressões identificadas a partir das cartas e das imagens SRTM, além de realizar medições de fraturas sobre os calcários e reconhecer feições de dissolução nesses afloramentos.

No caso das depressões, foram realizados trabalhos de campo visando validar as ocorrências das mesmas, onde foram observadas suas características geomorfológicas, além dos solos e vegetação característica (Figura 14).

Além do método de identificação das estruturas através da imagem SRTM, também foram identificadas fraturas diretamente sobre afloramentos de calcários da Formação Gramame utilizando bússola, onde foram coletados valores referentes aos azimutes no intuito de correlacionar suas direções com aquelas identificas na imagem SRTM e com os alinhamentos das depressões. A coleta de dados foi realizada em três grandes afloramentos localizados na cidade de João Pessoa (PB), são eles: Empresa InterCement, Roger e Mandacarú (Figura 15).

Fig. 14 – Processo de mapeamento das depressões através de trabalhos de campo.

Fig. 15 – Processo de medição da direção de fraturas sobre afloramentos da Formação Gramame.

6 RESULTADOS

Mapeamento das grandes depressões fechadas e dolinas

Foram identificadas 7 depressões e 103 dolinas a partir da interpretação das imagens de satélites, do SRTM e das cartas topográficas. Dessas, foram visitadas e confirmadas 7 depressões e 8 dolinas. Para cada uma delas foi atribuída uma numeração no mapeamento das feições cársticas, com a finalidade de identificá-las (Figura 16).

Neste estudo, as depressões fechadas foram separadas das dolinas pelo fato de apresentarem grandes extensões, acima de 1km^2, divisores sinuosos, drenagem claramente perceptível e ocorrência de subdepressões. Por outro lado, as dolinas formam lagoas de pequena extensão, com algumas centenas de metros com divisores e drenagens invisíveis nas imagens de radar.

A partir do mapa contendo as dolinas e as depressões tornou-se possível inferir como estas feições se distribuem geograficamente, onde se concentram e suas relações com o contexto hipsométrico.

A maior concentração foi detectada na porção central da área analisada, sobretudo, na cidade de João Pessoa, onde as mesmas se encontram no interior da zona urbana, podendo ocasionar riscos à população.

A oeste do município de João Pessoa, especificamente na região do Tabuleiro das Lagoas, se encontram grande número de lagoas e cavidades, que serão discutidas posteriormente.

A correlação entre o contexto hipsométrico e as feições analisadas permite inferir que as mesmas se encontram, em sua maioria, sobre os tabuleiros costeiros, onde o gradiente hidráulico favorecido pela amplitude altimétrica permite uma circulação mais efetiva das águas, promovendo a dissolução e carstificação.

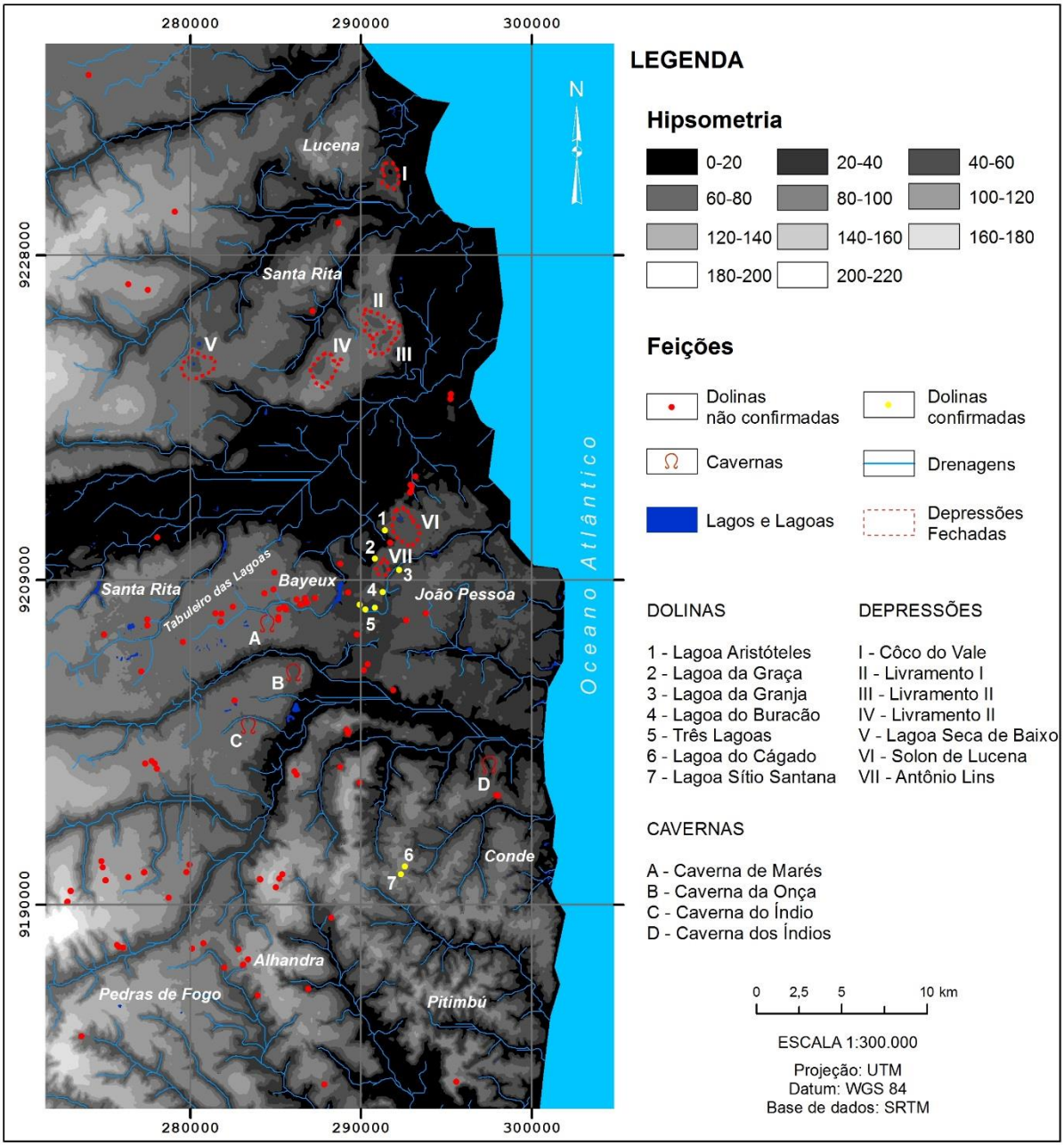


Fig. 16 – Mapa hipsométrico contendo as dolinas e depressões analisadas na área de estudo.

6.1 Depressões fechadas com drenagem centrípeta (feições em maior escala)

As depressões fechadas constituem porções do terreno onde o desnível produziu bacias fechadas, contendo um fluxo centrípeto.

Essas áreas são importantes para o estudo, pois constituem forte evidência de uma provável atividade de dissolução e formação de vazios em subsuperfície, seja nos sedimentos areno-argilosos e/ou nos calcários subjacentes.

6.1.1 Depressão I

A Depressão I encontra-se localizada no município de Lucena-PB, nas imediações da Empresa Agrícola Vale do Mangereba (Côco do Vale). De acordo com o mapa geológico do estado da Paraíba (Brasil, 2002), esta localidade situa-se sobre os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras (Figura 17).

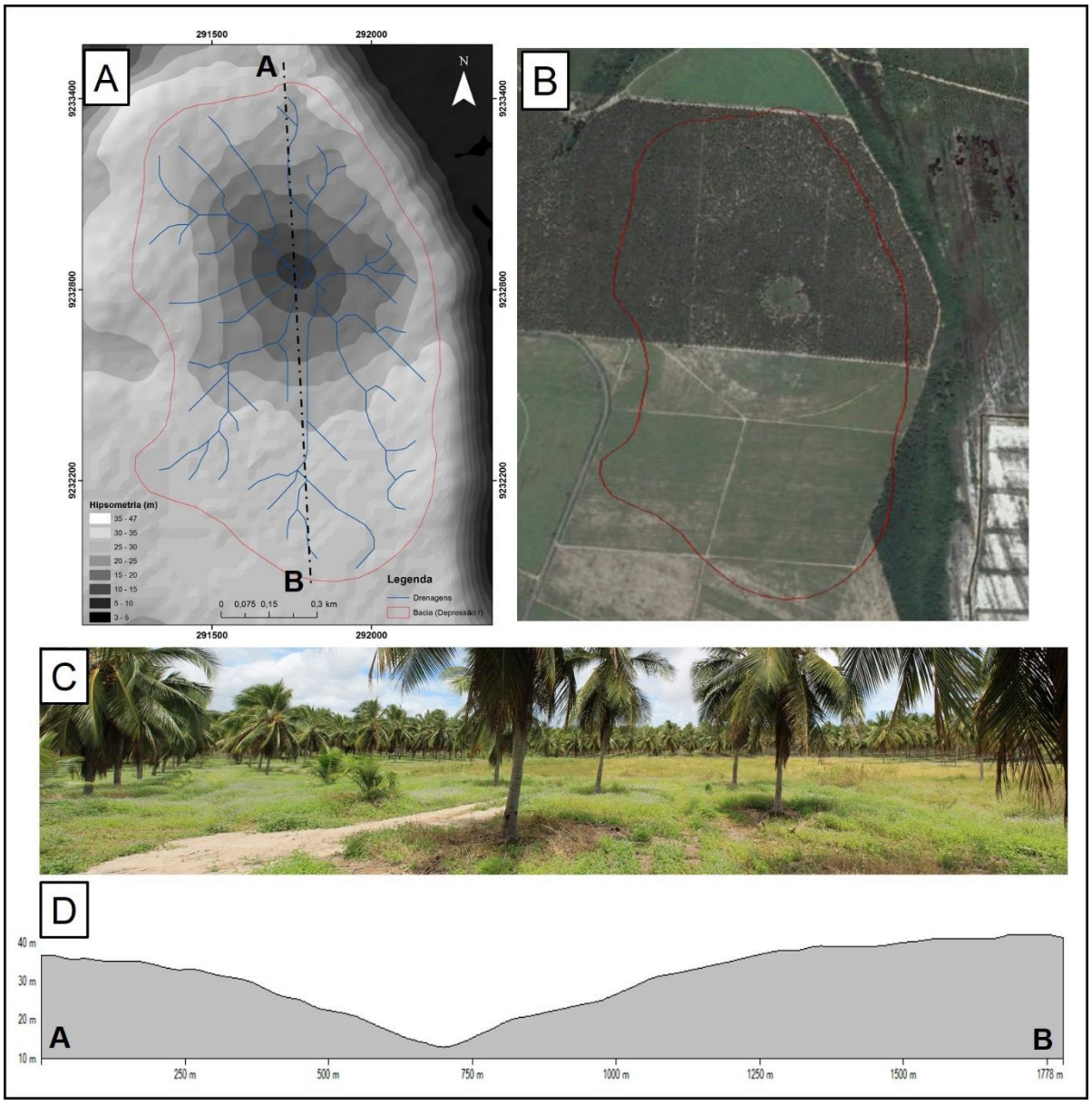


Fig. 17 – Depressão I, localizada no município de Lucena (PB). A) Mapa hipsométrico da depressão I e suas drenagens; B) Imagem de satélite da área onde se localiza a depressão I; C) Visão panorâmica da depressão I; D) Perfil AB da depressão I. Exagero vertical 5x.

É notória, através da imagem de radar, a variação de altitude, permitindo a clara visualização de uma zona deprimida com cerca de 1,17 km^2 de área, 4,2 km de perímetro e 33 metros de amplitude (profundidade).

Sua elipsidade alcança 1,84, caracterizando uma depressão bastante elíptica, com eixo menor de 846 m e um eixo maior que chega a atingir 1,5 km, o que confere à mesma um baixo índice de profundidade/diâmetro (P/D=0,02), representativo de uma feição originada por subsidência lenta do terreno.A simetria interna de 1,08 é típica de uma depressão assimétrica, ou seja, com divisores bastante sinuosos.

Com relação às características desta bacia, têm-se a presença de canais que alcançam até a 5ª ordem e a ocorrência de suaves depressões internas. Essas zonas configuram suaves variações internas detectadas no trabalho de campo, configurando pontos de acúmulo das águas no período úmido.Nesse ponto o lençol freático se encontra muito próximo da superfície, chegando a aflorar nos períodos úmidos. Essa água, por sua vez, tem sido intensamente utilizada para as atividades agrícolas depempenhadas nesta localidade, podendo causar impactos como rebaixamento do lençol e novos processos de subsidência (Figura 18).

Fig. 18 – Subdepressão localizada no interior da Depressão I.

6.1.2 Depressão II

A depressão II encontra-se localizada no município de Santa Rita (PB), mais especificamente no distrito de Livramento, nas dependências da usina Japungu. Segundo o mapa geológico (Brasil, 2002), a mesma se encontra sobre os sedimentos da Formação Barreiras.

Sua área total é 1,6 km^2 por 37 metros de amplitude. Seu perímetro alcança o valor de 5,3 km, sendo, portanto, uma depressão de considerável extensão.

Em seu interior foi detectada pela imagem do SRTM uma subdepressão. No campo, a identificação dessas subdepressões torna-se difícil em função das mudanças provocadas pela atividade agrícola, que descaracterizou bastante suas feições internas, assim como as características do solo e da própria vegetação.

Suas drenagens efêmeras alcançam canais de quinta ordem, provocando suaves ondulações frequentes no interior da mesma.

Seus valores de elipsidade e simetria interna são de 1,08 e 1,02, respectivamente, caracterizando uma depressão assimétrica e elíptica, com um eixo bem orientando segundo estruturas (Figura 19).

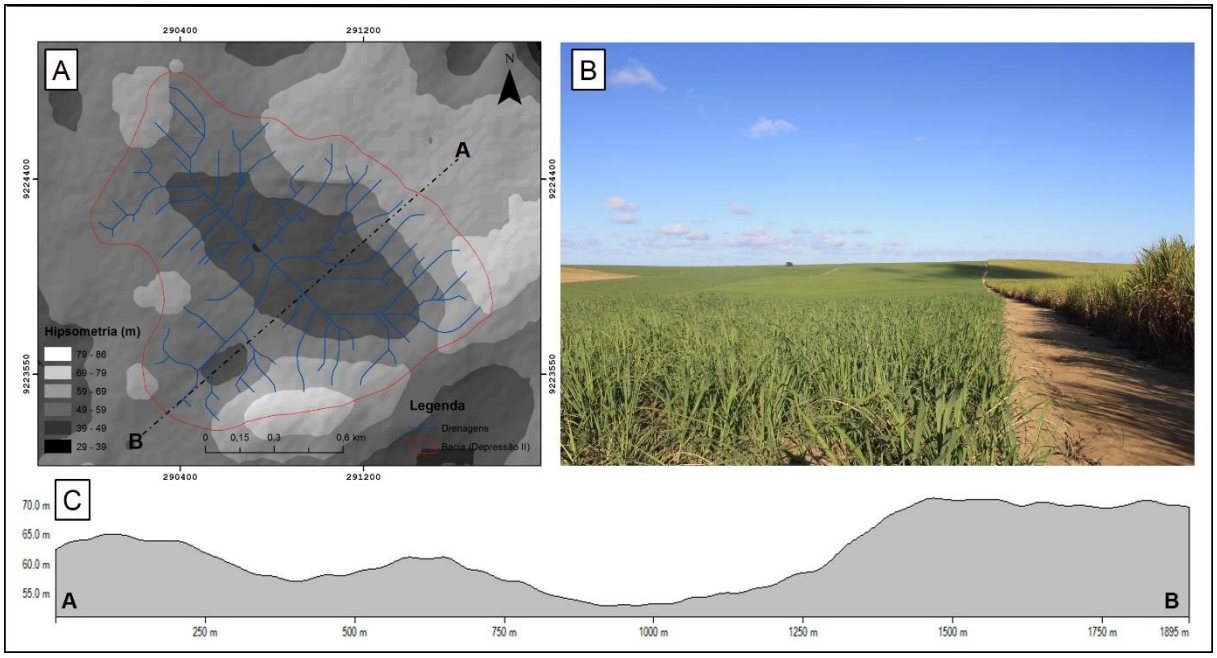


Fig. 19 – Depressão II, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento. A) Mapa hipsométrico da depressão II e suas drenagens; B) Visão do interior da depressão II; C) Perfil AB da depressão II. Exagero vertical 5x.

6.1.3 Depressão III

A depressão III também se encontra localizada no município de Santa Rita (PB) sendo vizinha à depressão II, estando separada por um suave interflúvio, apresentando o mesmo contexto geológico da depressão II (Figura 20).

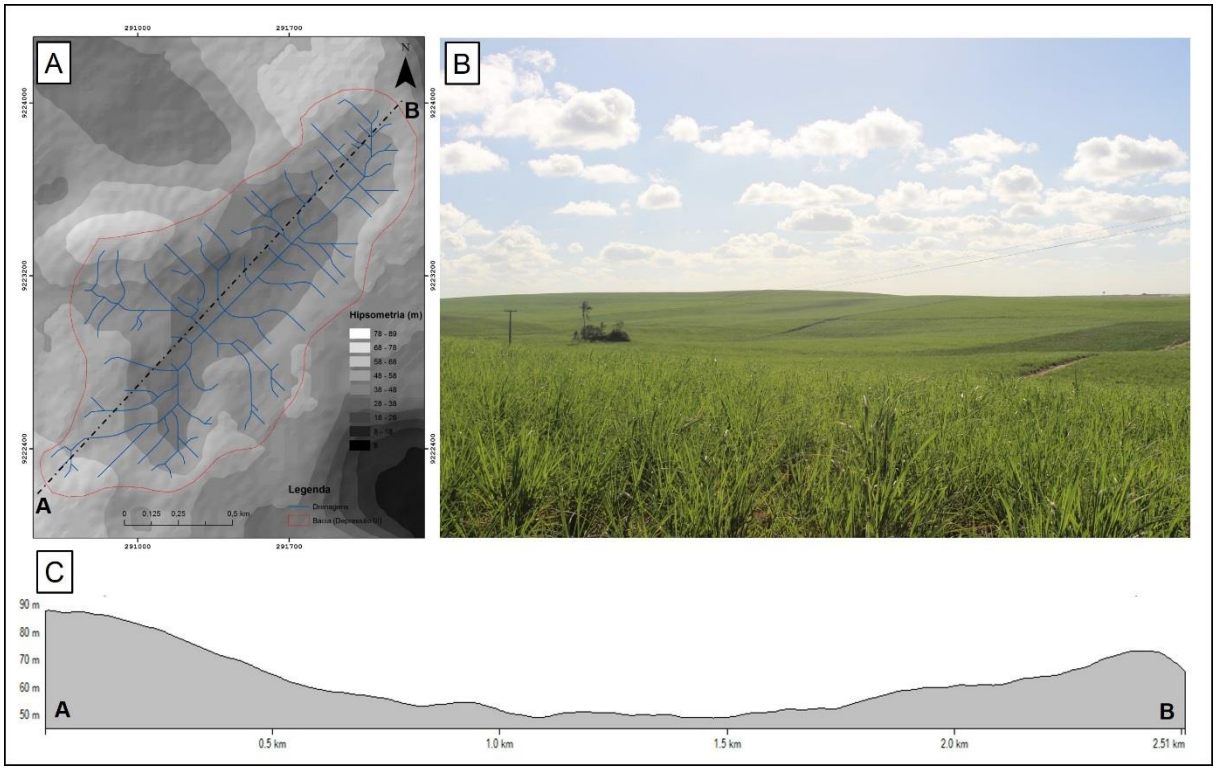


Fig. 20 - Depressão III, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento. A) Mapa hipsométrico da depressão III e suas drenagens; B) Visão panorâmica da depressão III; C) Perfil AB da depressão III. Exagero vertical 5x.

A ocorrência de subdepressões não foi detectada pela imagem do SRTM, ocorrendo apenas ponto de convergência do fluxo, conforme se observa a partir da sobreposição da base de drenagens à hipsometria.

Uma característica marcante desta depressão é sua elipsidade, que alcança o valor de 2,76, com eixo maior de 2,7 km, seguindo a direção N40-50E, demonstrando certo condicionamento a estruturas regionais, o que será melhor discutido no item referente à análise morfoestrutural.

Sua área total é de 1,7 km por 41 m de profundidade e 5,9 km de perímetro, também constituindo uma bacia fechada de extensão considerável.

A simetria interna de 1,06 caracteriza uma bacia assimétrica, isto é, de divisores bastante sinuosos, demonstrando a predominância do processo de erosão remontante na evolução das vertentes desta bacia, com a instalação de minúsculas cabeceiras de drenagem e canais efêmeros, alcançando até a quinta ordem.

A profundidade/diâmetro (0,025) é característica de uma depressão bastante extensa e pouco profunda, reforçando a ideia de uma evolução geomorfológica marcada pela predominância de processos de ampliação sobre a taxa de aprofundamento.

6.1.4 Depressão IV

A depressão IV se encontra muito próxima às depressões anteriores, também, estando situada sobre o mesmo contexto geológico das depressões II e III.

Sua área total é de 2 km^2 por 69 m de profundidade e 6 km de perímetro, sendo uma das maiores e a mais profunda.

A elipsidade (1,45), é característica de uma depressão elíptica, com eixo maior de 1,8 km na direção N30-40E, também sinalizando forte controle estrutural.

Seu índice de simetria interna é de 2,04, sendo uma das depressões que apresenta divisores mais sinuosos, conforme percebe-se no mapa hipsométrico, onde é perceptível a ocorrência de diversas reentrâncias, formando cabeceiras de drenagens bem demarcadas por seus divisores (Figura 21).

A relação profundidade/diâmetro (0,044), não foge do valor típico das depressões da área analisada. No entanto, em virtude de sua profundidade se apresentar um pouco maior que nas demais, esta apresenta um valor de P/D levemente maior.

Através do mapa hipsométrico, percebe-se uma ligeira ligação entre esta bacia e um tributário do riacho Pau Brasil. No entanto, através do perfil AB detectou-se, de fato, um divisor, constituindo um ponto de separação entre as bacias.

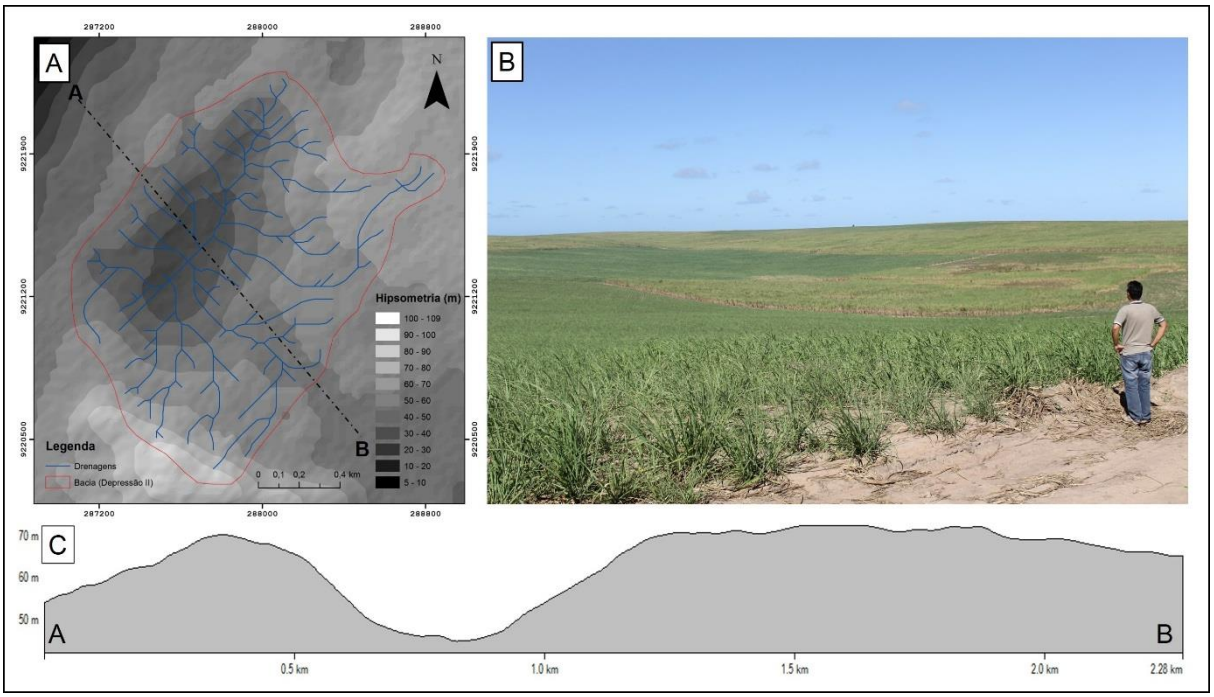


Fig. 21 – Depressão IV, localizada no município de Santa Rita (PB), distrito de Livramento. A) Mapa hipsométrico da depressão IV e suas drenagens; B) Visão panorâmica da depressão IV; C) Perfil AB da depressão IV. Exagero vertical 5x.

6.1.5 Depressão V

Uma outra depressão bastante clara na região, denominada no mapeamento sistemático brasileiro como “Lagoa Seca de Baixo”, encontra-se localizada nas bordas da PB-025, no município de Santa Rita (PB). O mapa geológico (Brasil, 2002), indica que a mesma ocorre sobre os sedimentos da Formação Barreiras.

A mesma possui uma área total de 2,1 km^2 por 30 metros de amplitude e perímetro de 5,8 km A relação profundidade/diâmetro (P/D=0,01) é bastante modesta, embora, no campo, a depressão seja muito evidente, expondo um sumidouro bem demarcado por uma vegetação característica, delimitando a zona que permanece inundada no período úmido (Figura 22).

Um dos parâmetros que merece destaque é a sua simetria interna, que é de 0,4, podendo classificá-la então, como uma depressão simétrica, embora também exista certa sinuosidade entre seus divisores. De fato, esta feição se apresenta como uma das mais evidentes da área de estudo, com divisores bastante característicos de uma “depressão doliniforme”.

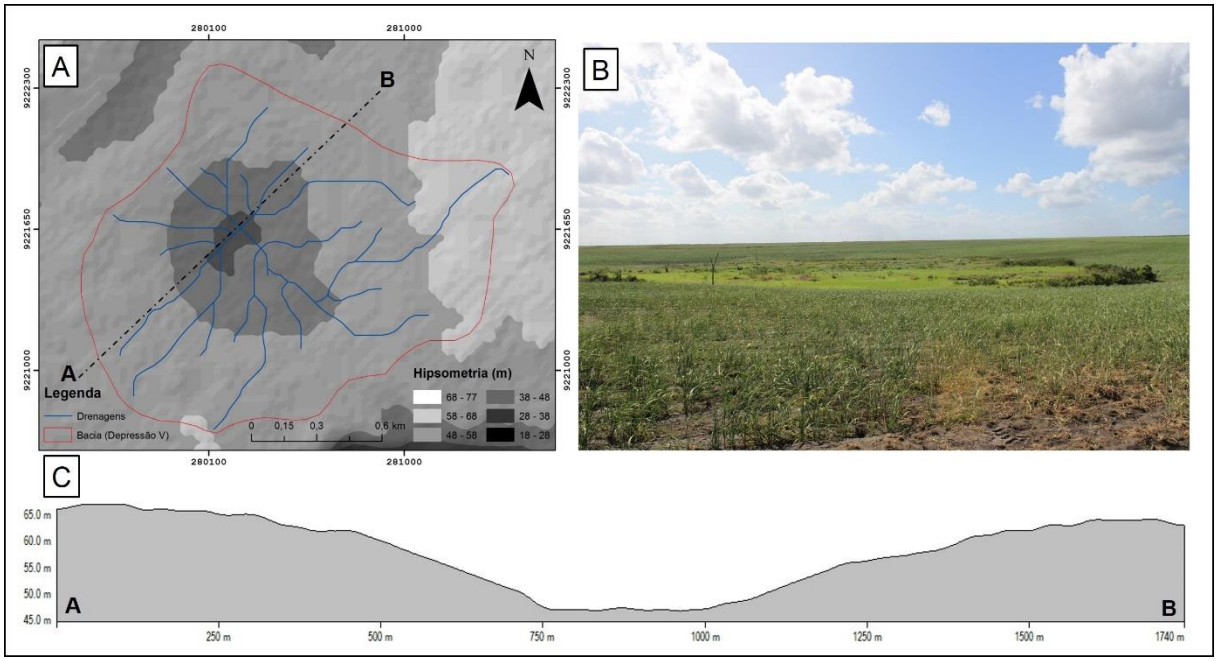


Fig. 22 – Depressão V, localizada no município de Santa Rita (PB). A) Mapa hipsométrico da depressão V e suas drenagens; B) Visão panorâmica da depressão V; C) Perfil AB da depressão V. Exagero vertical 5x.

6.1.6 Depressão VI

A depressão VI corresponde a uma das áreas mais conhecidas e urbanizadas da cidade de João Pessoa, o Parque Solon de Lucena (Figura 23).

Nesta área, encontra-se a única depressão da área de estudo que abriga águas perenes. Segundo o mapa geológico (Brasil, 2002) esta área se encontra sobre os depósitos da Formação Barreiras.

Esta depressão apresenta um aspecto elíptico, com valor 1,69, e eixo maior 2,1 km orientado na direção N10-20E, demonstrando um possível cruzamento entre descontinuidades presentes na rocha calcária em subsuperfície, já que as demais depressões têm seu eixo maior orientado na direção oposta.

Além de ser uma depressão bastante elíptica, também apresenta certo grau de assimetria, alcançando o valor igual a 1,02.

O valor P/D para essa área atinge 0,016, com eixo maior de 2.1km por 28m de profundidade, seguindo mais ou menos a mesma tendência das demais depressões presentes na área em questão.

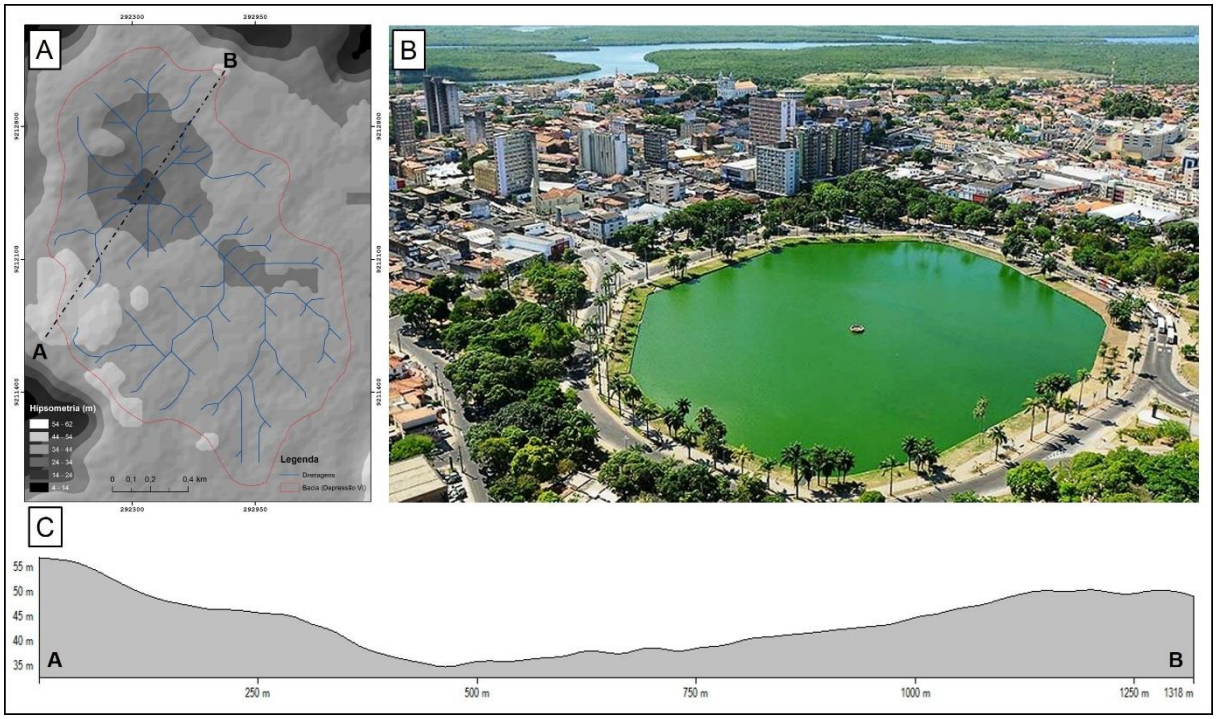


Fig. 23 – Depressão VI, lagoa do Parque Solon de Lucena em João Pessoa (PB). Foto: Cacio Murilo; A) Mapa hipsométrico da depressão VI e suas drenagens; B) Visão panorâmica do ponto central da depressão VI. Exagero vertical 5x. Foto: Cacio Murilo.

É notório o fato de que a região possui altitudes modestas, pois apresenta uma morfologia representada por baixos planaltos costeiros (tabuleiros), além de baixo índice de rugosidade e declividades moderadas. Isso, de certa forma, constitui um fator limitante para a circulação e percolação das águas entre as descontinuidades da rocha, ao contrário das áreas de forte influência tectônica, com tipos de relevos bastante movimentados. No entanto, a amplitude altimétrica entre o topo do tabuleiro, onde ocorre a depressão, e a planície fluvial do rio Sanhauá é de, aproximadamente, 50 metros, constituindo certo gradiente hidráulico que favorece algum nível de percolação.

6.1.7 Depressão VII

A depressão VII é popularmente conhecida como Lagoa Antônio Lins e também se encontra numa área densamente urbanizada, sobre sedimentos da Formação Barreiras, segundo o mapa geológico (Brasil, 2002).

A bacia que constitui essa região possui canais de 4ª ordem, com apenas um sumidouro principal, onde, atualmente, encontra-se um ponto assoreado (Figura 24).

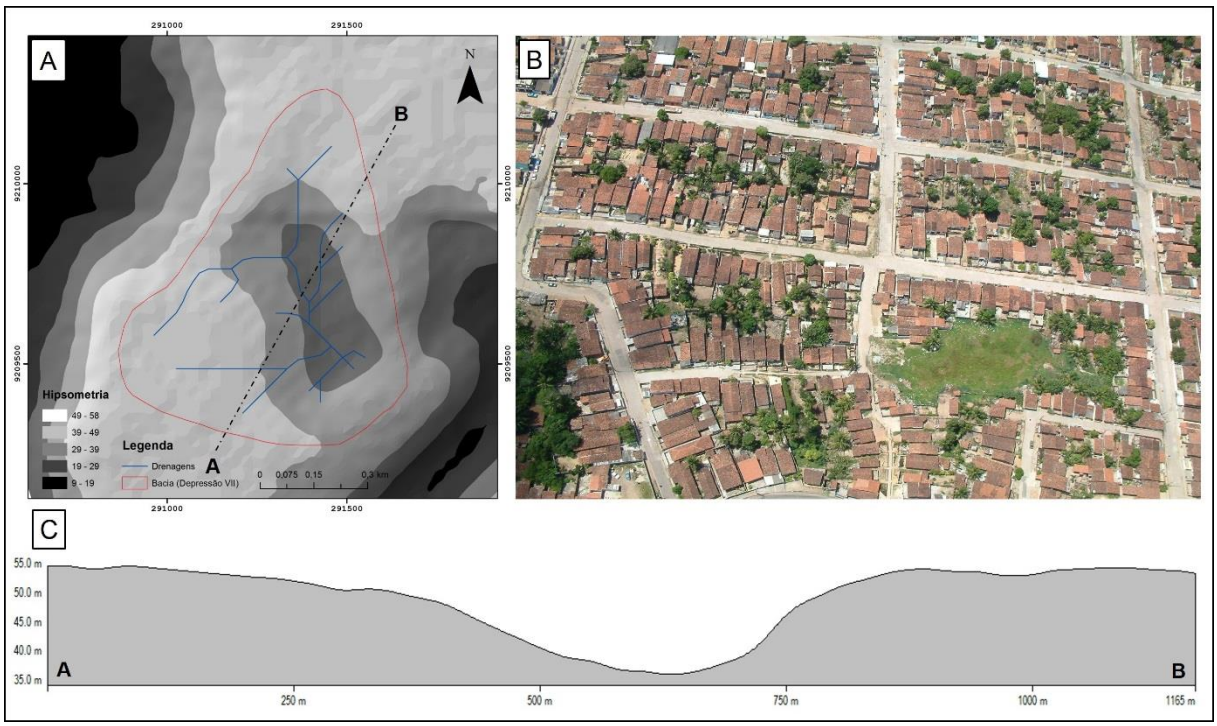


Fig. 24 – Depressão VII, localizada no bairro de Cruz das Armas, João Pessoa (PB). A) Mapa hipsométrico da depressão VII; B) Fotografia panorâmica do sumidouro da depressão VII, exemplificando a pressão urbana sobre este ponto, com resquícios de vegetação; C) Perfil AB da depressão VII. Exagero vertical 4x. Foto: Ricardo Paulo.

Sua área total é de 502 m^2 por 25 m de amplitude e P/D=0,03, sendo a menor dentre as depressões. Os valores de elipsidade e simetria interna correspondem a 1,60 e 3,17, respectivamente, com o eixo maior de 992,9 m na direção N10-20W, estando claramente alinhado na direção das estruturas regionais.

Certamente, a alipsidade desta bacia é um de seus parâmetros morfométricos mais expressivos, pois demonstra seu claro condicionamento a lineamentos regionais, de modo que, se apresenta uma característica marcante e bastante sugestiva no tocante à influência de processos de dissolução em subsuperfície.

Conforme se observa, esta depressão tem passado por um agressivo processo de degradação ambiental, estando praticamente assoreada em sua totalidade, onde já se torna difícil observar suas feições orginais em virtude do elevado grau de urbanização.

6.2 Dolinas e lagoas (feições em menor escala)

Além das depressões também foram identificadas ocorrências de lagos e lagoas em grande quantidade ao longo da área de estudo, tendo uma maior concentração na região sul da bacia sedimentar.

Também, foram obtidos dados morfométricos para cada uma dessas feições, conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices morfométricos das dolinas confirmadas.

ID	Nome	UTM E / N (Zona 25)	Área (m^2)	Perímetro (m)	Prof. (m)	P/D	Declividade (%)
1	Lagoa Aristóteles	291375 9211927	-	-	-	-	-
2	Lagoa da Graça	290786 9210192	350	700	22,05	0,086	19
3	Lagoa da Granja	292267 9209655	-	-	-	-	-
4	Lagoa do Buracão	291349 9208282	133	424	7,04	0,050	11
5	Três Lagoas I	289843 9207389	876	1.611	6,67	0,015	6
6	Três Lagoas II	290392 9207387	244	637	7,33	0,031	9
7	Três Lagoas III	290608 9207356	747	1.448	10,18	0,026	9
8	Lagoa do Cágado	292527 9192226	196	528	3,95	0,019	4
9	Lagoa do Sítio Santana	292355 9191734	174	150	0,66	0,012	1

De todas as dolinas identificadas, nove foram confirmadas. No entanto, em virtude do grande número de feições, não foi possível visitar todas.

Algumas se encontram localizadas no município de João Pessoa, muito próximas das depressões VI e VII. Em alguns casos, ocorrem diretamente sobre os calcários da Formação Gramame, onde são observados fortes sinais e impactos, tais como a existência de esgoto e lixo.

Um exemplo representativo é o da Lagoa Aristóteles, localizada na base de uma das vertentes da bacia do rio Paraíba do Norte, formando uma espécie de

anfiteatro de encostas íngremes onde são observados afloramentos de calcários referentes à Formação Gramame.

Esta área fica próxima à indústria de cimento InterCement, sendo uma área com ocorrência de extensos afloramentos de rochas calcárias, onde se observa certo grau de urbanização (Figura 25).

Fig. 25 – Lagoa do Aristóteles, localizada nas imediações do Distrito Mecânico de João Pessoa (PB).

Devido a escala da carta topográfica utilizada para mensurar esta feição (1:10.000), e o fato da região se apresentar muito descaracterizada pela ação antrópica, não foi possível obter parâmetros morfométricos para esta lagoa.

No entanto, a região onde a mesma se encontra é muito interessante do ponto de vista da evolução geomorfológica, uma vez que não mais ocorre uma depressão, mas um anfiteatro cuja flexura acentuada é muito sugestiva de uma antiga depressão fechada. Isso, pois, os anfiteatros são feições do relevo cárstico pouco conhecidas e que indicam um estágio avançado de erosão cárstica. No entanto, esta temática necessita de uma investigação pormenorizada exclusivamente voltada a este temário (Figura 26).

Os cursos fluviais desta região, que aparecem em cartas topográficas dos anos de 1970, já foram totalmente assoreados em virtude da urbanização através de residências e do Distrito Mecânico da cidade de João Pessoa, que promove a intensa poluição da área.

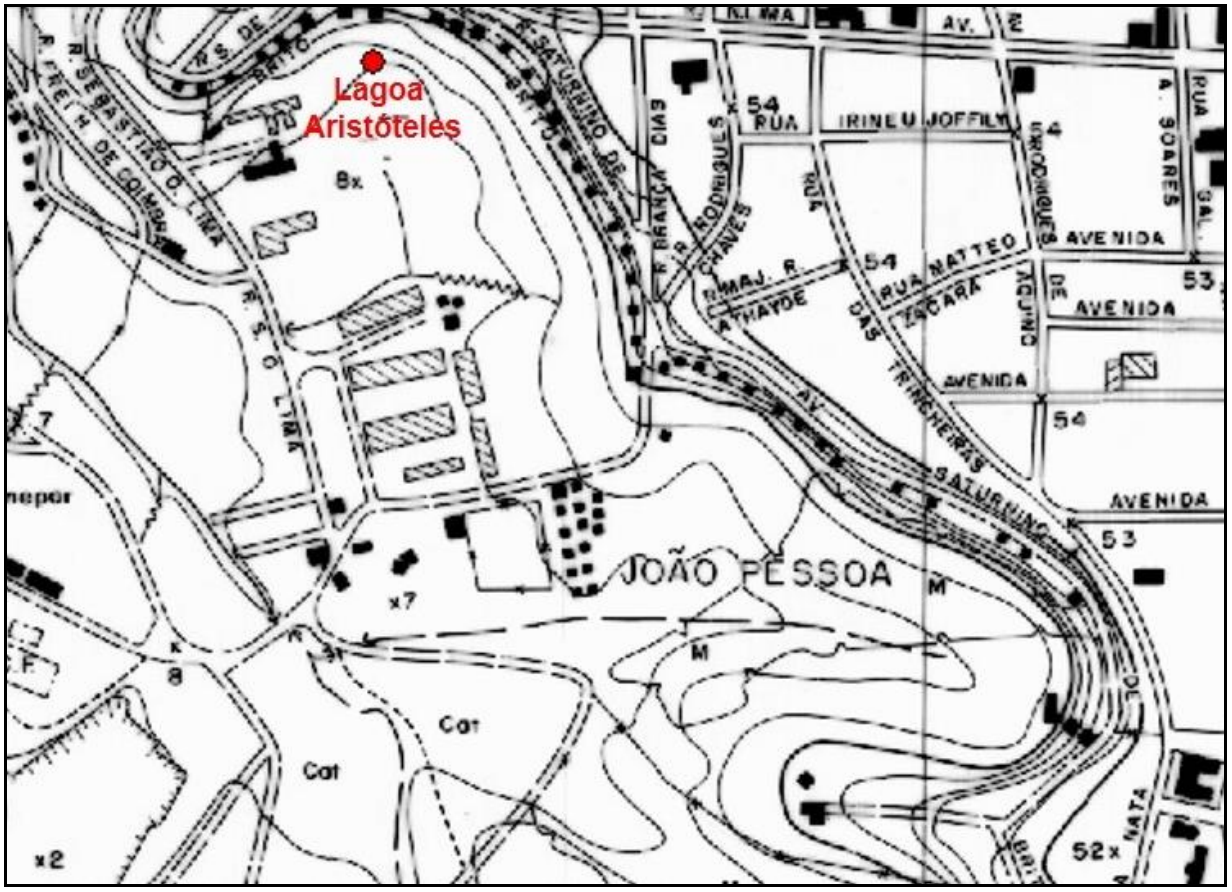


Fig. 26 – Fragmento da carta topográfica 1:10.000, contendo a topografia da região onde ocorre a Lagoa Aristóteles. Notar a ocorrência de anfiteatros de declives acentuados.

Próximo a esta região, no interior da fábrica de cimentos InterCement, que corresponde à outra área de calcário aflorante, foi detectada outra lagoa, denominada “Lagoa da Graça”. Sua ligação com sistemas de condutos existentes nos calcários é claramente possível a partir da observação da litologia e da morfologia regional, onde é possível enxergar claramente a relação entre a feição e o calcário (Figura 27).

A mesma possui 350 m^2 por 22 m de profundidade, sendo a mais profunda da região. Seu valor de declividade máxima alcança 19%, sendo a mais acentuada dentre as lagoas analisadas. A relação profundidade/diâmetro (0,086) é

característico de uma feição mais larga que profunda, embora também seja a maior índice dentre as dolinas e depressões.

Fig. 27 – Parte da Lagoa da Graça, localizada no interior da fábrica de cimentos InterCement. Foto: Lígia Tavares.

A Lagoa da Graça ocorre sobre uma camada muito delgada de sedimentos areno-argilosos inconsolidados correspondentes à Formação Barreiras, estando numa zona muito próxima a afloramentos da Formação Gramame, onde se observa claramente o fluxo de água no contato entre as duas formações e a pouca espessura da formação de natureza areno-argilosa, estando muito próxima dos calcários (Figura 28).

No entanto, não foi encontrada nenhuma feição de dissolução neste afloramento, denominado mina da graça. Provavelmente, devido à descaracterização provocada pela extração do calcário, as fraturas com ocorrência de dissolução tenham sido apagadas, diferentemente da mina São José, onde a

recente exploração ainda permite visualizar algumas feições de carstificação, como microdutos de dissolução e dolinas.

Fig. 28 – Saída do fluxo de água na zona de contato Barreiras-Gramame, onde se encontra a Lagoa da Graça. Nota-se que a espessura de sedimentos areno-argilosos é bastante reduzida em comparação aos calcários. A presença de extensa cobertura vegetal pode acelerar o processo de carstificação a partir da produção de ácidos orgânicos.

Em todas, a morfologia “doliniforme” é claramente perceptível, refletindo processos subsuperficiais conduzidos pela dissolução e formação de vazios subterrâneos que repercutem na superfície através da formação de dolinas.

Conforme se constatou, todas as dolinas possuem espelho d’água perene, com ocorrência de oscilações modestas, evidenciando sua possível ligação com o aquífero Gramame.

Algumas destas se encontram próximas a canais fluviais, onde deve haver uma investigação mais cuidadosa no tocante à sua gênese, tendo em vista que podem constituir cursos abandonados, sendo o caso da Lagoa da Granja, a qual se encontra muito próxima da calha do rio Jaguaribe. Para esta também não foi

possível obter parâmetros morfométricos através da carta, em virtude de constituir um desnível muito suave, quase imperceptível (Figura 29).

Fig. 29 – Lagoa da Granja, localizada na bacia do rio Jaguaribe, João Pessoa (PB).

Outra dolina muito perceptível na região é a Lagoa do Buracão, localizada no bairro Cidade dos Funcionários em João Pessoa (PB). Segundo os dados morfométricos, esta possui uma área total de 133 m^2 por 7 m de profundidade, configurando uma profundidade/diâmetro de 0,050, característico de uma depressão bastante suave, com declividade máxima de 11% (Figura 30).

A lagoa do Buracão também se encontra numa zona de ocorrência de calcários subjacentes e se apresenta claramente influenciada pelos mesmos, tendo em vista que consiste em uma feição indicativa de processos de dissolução em subsuperfície.

Atualmente, a mesma passa por um intenso processo de eutrofização em virtude da intensa poluição que pode estar causando, dentre outros problemas, a acidificação das águas e a intensificação da dissolução dos carbonatos em subsuperfície, acelerando o processo de subsidência do terreno.

Fig. 30 – Lagoa do Buracão, localizada no bairro Cidade dos Funcionários, João Pessoa (PB).

Algumas lagoas encontram-se próximas a nascentes, como é o caso das Três Lagoas, que não foi incluída na categoria de depressões, pois não apresenta divisores bem definidos, constituindo uma ligação clara com a bacia do rio Jaguaribe.

Os índices morfométricos referentes às Três Lagoas foram calculados para cada uma das feições, as quais foram subdivididas em Três Lagoas I, II e III. A partir de então, constatou-se áreas que atingem até 876 m^2 e profundidades de 7 m, em média. A relação P/D não ultrapassou 0,031 e a declividade média alcançou, no máximo, 9%, configurando um relevo de plano a suave ondulado. Esses valores confirmam a tendência geral das dolinas e depressões da localidade, que é de se apresentarem bastante extensas e pouco profundas, configurando índices de profundidade/diâmetro abaixo de 0,1 (Figura 31).

Fig. 31 – Dolina localizada na região das Três Lagoas, no cruzamento entre as rodovias BR-101 e BR-230, em João Pessoa (PB).

A morfometria dessas lagoas não se apresenta muito confiável, devido as severas mudanças sofridas por este ambiente em virtude da urbanização. Desse modo, suas características geomorfológicas foram profundamente alteradas por obras de terraplanagem em decorrência da instalação de duas grandes rodovias federais que se entrecruzam na localidade (BR-101 e BR-230).

A questão da urbanização nesta região é um ponto muito importante e que, com certeza, tem gerado impactos no processo de dissolução em subsuperfície, podendo ocasionar novos processos de subsidência do terreno, caso não haja o monitoramento ambiental da referida localidade.

A possível origem antrópica atribuída a estas lagoas não se confirma em razão da existência de documentos históricos que atestam a sua ocorrência no período colonial, muito antes de ter se iniciado o processo de urbanização da cidade de João Pessoa, conforme registros divulgados em Reis Filho (2000) (Figura 32).

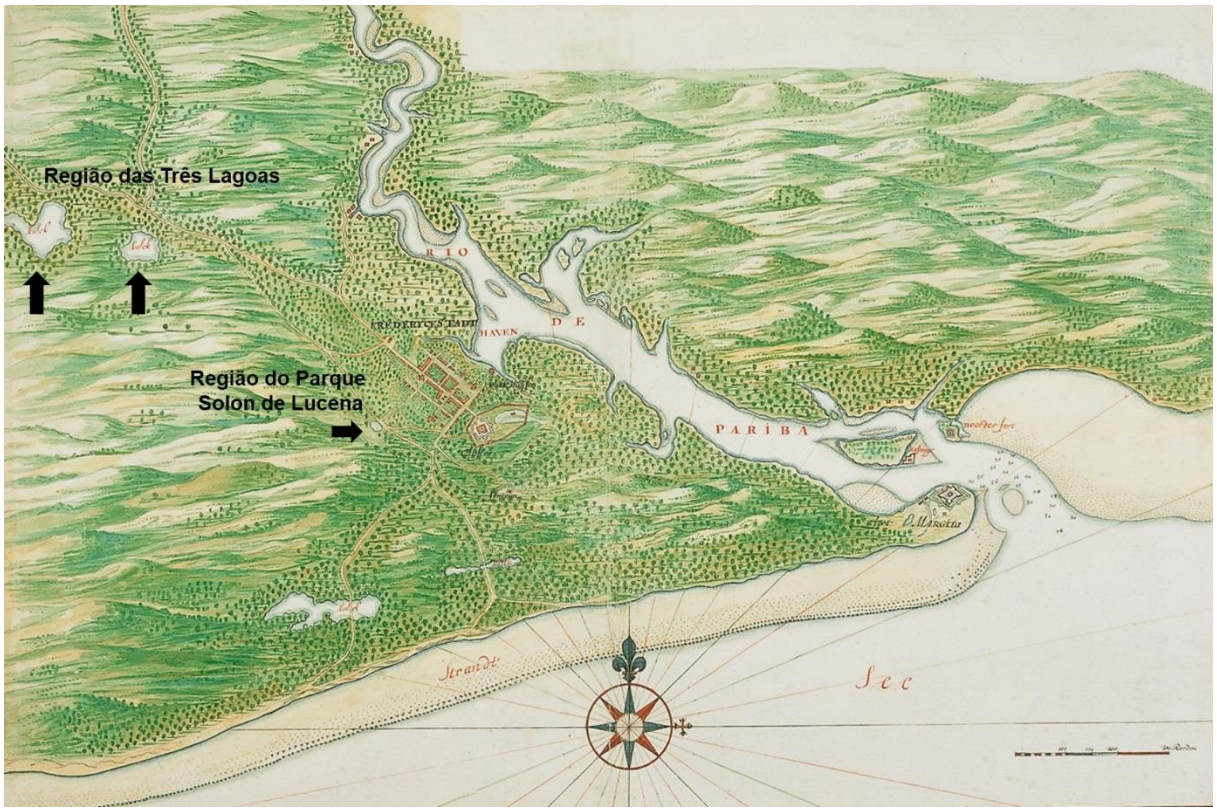


Fig. 32 – Mapa de parte da cidade de João Pessoa (PB) no período colonial. Região que engloba a foz do rio Paraíba do Norte até as proximidades das Três Lagoas. Fonte: Reis Filho (2000).

Na cidade do Conde (PB), as Lagoas do Cágado e do Sítio Santana estão sobre um ponto elevado do tabuleiro, onde a predominância da infiltração sobre o escoamento superficial constitui um fator importante para explicação de suas respectivas gêneses.

A Lagoa do Cágado possui uma área total de 196 m^2 por 4 m de profundidade, com P/D igual a 0,019 e declividade máxima de 4%. A litologia onde ocorre é constituída por sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras (Figura 33).

A Lagoa do Sítio Santana, que se encontra próxima à feição anteriormente descrita, detém uma área total de 174 m^2 por 1 m de profundidade, com P/D igual 0,012 e declividade máxima de 1% (Figura 34).

Fig. 33 – Lagoa do Cágado, localizada no município do Conde (PB).

Fig. 34 – Lagoa do Sítio Santana, localizada no município do Conde (PB).

Os dados de poços tubulares levantados nesta pesquisa não cobrem esta região. Porém, segundo o mapa geológico do estado da Paraíba, estas feições se encontram sobre os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras e estão na zona de domínio dos calcários subjacentes da Formação Gramame.

Outro fator que evidencia a gênese dessas feições diz respeito ao seu contexto geomorfológico, que favorece à infiltração e circulação das águas. Em regiões tabuliformes a primazia da infiltração contribui para a formação de diversos pontos preferenciais de penetração das águas, causando a dissolução e a remoção mecânica do material arenoso, ocasionando o rebaixamento do terreno e a formação de depressões, que passam a evoluir constantemente para grandes bacias fechadas, no interior das quais constata-se elevado grau de hidromorfismo, testemunhado por meio da ocorrência de Espodossolos e Gleissolos.

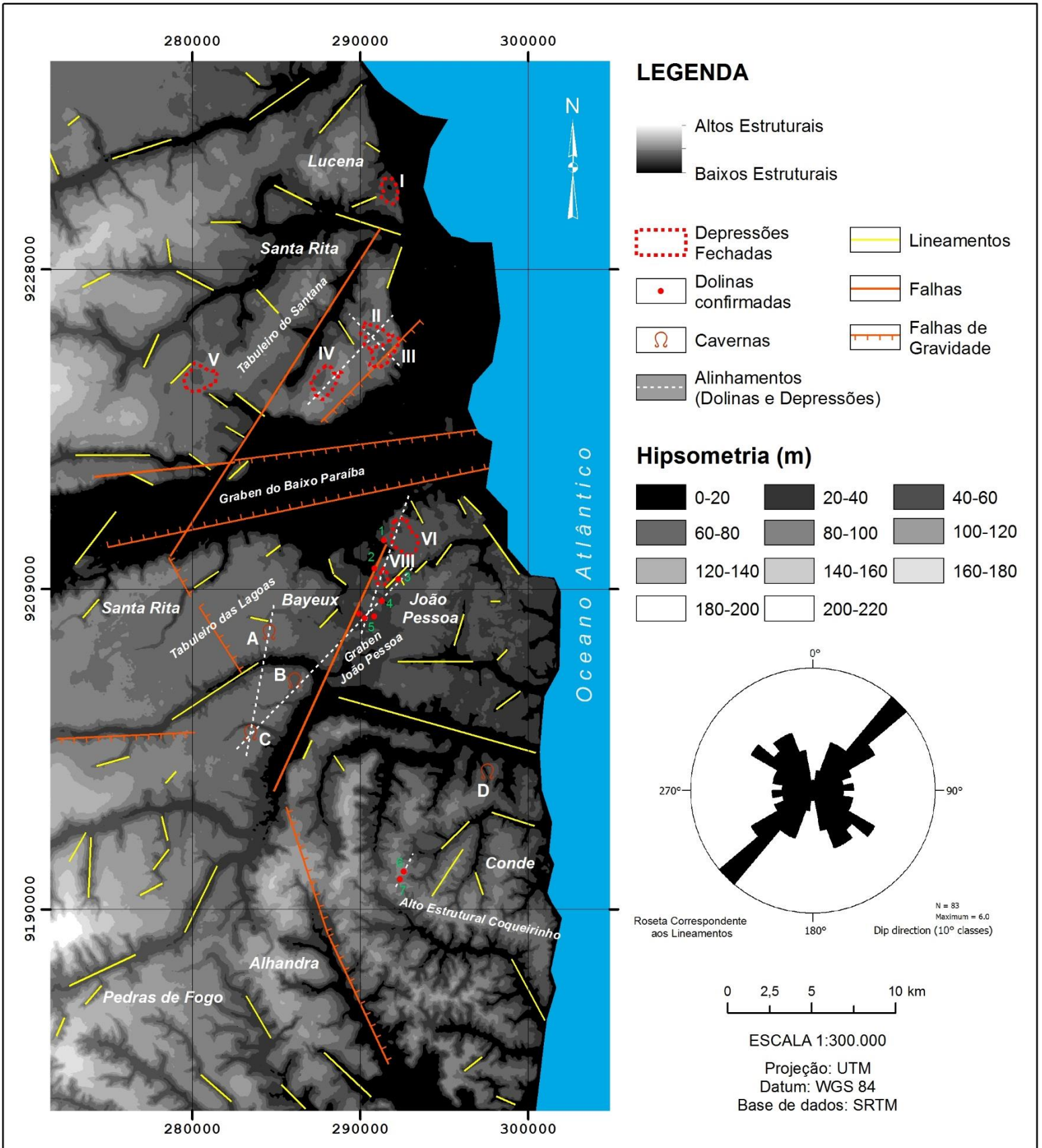
No entanto, isto não exclui a possível influência dos calcários subjacentes da Formação Gramame sobre a gênese dessas feições.

6.3 Evidências Morfoestruturais

O Modelo Digital de Elevação permitiu identificar zonas com ocorrência de baixos e altos morfoestruturais. Sobre esse contexto foram inseridas as falhas com base no trabalho de Brito-Neves et al. (2009) e os lineamentos que foram demarcados a partir da imagem SRTM como produto desse trabalho, visando estabelecer relações entre as estruturas e a distribuição das depressões (Figura 35).

Através do mapa morfoestrutural, percebe-se claramente o escalonamento do relevo de oeste para leste, onde se registra uma queda das cotas altimétricas de 220 até 0 m, registrando uma amplitude topográfica razoável.

Também é bastante evidente a visualização do sistema tafrogênico da região (Brito Neves et al., 2004) marcado pela ocorrência de sucessivos *grabens* e *horsts*, que têm ampla influência na geologia local e, portanto, na dinâmica geomorfológica da região.



A - Caverna de Marés B - Caverna da Onça C - Caverna do Índio D - Caverna dos Índios

1 - Lagoa Aristóteles 2 - Lagoa da Graça 3 - Lagoa da Granja 4 - Lagoa do Buracão 5 - Três Lagoas 6 - Lagoa do Cágado 7 - Lagoa Sítio Santana

I - Côco do Vale II - Livramento I III - Livramento II IV - Livramento III V - Lagoa Seca de Baixo VI - Ep. Pessoa VII - Solon de Lucena VIII - Antônio Lins

Fig. 35 – Mapa morfoestrutural e correlações com dolinas e depressões fechadas.

Segundo o referido autor, no atual ciclo erosivo, o relevo local tem sofrido forte dissecação pela rede de drenagem, provavelmente em virtude de um novo pulso de soerguimento regional. Tal afirmativa é bastante relevante para esse estudo, pois determinados níveis de soerguimento são cruciais para o processo de carstificação, sendo um dos fatores mais importantes, juntamente com o clima e o tipo de rocha.

Dentre uma das áreas mais proeminentes da área encontra-se o Alto Estrutural denominado "*Horst* Tabuleiro das Lagoas" (Brito Neves et al., 2009), onde se encontram diversos lagos e cavidades citadas nesse estudo. O nome dado a este compartimento é bastante sugestivo, uma vez que faz referência a grande quantidade de lagos nessa região, que podem ter a sua origem ligada ao processo de dissolução.

Essa zona constitui uma paisagem dominada por areais onde é comum a presença de lagoas circulares e subcirculares, sendo esta uma característica fisiográfica marcante do leste da Paraíba (Brito Neves et al., 2004), onde também se encontram localizadas as cavernas da Onça, de Marés e do Índio.

Ainda não foi realizado nenhum mapeamento dessas cavidades, que possa indicar direções preferenciais dos condutos.

Outra região bastante interessante é denominada por Brito Neves et al., (2009) como "Horst Tabuleiro do Santana", onde ocorrem diversas depressões bastante elípticas, indicando forte controle estrutural.

O alinhamento das depressões (II e IV) e (VI e VII) é bastante compatível com a direção das falhas mais expressivas da região seguindo, aproximadamente, a direção SW-NE.

No caso da depressão II, esta tem um padrão de alinhamento SE-NW, que é perpendicular ao da depressão III que é SW-NE. A elipsidade das depressões demonstra um cruzamento de estruturas nesse ponto, representadas pelos dois principais *trends* da região.

As correlações entre a direção preferencial das estruturas, dos alinhamentos entre as depressões e da direção dos eixos maiores das depressões apresentam

certas semelhanças, evidenciando que essas estruturas estão, provavelmente, influenciando de alguma maneira a gênese das depressões.

Ainda na região “Tabuleiro do Santana” ocorrem cinco das oito depressões mapeadas, havendo contato, em algumas zonas, com falhas de gravidade, cujo eixo maior se encontra amplamente orientado na direção desses falhamentos, demonstrando forte controle estrutural.

Outro aspecto bastante interessante diz respeito ao prolongamento da falha do rio Mamuaba e sua influência na direção geral das depressões no oeste de João Pessoa. As depressões VI e VII, encontram-se claramente alinhadas na mesma direção. Além disso, as Lagoas Aristóteles e da Graça estão exatamente sobre esta zona falhada, conforme é bem perceptível. No entanto, pode haver diferenças devido à escala.

A ocorrência dessas lagoas diretamente sobre o calcário aflorante (Lagoa Aristóteles) ou sobre a cobertura areno-argilosa com poucos metros de espessura (Lagoa da Graça), além de estarem situadas sobre uma zona de falha, faz destas áreas, muito representativas no tocante a evidências de carste subjacente, pois a ocorrência de rochas carbonáticas em clima úmido e a circulação das águas nas fraturas são fatores preponderantes para a formação do carste.

A falha de gravidade que atravessa o tabuleiro das lagoas também pode apresentar grande influência na formação de lagos e cavidades, no entanto, talvez pela escala, esta relação não ficou tão clara.

É notória a compatibilidade entre a falha do riacho Pau Brasil e as depressões II, III e IV, sobretudo a III, que apresenta uma elipsidade claramente orientada na direção da falha mencionada.

A depressão IV também se encontra claramente alinhada à depressão III, na mesma direção da falha do riacho Pau Brasil e da falha de gravidade que corta o tabuleiro onde se encontram as depressões.

A lagoa da Granja encontra-se situada sobre uma zona de cruzamento de estruturas encontrando-se situado entre o rio Jaguaribe e um afluente subsequente.

O alinhamento entre as Três Lagoas, Lagoa da Graça e Lagoa Aristóteles segue uma direção subparalela ao alinhamento entre as Lagoas do Buracão e da Lagoa da Granja, ambas seguindo mais ou menos a direção SSW-NNE.

Outro alinhamento claro, orientado na direção NE-SW, de valor N40-50E é aquele que liga as cavernas do Índio, da Onça, Três Lagoas, Lagoa do Buracão e Lagoa da Granja. Este alinhamento, subparalelo à falha do graben Mumbaba é bastante evidente.

Nas rosáceas que representam os alinhamentos entre os lagos e depressões e as direções dos eixos maiores de cada depressão, predominam os valores N10-20E e N40-50E para a roseta A e N10-20W para os eixos representados na roseta B. Ambas as direções estão em concordância com as direções obtidas para as falhas, fraturas e lineamentos que são NNE-SSW, NE-SW e NNW-SSE, respectivamente (Figura 36).

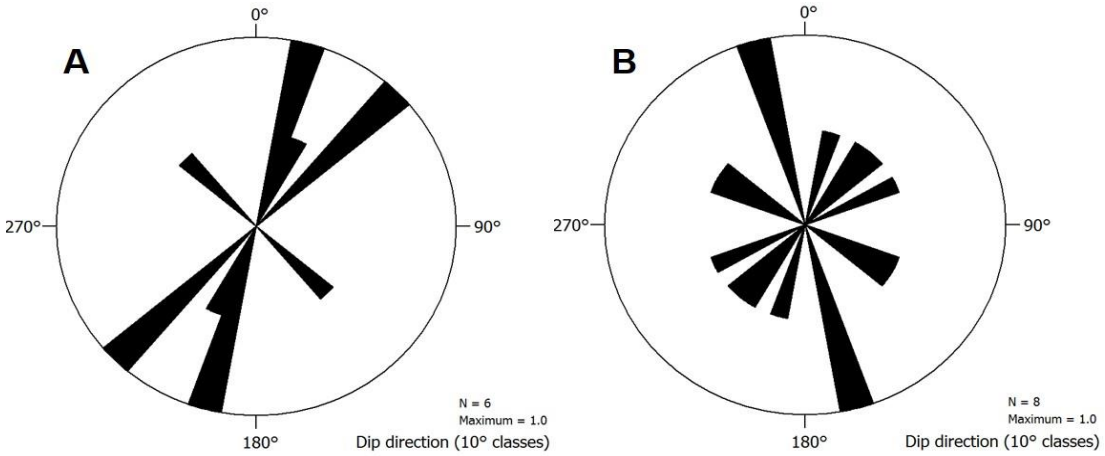


Fig. 36 – Rosáceas correspondentes aos alinhamentos e eixos das depressões. A) Alinhamentos entre lagos e depressões; B) Direção dos eixos maiores das depressões.

Na porção Norte, mais precisamente sobre o “Tabuleiro do Santana” (Brito Neves et al., 2009) os eixos maiores das depressões III e IV encontram-se claramente orientados no sentido da falha do riacho Pau Brasil, seguindo mais ou menos a direção SSW-NNE. Esta característica mostra estreita relação entre essas depressões e a direção das estruturas. No caso da depressão II, observa-se um claro intercruzamento entre a mesma e a depressão III, constituindo um indício geomorfológico sobre a orientação de certas estruturas.

6.3.1 Direções de fraturas no campo

No intuito de obter dados referentes a direções de fraturas no campo e correlaciona-los aos alinhamentos das depressões, foram visitados alguns afloramentos de calcários da Formação Gramame. As medidas foram coletadas em três localidades da cidade de João Pessoa (PB): empresa de cimento InterCement, Roger (pedreira do galego) e Mandacarú.

No interior da indústria InterCement foram identificadas, além das fraturas, canais de dissolução e dolinas.

Neste local, a maior quantidade de fraturas encontra-se entre os valores N30-40E e N10-20W sendo esta última a mais evidente, seguindo as direções NNE-SSW e NNW-SSE.

Direções idênticas foram mensuradas nos afloramentos do Roger e Mandacarú, havendo apenas, para esta última, uma substituição dos valores N10-20W por N30-40W, seguindo a direção NNW-SSE.

No caso da rosácea correspondente aos lineamentos identificados na imagem, houve uma predominância dos valores N40-50E e N50-60W, seguindo as direções NE-SW e WNW-ESE, respectivamente.

A direção WNW-ESE encontra-se relacionada ao comportamento estrutural da região, que corresponde a linhas cuja movimentação vertical encontra-se atrelada a reativação de antigas zonas falhadas do pré-cambriano, com movimentação vertical procedida no Paleógeno/Neógeno (Brito Neves et al., 2004), não descartando a formação de novas estruturas (Andrades-Filho e Rossetti, 2012).

A rosácea C, correspondente ao afloramento do Roger, apresentou baixa amostragem, sendo apenas 13 estruturas mensuradas. Talvez, em virtude disso, as estruturas predominantes não tenham sido tão bem realçadas. (Figura 37).

As direções foram bastante correspondentes para os três afloramentos e muito próximas daquelas obtidas através dos lineamentos demarcados na imagem SRTM.

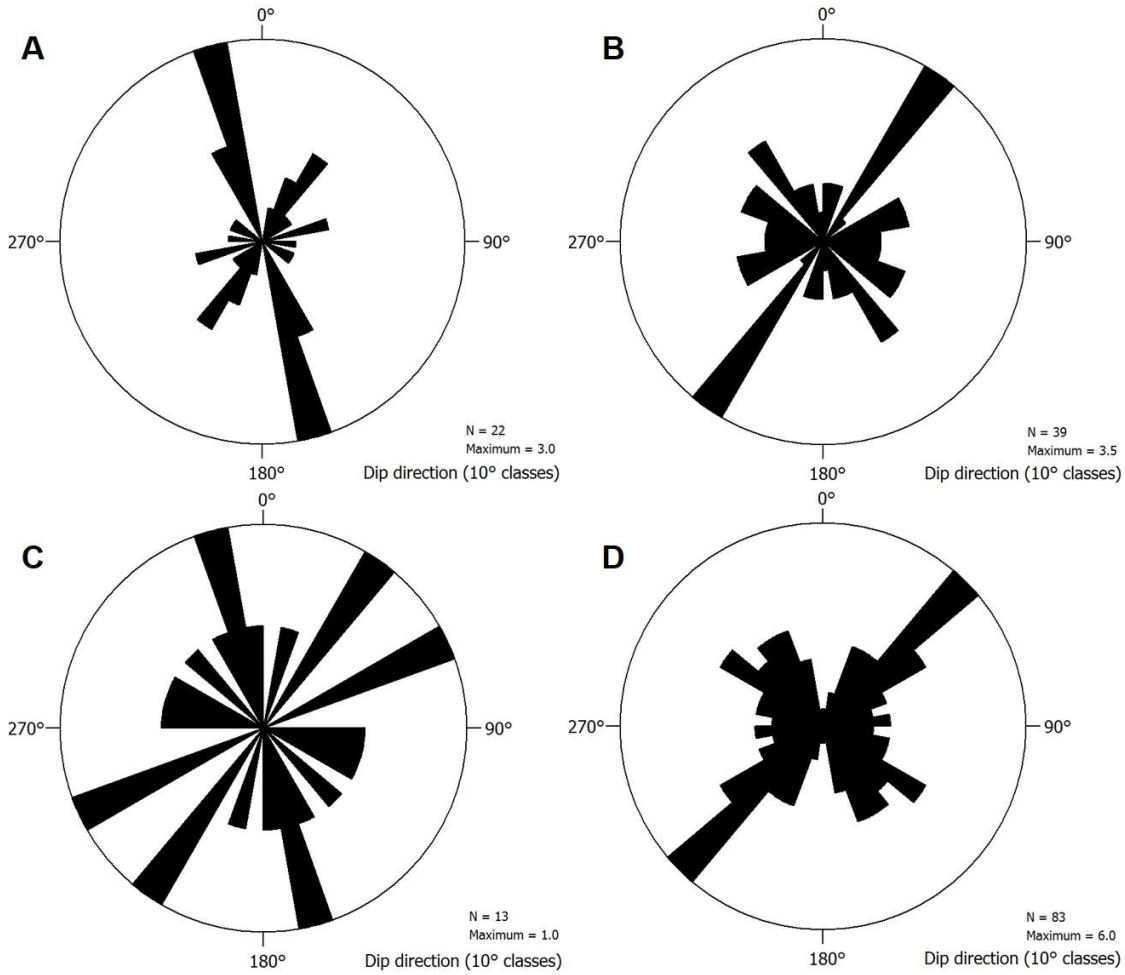


Fig. 37 – Rosáceas correspondentes às falhas, fraturas e lineamentos identificados na área de estudo. A) Afloramento InterCement; B) Afloramento Mandacarú; C) Afloramento Roger; D) Lineamentos e falhas no SRTM.

No afloramento da empresa Intercement foram encontradas dolinas vinculadas ao cruzamento destas fraturas com afloramento de água, provavelmente atestando a ligação a dutos em profundidade. Além disso, a ocorrência de fraturas seguindo a mesma direção dos lineamentos regionais e das depressões, além da ocorrência de dissoluções e dolinas no local, atesta o fato de que estas estruturas estão atingindo o calcário e que estão promovendo a carstificação (Figura 38).

A área analisada corresponde a uma zona falhada que segue desde o vale do rio Mumbaba até o oeste do município de João Pessoa conforme observa-se no mapa Morfoestrutural, onde torna-se perceptível o rejeito de falha através do relevo bastante escarpado.

Fig. 38a – Fratura subvertical N40E medida sobre os calcários da Formação Gramame nas dependências da Mineradora InterCement em João Pessoa – PB.

Fig. 38b – Dolinas associadas ao cruzamento entre fraturas nos calcários da Formação Gramame.

Através de imagens de satélites tornou-se possível traçar algumas fraturas medidas em campo, onde também se observa a presença de diversas dolinas associadas.

A quantidade de feições desta natureza presentes no afloramento atesta o processo de dissolução do calcário Gramame em zonas de cruzamentos entre essas descontinuidades, corroborando um processo onde o calcário subjacente à Formação Barreiras tem sofrido dissolução, gerando reflexos na morfologia do terreno, originando depressões (Figura 39).

As demais áreas analisadas dizem respeito às pedreiras do Roger e de Mandacarú, ambas localizas em um dos terraços estruturais do rio Paraíba onde são encontrados grande quantidade de afloramentos de calcários da Formação Gramame.

A exposição da rocha calcária para fins de mineração, no caso da mina São José, revelou o intenso processo de dissolução a mesma está sofrendo, demonstrando um processo de carstificação em plena atividade. Desse modo, o processo pode se reproduzir em outros pontos da cidade, onde os calcários em estado de dissolução se encontram recobertos, mascarando o processo e gerando riscos de novas subsidências do terreno.

Fig. 39 – Imagem Google Earth do afloramento analisado com destaque para ocorrência de dolinas (elipses vermelhas) associados aos calcários e sobre a cobertura areno-argilosa.

As fraturas se encontram bem evidentes, assim como nas demais localidades, em áreas onde o capeamento de sedimentos do Barreiras foi retirado para atividades de mineração (Figura 40).

Fig. 40a – Fratura localizada em afloramento de calcário da Formação Gramame, Mandacarú.

Fig. 40b – Fratura localizada em afloramento de calcário da Formação Gramame, Roger.

Especialmente, as fraturas N30E e N40W constituem cruzamentos frequentes na área, e foram bem visíveis em seções com ocorrência de epicarste, onde foi

observada ampla relação com entre as estruturas e o processo de carstificação sobre os calcários (Figura 41).

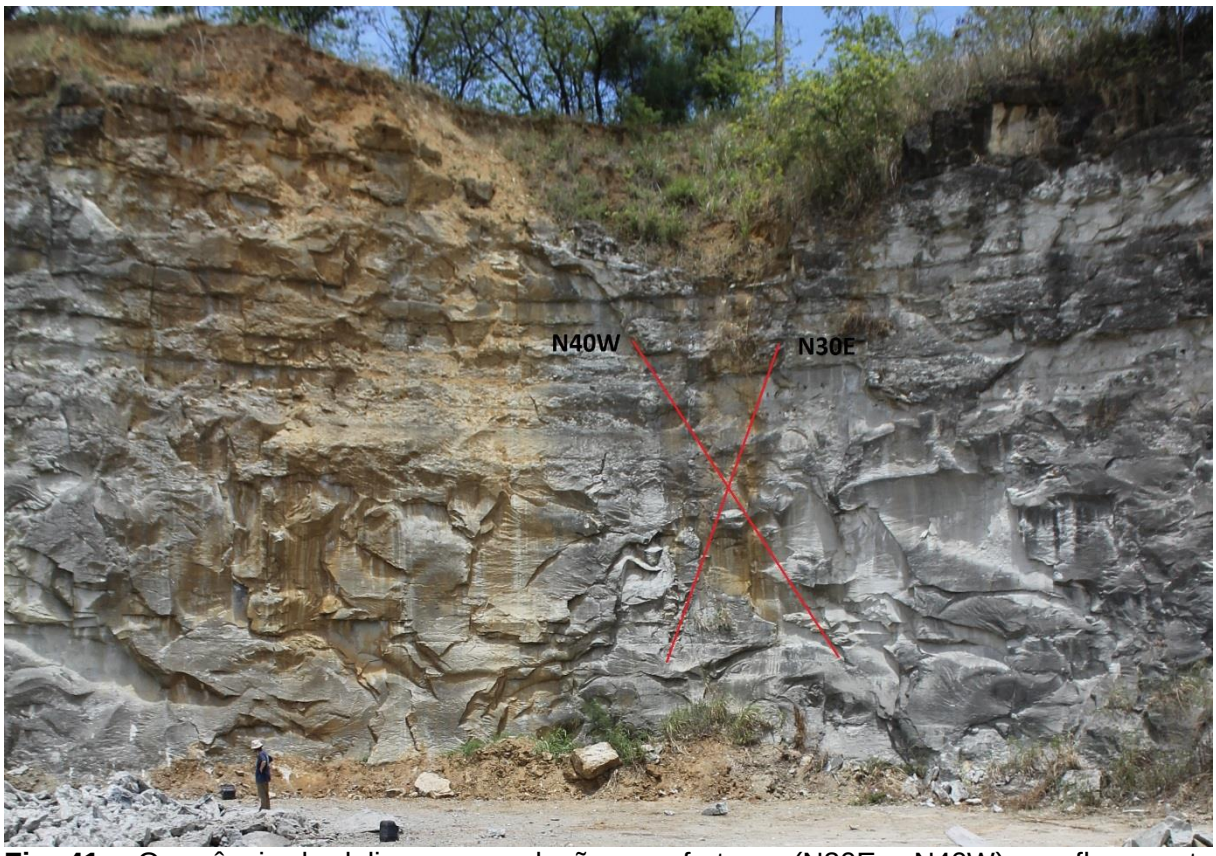


Fig. 41 – Ocorrência de dolina e sua relação com fraturas (N30E e N40W) no afloramento do Roger, João Pessoa (PB).

6.4 Evidências Litoestratigráficas

Ao inserir as dolinas e depressões sobre o mapa geológico do estado da Paraíba (Brasil, 2002), identificou-se que todas estas ocorrem sobre a Bacia Sedimentar da Paraíba, com exceção de apenas três, as quais estão localizadas sobre o embasamento cristalino. Estas, portanto, não têm quaisquer possibilidades de serem consideradas como feições cársticas, uma vez que as rochas dessa região são graníticas.

Com exceção das três feições anteriormente citadas, todas as dolinas estão sobre áreas sedimentares. As depressões, por sua vez, ocorrem exclusivamente sobre os sedimentos da Formação Barreiras (Figura 42).

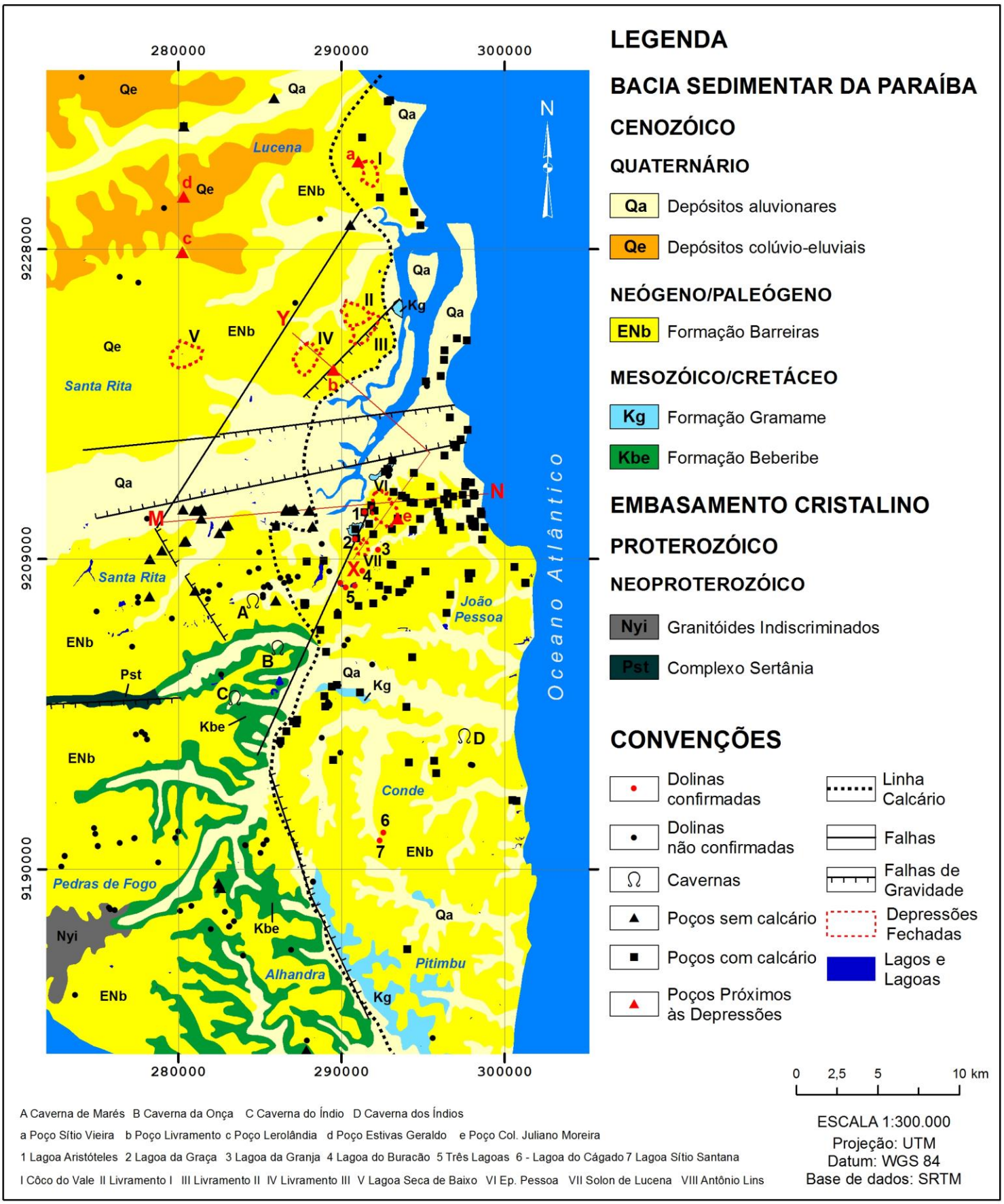


Fig. 42 – Mapa geológico contendo as depressões fechadas, dolinas, poços tubulares e principais estruturas presentes na área estudada. Perfil YX/MN da figura 55. Fonte: Adaptado de Brasil (2002).

Em relação à ocorrência de calcários subjacentes, apenas as depressões I, VI e VII se encontram sobre a zona de influência da Formação Gramame. A outra porção, representada pelas depressões II, III, IV e V, estão fora dos domínios desta formação, onde constata-se apenas a ocorrência de arenitos calcíferos e calcarenitos subjacentes.

A ocorrência de calcário encontra-se claramente condicionada à dinâmica estrutural da bacia analisada, uma vez que sua abrangência se encontra veementemente truncada pela ação de falhas, como é o caso da falha de gravidade que condiciona o rio Aterro, bastante perceptível a partir da ocorrência de afloramentos da Formação Beberibe na margem oeste e da Formação Gramame na margem leste.

A partir dos afloramentos presentes no mapa geológico e da distribuição dos poços tubulares levantados nesta pesquisa, percebe-se que a disposição em planta da deposição carbonática na bacia em análise, segue mais ou menos uma forma em arco, sendo mais pujante no oeste das cidades de João Pessoa e do Conde.

É perceptível a pequena quantidade de dados de poços tubulares disponíveis em algumas porções da área estudada, o que dificultou o levantamento de aspectos mais precisos a respeito da litoestratigrafia desses pontos.

De todo o universo de poços levantados (Anexo I), foram selecionados cinco próximos às depressões, visando obter um maior grau de detalhamento de sua litoestratigrafia e detectar a presença de calcários subjacentes, são eles: Sítio Vieira, n.88 (Depressão I); Livramento, n.23 (Depressões II, III e IV), Lerolândia, n.93 e Estivas de Geraldo, n.87 (Depressão V), Col. Juliano Moreira, n.13 (Depressão VI e VII).

Alguns poços, tais como Livramento e Col. Juliano Moreira foram utilizados para mais de uma depressão, tendo em vista a pouca quantidade de dados próximos às mesmas ou ausência de descrição litológica. No caso das depressões II, III e IV, só existe o poço Livramento para a região e, no caso da depressão VII, os poços Cruz das Armas, n.39, IFPB, n.32 e Fazenda Graça, n.65, que são os mais próximos da mesma, não possuem descrição litológica.

No primeiro poço analisado, Sítio Vieira (n.88), que consiste no mais próximo da Depressão I, com cerca de 275 metros de distância, foram encontrados arenitos calcíferos variando para calcarenitos e calcários argilosos compactos a cerca de 167 metros. Antes de alcançar os arenitos calcíferos ocorre uma coluna de arenitos e argilitos com 107 metros de profundidade. Os arenitos e argilitos mencionados possuem em sua composição quartzo e caulinita, que são minerais suscetíveis a dissolução/hidrólise, dependendo do tipo de quartzo e das condições de pH das águas (Figura 43).

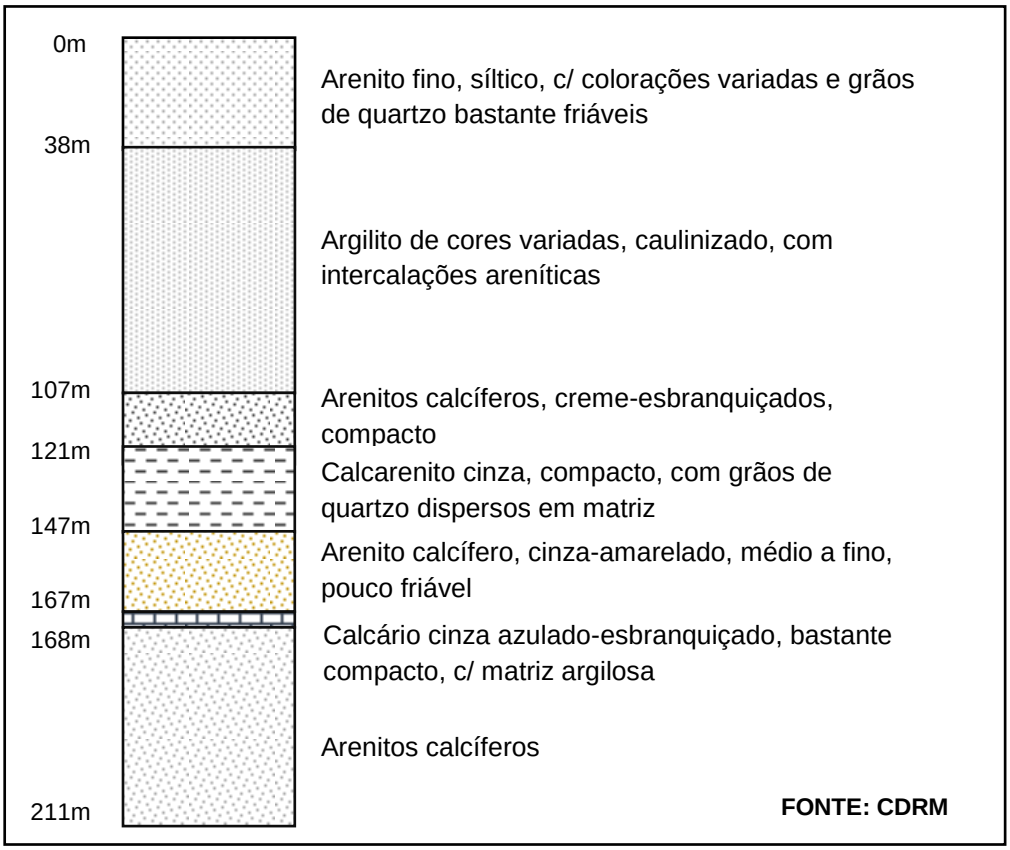


Fig. 43 – Descrição litológica referente ao poço Sítio Vieira (Localização – código a da Fig. 42).

No poço Livramento (n.23), a cerca de 1km das depressões II, III e IV, sendo o único que abrange esta região, ocorre uma espessa coluna de arenitos conglomeráticos com matriz areno-argilosa, com ocorrência de grãos de quartzo, com 244 metros de espessura, seguido de intercalações de folhelhos e folhelhos arenosos, encerrando com um arenito médio compacto até 343 metros, sem a ocorrência de calcários (Figura 44).

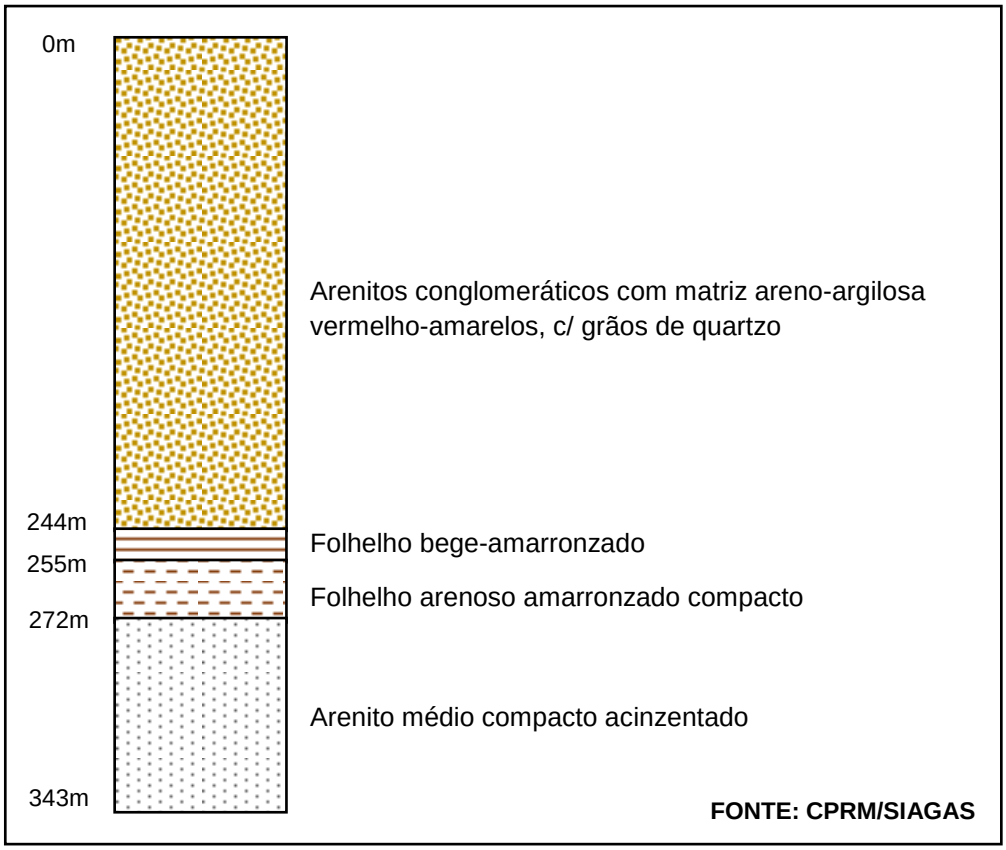


Fig. 44 - Descrição litológica referente ao poço Livramento (Localização – código b da Fig. 42).

No poço de Lerolândia (n.93), foi encontrado, a 88 metros de profundidade, sedimentos areníticos de granulometria fina a média e matriz argilosa de carbonato. Posteriormente, detectou-se a ocorrência de arenito calcífero a 98 metros de profundidade. Este poço se encontra a aproximadamente 5 quilômetros de distância da depressão V, que é uma das mais evidentes da área de estudo (Figura 45).

No poço de nome Estivas de Geraldo (n.87), localizado a aproximadamente 7 quilômetros de Lerolândia, também foi detectada a presença de sedimentos suscetíveis a dissolução, com ocorrência de calcários argilosos, calcarenitos a arenitos calcíferos (Figura 46).

Mesmo estando distante das depressões mencionadas, este segundo dado marca uma litologia mais ou menos uniforme para esta área, que é de ocorrência de arenitos calcíferos e calcarenitos. A presença de cimentação carbonática nos arenitos desta região também constitui uma litologia suscetível à dissolução, uma vez que a percolação das águas pode gerar a dissolução desse material.

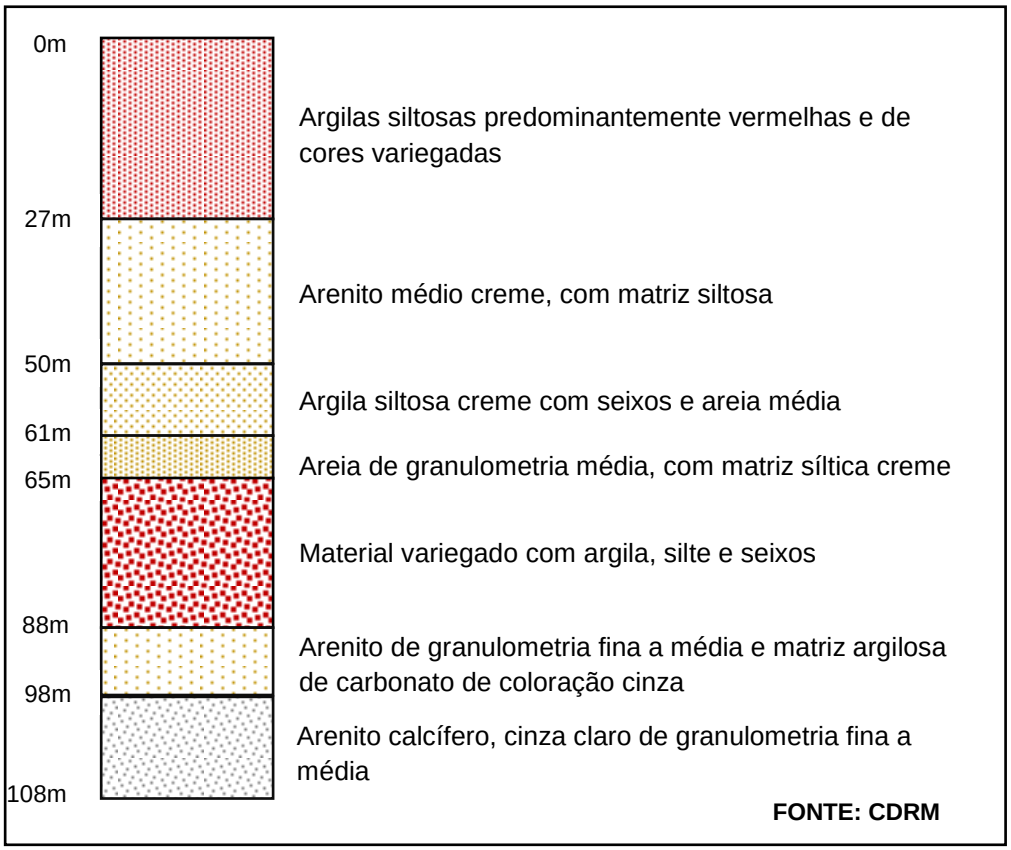


Fig. 45 – Descrição litológica referente ao poço Lerolândia (Localização - código c da Fig. 42).

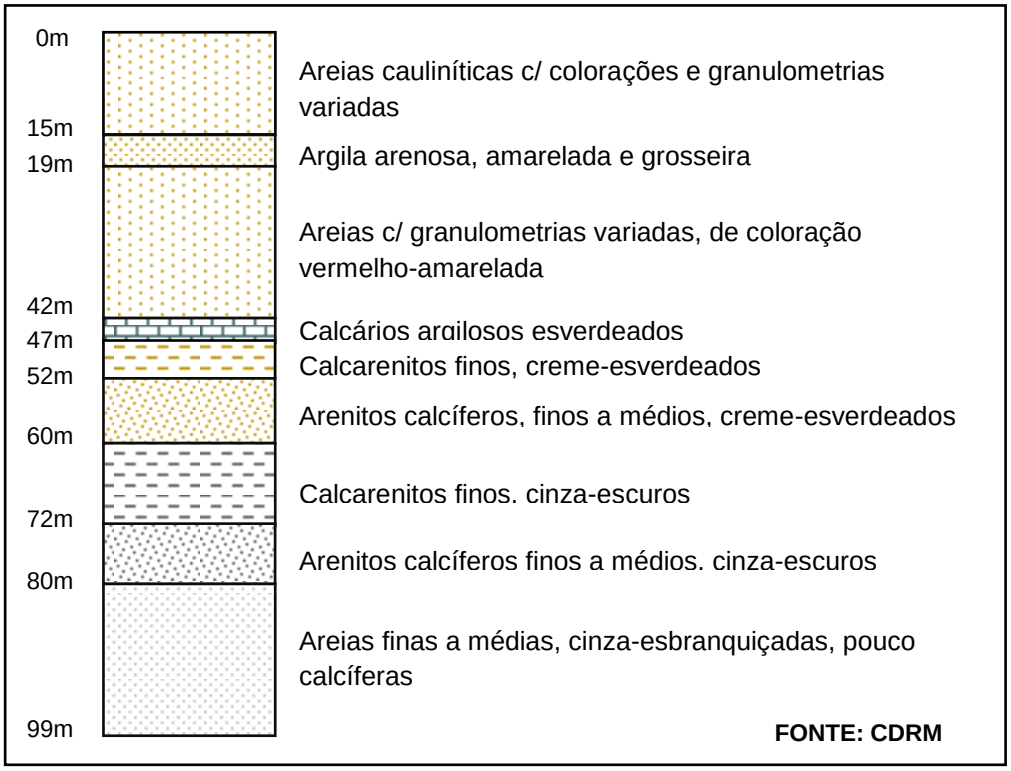


Fig. 46 – Descrição litológica referente ao poço Estivas de Geraldo (Localização - código d da Fig. 42).

Tal processo provavelmente consiste na dissolução do cimento da rocha acompanhado de sua remoção mecânica na zona vadosa (Wray, 1997). O grande número de fontes localizadas ao longo das vertentes dos tabuleiros costeiros atesta que este material pode estar sendo ejetado por meio dessas surgências naturais. Um estudo sedimentológico e geoquímico nesses pontos faz-se necessário.

Seguindo a tendência de pesquisas voltadas à ocorrência de feições cársticas sobre arenitos (Jennings, 1983; Wray, 1997) sabe-se que, embora a erosão mecânica possa ser predominante nessas áreas, a ocorrência de algum tipo de dissolução tem que acontecer para que a formação de vazios provoque a subsidência do terreno. Neste caso, a existência de depressões no terreno indica a ocorrência de dissolução em subsuperfície.

No campo foi claramente perceptível que as feições que ocorrem no Tabuleiros das Lagoas, sejam elas, cavernas ou lagos, estão sobre um material arenoso bastante acinzentado demonstrando sinais de hidromorfia, o que corrobora a hipótese ligada a processos pedogenéticos que originam crostas endurecidas pela migração do ferro e alumínio. No entanto, essa hipótese precisa ser verificada a partir de coleta desse material e análise da presença de minerais pesados instáveis, visando identificar processos sedimentares ou pedogenéticos.

É fato que a formação de algumas cavidades nessa região denota a presença de certo nível de dissolução, uma vez que o material arenoso presente no piso dessas feições testemunha o processo de arenização na localidade em virtude, provavelmente, da reação da caulinita com a água, causando desilicificação, gerando zonas de baixa densidade e a formação de vazios através da remoção do material friável.

A Caverna de Marés (código A da Fig.42), é formada por um material arenoso, onde os processos pedológicos atuantes têm proporcionado a formação de níveis endurecidos, do tipo fragipã (Figura 47).

A respeito da ocorrência de calcários subjacentes nessa região, alguns dos diversos lagos que aí se formam se encontram no limiar da zona de ocorrência da Formação Gramame, mas as cavernas, por sua vez, estão fora dessa área. Os poços mais próximos da Caverna de Marés, são aqueles de nome: Residencial

Tour's Geneve, cerca de um quilômetro e meio, e Loteamento e Novo Bairro, cerca de três quilômetros.

No entanto, observou-se que a litoestratigrafia profunda desses poços não tem relação com o processo de formação dessas cavidades, tendo em vista que a formação das cavidades é um processo que ocorre próxima à superfície, no próprio solo.

Em relação às cavernas da Onça e do Índio, que estão localizadas na margem do rio Marés, encontram-se muitos afloramentos da Formação Beberibe, inclusive, delimitados no mapa geológico (Brasil, 2002). Em relação a poços, não foi detectado nenhum próximo dessas localidades.

Fig. 47 – Dutos de dissolução formados na Caverna de Marés, João Pessoa (PB).

Em virtude da grande quantidade de níveis endurecidos presentes nas formações areníticas, é muito provável que as oscilações do lençol freático e a geração de zonas de baixa densidade do material subjacente estejam contribuindo com a origem dessas feições. Nesse caso, as depressões têm sua origem devido o

colapso da parte superior dos níveis endurecidos em vazios formados a algumas dezenas de metros abaixo da superfície.

Pelo fato de haver um total desconhecimento acerca dos processos que atuam na formação dessas áreas, tem-se observado diversos impactos ambientais sobre as mesmas, fruto do desconhecimento e da negligência.

O bombeamento de água do interior das depressões que formam lagos no período chuvoso, testemunhando as oscilações do lençol suspenso formados sobre os níveis endurecidos, eleva consubstancialmente os riscos de novas subsidências do terreno em virtude da supressão do volume de água que compõe o lençol, diminuindo a pressão hidrostática (Figura 48).

Fig. 48 – Processo de irrigação a partir do bombeamento das águas do interior da Depressão I.

Nesse sentido é razoável afirmar que a influência do processo de adensamento do solo nos níveis areníticos tem grande participação na formação das depressões. No entanto, nas zonas de calcários subjacentes, a possível formação de condutos gerados pela dissolução do carbonato também pode estar exercendo grande influência.

Ao litoestratigrafia do poço Col. Juliano Moreira (n.13), a 42m da Depressão VI e a 2km da Depressão VII, constatou-se a ocorrência de arenitos sílticos com intercalações de argila até 42 metros quando passa a ocorrer um calcário cinza claro, margoso, com presença de calcita. Posteriormente, constata-se a ocorrência de arenitos calcíferos e, encerrando a coluna, arenitos finos e grossos acinzentados (Figura 49).

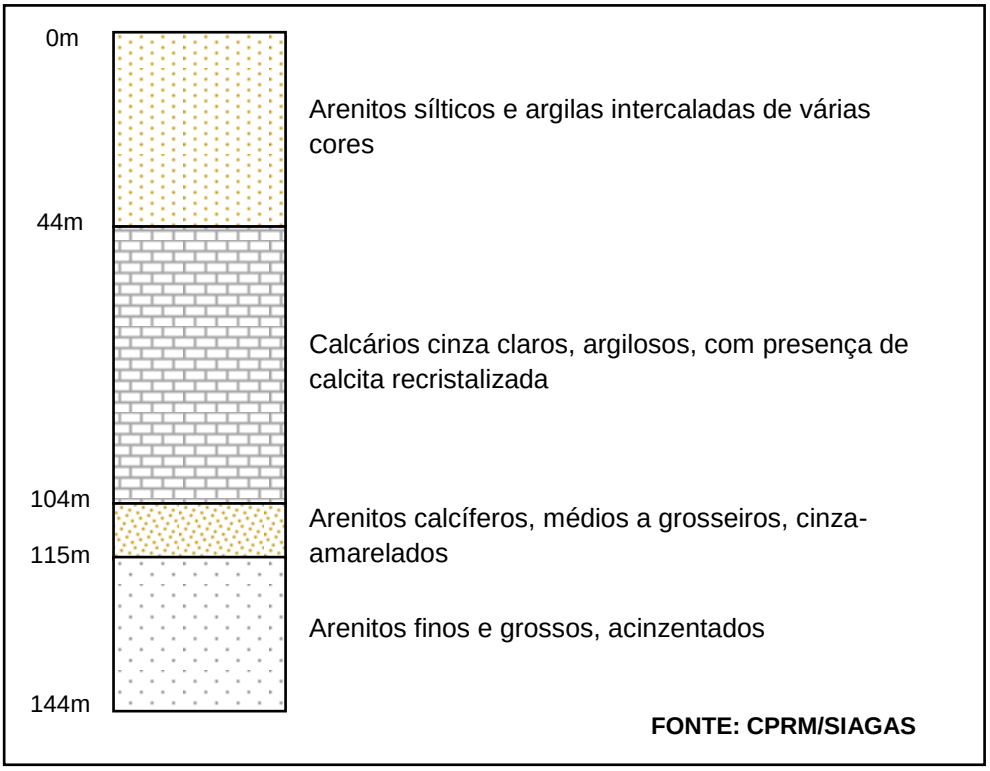


Fig. 49 - Descrição litológica referente ao poço Estivas de Geraldo (Localização - código e da Fig. 42)

Na coluna estratigráfica do referido posso encontram-se muito bem demarcadas quatro das cinco formações da Bacia da Paraíba: os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, calcários margosos da Formação Gramame, arenitos calcíferos da Formação Itamaracá e arenitos grossos acinzentados da Formação Beberibe.

Desse modo, percebe-se a partir desse dado, que as depressões VI e VII se encontram fortemente influenciadas por uma espessa coluna de calcários e calcarenitos subjacentes. Dependendo da localidade, estes calcários se tornam ainda mais próximos da superfície, chegando a aflorar.

No intuito de compreender a correlação entre as depressões e as variações da superfície dos calcários em subsuperfície, foi realizada uma modelagem do terreno com base nos dados de poços tubulares contendo as cotas do topo desta formação, assim como dados referentes à espessura da Formação Barreiras.

6.4.1 Paleotopografia da Formação Gramame

A análise geral dos poços através da modelagem dos dados revelou duas grandes variações na superfície dos calcários Gramame que representam depressões soterradas, uma a norte e outra a leste.

A depressão norte, localizada no município de Lucena-PB, apresenta valores de até -60 metros de profundidade, enquanto a depressão leste expõe valores de até -50 metros (Figura 50).

Percebe-se claramente que a depressão norte coincide com a depressão I, alcançando valores de profundidade entre -40 e -70. A altitude da localidade varia em torno de 75 a 90 metros, sendo, portanto, uma amplitude bastante considerável.

Outra área relevante se encontra na porção central do mapa, correspondente ao município de João Pessoa (PB), onde as depressões VI e VII (Antônio Lins e Parque Solon de Lucena) coincidem com uma depressão soterrada com variação de 30 a 0 metros. Neste ponto, a altitude geral da região alcança valores de 50 metros a 20 metros de espessura da Formação Barreiras.

Na porção sul do mapa, a ocorrência foi detectada a presença de uma região elevada, contendo cerca de 80 metros de altitude, estando relacionada à uma porção do alto estrutural Coqueirinho onde verificou-se a ocorrência de grande quantidade de afloramentos de calcários da Formação Gramame, devido um possível soerguimento regional.

Nessa região também foi encontrada grande quantidade de lagos e lagoas, provavelmente associadas à contribuição da atividade de dissolução no calcário, onde também ocorrem afloramentos de calcários expondo sinais evidentes de carstificação.

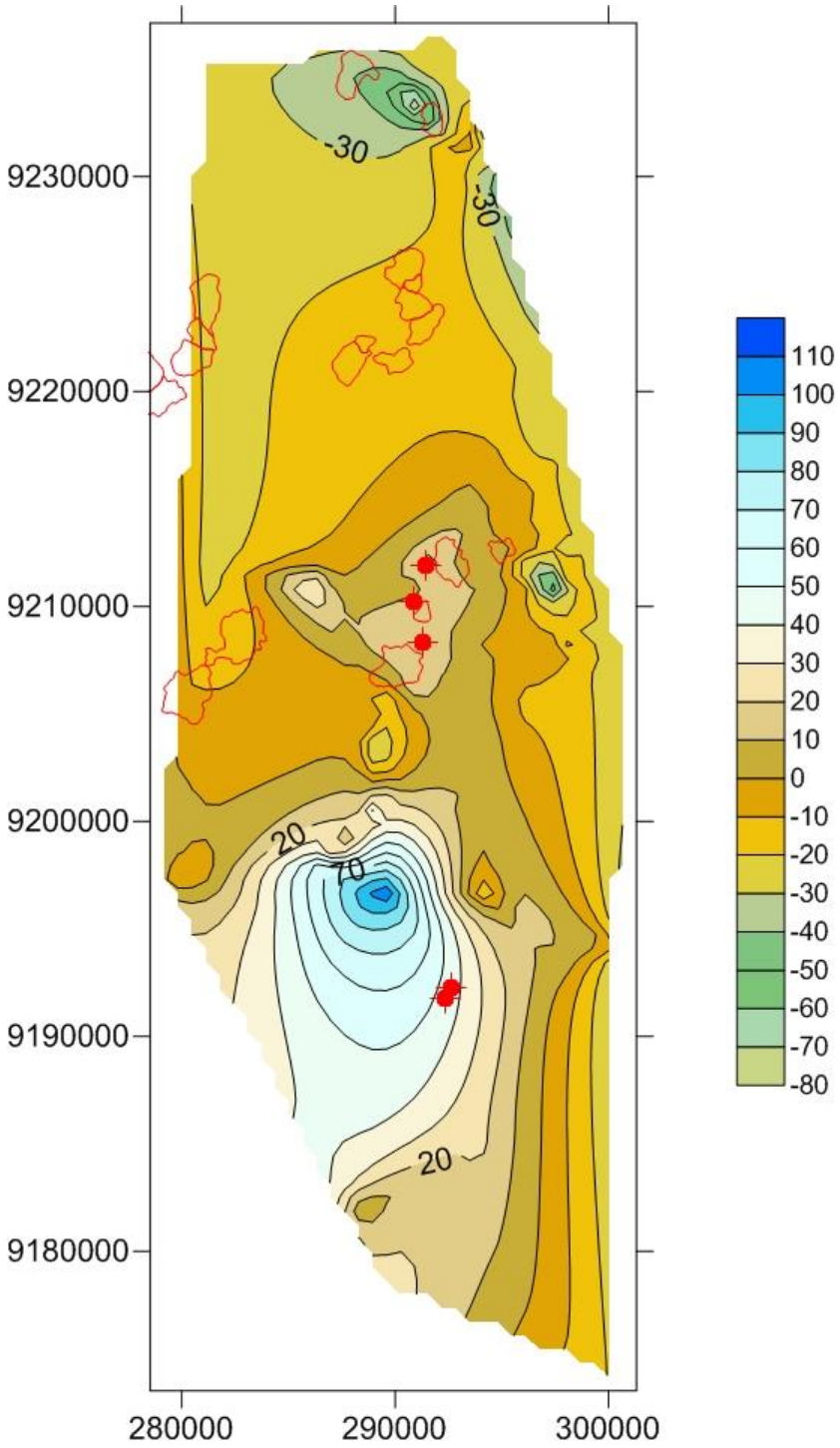


Fig. 50 – Variações da topografia do topo da Formação Gramame sob a Formação Barreiras e sua relação com as depressões fechadas e dolinas.

A poucos metros desses afloramentos também ocorrem lagoas, havendo possível relação. Essas áreas consistem em feições epicársticas que se encontram preenchidas por sedimentos areno-argilosos, exibindo um aspecto ruiniforme e ocorrência de vazios desenvolvidos em fraturas (Figura 51).

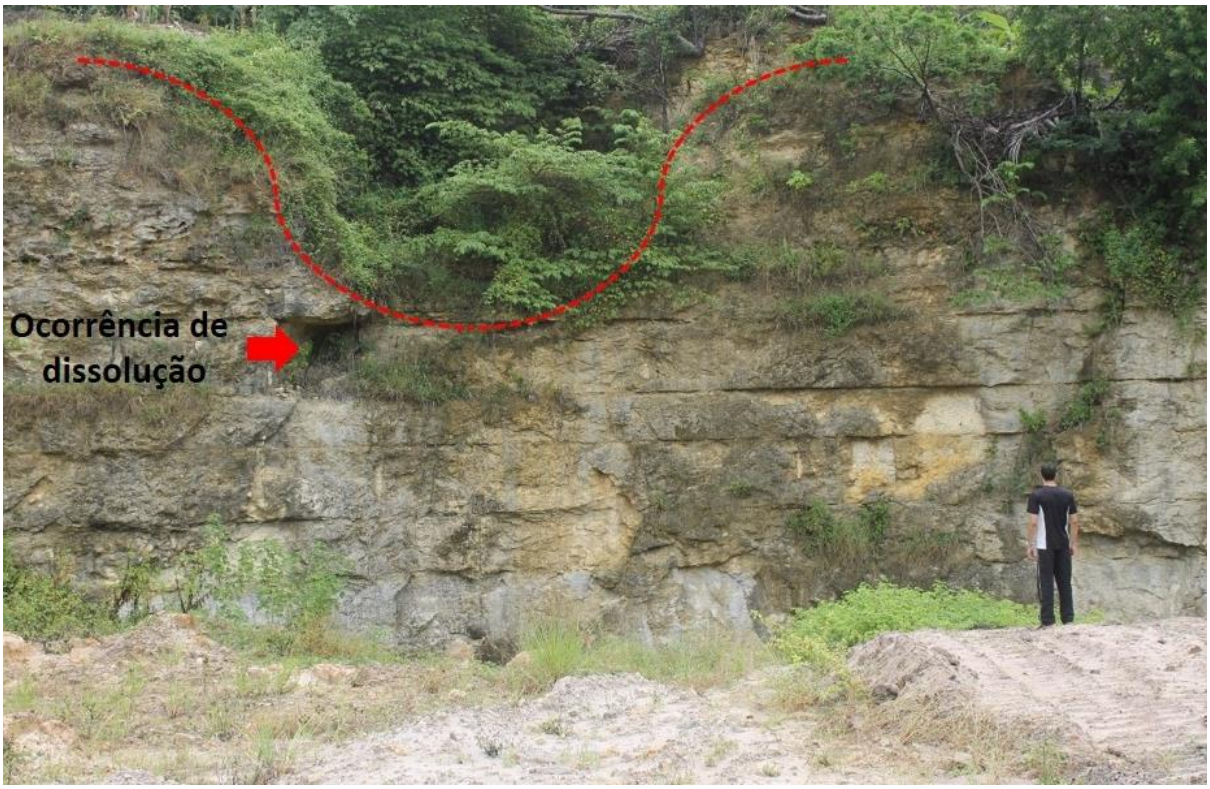


Fig. 51 – Afloramento de calcários da Formação Gramame na região de Caxitú, Conde (PB). Notar a ocorrência de carstificação a partir da formação de vazios na porção superior do afloramento.

Outro aspecto interessante, revelado pela modelagem dos dados de poços diz respeito à ocorrência de uma depressão bastante expressiva no calcário subjacente na porção exatamente abaixo da depressão VI, localizada no Parque Solon de Lucena (Figura 53).

A lagoa do Parque Solon de Lucena constitui a única depressão onde ocorre um espalho d'água perene, evidenciando a ligação da mesma ao lençol freático, seja ele suspenso ou ligado às fissuras no calcário. Isto precisa ser melhor evidenciado a partir de sondagens com maior grau de detalhe.

Para o restante das depressões, não foi encontrada nenhuma correlação nesta imagem, certamente em virtude da baixa quantidade de poços em algumas regiões, o que interferiu na exatidão do processo de interpolação.

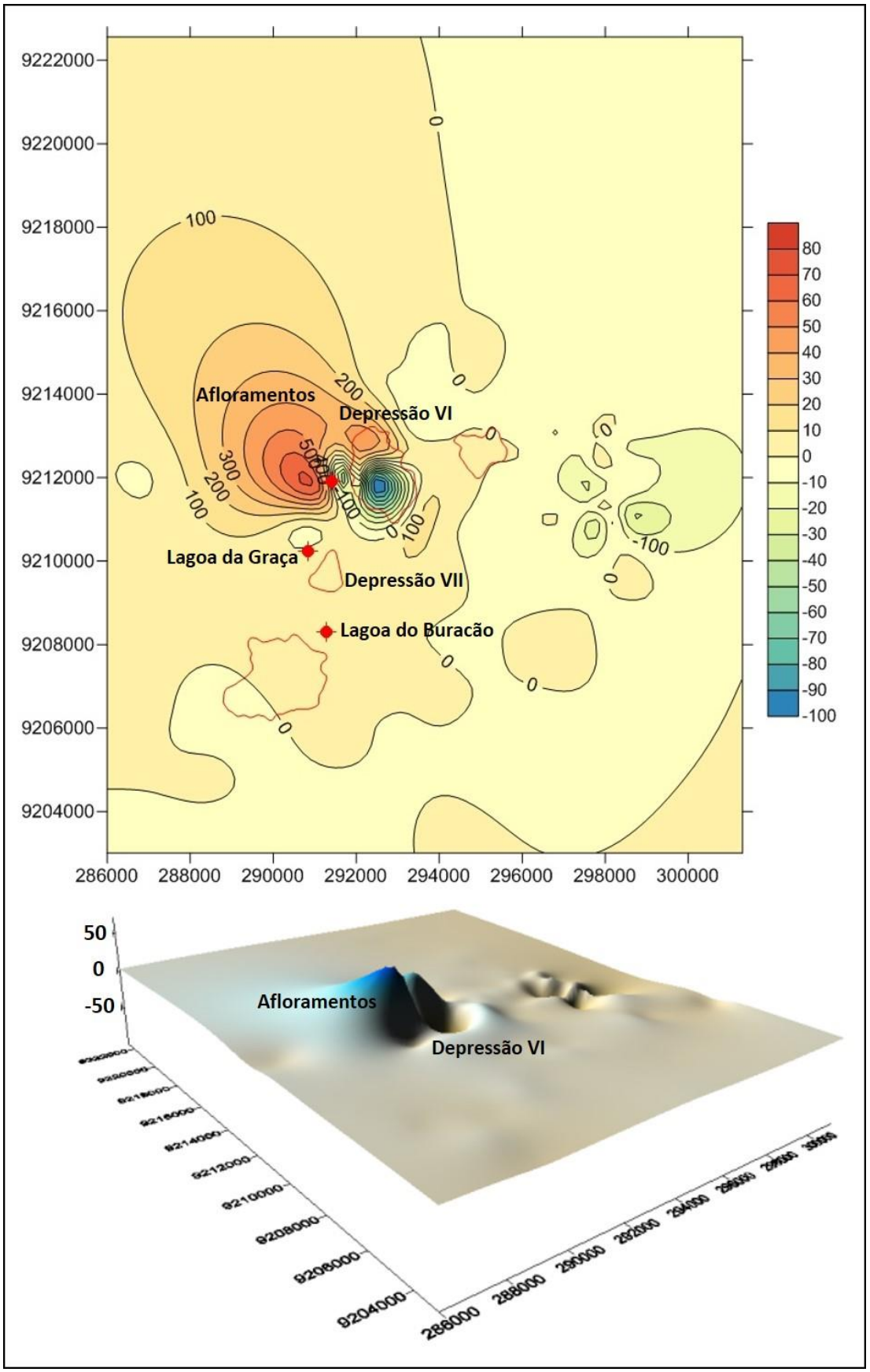


Fig. 52 – Variações da topografia dos calcários Gramame sob a Formação Barreiras no oeste do município de João Pessoa utilizando o método de interpolação *Radial Basins.*

Os contornos referentes à espessura da Formação Barreiras revelaram aspectos interessantes acerca do relevo abordado.

Percebe-se a ocorrência de grande quantidade de depressões ao longo de toda área analisada, principalmente na porção central, onde concentra-se a maior parte das dolinas e depressões analisadas no presente estudo (Figura 53).

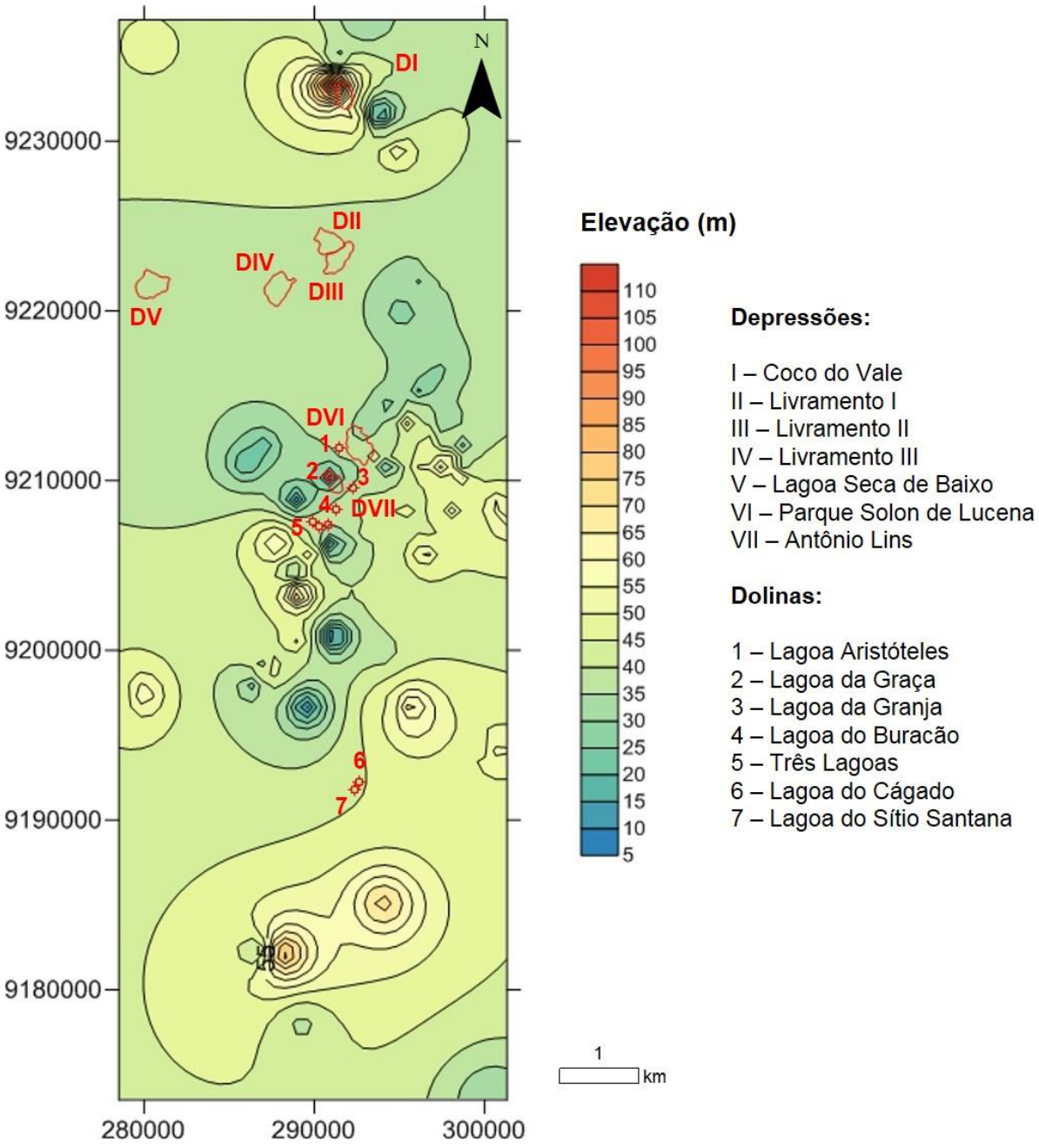


Fig. 53 – Mapa de contornos referentes à espessura da Formação Barreiras na área de estudo.

Primeiramente, da mesma forma que ocorreu no mapa das variações do topo da Formação Gramame, é bastante clara a ocorrência de uma região acentuadamente deprimida no mesmo ponto onde ocorre a depressão I no município de Lucena, sinalizando para a influência dos calcários subjacentes na gênese desta depressão.

Não foram encontradas quaisquer relações da espessura da Formação Barreiras com as depressões I, III, IV (Distrito de Livramento) e V (Lagoa Seca de Baixo), possivelmente em virtude da baixa cobertura de dados de poços, que foi significativamente reduzida para esta região. Além disso, é uma região desprovida de calcários da Formação Gramame, onde ocorrem apenas calcarenitos.

A priori, uma relação muito intrínseca foi detectada entre a Lagoa da Graça e a uma depressão detectada através da espessura da Formação Barreiras.

Na região das Três Lagoas, também foi detectada a ocorrência de uma depressão, assim como a sul, aproximando-se das lagoas do Cágado e do Sítio Santana (Município do Conde). No entanto, na região do Conde não foram encontradas quaisquer relações entre a espessura da Formação Barreiras e as dolinas.

Outro aspecto interessante, que deve ser destacado, diz respeito à geometria de algumas das depressões detectadas na Formação Barreiras. Suas formas elípticas se assemelham às formas das depressões II, III e VII, com eixos voltados para a mesma direção, demonstrando o condicionamento a estruturas regionais.

É importante ressaltar que, a modelagem da espessura da Formação Barreiras demonstra como a mesma preenche as depressões esculpidas sobre os calcários soterrados, constituindo preciosa informação na investigação de um possível carste subjacente.

Analisando o contexto da região da mina São José na indústria Intercement percebe-se claramente a influência dos calcários da Formação Gramame na gênese das dolinas, uma vez que se observa não somente a formação de dolinas sobre o calcário aflorante, mas de outras feições dessa natureza também sobre os sedimentos da Formação Barreiras nas adjacências do afloramento (Figura 54).

A comparação entre esses dois contextos tão próximos pode fornecer prováveis indícios da influência do calcário na formação das depressões analisadas, sendo esta área a mais representativa da área estudada.

Fig. 54 – Imagem de satélite contextualizando a localização de afloramentos de calcários e ocorrência de lagos em suas proximidades. Fonte: Google Earth.

Além disso, relatos não registrados em perfis de descrições litológicas fornecidos por empresas de perfuração da cidade de João Pessoa, indicam a presença de vazios subterrâneos a aproximadamente 40 metros de profundidade, com 8 metros de espessura, nas imediações da Av. Júlia Freire em João Pessoa (PB).

As seções geológicas contidas no mapa mostram claramente aquelas depressões que estão sob a influência do calcário e as que não se encontram sobre essa influência (Figura 55).

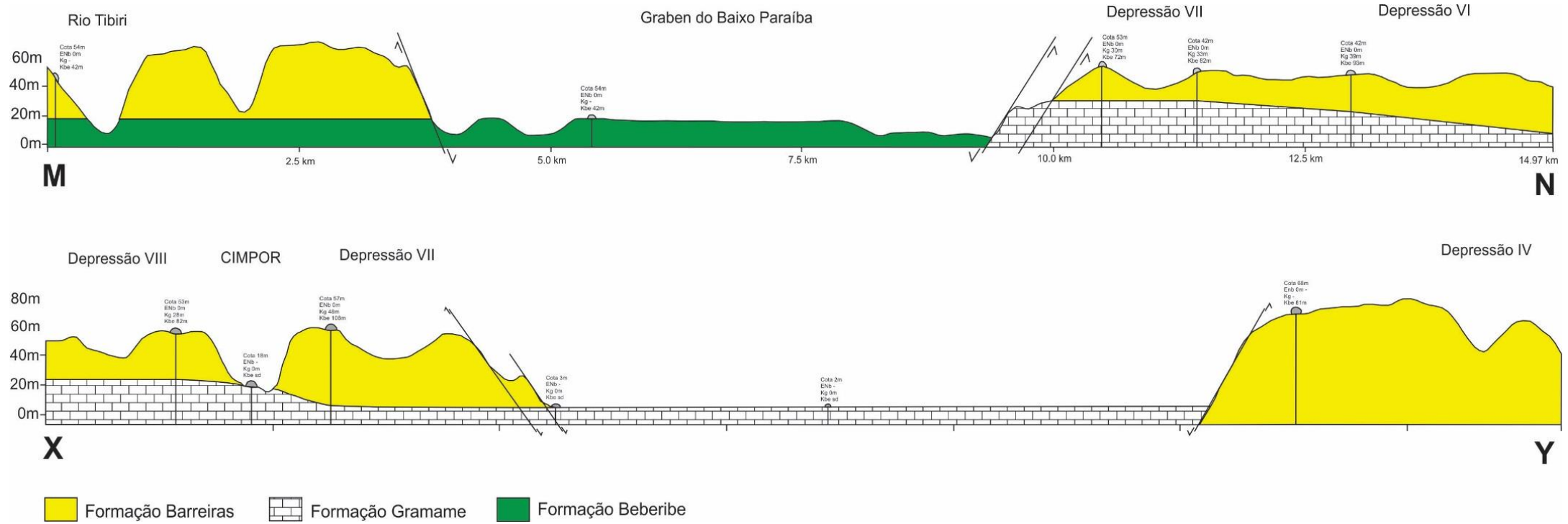


Fig. 55 – Seções geológicas referentes aos perfis XY/MN contidos no mapa geológico (Fig. 42). Exagero vertical 5x.

7 DISCUSSÃO

O mapeamento das dolinas e depressões permitiu reconhecer como estão distribuídas geograficamente, suas características morfométricas, as relações com as estruturas existentes na área, com a litoestratigrafia e como essas características refletem em suas gêneses.

Com a extração dos índices morfométricos percebeu-se que a maioria dessas feições apresentam extensões acima de um quilômetro quadrado e formas bastante assimétricas, elipsoidais, com eixo maior seguindo direções preferenciais em consonância com os lineamentos regionais.

Inicialmente, detectou-se que suas amplitudes não ultrapassam, em média, 35 metros, salvo alguns casos pontuais onde, bacias de grande extensão chegam a alcançar valores de 69 metros, em virtude de uma distância mais acentuada entre seus divisores e o ponto de menor altitude, devido sua elipsidade acentuada.

A extração de valores relativos à área e ao perímetro chegam a, aproximadamente, 2 km e 5 km, respectivamente. Ao relacionar a amplitude e extensão (eixo maior) através do índice profundidade/diâmetro (P/D), percebeu-se que as mesmas apresentam ondulação muito suave, remontando a uma gênese provavelmente ligada à subsidência lenta do terreno. A profundidade/diâmetro apresenta-se, em média, com valores abaixo de 0,05.

Tal condição foi confirmada através dos trabalhos de campo, onde tornou-se difícil a identificação das depressões, tal a suavidade de suas ondulações, e das modificações causadas por meio da ação antrópica.

Em campo, observou-se que os fundos das depressões se encontram colmatados por grande volume de material argiloso transportado das vertentes, o que dificulta o contato com as águas subterrâneas. Por muitas vezes, tornou-se difícil enxergar esses pontos, o que induz a entender que constituem áreas de infiltração eminentemente difusa.

Foram encontradas muitas áreas deprimidas, com presença de lagoas intermitentes, devido à formação de lençol suspenso. De fato, raramente foi constatado a presença de lagos perenes, salvo o caso da depressão VI.

A simetria, que fornece uma medida da regularidade interna das depressões, diminui à medida que os divisores das depressões se tornam irregulares. A maioria das feições apresentam valores acima de 1, caracterizando formas bastante assimétricas.

Em geral, os dados mencionados foram cruciais para compreender que as formas analisadas têm uma origem intimamente ligada a processos de subsidência lenta terreno. Além disso, a elipsidade e a simetria interna se mostraram bastante esclarecedoras, uma vez que expressaram o condicionamento estrutural ao qual estão submetidas e a atuação dos processos erosivos que contribuem com a sua evolução horizontal.

Algumas destas chegam a apresentar formas muito próximas a bacias fluviais, expondo divisores bastante irregulares, como consequência do processo de ravinamento em suas vertentes, tornando-as bastante sinuosas e alongadas, apresentando capturas de drenagem.

Um grupo de depressões apresenta apenas um sumidouro principal, com drenagem interna pouco desenvolvida, contituída por pequenas incisões de canais efêmeros, alcançando, no máximo, a segunda ou terceira ordem, apresentando superfícies com sinais de infiltração difusa.

Aquelas que apresentam extensões maiores, a partir de 1km, classificadas como depressões fechadas, expõem rede de drenagem interna mais complexa, com mais de um ponto de convergência das águas, apresentando canais de quinta ordem, superfície interna ondulada, com vários pontos baixos, inclinação geral centrípeta e eixos que chegam a atingir quilômetros.

Algumas subdepressões não foram notadas através da imagem SRTM, mas foram constatadas através de trabalhos de campo. As características morfológicas dessas áreas apontam para o predomínio do processo de infiltração difusa ao longo de prováveis fraturas e juntas alargadas, ao passo que não foi encontrado um sumidouro pontual, a não ser alguns pontos de absorção da água marcados pelo acúmulo de argila, que constituem pontos de concentração da água no período úmido.

Algumas das depressões de maior porte ou primárias representam rotas mais eficientes de escoamento subterrâneo, pelo fato de apresentarem possíveis taxas de abertura e subsidência maior em relação às vizinhas.

As dolinas, por sua vez, constituem pequenas regiões deprimidas, com algumas centenas de metros quadrados de extensão, as quais não chegam a constituir bacias, formando pequenos lagos de águas temporárias, estando presentes em grande número na área estudada.

As zonas de drenagem centrípeta detectadas a partir do processamento da imagem SRTM representam a zona de maior permeabilidade, onde constata-se a elevação do gradiente hidráulico e a instalação de linhas de fluxo autogênico.

A morfologia predominante com uma relação entre profundidade e diâmetro (P/D) muito baixa caracteriza um relevo dominado por vertentes de inclinação bastante suave e fundo plano.

A declividade predominantemente plana e suave ondulada reflete o mergulho estrutural da área, que é de camadas plano-paralelas, com suave inclinação para leste, influenciando também no alinhamento do fluxo geral (Tabela 2).

Tabela 2 – Índices morfométricos das depressões fechadas analisadas.

ID	X	Y	Nº de subdepressões	Ordem dos canais	Altitude (m)			Amplitude (m)
					Máx.	Média	Mín.	
DI	291787	9232804	2	4	46	29,5	13	33
DII	290740	9224098	1	5	86	67,5	49	37
DIII	291532	9223178	0	5	89	68,5	48	41
DIV	287634	9221348	0	4	109	74,5	40	69
DV	280215	9221614	1	5	76	61	46	30
DVI	292381	9212469	2	5	59	45	31	28
DVII	291490	9209530	0	4	58	45,5	33	25
ID	**Eixo maior (m)**	**Eixo menor (m)**	**Elipsidade**	**Simetria interna**	**P/D**	**Área (m^2)**	**Perim. (m)**	**Direção de Eixo**
DI	1.561,50	846,9	1,843783	1,087942	0,027	1.170	4.280	N10-20W
DII	1.549,60	1.423,90	1,088279	1,028328	0,024	1.691	5.341	N50-60W
DIII	2.404,70	868,87	2,767618	1,064983	0,025	1.709	5.903	N40-50E
DIV	1.821,10	1.253,00	1,453392	2,040000	0,044	2.064	6.005	N30-40E
DV	2.080,20	1.551,40	1,340853	0,465495	0,016	2.192	5.887	N60-70E
DVI	2.188,90	1.293,30	1,692492	1,022569	0,016	2.374	6.509	N10-20W
DVII	992,94	617,40	1,60826	3,171253	0,031	502	2.826	N10-20W

A partir da análise dessas características, é pertinente afirmar que as áreas definidas como depressões neste estudo apresentam características semelhantes às uvalas, tendo em vista não somente sua extensão, mas o atendimento de uma série de características inerentes à estas feições, principalmente aquelas ligadas às funções hidrológicas e ao condicionamento estrutural das mesmas, a saber: (1) ocorrência de perímetros irregulares; (2) dimensões em planta que excedem 1 km de eixo maior; (3) encostas de inclinação suave; (4) fundos acima do lençol freático, ou seja, em geral, com pouca água, presença de riachos sazonais ou lagoas rasas e; (5) infiltração e dissolução em diversos pontos (difusa); seguindo a tendência de Ćalić (2011).

Embora a proposta de uma nova conceituação para uvalas tenha se desenvolvido em um contexto marcado por uma litologia carbonática, uvalas também são citadas como feições desenvolvidas em rochas silicosas por Busche e Sponholz (1992); Hardt (2011).

Desse modo, o fato de as reconhecer como uvalas não constitui uma simples distinção de nomenclaturas, certamente vazia, mas possui um significado que vai além disto, sobretudo quando diz respeito à suas características evolutivas.

Em relação ao mapeamento das feições, observou-se uma nítida distinção entre a quantidade e o tamanho das depressões nas regiões norte e sul da área estudada. É nítido que as maiores depressões se situam da porção centro-norte da bacia, mais especificamente na altura das cidades de João Pessoa e Santa Rita, desde as Três Lagoas até o limite que constitui a região da Mata da Aldeia, onde se encontra a Lagoa Seca de Baixo (depressão V).

As diferenças de quantidade e tamanho entre as depressões mapeadas pode presumir uma ideia de distintos quadros evolutivos, acentuado pela clara diferença entre os níveis de dissecação da zona norte e zona sul da bacia.

De acordo com Furrier et al. (2006), a porção norte da bacia apresenta uma topografia marcada por tabuleiros com superfícies mais extensas, enquanto a porção sul expõe tabuleiros menos extensos, constituindo uma região mais dissecada.

Nesse sentido, é possível considerar que as depressões encontradas na região norte apresentem extensões maiores em virtude do baixo índice de

dissecação da área, onde os tabuleiros mais extensos permitem sua evolução, enquanto aquelas da região sul sofreram intensa segmentação a partir de um constante processo de inversão do relevo, em virtude da intensa dissecação sofrida por essas áreas.

Nesse sentido, a região norte pressupõe a ideia de um carste em um estágio de evolução que tende a progredir a partir de processos de ampliação das dolinas de dissolução e da instalação de novos pontos de absorção vertical. Isto é reforçado pelo fato que não foi detectada nenhuma depressão fechada na região sul da bacia.

Percebe-se que a variável estrutural é a que demonstra maior influência na gênese e evolução dessas feições, onde se percebe um forte controle estrutural, que é bastante evidente por seus formatos elípticos e eixos bem orientados segundo estruturas regionais. Desse modo, a geometria das depressões é um forte indicativo de suas origens.

As estruturas identificadas constituem reflexos de reativações cenozoicas do embasamento cristalino que influenciam os estratos sedimentares sotopostos (Brito Neves et al., 2009), constituindo rotas preferenciais de circulação. A harmonia entre as direções das estruturas e das depressões demonstra que a hipótese ligada à influência da dissolução ao longo dessas linhas de fraqueza da rocha é coerente.

Isto significa dizer que, a elipsidade das depressões demonstra claramente o condicionamento às estruturas, indicando que a dissolução tem ocorrido nessas linhas preferenciais, determinando a gênese das referidas depressões.

Os eixos das mesmas, normalmente, estão voltados para SSW-NNE e SSE-NNW, em alguns casos, como a depressão I, o eixo a direção N-S. A direção SSE-NNE é aquela que melhor representa a direção das estruturas regionais e locais, conforme verificou-se no capítulo de análise morfoestrutural.

Existe um alinhamento claro entre as Três Lagoas, Lagoa do Buracão e as depressões VI e VII, culminando nos afloramentos de calcário do baixo Roger, onde também ocorrem dolinas. Nesse sentido, a zona oeste do município de João Pessoa constitui uma das regiões com sinais mais evidentes de atuação das estruturas na gênese das dolinas e depressões, que também condicionam o graben do rio Paraíba, seguindo as mesmas direções (Figura 56).

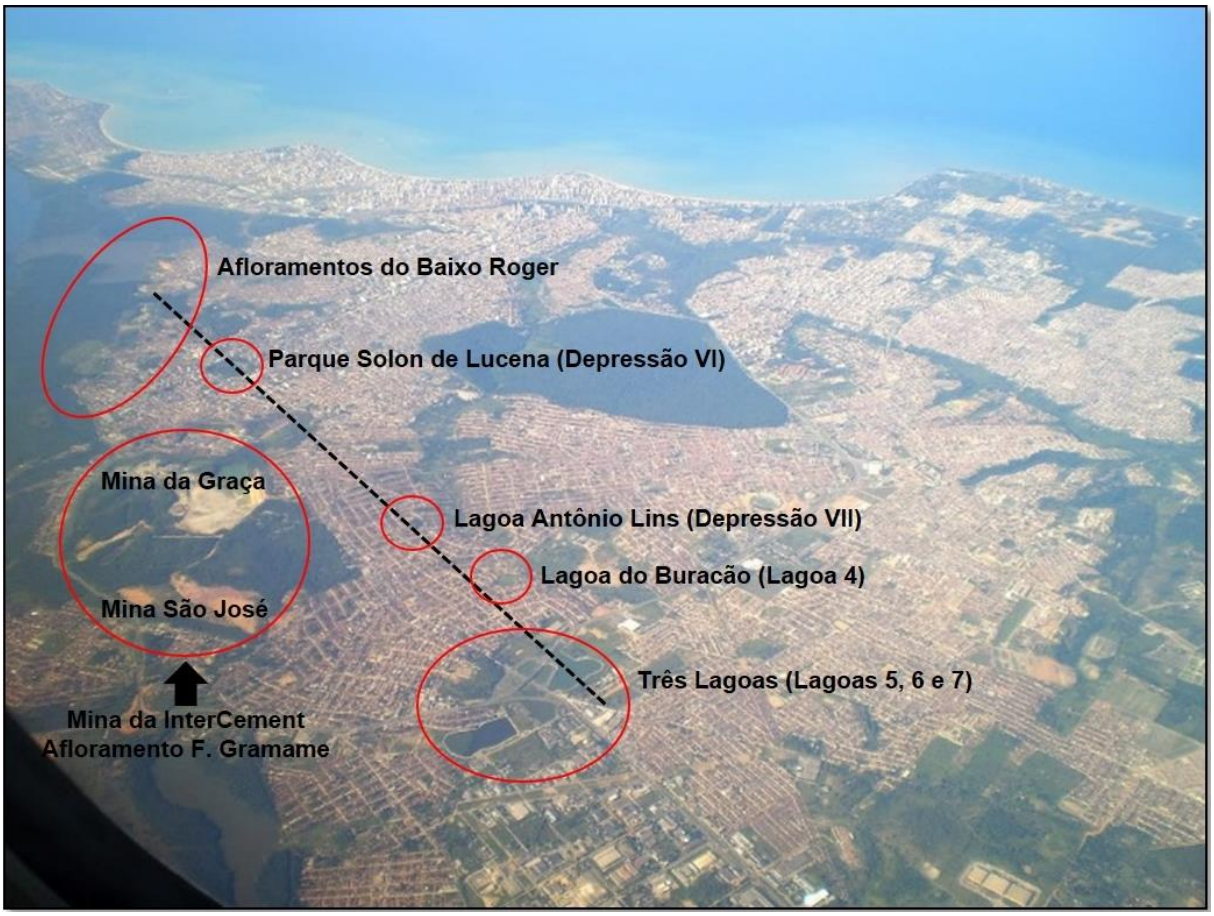


Fig. 56 – Alinhamento entre dolinas e depressões na zona oeste da cidade de João Pessoa (PB) e ocorrência de calcários subjacentes. Foto: Modificado de Paulo Rosa.

A ocorrência de afloramentos da Formação Gramame, bem como os dados de poços em toda a região de João Pessoa atesta a existência de calcários subjacentes na região, os quais estão sendo claramente afetados por lineamentos, onde também se verifica a ocorrência de dissolução.

Na bacia da Paraíba, a ocorrência de anfiteatros é bastante comum. Alguns chegam a apresentar um aspecto semicircular, constituindo verdadeiros alvéolos, muito semelhantes às depressões, porém apresentando capturas de drenagem.

Essas feições devem sua existência à atuação de processos fluviais, com grande influência das oscilações eustáticas desde o mioceno, mas não se exclui a atuação da dissolução em sua evolução, tendo em vista a grande presença de afloramentos de calcários em suas encostas, as quais se apresentam bastante íngremes (Figura 57).

Fig. 57 – Visão panorâmica de anfiteatro que circunda o Distrito Mecânico, João Pessoa (PB).

A existência de grande quantidade de feições desta natureza, pode perfeitamente representar antigas depressões fechadas que sofreram processos de captura por rios importantes do sistema fluvial local.

A respeito da identificação de níveis de dissolução associados a falhas e fraturas ao longo de afloramentos da Formação Gramame, foram encontradas diversas fraturas carstificadas, assim como microdutos de dissolução (Figura 58).

As feições identificadas nos afloramentos de calcários da Formação Gramame em João Pessoa (PB), especificamente na InterCement, demonstram harmonia com as direções detectadas através dos lineamentos demarcados por meio de imagens SRTM.

A relação entre a localização das depressões e os dados litoestratigráficos indica que as dolinas e depressões não se encontram restritas aos domínios da Formação Gramame.

Fig. 58 – Microduto formado por dissolução em calcário da Formação Gramame na Indústria InterCement, João Pessoa (PB).

Aquelas que não estão limitadas aos domínios da Formação Gramame ocorrem em zonas dominadas por calcarenitos ou arenitos calcíferos subjacentes, correspondentes à Formação Itamaracá, o que expande a possibilidade de ocorrência da dissolução em outras formações.

Além disso, é provável a ocorrência de dissolução nos próprios sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras e Coberturas Quaternárias, uma vez que a caulinita e a sílica amorfa são bastante comuns nessas formações e constituem minerais suscetíveis ao intemperismo químico (dissolução/hidrólise).

É provável que as depressões se encontrem presentes entre pontos de interrupção de níveis endurecidos do solo, representados por fragipãs e duripãs. Ocasionalmente, a penetração das águas nesses pontos promove dissolução de minerais suscetíveis seguida da remoção mecânica dos sedimentos (*piping*).

Portanto, não se exclui a possibilidade de ocorrência de nenhum dos mecanismos mencionados, uma vez que as depressões localizadas na zona de

calcários subjacentes, certamente, são mais profundas e apresentam águas perenes, testemunhando a provável ligação com condutos em subsuperfície.

Algumas dolinas e depressões configuram verdadeiras lagoas intermitentes, em virtude da ocorrência de um lençol suspenso, sustentado por níveis endurecidos. No período de estiagem, as águas sofrem uma considerável redução, pois o contato com o aquífero encontra-se interrompido por estes níveis (Figura 59).

Fig. 59 – Região das Três Lagoas no período de estiagem (A) e período úmido (B).

A modelagem realizada a partir dos dados de poços tubulares foi relevante ao identificar variações associadas à paleotopografia da Formação Gramame e à espessura da Formação Barreiras, a partir das quais foram encontradas relações entre depressões soterradas e depressões superficiais.

Não constitui dúvida o fato que, o considerável intervalo de tempo entre as deposições das formações Gramame e Barreiras foi suficiente para produzir um sistema cárstico, tendo em vista o longo período de tempo, aproximadamente, 30 milhões de anos.

Os microdutos encontrados em afloramentos da Formação Gramame assim como dolinas formadas diretamente sobre os calcários, atestam a atividade cárstica que tem ocorrido em profundidade, pois constituem verdadeiras ligações com um sistema de canais de dissolução.

Em alguns afloramentos da Formação Gramame foram observados sinais de carstificação do calcário através da ocorrência de feições epicársticas. De acordo com Klimchouk (2004), este tipo de feição ocorre na zona superior das rochas carstificáveis, onde a permeabilidade em função do fissuramento é mais elevada do que a massa rochosa subjacente (Figura 60).

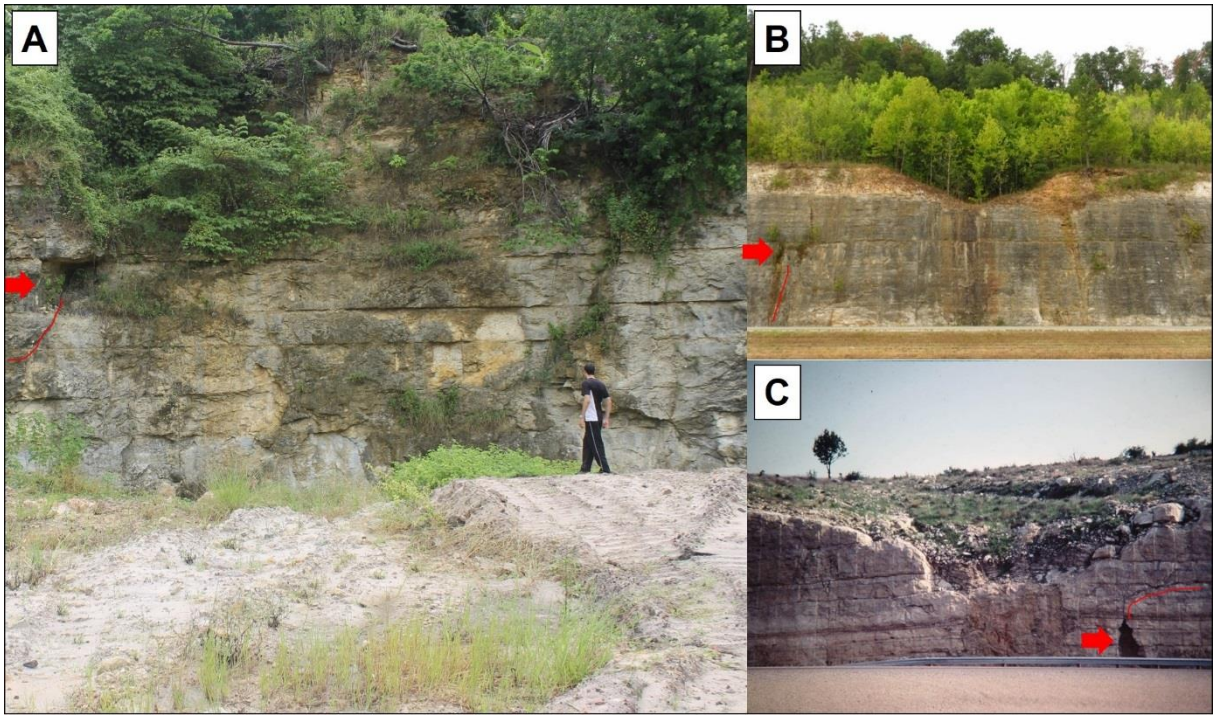


Fig. 60 – Formação de depressões em afloramentos de calcários, com preenchimento argiloso. As setas indicam a ocorrência de vazios originados por dissolução e condutos traçados em vermelho. (A) afloramento da Formação Gramame em Caxitú, Conde (PB); (B) situação análoga em afloramentos de calcários localizados no estado Arcansas, sudeste dos Estados Unidos; (C) ocorrência de situação análoga no oeste do Texas, Estados Unidos. Fonte das figuras B e C: Allen (2015).

A ocorrência de descontinuidades na Formação Gramame promove a circulação das águas, a dissolução e o alargamento das fraturas, sobretudo em sua

porção superior, cujos reflexos são expostos a partir da formação de depressões por meio da subsidência lenta da cobertura superficial areno-argilosa (Formação Barreiras).

Desse modo, a visão tida nesses afloramentos reproduz claramente processos que tem ocorrido em regiões onde o calcário se encontra soterrado, atestando sua influência na formação das depressões analisadas.

Ao considerar a existência de um ciclo cárstico Pré-Barreiras, Andrade (1955) cogita a ocorrência de uma região carstificada exposta, já em estágio avançado de maturidade, antes da pedimentação regional da Formação Barreiras. Segundo o mesmo a concentração de drenagens acabou culminando em depressões escavadas no calcário, formando grandes bacias resultantes do colapso de áreas solapadas por dissolução subterrânea (uvalas), deixando feições residuais na região de Itamaracá, onde estabelecem-se bacias que concentram a drenagem, alagáveis no inverno, localizadas nas imediações do Engenho São João. Tal proposição indica que as feições relatadas neste estudo fazem parte do atual clico evolutivo de um único carste, desenvolvido desde o momento em que os calcários da Formação Gramame encontravam-se expostos até o presente. Os calcários atualmente soterrados, apresentam um ambiente de circulação subterrânea indicado por morfologias superficiais (depressões e dolinas) testemunhado o processo de dissolução e carstificação.

O atual estágio evolutivo do carste da Bacia da Paraíba sugere um nível de dissolução formando vazios intercristalinos (estágio 1) e/ou em descontinuidades, nos planos de estratificação (em maior escala) e nas juntas e falhas (estágio 2), conforme modelo de Klimchouck e Ford (2000).

Não se pode deixar de pontuar o clima atual como um fator importante na formação dessas feições, onde os montantes pluviométricos que atingem, em média, 1.700 mm, além das elevadas temperaturas ao longo do ano, contribuem significantemente para a carstificação. Estes fatores, em conjunto com a presença de grande volume de cobertura vegetal, contribuem com a intensificação do intemperismo químico, através da decomposição da matéria orgânica e da produção de ácidos orgânicos, tornando as águas bastante ácidas e potencializando a dissolução.

O desenvolvimento do carste em rochas siliciclásticas inquestionavelmente necessita de uma gama maior de tempo para se desenvolver, sendo mais antigo do que aqueles que se desenvolvem sobre rochas carbonáticas, o que induz a influência de climas passados na formação da atual configuração geomorfológica das feições analisadas.

Grande parte dessas depressões se encontra sob a influência de áreas urbanas, em muitos casos, totalmente ou parcialmente assoreadas, apresentando grande volume de lixo em se interior e com fortes sinais de eutrofização (Figura 61).

Fig. 61 – Dolina completamente eutrofizada. Lagoa do Buracão, bairro Cidade dos Funcionários, João Pessoa (PB).

A existência de lixo no interior dessas áreas pode provocar a aceleração do processo de carstificação, uma vez que os ácidos presentes no chorume penetram nos poros da rocha, acelerando a dissolução.

Em relação ao uso dos dados cartográficos, atestou-se que as drenagens extraídas do SRTM se mostraram bastante eficientes para esse tipo de estudo em comparação à carta 1:25.000, tendo em vista que o nível de detalhe das imagens

permitiu a identificação de drenagens centrípetas, ou seja, aquelas que se encontram relacionadas às bacias fechadas.

Esta diferença, provavelmente, advém da escala da carta e das inferências tecidas pelo interprete no momento da análise das fotografias aéreas que deram origem às cartas topográficas. Por outro lado, a imagem SRTM permite a identificação de drenagens efêmeras, ou seja, aquelas que não possuem fluxo contínuo, mas que constituem zonas de captação do escoamento superficial.

8 CONCLUSÕES

1. O levantamento sistemático referente aos atributos morfométricos das depressões permitiu identificar características, como: canais de diferentes ordens, pouca profundidade, grandes extensões, divisores sinuosos e formas elípticas, indicando uma evolução predominantemente horizontal, capaz de originar depressões compostas, fortemente influenciadas por estruturas, sendo mais pertinente defini-las como Uvalas.
2. As Dolinas, por sua vez, foram classificadas como feições simples que alcançam apenas algumas centenas de metros quadrados de extensão, não apresentam divisores e drenagem visíveis a partir de imagens orbitais, sendo possível distingui-los apenas no campo ou através por fotografias aéreas a partir de estereoscopia;
3. Os dados morfoestruturais demonstram harmonia entre os alinhamentos das depressões e os lineamentos, demonstrando que o processo de dissolução e carstificação tem ocorrido ao longo destas descontinuidades. Os dados mencionados demonstram que as depressões analisadas têm uma gênese fortemente influenciada por fatores de ordem estrutural, o que pode ser claramente perceptível através de suas formas elípticas, que se encontram bem orientadas seguindo a direção da maioria das estruturas existentes na área estudada.
4. A identificação de fraturas nos afloramentos de calcários da Formação Gramame permitiu detectar direções análogas àquelas demarcadas através da imagem de radar. Além disso, foram encontradas feições de dissolução presentes nessas áreas, comprovando a ocorrência de carstificação nesta formação.
5. As relações encontradas entre depressões superficiais e depressões soterradas, além da ocorrência de feições de dissolução na porção superior da Formação Gramame, revelam que o processo de carstificação nesta formação tem repercutido na Formação Barreiras contribuindo com a gênese das depressões;

6. A ocorrência de cavidades em sedimentos areno-argilosos indica uma contribuição da dissolução também nestas formações, possivelmente da caulinita e outros minerais suscetíveis, seguida de erosão mecânica na zona friável abaixo de níveis endurecidos (fragipãs e duripãs).
7. É provável a ocorrência de dissolução nos calcarenitos e arenitos calcíferos subjacentes da Formação Itamaracá e/ou nos sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, no entanto, esta afirmativa ainda carece de maiores investigações;

REFERÊNCIAS

Andrade, G. O. 1955. Itamaracá: contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana. UFPE: Recife, 84p.

Andrade, G. O. e Lins, R. C. 1963. Introdução à morfoclimatologia do nordeste do Brasil. Congresso Nacional de Geologia. 27. Recife, p.5-33.

Andrades-Filho, C. O.; Rossetti, D. F. 2012. Caracterização morfoestrutural da parte central emersa da Bacia Paraíba (PB). São Paulo, UNESP, Geociências, v.31, n.1, p.13-29.

Allen, C. D. 2015. Karst Landscapes. Disponível em: <http://clasfaculty.ucdenver.edu/callen/1202/Landscapes/KarCoast/KarCoast.html>. Acesso em: 21jan2015.

Arai, M. 2006. A grande evolução eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. Revista do Instituto de Geociências da USP, v.6, n.2, p.1-6.

Araújo, M. E. Água e rocha na definição do sítio de Nossa Senhora das Neves, atual cidade João Pessoa – Paraíba. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo. Universidade Federal da Bahia. 297p.

Aubrecht, R.; Lánczos, T.; Gregor, M.; Schlögl, J.; Šmída, B.; Liščák, P.; Brewer-Carías, Ch.; Vlček. 2011. Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst? Geomorphology 132, 351 – 365.

Aubrecht, R.; Lánczos, T.; Gregor, M.; Schlögl, J.; Šmída, B.; Liščák, P.; Brewer-Carías, Ch.; Vlček. 2013. Reply to the Comment on “Sandstone caves on Venezuelan tepuis: Return to pseudokarst?” Geomorphology 197, 197 – 203.

Barbosa, J. A., Souza, E. M., Lima-Filho, M. F., Neumann, V. H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. Revista Estudos Geológicos, v.13, p.89-108.

Barbosa, J. A. 2007. A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. 270p.

Barbosa, J. A., Lima-Filho, M. 2005. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 3., Anais... Brasil.

Barbosa, J. A., Neumann, V. H., Lima-Filho, M., Souza, E. M., Moraes, M. A. 2007. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. Revista Estudos Geológicos, v.17(2):3-30.

Beurlen, K. 1967b. Paleontologia da faixa costeira Recife – João Pessoa. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 16, n. 1. p. 73-79.

Bezerra, F. H. R.; Rosseti, D. F.; Oliveira, R. G.; Medeiros, W. E.; Brito Neves, B. B.; Balsamo, F.; Nogueira, F. C. C.; Dantas, E. L; Andrades Filho, C.; Góes, A. M. 2014. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margino of NE Brazil. Tectonophysics, n.614, p. 78-90.

Bonacci, O. 2014. Poljes, Ponors and Their Catchments. Geomorphology, v.6, p.112-120.

Bosák, P. Problems of the origin and fossilization of karst forms. Bosák, P.; Ford, D. C.; Glazek, J.; Horácek (Editors). 1989. Paleokarst, A Systematic and Regional Review – Elsevier and Academia. Amsterdam and Praha, p.577-598.

Brasil. 2002. Ministério de Minas e Energia. CPRM. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Recife – PE. Escala: 1:500.000.

Brito, I. M. e Campos, D. A. 1971. A bacia geológica costeira de Pernambuco – Paraíba. Instituto de Geociências da UFRJ, Boletim de Geologia, n.6, p.3-12.

Brito Neves, B. B., Albuquerque, J. P. T., Coutinho, J. M. V., Bezerra, F. H. R. 2009. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). Revista do Instituto de Geociências. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v.9, n.2, p.63-87.

Brito Neves, B. B.; Riccomini, C.; Fernandes, T. M. G.; Sant'Anna, L. G. 2004. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado proterozóico. Revista Brasileira de Geociências, n.34, v.1, p. 127-134.

Busche, D., Sponholz, B. 1992. Morphological and micromorphological aspects of the sandstone karst of eastern Niger. Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd. 85, p. 1-18.

Ćalić, J. 2011. Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term. Geomorphology 134: 32-42.

Carlson, E. H. 1992. Reactivated interstratal karst – example from the Late Silurian rocks of western Lake Erie (U.S.A). Sedimentary Geology, 76, p. 273-283.

Carvalho, M. G. R. F. 1982. Estado da Paraíba: classificação geomorfológica. João Pessoa: UFPB/FUNAPE. 72p.

Christofoletti, A. 1980. Geomorfologia. Edgard Blucher, São Paulo, 188p.

Eberhard, R.; Sharples, C. 2013. Appropriate terminology for karst-like phenomena: the problem with pseudokarst. International Journal of Speleology. 42 (2), 109 – 113.

Filizola, H. F., Lamotte, M., Fritsch, E. Boulet, R., Araújo Filho, J. C., SILVA, F. B. R., LEPRUN, J. C. 2001. Os fragipãs e duripãs das depressões dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro: uma proposta de evolução. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n.4, p.947-963.

Filizola, H. F., Boulet, R. 1996. Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentar substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. Geomorphology 16, p. 77-86.

Ford, D. C. 1995. Paleokarst as a target for modern karstification. Carbonates and Evaporites, v. 10, n. 2, p. 138-147. Ford, D. & Williams, P. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 578p.

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

Furrier, M. 2007. Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000. 213p. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo.

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

Gillijns, K., Poesen, J., Deckers, J. 2005. On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe – a case study from central Belgium. Catena 60, p. 43-58.

Girão, O., Corrêa, A. C. B., Guerra, A. J. T. 2006. Influência da Climatologia Rítmica sobre áreas de risco: o caso da região metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. Revista de Geografia (Recife), v.23, n.1, p.3-41.

Google Earth. Disponível em: http://mapas.google.com. Consulta realizada em: 25jan2015.

Gracia, F. J., Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. 2003. The Jiloca karst poljé-tectonic graben (Iberian Range, NE Spain). Geomorphology 52, p. 215-231.

Guerrero, J.; Gutiérrez, F.; Galve, J. P. 2013. Large depressions, thickened terraces, and gravitational deformation in the Ebro River valley (Zaragoza área, NE Spain): Evidence of glauberite and halite interestratal karstification. Geomorphology 196, p.162-176.

Gunok, E. 2011. Study of the effects of amphitheatre formations on the natural and human components in the Sorgun stream reservoir by using Geographical Information Systems. Procedia Social and Behavioral Sciences 19, p.637-640.

Hardt, R. 2011. Da carstificação em arenitos: aproximação com o suporte de geotecnologias. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 228p.

Halliday, W. R. 2007. Pseudokarst in the 21st century. Journal of Cave and Karst Studies, v.69, n.1, p.103-113.

Jennings, J. N. 1966. Solution doline and subjacente karst doline. Australian Geographer, v.10, n.2, p.132-133.

Jennings, J. N. 1983. Sandstone Pseudokarst or Karst? In: R. W. Young and G.C. Nanson (Editors), Aspects of Australian Sandstone Landscapes. Australian and New Zealand Geomorphology Group Spec. Publ., 1, Univ. Wollongong, Wollongong, p.21-30.

Karmann, I., 2008. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, T. R., Taioli, F. (eds), Decifrando a Terra. Editora Nacional, São Paulo, cap. 7:113-127.

Kegel, W. 1955. Geologia do fosfato de Pernambuco. Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral, São Paulo: IBGE, p.9-54.

Klimchouk, A. e Ford, D. Types of karst and evolution of hydrogeologic setting. In: Klimchouk, A. et al., 2000. Speleogenesis: evolution e karst aquifers. Nat. Speleological Society. n.8, p. 45-53.

Kranjc, A. 2013. Classification of closed depressions in carbonate karst. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), Treatise Geomorphology Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology, p. 104-111.

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

Mabesoone, J. M. 1967. Sedimentologia da faixa costeira Recife – João Pessoa. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. v.16, n.1, p.57-73.

Mabesoone, J. M., Silva, A. C. e Beurlen, K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geociências, v.2, p. 173-187.

Mabesoone, J. M. e Rolim, J. L. 1982. Problemas estratigráficos e sedimentológicos do cenozóico nordestino. Estudos Pesquisas, UFPE – Departamento de Geologia, 5, p.7-18.

Mabesoone, J. M.; Alheiros, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. Revista Brasileira de Geociências. 18(4):476-482.

Mabesoone, J. M. 1996. Bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte. Anais... Boletim do Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. 7., p.81-84.

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

Martini, J. E. J. 1979. Karst in black reef quartzite near Kaapsehoop, Eastern Transvaal. Ann. S. Afr. Geol. Surv., 13, p.115-128.

Maurity, C.; Kotschoubey, B. 2001. Pseudokarst features in the lateritic cover of Serra dos Carajás – Pará State, Brazil. In: Anais… International Congress of Speleology, 13., Speleological Congress of Latin América and Caribbean, 4., Brazilian Congress of Speleology, 26. Brasília, DF.

Melo, M. S.; Giannini, P. C. F. 2007. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms, n.32, p. 2149-2164.

Melo, A. S. T., Heckendorff, W. D., Alves, E. L., Guimarães, M. M. M. 2001. O meio ambiente natural: componentes abióticos e bióticos. In: Melo, A. S. T. et al., (Org.). Projeto de Pesquisa: Vale do Jaguaribe, João Pessoa: Ed. UNIPÊ.

Nimer, E. 1979. Pluviometria e Recursos Hídricos de Pernambuco e da Paraíba. Rio de Janeiro: IBGE.

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

Piló, L. B., 2000. Geomorfologia Cárstica. Revista Brasileira de Geomorfologia, 1:88-102.

Reis Filho, N. G. 2000. Imagens de vilas e cidades do Brasil colonial. São Paulo: FUPAM. CD-ROM.

Rose, M. D.; Frederico, A.; Parise, M. 2004. Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment. Natural Hazards and Earth System Sciences 4, p.747-755.

Sallun Filho, W., Karmann, I. 2007. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). Rev. Brasileira de Geociências, 37:551-564.

Sauro, U. 2012. Closed Depressions in Karst Areas. Encyclopedia of Caves, p. 140-155.

Sauro, F.; Piccini, L.; Mecchia, M.; Waele, J. 2013. Comment on “Sandsatone 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 197, 190-196.

Sponholz, B. 1994. Silicate karst associated with lateritic formations (examples from eastern Niger). Catena, n.21, p.269-278.

Soriano, M. A.; Simón, J. L. 1995. Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. Geomorphology, n. 11, p. 295-309.

Stafford, K. W.; Shaw-Faulkner, M. G.; Brown, W. A. 2013. Clastic sinkhole and pseudokarst development in east Texas. In: Anais… Sinkdole Conference, 13., Texas, Eua.

Twidale, C. R. 1987. Sinkholes (Dolines) in lateritised sediments, western sturt plateau, northern territory, Austrália. Geomorphology, n.1, p.33-52.

Uagoda, R.; Coelho-Neto, A. L.; Avelar, A. S. 2009. Morfologia de depressões fechadas em domínio cárstico-quartzítico na bacia do Ribeirão Santana/MG: datações absolutas iniciais. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.10, n.2, p.91-98.

UIS. 2002. A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special to Environmental Karst Hydrology. EPA: Washington, DC., Speleogenesis Glossary includes 2699 cave & karst terms.

Valeriano, M., Albuquerque, P. C. G. 2010. TOPODATA: Processamento dos dados SRTM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42>. Acesso em: 18fev2014.

White, W. B. 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York, Oxford University Press, 464p.

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

Wray. R. A. L. 1997. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. Earth Science Reviews, n.42, p.137-160.

Xavier, R. A., Coelho-Netto, A. L. 2008. Ocorrência de depressões fechadas em divisores de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul. Geografias, 04(1):61-68.

ANEXO

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-	-	Costinha	294855	9229496	6	0	-	55	98	120

	SIAGAS										
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	Construpoços	Mineral Plantina	278258	9209018	73	0	-	-	6	72
37	Brito Neves et al., 2009	Construpoços	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	291845	9212313	53	-	0	30	72	210
41	Brito Neves et al., 2009	-	UNIMED	294830	9211477	45	-	0	43	73	150
42	Brito Neves et al., 2009	CAGEPA	Castelo Branco	296000	9211600	14	-	0	47	56	253
43	Brito Neves et al., 2009	CAGEPA	Altiplano	297300	9211000	8	-	0	80	135	300
44	Brito Neves et al., 2009	-	Hotel Igatu	298626	9211768	8	0	10	28	88	130
45	Brito Neves et al., 2009	CONESP	Livramento	289500	9220700	68	0	1	-	81	343
46	Construpoços	Construpoços	Res. Ticiano	297080	9222558	6	0	-	38	128	152
47	Construpoços	Construpoços	Cond. Varandas do Atl.	297701	9222438	8	0	-	40	132	152
48	Construpoços	Construpoços	Res. Mallorca	296298	9221223	10	0	-	32	90	120
49	Construpoços	Construpoços	Ind. Benef. Camarão	296317	9221825	5	0	-	28	92	112
50	Construpoços	Construpoços	Cond. Atlanta Ville	296101	9220233	5	0	-	33	90	128
51	Construpoços	Construpoços	Res. Villas Atlantico	295187	9219906	6	0	-	23	96	150
52	Construpoços	Construpoços	Jardim Michelangelo	296668	9217693	7	0	-	32	88	148
53	Construpoços	Construpoços	Rest. Golfinho	297747	9216943	10	0	-	33	90	120
54	Construpoços	Construpoços	Res. Trianom	296328	9215353	12	0	-	19	82	107
55	Construpoços	Construpoços	Palazzo Firenze	296904	9216015	13	0	-	27	88	150
56	Construpoços	Construpoços	Res. Jeová Mesquita	297035	9215886	12	0	-	30	88	120
57	Construpoços	Construpoços	Res. Atlante Plaza	298104	9213066	14	0	-	26	88	119
58	Construpoços	Construpoços	Rest. Tererê	298557	9211943	9	0	10	23	132	153
59	Construpoços	Construpoços	Alpha Village	298640	9210202	42	-	0	56	128	152
60	Construpoços	Construpoços	AMIP	292652	9212410	42	-	0	33	82	103
61	Construpoços	Construpoços	Cond. Blue Tower	297434	9212953	10	-	0	34	88	103
62	Construpoços	Construpoços	IPEP	293971	9212771	42	-	0	34	82	122
63	Construpoços	Construpoços	Res. Andrés Segovia	297624	9213730	9	0	-	29	82	109

64	CAGEPA	HIDROGESP	Mandacarú	294458	9214298	18	-	0	18	65	255
65	CAGEPA	CAGEPA	Fazenda Graça	290932	9210283	23	0	5	7,5	55	90
66	CDRM	CDRM	Praia da Penha	301288	9207560	28	0	3	58	149	205.3
67	CDRM	CDRM	Fazenda Andreza	294045	9185100	94	-	0	72	-	150
68	CDRM	CDRM	Granja Cametá	286595	9182260	86	0	3	39	45	80
69	CDRM	CDRM	Granja Mesopotâmia	282466	9189131	45	0	10	-	-	70
70	CDRM	CDRM	Caixa d'água CAGEPA	289257	9177951	66	0	3	39	-	170
71	CDRM	CDRM	Mata de Garapú II	291136	9189097	30	0	4	-	-	96
72	CDRM	CDRM	REPET-NE Reciclagem	286617	9198452	79	0	2	38	56	150
73	CDRM	CDRM	Granja Três Irmãos	288129	9182143	84	0	3	83	-	84
74	CDRM	CDRM	Santa Rosa	282578	9188848	39	0	-	-	1	38
75	CDRM	CDRM	Paripe	294142	9196548	29	0	1	50	97	129
76	CDRM	CDRM	Pousada do Conde II	287229	9198947	59	0	8	60	70	100
77	CDRM	CDRM	Sítio Paraíso-Guruji	295700	9196659	80	0	3	69	-	76
78	CDRM	CDRM	CAGEPA	300502	9194239	41	0	5	43	147	188
79	CDRM	CDRM	CBM	287044	9199069	65	0	2	33	44	78
80	CDRM	CDRM	Granja Iana	291148	9200837	22	0	2	5	-	11
81	CDRM	CDRM	Mituassu I	294005	9199958	41	-	0	37	-	76
82	CDRM	CDRM	Guruji	295832	9195879	77	0	3	60	145	194
83	CDRM	CDRM	Parque da Criança II	287847	9197843	17	0	5	-	-	8.5
84	CDRM	CDRM	Complexo Maçônico	293848	9231573	7	0	-	11	53	85
85	CDRM	CDRM	Tabapara	285872	9237286	39	-	0	-	-	78
86	CDRM	CDRM	CAGEPA	294486	9230265	6	-	0	40	86	160
87	CDRM	CDRM	Estivas de Geraldo	280322	9235543	24	-	0	47	72	99
88	CDRM	CDRM	Sítio Vieira	291049	9233345	20	0	1	107	176	211

89	CDRM	CDRM	Marcos João Jardim	291286	9234881	8	0	8	31	-	66
90	CDRM	CDRM	Santuário da Guia	292375	9231198	50	0	3	56	98	131
91	CDRM	CDRM	Faz. Santa Rita	279899	9197419	44	0	2	59	-	72
92	CDRM	CDRM	Faz. Santa Rita II	278524	9197351	61	0	9	45	-	50
93	CDRM	CDRM	Lerolândia	280293	9227861	62	-	0	-	70	102
94	CDRM	CDRM	CIEF-CODEF	295454	9213452	44	0	1	54	100	114
95	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco II	298134	9211066	40	0	1	50	-	61
96	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco III	298127	9212909	9	0	1	52	-	60
97	CDRM	CDRM	Altiplano Cabo Branco I	298195	9211097	40	0	1	56	-	63
98	CDRM	CDRM	Praia da Penha	301309	9207545	28	0	3	54	147	205
99	CDRM	CDRM	Cabo Branco Res. Privê	300630	9208526	34	0	2	59	153	160
100	CDRM	CDRM	FEBEMAA	297992	9208147	39	0	4	62	-	64
101	CDRM	CDRM	CIAD	296312	9212678	39	0	2	44	99	138
102	CDRM	CDRM	ENERGISA	292841	9207143	49	-	0	43	94	150
103	CDRM	CDRM	Hosp. Padre Zé	293215	9213136	40	-	0	24	77	107
104	CDRM	CDRM	Hospital e Pronto Socorro	296499	9213057	30	0	1	36	91	120
105	Construpoços	Construpoços	Cond. Igr. S. Júlia.	294439	9212476	48	-	0	36	63	100
106	Construpoços	Construpoços	Rest. Saboreli	295331	9212387	43	-	0	42	72	72
107	Construpoços	Construpoços	Sem nome	295607	9212480	46	-	0	43	-	50
108	Construpoços	Construpoços	Pousada do Conde	287298	9199160	54	-	0	46	62	150
109	CAGEPA	HIDROTEC	Sem nome	292849	9237068	5	-	0	30	86	160
110	CAGEPA	HIDROTEC	Sem nome	300469	9173501	7	-	0	30	110	170
111	CAGEPA	-	Caixa d'água Cristo	293129	9208668	49	-	0	42	87	350
112	CAGEPA	-	Reservatório Castelo Branco	296068	9211221	36	-	0	47	114	246
113	CAGEPA	-	Mata Redonda	285327	9185942	47	-	0	-	37	100

114	AESA	ATM	Fazenda Santa Terezinha	287842	9178910	68	0	4	-	82	95
115	AESA	ATM	Cond. Holanda Sun Place	297662	9212438	17	-	0	35	-	35
116	AESA	HIDROTEC	Res. Alphaville	287868	9208874	55		0	50	100	200
117	AESA	Construpoços	Príinc. Borgonha	297599	9213488	10	0	-	28	92	120
118	AESA	ATM	TEXPAR	280354	9210089	75	-	0	-	97	100
119	AESA	João Batista	Auto Posto Ronaldão	293566	9206976	47	-	0	40	-	60
120	AESA	Construpoços	Condomínio Príncipe de Veneza	297960	9213726	8	-	0	29	81	115
121	AESA	ATM	Posto Cabo Branco	294207	9207726	45	-	0	50	-	52
122	AESA	Construpoços	Cond. Res. Tour's Geneve	298185	9211331	41	0	-	49	114	120
123	AESA	HIDROTEC	Conj. Habitacional Cizone Acioly	287731	9206323	55	-	0	60	80	150
124	AESA	ATM	Alpargatas S.A.	289567	9206146	39	0	4	-	96	98
125	AESA	-	Shopping Mangabeira	297815	9207817	41	0	5	43	120	213
126	AESA	ATM	ACQUAFIBER	289042	9205591	38	-	0	-	117	137
127	AESA	ATM	MABINOR	287116	9197988	78	-	0	-	-	65
128	AESA	Arcoverde	Sem nome	297330	9216363	10	0	3	26	-	42
129	AESA	HIDROTEC	Hotel Mauro Miranda	298557	9211833	9	-	0	18	-	19
130	AESA	HIDROTEC	Cond. Vista Verde II	287747	9206194	54	-	0	60	72	120
131	AESA	HIDROTEC	Cond. Vista Verde I	287793	9206296	53	-	0	60	72	120
132	AESA	ATM	Cond. Res. Alta Vista	298198	9211005	40	-	0	42	-	42
133	AESA	ATM	Cond. Res. Luna Plaza	296871	9212862	37	-	0	45	-	45
134	AESA	ATM	Cond. Res. Almanara	298026	9211201	42	-	0	45	-	45
135	CPRM		INOCOP	291980	9212000	57	0	12	48	108	201
136	CPRM		RESINOR	292100	9212200	48	0	-	-	36	100

137	CPRM		Conj. Valentina Figueiredo	292000	9212000	57	-	0	35	97	250
138	CPRM		Conj. Paratibe	292040	9212000	55	0	3	36	89	201
139	CPRM		Alto do Mateus	292020	9212000	56	-	0	-	26	300
140	CPRM		Conj. Vieira Diniz	288944	9206534	43	0	3	-	63	322
141	CPRM		Conj. Mangabeira	296687	9206824	42	-	0	44	113	310
142	CPRM		Mangabeira II	296460	9205720	43	0	7	60	107	152
143	CPRM		Alhandra (SEDE) I	288468	9176965	9	-	0	-	-	36
144	CPRM		Alhandra (SEDE) II	288468	9176934	8	-	0	-	-	107
145	CPRM		Fazenda Alhandra	288772	9177174	24	-	0	-	100	244
146	CPRM		PZ-01-IIA	288900	9190800	90	-	-	-	0	240
147	CPRM		SUDENE/19/PB	287000	9212000	14	0	3	20	79	252
148	CPRM		SUDENE/02/14/PB	287100	9212100	14	0	3	-	-	65
149	CPRM		SUDENE/02/04/PB	287020	9212000	12	-	0	-	33	47,5
150	CPRM		SUDENE 5.1/21/PB	288040	9212020	15	0	8	-	23	170
151	CPRM		SUDENE 5.5/02/PB	288000	9212000	15	-	0	-	82	312
152	CPRM		SUDENE 5.5/01/PB	288020	9212000	15	0	6	-	48	282
153	CPRM		SUDENE 09/33/PB	286600	9212000	14	-	0	-	42	206
154	CPRM		SUDENE 09/32/PB	286600	9212100	15	0	-	-	6	224
155	CPRM		Caxitú	288962	9200612	95	-	0	51	81	112
156	CPRM		Jacumã	300757	9194186	25	-	0	63	135	150
157	CPRM		Alto Conde	289500	9196700	120	0	3	9	48	162
158	CPRM			281400	9211500	54	0	3	-	42	275
159	AESA	Arcoverde	-	286261	9197858	92	-	0	27	67	99
160	AESA	HIDROTEC	Distrito Industrial	288131	9204727	43	0	3	-	50	123
161	AESA	ATM	Altiplano - LIÉGE	297892	9211483	39	-	0	60	-	60
162	AESA	Construpoços	Loteamento Novo Bairro	281011	9207087	71	-	0	-	87	152
163	AESA	ATM	Altiplano - Palazzo	298016	9211210	42	-	0	42	-	42

164	AESA	ATM	Miramar - Cond. Mozart	297692	9212432	14	-	0	20	60	102
165	AESA	Arcoverde	-	298178	9212947	10	0	5	28	88	120
166	AESA	Arcoverde	-	298800	9210961	10	0	5	28	88	110
167	AESA	ATM	Alpargatas	280445	9210139	73	-	0	-	88	96
168	AESA	ECOMAX	Bosque das Gameleiras	299021	9208661	39	0	6	-	58	160
169	AESA	-	Ind. VALTEX	282893	9211056	64	-	0	-	82	100
170	AESA	-	Ind. VALTEX	283043	9211115	62	-	0	-	84	100
171	AESA	-	-	289546	9206462	42	0	4	-	-	72
172	AESA	Magno	Mecânica Rio	288702	9204686	39	-	0	30	40	40
173	AESA	Construpoços	Res. Tour's Geneve	285975	9206469	60	0	3	-	70	100
174	AESA	Arcoverde	-	294346	9203009	50	0	5	43	88	110
175	CDRM	-	Mituassú II	294005	9199958	-	-	0	16	85	128
176	CDRM	-	Sede - SAELPA	292841	9207143	-	-	0	43	94	150