



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**JEFFERSON RÉGIS DANTAS DO NASCIMENTO**

**PROSPECÇÃO ESPELEOLOGICA DE DOLINAS E CAVERNAS E SEUS  
CONTROLES ESTRUTURAIIS NA ÁREA 3D BOA ESPERANÇA – MUNICÍPIO DE  
FELIPE GUERRA, RN.**

**FORTALEZA**

**2010**

JEFFERSON RÉGIS DANTAS DO NASCIMENTO

PROSPECÇÃO ESPELEOLOGICA DE DOLINAS E CAVERNAS E SEUS CONTROLES  
ESTRUTURAIIS NA ÁREA 3D BOA ESPERANÇA – MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA,  
RN.

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geologia, da  
Faculdade de Geologia da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Mestre em Geologia.  
Área de concentração: Geodinâmica e  
Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira  
Veríssimo

FORTALEZA

2010

JEFFERSON RÉGIS DANTAS DO NASCIMENTO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

N195p

Nascimento, Jefferson Régis Dantas do.

Prospecção espeleológica de dolinas e cavernas e seus controles estruturais na área 3D Boa Esperança – município de Felipe Guerra, RN / Jefferson Régis Dantas do Nascimento. – 2010.  
109 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2010.

Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.

1. Calcário. 2. Espeleologia. 3. Cavernas. I. Título.

---

CDD 551

PROSPECÇÃO ESPELEOLOGICA DE DOLINAS E CAVERNAS E SEUS CONTROLES  
ESTRUTURAIIS NA ÁREA 3D BOA ESPERANÇA – MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA,  
RN.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovado em: 21 / 09 / 2010.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Iramaia Furtado Braga  
Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM)

---

Prof. Dr. José de Araujo Nogueira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu orientador César Ulisses  
Vieira Veríssimo, pela paciência,  
amizade e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em geologia da Universidade Federal do Ceará.

A Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Geologia pelo apóio prestado.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os professores que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos amigos do mestrado e graduação, em especial aos amigos Elenilsa Gomes, Bruno, Jefferson Lima, Cleilson, Bento, Vanusa e Igor Magalhães pela ajuda nos trabalhos de campo e laboratório.

Ao profissional Cleilson com suas técnicas em rapel, pelos serviços prestados.

A minha família e namorada pelo apoio e compreensão.

A Deus e Nossa Senhora de Fátima, pela conquista de mais uma vitória.

“Tudo tem seu tempo determinado e a tempo  
para todo o propósito de baixo do céu”.  
(Eclesiastes 3 – 1)

## RESUMO

O trabalho que constituiu esta Dissertação de Mestrado foi focado no estudo estrutural e espeleológico de rochas carbonáticas (calcários) da Formação Jandaíra, na Bacia Potiguar. Foram realizados mapeamento em área pré-definida com o intuito de localizar e identificar cavidades naturais e estruturas tectônicas, por fim, feita a espeleometria das cavernas descobertas. O levantamento se concentrou nas proximidades do município de Felipe Guerra em uma área de 22,4 km<sup>2</sup>, composta por quatro lajedos. Os estudos tiveram início com a escolha da área, onde foi realizada a prospecção espeleológica ao longo de seções espaçadas em média de 100 m, seguindo as linhas sísmicas da Petrobrás. Nesta fase identificou-se 12 cavernas com desenvolvimento linear variado. Em uma segunda etapa foi realizado o levantamento estatístico na superfície dos lajedos, com o auxílio de GPS geodésico, trena e bússola, dos parâmetros: tamanho, largura, profundidade e atitude das fraturas. Na terceira e última etapa de campo foram realizadas a espeleometria de 10 das 12 cavidades identificadas. Com as três etapas de campo finalizadas os dados obtidos foram interpretados e cruzados, gerando um produto final com resultados que mostraram que as estruturas (fraturas e juntas) presentes na superfície dos lajedos possuem direções preferências N – S, NE – SW e NW – SE, as quais coincidem com as estruturas regionais e influenciam na formação da maioria das cavernas estudadas. A Dolina dos Ossos a maior e mais representativa das 12 cavidades revela o forte controle tectônico impresso nas rochas carbonáticas da Formação Jandaíra. A impressão revelada através das estruturas nas rochas carbonáticas da Formação Jandaíra nos mostra o forte controle tectônico atuante em épocas pretéritas e atuais intensificadas pela ação da água através das fraturas promovendo a dissolução do carste.

**Palavra-Chave:** Espeleologia, Carst, Formação Jandaíra, Bacia Potiguar e estruturas tectônicas.



## **ABSTRACT**

The work of this dissertation was focused on the structural study of cave exploration and carbonate rocks (limestone) from Jandaira Formation in Potiguar Basin. Mapping were performed on pre-defined area in order to locate and identify natural cavities and tectonic structures, finally, made espeleometria cave discoveries. The study focused near the town of Felipe Guerra in an area of 22.4 km<sup>2</sup>, composed of four flagstones. The studies began with the choice of the area where the exploration was performed Speleological along sections spaced on average 100 m, following the seismic lines of Petrobrás. At this stage it was identified 12 caves with linear development varied. In a second step we performed the statistical survey on the surface of flagstones with the aid of GPS geodetic, measuring tape and compass of the parameters: size, width, depth and attitude of fractures and joints. In the third and last stage of the field were carried out espeleometria 10 of 12 cavities identified. With three stages of the field completed the data were interpreted and cross, creating a final product with results that showed that the structures (fractures and joints) on the surface of the flagstones have preferences directions N - S, NE - SW and NW - SE , which coincide with the regional structures and influencing the formation of most caves studied. The Dolina dos Ossos the largest and most representative of the 12 cavities shows the strong tectonic control printed in carbonate rocks of Jandaíra Formation. The printout revealed by structures in carbonate rocks of Jandaíra Formation shows the strong tectonic control active in times past and current intensified by the action of water through fractures promoting the dissolution of karst.

**Keywords:** Speleology, Karst, Jandaira Formation, Potiguar Basin, Tectonic Structures

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização da área .....	16
Figura 02 - Mapa de precipitação do estado do Rio Grande do Norte.....	20
Figura 03 - Vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila .....	21
Figura 04 - Mapa das unidades Morfoestruturais. ....	22
Figura 05 - Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte. ....	24
Figura 06 – Mapa de localização da Bacia Potiguar. ....	25
Figura 07 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar – RN. ....	26
Figura 08 - Separação da placa Sul-Americana da placa Africana.....	27
Figura 09 - Evolução tectôno-sedimentar de margem continental “rifteamento”.....	29
Figura 10 - Coluna Litoestratigráfica da Bacia Potiguar.....	35
Figura 11 – Campo de lapiás representativo do modelo esquemático do exocarste.....	40
Figura 12 – Modelo esquemático do exocarste e suas divisões em zonas de recepção .....	41
Figura 13 Alvéolos de dissolução ou lapiás alveolar em estado avançado.....	42
Figura 14 Alvéolos de dissolução.....	42
Figura 15 – Bacia de dissolução desenvolvida sobre fácies Pisolítica.....	43
Figura 16 – Dolinamento com dimensões aproximadas de 30 m de diâmetro.....	43
Figura 17 - Perfil esquemático de feições endocarsticas.....	44
Figura 18 – Mapa de localização das cavidades naturais.....	45
Figura 19 – Mapa de localização das cavidades no lajedo - área 2.....	47
Figura 20 - Desenvolvimento ao longo da fratura de direção 130 Az. ....	48
Figura 21 - Vista da entrada da gruta.....	48
Figura 22 e 23 - Conduto com aproximadamente 40 cm de diâmetro. Espeleotemas do tipo couve-flor no teto.....	48
Figura 24 – Mapa de localização da dolina dos Ossos no lajedo 3, e sua área de influência. ....	49
Figura 25 – Vista de dentro para fora do salão um, com altura média de 8 m.....	50
Figura 26 – Detalhe de acesso a dolina dos Ossos, através de fratura... ..	50
Figura 27 – Espeleotemas do tipo estalactites com cerca de 60 cm de comprimento.....	50

Figura 28 – Estalactite na parte superior esquerda e escorrimento no lado direito.....	51
Figura 29 – Represa de travertino preenchida por sedimentos. ....	51
Figura 30 – Estalactites desenvolvidas ao longo de fratura de direção 48° Az.....	51
Figura 31 – Vista de dentro para fora do segundo salão. ....	52
Figura 32 – Vista de fora para dentro do segundo salão,.....	52
Figura 33 – Estalactites desenvolvidas no teto do segundo salão por gotejamento.....	52
Figura 34 – Micro-cortinas formadas por escorrimento no teto. ....	52
Figura 35 – Escorrimento formando cortinas e estalactite no interior do salão dois. ....	53
Figura 36 - Estalactite na forma de lustre situado no teto do salão dois.....	53
Figura 37 – Mapa de localização das cavidades naturais no lajedado 4, com suas respectivas áreas de influência. ....	54
Figura 38 – Conduto de acesso com estalactites no teto.....	55
Figura 39 – Controle estrutural promovendo o escorrimento e gotejamento em vários pontos, formando estalactites. Fratura com direção 10° Az e níveis de dissolução horizontais. ....	55
Figura 40 – Galeria com abertura de acesso a fenda.....	56
Figura 41 – Formação de Cortinas por escorrimento no teto de inclinação.....	56
Figura 42 e 43 – Vista da entrada semi-circular da caverna, onde também podem ser observado alguns níveis de dissolução. ....	56
Figura 44 – Salão da caverna com grande quantidade de guano acumulada no piso. ....	57
Figura 45 – Leitura da distância entre as estações. ....	57
Figura 46 – Vista do abrigo ao fundo da figura. ....	57
Figura 47 – Entrada do abrigo com descida vertical de 5,9 m. ....	57
Figura 48 – Equipe topográfica coletando medidas de diâmetro e direção no interior do abrigo. ....	58
Figura 49 – Pequeno desenvolvimento formado por conduto com 3 m de extensão.....	58
Figura 50 – Desenvolvimento vertical de acesso a gruta,.....	58
Figura 51 – Vista de dentro para fora da entrada da gruta que tem formato circular. ....	58
Figura 52 – Deslocamento horizontal e desmoronamento do teto. ....	59
Figura 53 – Estalactites com tamanhos variados alinhadas e ao fundo desabamento do teto.....	59

Figura 54 - Vista de entrada do poço (forma semi-circular) e descida por meio de técnica de rapel.....	59
Figura 55 – Vista de dentro para fora do poço.....	59
Figura 56 – Vista da clarabóia de acesso do nível 2 para o nível 1. ....	60
Figura 57 – União de estalactite com estalagmite formando coluna .....	60
Figura 58 – entrada da caverna com descida vertical de 4 m.....	60
Figura 59 – Salão principal da caverna (nível 2). ....	60
Figura 60 – Nível 1 da caverna com espeleotemas (estalactites).....	61
Figura 61 – Espeleotemas na forma de cortinas de tamanho métrico.....	61
Figura 62 – Teto repleto de estalactites com aproximadamente 20 cm comprimento. ....	61
Figura 63 - Fauna cavernícola representada por Troglófilo da espécie escorpionídeo.....	61
Figura 64 – Entrada da caverna das Folhas.....	62
Figura 65 - Estalagmite .....	62
Figura 66 e 67 – Canudos de estalactites tubulares na figura da direita e estalactites cônicas na figura da esquerda de tamanhos variando de 5 a 50 cm, formadas por gotejamento. ....	62
Figura 68 – Diagrama de roseta representando a direção de 180 medidas de fraturas – área 2. ....	64
Figura 69 – Histograma de orientação das fraturas – área 2.....	64
Figura 70 – Mapa de localização das cavernas com diagrama de roseta – área 2. ....	65
Figura 71 – Diagrama de roseta representando a direção de 22 medidas de fraturas – área 3. ...	66
Figura 72 – Histograma de orientação das fraturas – área 3.....	66
Figura 73 – Figura mostra as estruturas (fraturas) no lajedo 3 .....	67
Figura 74 - Diagrama de roseta representando a direção de 44 fraturas – área 4. ....	68
Figura 75 – Histograma de orientação espacial das fraturas – área 4. ....	68
Figura 76 - Mapa de localização das cavernas e setores estruturais – área 4.....	69
Figura 77 e 78 – Juntas tectônicas, mais especificamente juntas ortogonais, com forma tabular dispostas em uma área de cerca de 30 m (Coord.652397/9389849).....	70
Figura 79 – Juntas muito persistentes J1 e juntas persistentes J2, tendo essa última início e término em juntas contínuas J1. (Coord.652431/9389848) .....	71
Figura 80 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 2.....	72
Figura 81 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 3.....	72

Figura 82 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 4.....	73
Figura 83 - Lama carbonática exposta a ambiente subaéreo.....	73
Figura 84 e 85 – Deslocamento da superfície ocorrida pela dissolução paralela junto ao plano S0.....	74
Figura 86 e 87 - Juntas estilolíticas dispostas paralela ao acamamento.....	75
Figura 88 - Juntas orientadas N-S preenchida com calcita. (Coord.652474/9389893).....	76
Figura 89 – Fratura alargada por dissolução com direção NW-SE, 8 m de comprimento, 45 cm de largura e 1 m de profundidade. (Coord. 652470/9389778)......	76
Figura 90 – Fraturas interligadas de direção NW-SE.(Coord. 652406/9389791).....	76
Figura 91 - Classificação de Folk (1959,1962). (Modificado de DORADO,1989).....	78
Figura 92 – Classificação de Dunham (1962). (Modificado de DORADO, 1989).....	78
Figura 93 – Coluna estratigráfica – caverna Teto Baixo.....	81
Figura 94 – Lâmina JR 1A - N// e Nx, Objetiva 10X, detalhe do foraminífero recortado por um veio de calcita indicando um processo posterior.....	81
Figura 95 – Lâmina JR 1B -N// e Nx, Objetiva 4x, microfosséis- foraminíferos.....	81
Figura 96 – Lâmina JR 1B - N// e Nx, Objetiva 4x algas.....	82
Figura 97 – Lâmina JR 1B - N// e Nx Objetiva 10x Pellets com processo de limonitização.....	82
Figura 98 – Lâmina JR 1C - N// e Nx, Objetiva 4x, aspecto dos microfosséis- foraminíferos e algas.....	82
Figura 99 – Lâmina JR 1D - : N// e Nx, Objetiva 10x, rocha com matriz fina em processo de calcificação com ausência de microfosséis.....	83
Figura 100 - Lâmina JR 1D - N// e Nx, Objteiva 10X.....	83
Figura 101 -Detalhe do sistema de segurança e fixação dos equipamentos.....	84
Figura 102 -Detalhe do sistema de segurança e fixação dos equipamentos.....	84
Figura 103 - Ilustração em planta dos métodos da continuidade e da descontinuidade.....	86
Figura 104 - Ilustração dos métodos de cálculo da extensão de uma cavidade natural.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas UTM da área pesquisada. ....	16
Tabela 2 – Tabela de localização das nove cavidades naturais com seus respectivos nomes.....	55
Tabela 3 – Grau de precisão para a linha central da topografia .....	85
Tabela 4 – Classe de precisão para o detalhamento das galerias .....	86

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 Justificativa e relevância do trabalho .....	15
1.2 Localização .....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivos gerais .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 Metodologia de trabalho.....	17
1.4.1 Descrição da metodologia científica .....	17
1.4.2 Descrição da metodologia de campo:.....	17
1.4.3 Descrição da metodologia laboratorial e de escritório: .....	18
1.5 Aspectos sócio-econômicos.....	19
<b>2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</b> .....	20
2.1 Clima .....	20
2.2 Vegetação .....	21
2.3 Solo.....	21
2.4 Geomorfologia.....	22
2.5 Recursos hídricos.....	23
<b>3 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	24
3.1 Localização da Bacia Potiguar .....	25
3.2 Arcabouço estrutural .....	26
3.3 Evolução tectono-sedimentar das bacias do nordeste .....	26
3.4 Evolução tectônica da Bacia Potiguar .....	28
<b>4 RELEVO CÁRSTICO</b> .....	36
4.1 Feições cársticas .....	37
4.1.1 Feições Cársticas Locais.....	38
4.2 Exocarste .....	40
4.2.1 Lapiás .....	41
4.3 Endocarste .....	43
4.3.1 Cavidades Naturais Subterrânea.....	45
4.3.1.1 Caverna.....	47
<b>5 GEOLOGIA ESTRUTURAL</b> .....	63
5.1 Introdução.....	63
5.2 Gênese das discontinuidades .....	69

5.3 Juntas tectônicas .....	70
5.4 Juntas não tectônicas .....	73
5.5 Condicionamento estrutural.....	74
<b>6 PETROGRAFIA.....</b>	<b>77</b>
<b>7 PROSPECÇÃO ESPELEOMÉTRICA.....</b>	<b>84</b>
7.1 Topografia .....	85
<b>8 CONCLUSÕES.....</b>	<b>91</b>
<u><b>REFERÊNCIAS .....</b></u>	<u><b>93</b></u>



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Justificativa e relevância do trabalho**

Com o intuito de melhor estudar a geologia de uma área de 22,4 Km situada no município de Felipe Guerra, Estado do Rio Grande do Norte, e de colaborar através de informações e dados para a caracterização geológica das litologias encontradas na área de estudo, é que foi desenvolvida esta Dissertação de Mestrado, que traduz os resultados deste levantamento que inclui fases de campo e de laboratório.

A Bacia Potiguar em especial a Chapada do Apodí se tornou uma região de interesse por parte das grandes, média e pequenas empresas do ramo de mineração, cimento, rocha ornamental e agrícola, tais como: Votorantim e Vale S.A. detentora do maior numero de requerimento no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Poti, Micronita, Chaves, Mineração Apodí, Delmonte, Agrícola Cajazeiras, etc.

Já a Petrobrás à anos atua na região da Bacia Potiguar visando a extração de óleo e gás, realizando assim pesquisas como: prospecção e levantamento geofísico através de sísmica, com o objetivo de localizar os depósitos. No levantamento sísmico são feitos furos que posteriormente são carregado com explosivos e detonados. Com a detonação são geradas ondas sísmicas que são captadas por sensores. Essa detonação pode gerar impacto nas cavidades naturais tanto no meio físico como no biótico (fauna).

Por este motivo os órgãos ambientais IBAMA e SEMAM exigem a realização do mapeamento, cadastramento, prospecção dessas áreas, como também a topografia (espeleometria) das cavernas e delimitação das áreas de influências visando a readequação dos traçados das linhas de levantamento sísmico. Esses estudos também são exigidos para as empresas que atuam na região, principalmente as de cimento, rocha ornamental, as que utilizam o calcário como corretivo do solo, etc.

## **1.2 Localização**

A área de estudo está localizada no estado do Rio Grande do Norte e inserida na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião da Chapada do Apodi, mais especificamente no município de Felipe Guerra, sendo delimitada pelos vértices, com as seguintes coordenadas.

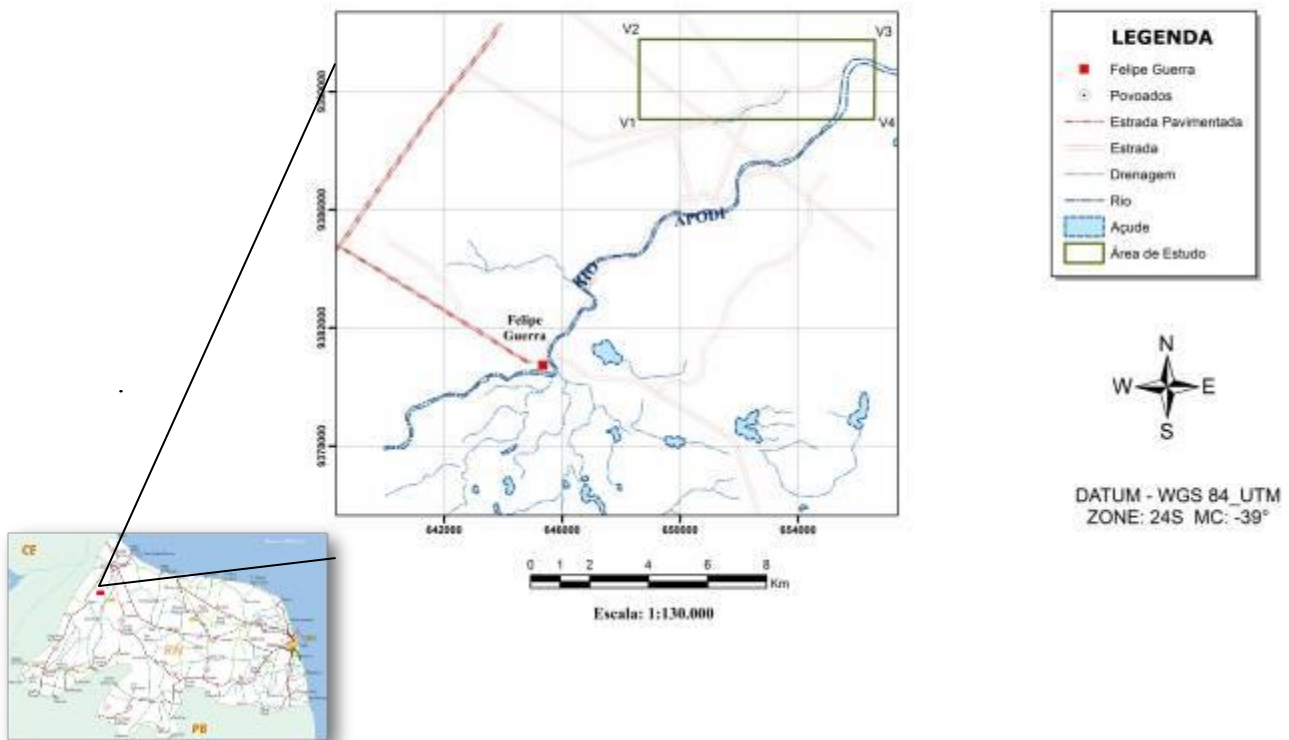
Tabela 1 – Coordenadas UTM da área pesquisada.

Vértice	UTM	
	Latitude	Longitude
1	650500	9389000
2	650500	9393100
3	655500	9393100
4	655500	9389000

Fonte: Produção do próprio autor (2010).

Figura 1- Localização da área

### MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Fonte: Produção do próprio autor (2010).

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos gerais

Esta pesquisa teve como objetivo prospectar uma área localizando as cavernas e suas áreas de influência, possibilitando assim a readequação de levantamento sísmico a ser realizado pela Petrobrás. O resultado do estudo foi posteriormente correlacionado com o

contexto geológico e estrutural da respectiva área determinando a importância das fraturas na formação das feições castiças e sua influência na gênese das cavernas.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

Analisar e levantar as estruturas rúpteis que controlam os principais cursos d'água, linhas de fraqueza e esculturação do relevo na região de 3D Boa Esperança, como também realizar a espeleometria das cavidades naturais, gerando no término do estudo os mapas topográficos(espeleométrico) e estruturais.

## **1.4 Metodologia de trabalho**

Os estudos de levantamento e caracterização das feições cársticas, foram executados obedecendo a um planejamento composto por etapas de escritório e campo, que será descrita de forma sucinta neste capítulo através das etapas e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho:

### ***1.4.1 Descrição da metodologia científica***

A primeira parte da pesquisa ocorreu por meio de bibliografias, tais como:

- a) dissertações, relatórios de graduação, teses, artigos, livros e sites. A compilação de informações existentes sobre a área objeto de estudo envolveu a obtenção de dados e mapas sobre geomorfologia, geologia e estruturação;
- b) interpretação de imagens *Quick Bird* para elaboração de mapa base de campo contendo:
  - vias de acesso e circulação (rodovias, estradas vicinais, caminhos) e infraestrutura existente na área;
  - delimitação preliminar da área de exposição de rochas calcárias (lajedos) da Formação Jandaíra (Grupo Apodi);
  - reconhecimento de traços estruturais (juntas e falhas), dolinas e outras feições cársticas superficiais (exocarste).

### ***1.4.2 Descrição da metodologia de campo:***

- a) levantamento de campo com bússola e GPS (marca: *Etrex Garmin*) segundo linhas de levantamento paralelas, espaçadas entre 50 e 100 metros, registrando fendas, dolinas e cavidades naturais. Em uma fase posterior, as fraturas foram

levantadas com GPS Geodésico na qual foram tomados pontos no início e fim das discontinuidades e foram medidas as aberturas e profundidades;

b) delimitação da área de influência das cavidades naturais penetráveis e acessíveis a partir da superfície, utilizando GPS de precisão, com antena acoplada, da marca: *Ashtech*;

c) análise geométrica e descritiva das discontinuidades (juntas, fraturas, falhas) presentes nos lajedos utilizando GPS geodésico, bússola e trena. Os parâmetros descritivos incluíram orientação espacial, persistência, abertura e profundidade;

d) levantamento topográfico (espeleometria) de dolinas e cavidades naturais utilizando: bússola SUNNTO para a medição dos ângulos horizontais; clinômetro SUNNTO para a medição dos ângulos verticais; bússola de geólogo BRUNTON, para a determinação de atitudes das camadas; trenas de PVC e a laser para a determinação das alturas do teto, estações topográficas, limite das galerias e salões.

As bases topográficas foram marcadas e posicionadas com piquetes de ferro de 25 cm de comprimento e etiqueta para possibilitar verificações e/ou correções topográficas quando necessário. As bases foram posicionadas em locais onde ocorria uma mudança significativa na morfologia da caverna ou em pontos onde eram necessários detalhamentos e/ou amarrações.

Em condutos mais amplos ou em salões utilizaram-se dois métodos topográficos principais para melhor determinar as suas dimensões: a poligonal fechada e a irradiação. Para cada base topográfica foram tomadas medidas laterais e verticais, perpendiculares às visadas, sempre com o uso da trena centimétrica, com exceção das medidas de altura acima das bases que foram tomadas com trena a laser.

e) coleta de amostras para confecção de lâminas delgadas objetivando a caracterização dos diferentes horizontes existentes no calcário Jandaíra.

#### ***1.4.3 Descrição da metodologia laboratorial e de escritório:***

a) Confecção e petrografia de lâminas delgadas que permitiam identificação dos constituintes das rochas coletadas em campo, como também a observação de aspectos texturais.

b) Tratamento dos dados topográficos coletados no trabalho de campo, em programa específico de topografia. Os resultados obtidos foram analisados e a

linha de treva resultante da topografia foi importada para programas gráficos (Compass e AutoCad 2008), sendo assim elaborados os desenhos finais dos mapas topográficos. Os mapas finais tiveram como prioridade a confecção de plantas (projeção horizontal), perfil longitudinal e/ou retificado e cortes longitudinais. Através desses mapas foram determinadas as medidas de projeção horizontal, desenvolvimento linear e de desnível total ou absoluto de cada cavidade.

Nesta etapa também integrou-se todos os dados obtidos no trabalho e outros retirados da literatura, com isso foi possível a elaboração desta dissertação que contém texto descritivo, áreas prospectadas, pontos/linhas de levantamento, principais feições cársticas existentes e sua área de influência, além de fotos e ilustrações, que visam uma melhor compreensão dos dados e resultados alcançados.

### **1.5 Aspectos sócio-econômicos**

O município de Felipe Guerra foi criado pela Lei nº 2.926 de 18/9/1963, e desmembrado de Apodi. Segundo o censo de 2000, tem uma população total residente de 5.534 habitantes, dos quais 2.798 são do sexo masculino (50,56%) e 2.736 do sexo feminino (49,44%), sendo que 3.276 vivem na área urbana (59,20%) e 2.258 na área rural (40,80%). A população atual estimada é de 5.216 habitantes (IBGE/2005). A densidade demográfica é de 19,62 hab/km .

A rede de saúde dispõe de um Hospital com doze leitos e três Unidades Ambulatoriais. Na área educacional, o município possui 19 estabelecimentos de ensino, sendo 18 de ensino médio da Administração Municipal e 01 da Administração Estadual. Da população total, 73,90% são alfabetizados.

O município possui 1.432 domicílios permanentes, sendo 883 na área urbana e 549 na área rural e 1.432 abastecidos por água potável, sendo 838 através da rede geral, 239 através de poço ou nascente e 355 por outras fontes. Apenas cinco domicílios estão ligados à rede geral de esgotos.

As principais atividades econômicas são: agropecuária, extração de petróleo e gás natural, extrativismo e comércio. Em relação à infra-estrutura, o município possui um Hotel e duas Pousadas, uma agência bancária e uma Agência dos Correios, além de cento e treze empresas com CNPJ atuantes no comércio. (Fonte: IDEMA – 2001).

No ranking de desenvolvimento, Felipe Guerra está em 78º lugar no Estado (78/167 municípios) e em 4.058º lugar no Brasil (4.058/5.561 municípios) Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – ([www.desenvolvimentomunicipal.com.br](http://www.desenvolvimentomunicipal.com.br)).

O Índice de Desenvolvimento Humano – Médio (IDH-M) é de 0,633 (Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – ([www.FJP.gov.br/produtos/cees/idh/Atlas\\_idh.php](http://www.FJP.gov.br/produtos/cees/idh/Atlas_idh.php))).

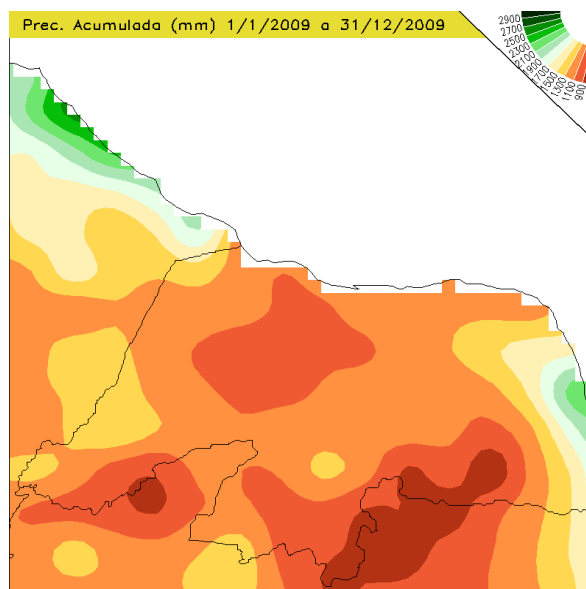
## 2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 2.1 Clima

O clima da região é caracterizado como muito quente e semi-árido do tipo BSW'h' segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. Nas áreas serranas, ocorre o tipo AW, caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono, com temperaturas variando entre a máxima de 36° C e mínima de 21° C. Os índices pluviométricos médios variam entre 900 e 1100 mm por ano. (Fonte: INPE – Previsão Climática 2009)

Não registrou-se inconstância da pressão atmosférica ou ocorrências de fenômenos ciclônicos de maior intensidade. (Fonte: INPE – Previsão Climática 2009)

Figura 02 – Mapa de precipitação do estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: INPE-Previsão Climática (2009).

## 2.2 Vegetação

Ocorre predominantemente na região semi-árida a caatinga como tipo vegetal típico da região. Com base nas observações de campo e segundo as espécies mais expressivas, se fez a classificação da vegetação em dois grupos facilmente reconhecíveis no campo: caatinga arbórea e arbustiva, reconhecendo neste último caso, vegetação herbáceo-lenhosa e puramente herbácea.

Localmente a vegetação foi caracterizada como sendo do tipo Caatinga Hiperxerófila, a qual tem caráter mais seco, com algumas cactáceas e abundância de plantas de porte mais baixo e espalhado. Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro. (Fonte: IDEMA - 1999).

Figura 03 - Vegetação do tipo Caatinga Hiperxerófila



Fonte: Produção do próprio autor (2010).

## 2.3 Solo

Os solos são predominantes do tipo: Redzina e Cambissolo Eutrófico, no qual o primeiro tem como características alta fertilidade, textura argilosa, drenagem moderada a imperfeita e o segundo tem como características fertilidade média a alta, textura argilosa, sendo bem ou moderadamente drenado (Fonte: IDEMA – 1999, Embrapa).

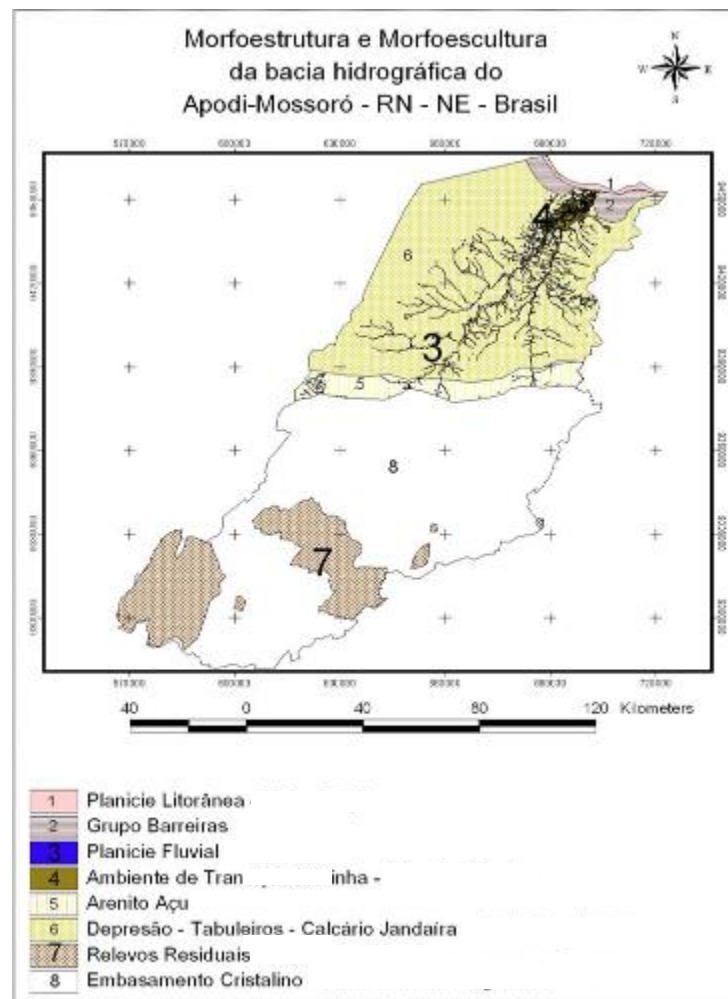
## 2.4 Geomorfologia

O relevo local como o de toda a chapada do Apodi constitui uma cuesta que faz parte da unidade paisagística onde as terras são planas e ligeiramente elevadas, formadas por terrenos sedimentares nas quais as camadas estão levemente inclinadas para norte, cortadas pelos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu.

A chapada mostra-se bem definida como superfície cárstica plana com altitudes que variam de 20 a 120m conservada sobre os calcários da Formação Jandaíra, já sobre os sedimentos do Grupo Barreiras ela perde o aspecto uniforme, sendo dissecada em interflúvios tabulares.

Os topos planos da chapada apresentam depressões rasas, onde nesses topos a drenagem não é concentrada devido à grande permeabilidade secundária dos calcários e não há uma rede fluvial organizada. Rocha (2005).

Figura 04 - Mapa das unidades Morfoestruturais.



Fonte: LabGeo-UERN. Rocha (2009).



## 2.5 Recursos hídricos

A hidrologia é formada pela Bacia Hidrográfica do rio Apodi – Mossoró que está inteiramente inserida no estado do Rio Grande do Norte, desde a sua nascente na serra de Luiz Gomes até a sua foz entre os municípios de Areia Branca e Grossos. Neste trajeto percorre aproximadamente 210 km, tendo como seus principais tributários os rios do Alazão, do Meio, do Abreu e Preto.

Os açudes com maior capacidade de armazenamento são o açude do Mirador com capacidade de 685 000 m<sup>3</sup> e a lagoa do Saco. Todos os cursos d' água são intermitentes e o padrão da drenagem é o dendrítico.

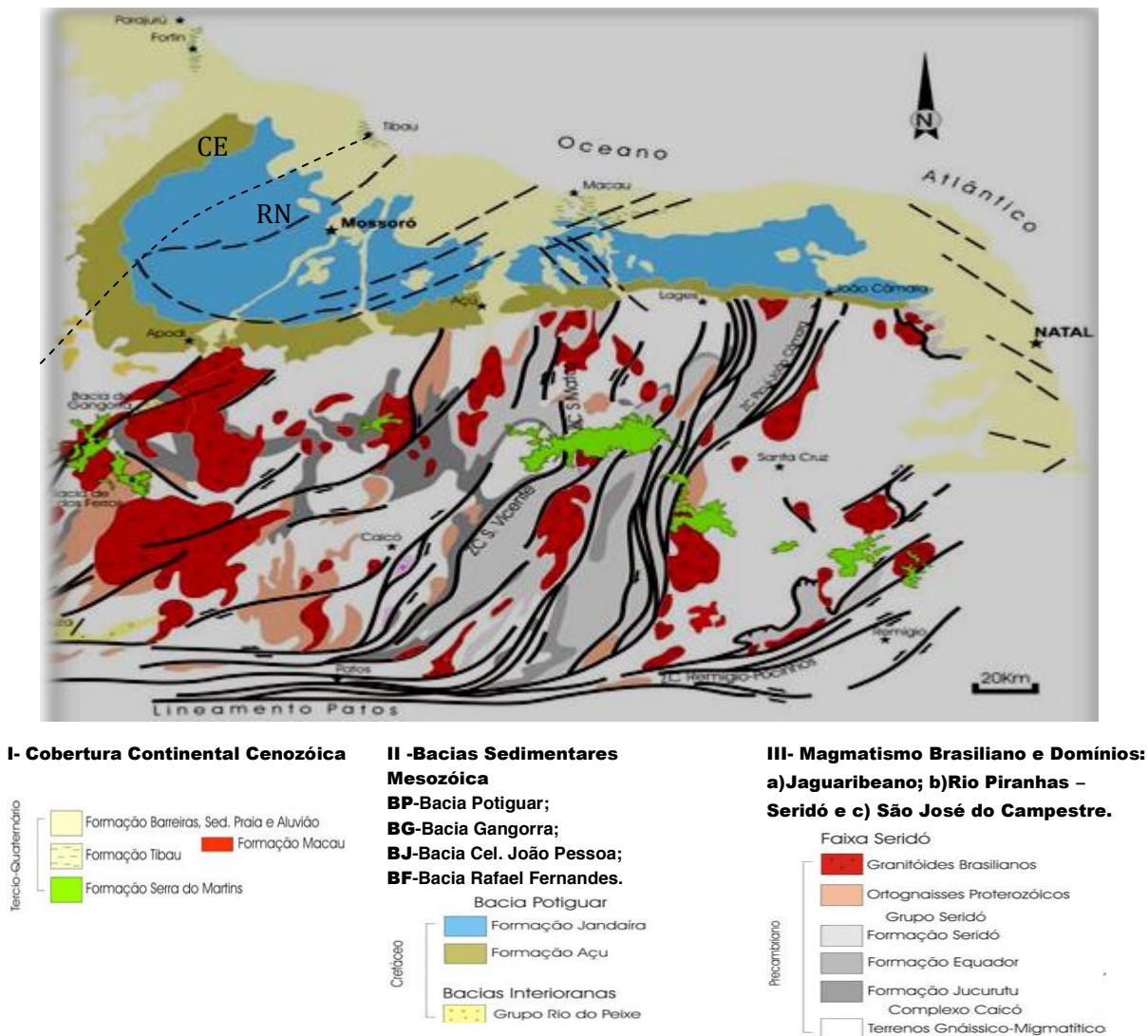
O município de Felipe Guerra está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológico Karstico-fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares da Formação Açu e dos Depósitos Aluvionares. O Domínio Karstico-fissural é constituído pelos calcários da Formação Jandaira.

O aquífero Jandaíra é composto predominantemente por calcários, e apresenta água geralmente salobra e com uma composição química favorável a pequena irrigação. É também um aquífero livre ou confinado com vazões que variam até 30 m<sup>3</sup>/h, com média de 3 m<sup>3</sup>/h e poços com profundidade média em torno de 8m. Também são encontrados os aquíferos Aluvionares que são aquíferos livres, constituídos pelos sedimentos depositados nos leitos e terraços dos rios e riachos de maior porte. Estes depósitos caracterizam-se pela alta permeabilidade, boas condições de realimentação e uma profundidade média em torno de 7 metros. A qualidade da água geralmente é boa e pouco explorada.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO

Segundo Jardim de Sá 1994, o arcabouço geológico do Estado do Rio Grande do Norte está compartimentado em três domínios: I) Coberturas Continentais Cenozóicas localizadas no centro do Estado; II) Bacias Sedimentares Mesozóicas as quais bordejam toda a costa e em alguns locais chegando a porção central do estado, onde se encontra a Bacia Potiguar (Formação Jandaíra); III) Magmatismo Brasileiro ocorre em todo o Complexo Cristalino e encontra-se dividido em três domínios: a) Domínio Jaguaribeano na porção sudoeste; b) Domínio Rio Piranhas – Seridó, localizado na parte central entre o Domínio Jaguaribeano e o Domínio São José do Campestre, e c) Domínio São José do Campestre que se encontra a leste.

Figura 05- Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte.

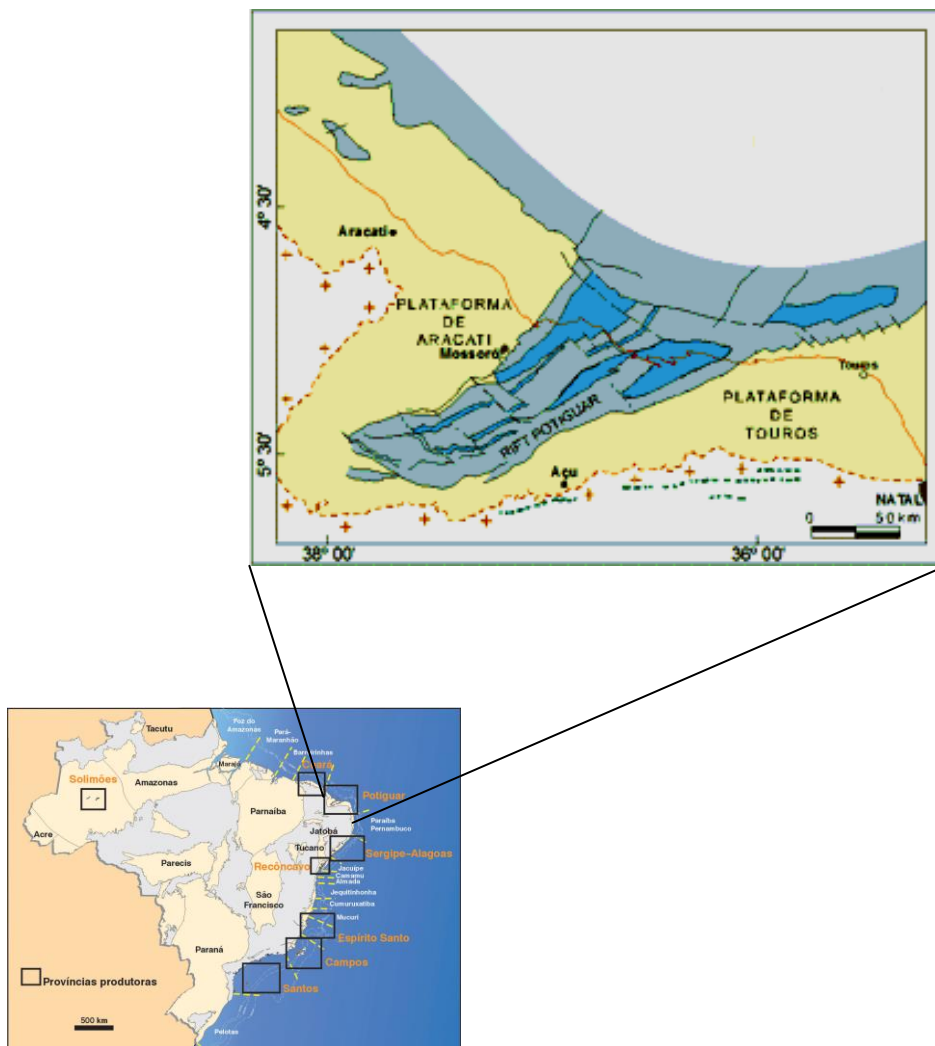


Fonte: Modificado de Jardim de Sá et. al., (1994)

### 3.1 Localização da Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar instala-se na Província Borborema, ao leste da Margem Equatorial Brasileiro, e está localizada no nordeste brasileiro, incluindo estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Tem como limite noroeste a Bacia do Ceará (Alto de Fortaleza), a leste, a Bacia de Pernambuco-Paraíba (Alto de Touros) e a sul, as rochas do embasamento pré-cambriano. Ocupa uma área de aproximadamente 48.000 km<sup>2</sup>, com cerca de 21.500 km<sup>2</sup> emersa, e 26.500 km<sup>2</sup> submersa formando a “plataforma e talude continentais”. (Figura 06) (Bertani et al. 1990)

Figura 06 – Mapa de localização da Bacia Potiguar



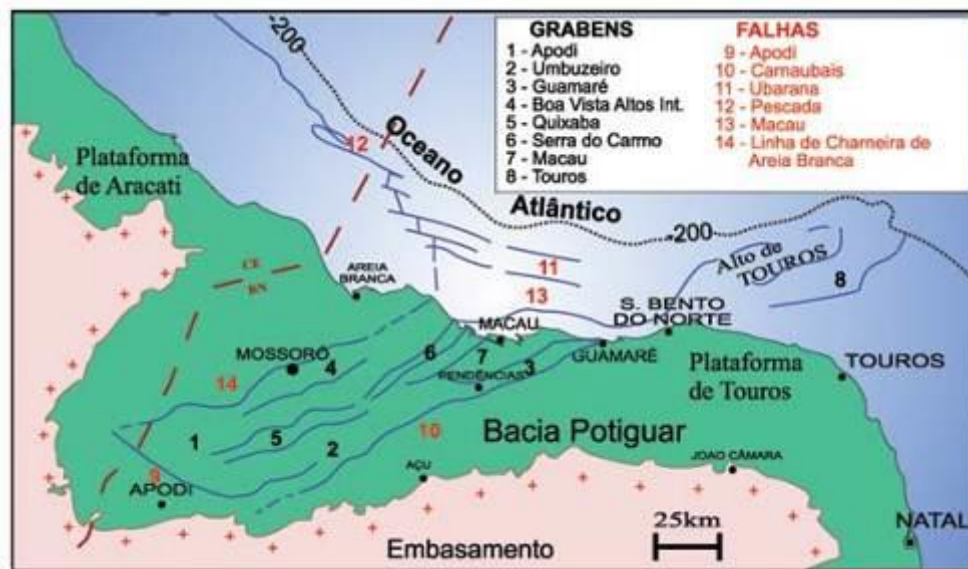
Fonte: Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil (CPRM 2003).

### 3.2 Arcabouço estrutural

Algumas feições predominam no arcabouço estrutural da Bacia Potiguar, tais como: Taludes, grabens, plataformas rasa entre outras. Matos (1992) relaciona estas feições morfo-estruturais as fases de rifteamento e de deriva continental. (Figura 07).

Segundo Matos (1992), durante o Eocretáceo, ocorreu o grande evento de estiramento crustal, onde o rifte Potiguar foi formado seguindo um trend predominante de direção NE-SW, sendo considerada a Falha de Carnaubais a principal falha deste rifte. Outras estruturas importantes também são observadas nesta bacia, tendo direção NW-SE. Matos (1992) interpretou essas estruturas como sendo falhas de transferência durante a fase rifte inicial.

Figura 07 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar – RN.



Fonte: Modificado de Bertani et al. (1990).

### 3.3 Evolução tectono-sedimentar das bacias do nordeste

As bacias sedimentares de margem continental Brasileira em particular as bacias do nordeste resultam de um estiramento litosférico associado à subsidência em dois estágios: rifteamento mecânico e contração térmica.

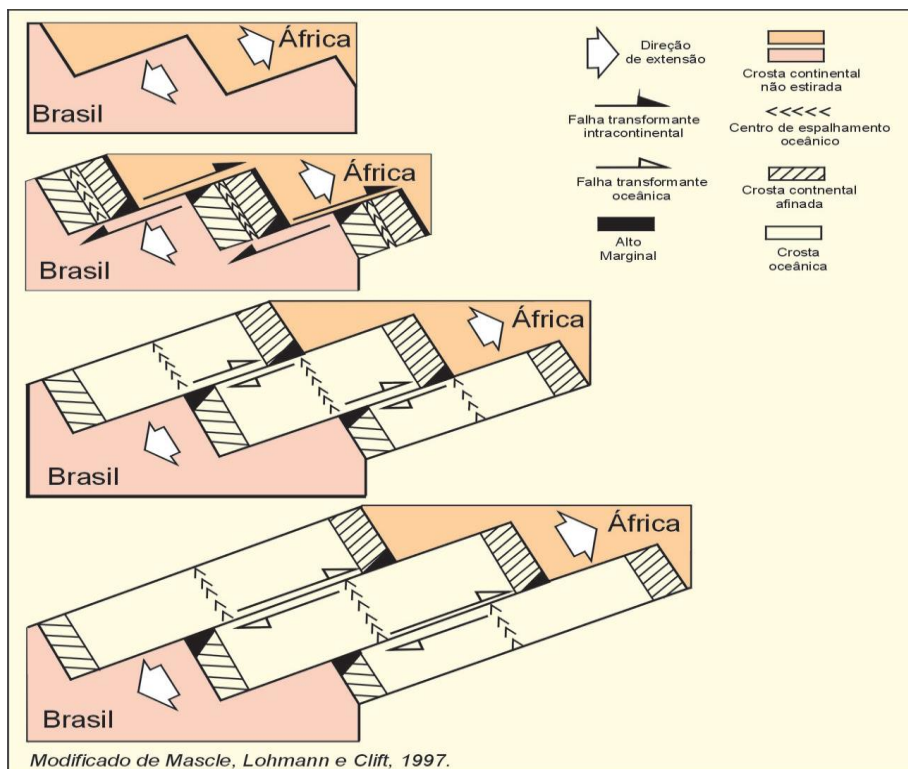
Três principais estágios podem ser caracterizados nessas margens: pré-transformante, sin-transformante e pós-transformante (Masclé e Blarez, 1987; Masclé et al. 1997; Matos, 2000).

A separação da placa sul-americana da placa africana por meio de falhas transformantes (Figura 08) condicionou diferentes estágios evolutivos das bacias sedimentares. O primeiro estágio inclui a fase de sedimentação pré-transtensão (pré-Barremiano) e a fase sintranstensão (Barremiano a Aptiano), quando esforços transtensionais criaram uma série de depocentros com direção NW–SE, dispostos en-echelon (Matos, 1992a).

O estágio sin-transformante (Albiano a Cenomaniano) incluiu segmentos dominados por transtensão com cisalhamento puro (falhamentos extensionais normais), limitados por zonas cisalhantes discretas. A fase sin-transformante também apresentou uma fase de margem transformante passiva, quando ocorreu contato entre crosta continental e crosta oceânica por meio de uma falha transformante ativa.

O estágio pós-transformante foi caracterizado principalmente pela fase de margem passiva transformante, quando ocorreu contato contínuo entre segmentos de crosta oceânica ao longo da falha transformante ativa. Essa fase foi marcada por uma contínua subsidência e sedimentação na margem continental, como resultado do resfriamento e contração térmica da litosfera (Matos, 1992b).

Figura 08 - Separação da placa Sul-Americana da placa Africana.



Fonte: Modificado de Mascle et al, (1997).

### 3.4 Evolução tectônica da Bacia Potiguar

No Mesozóico ocorreu a formação da Bacia Potiguar que estava relacionada com a abertura do Oceano Atlântico Sul. Essa evolução tectônica pode ser dividida em três fases: rifte, transicional e drifte composta pela sequência transgressiva e regressiva (deriva continental). (Araripe e Feijó, 1994).

Durante o cenozóico ocorreu a reativação de diversos falhamentos na Bacia Potiguar tais como o sistema de falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra, dobramentos com grande comprimento de onda e eixo de orientação na direção N-S, resultantes de esforços compressivos E-W que afetaram essa bacia no Paleogéno (Cremonini, 1993), e reativações tectônicas associadas a intrusões básicas relacionadas com a Formação Macau.

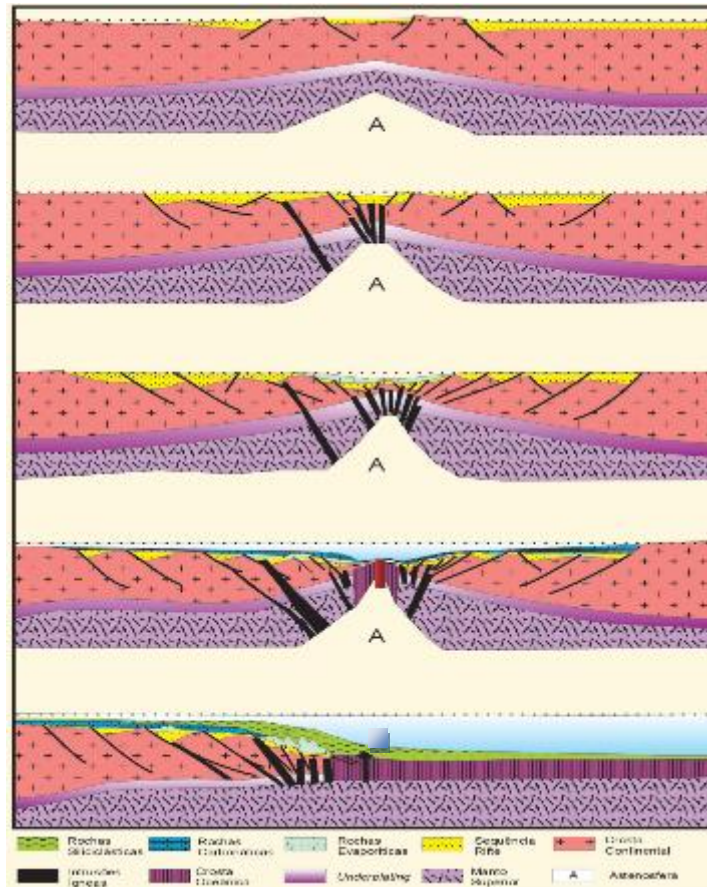
A Bacia Potiguar, segundo Araripe e Feijó (1994) é constituída por formações litológicas sedimentares que formam três grupos descritos da base para o topo, sendo estes: Areia Branca, Apodi e Agulha.

O Grupo Areia Branca Neocomiano representa, com as formações Pendência e Pescada, a fase rifte da bacia (Figura 09), que é iniciada durante a reativação tectônica desta província, ocasionada pela separação das placas sul-americana e africana, no qual o rifte alinha-se segundo a direção ENE-WSW formando grabens assimétricos (Apodi, Umbuzeiro, Boa Vista, Pendência e Guamaré), limitados a sudeste por rejeitos superiores e por flexuras na borda oposta. Este grupo é formado por sedimentos de ambiente fluvial, respectivamente lacustre, deltaico e de leques aluvionais. (Araripe e Feijó, 1994).

Ao final da fase rifte, a Formação Alagamar, aptiana, com características também fluviais, deltaico e lagunar, se depositou sobre uma discordância angular. Esta fase representa a transição da bacia para um ambiente marinho de margem passiva.

As Formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra, compõem o Grupo Apodi, de idade albaniana a campaniana, constituem uma seqüência transgressiva que se inicia com sedimentos continentais clásticos, principalmente arenitos e pelitos, que gradam para sedimentos de plataforma rasa e carbonatos. A seqüência termina com carbonatos da Formação Jandaíra, que afloram na Bacia Potiguar, *onshore*. (Araripe e Feijó, 1994).

Figura 09 - Evolução tectono-sedimentar de margem continental "rifteamento".



Fonte: Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil (CPRM 2003)

Na porção offshore da bacia, ocorrem ainda as formações Ubarana, Guimarães e Tibau do Grupo Agulha (campaniana a terciária), uma sequência progradacional composta por sedimentos siliciclásticos, carbonatos, folhelhos e turbiditos.

No que diz respeito ao magmatismo, este foi dividido em três grandes eventos que estão representados nas formações:

- a) Formação Rio Ceará Mirim composta por diques de diabásio toleítico como orientação E-W, de idade Barremiano/Hauteriviano a Berriasiano (120 a 140 Ma);
- b) Formação Serra do Cuó é formada por diques de diabásio com tendência alcalina e idade de Eoceno (53 Ma);
- c) Formação Macau é formada por derrames de olivina-basalto com idade variando entre Oligoceno e Eoceno (29 e 45 Ma). (Mizusaki, 1987).

Cordoba et al. (1996) estabeleceu um modelo deposicional da borda sudoeste da Bacia Potiguar no qual o sistema de planície de maré integram as zonas de supra-, inter- e inframaré propondo assim um modelo paleofisiográfico de baía, onde as relações faciológicas e a baixa diversidade biótica indica que houve condições de restrição à vida na área estudada.

Cordoba et al. (1996) diferencia cinco fácies deposicionais nos carbonatos da Formação Jandaíra:

- a) três delas atribuídas à sedimentação em barras de maré;
- b) uma em fácies de planície de maré com delgadas camadas de calcário com *birdseyes* alternados com margas ou uma sequência de calcário biomicríticos, margas e calcários bioesparítos vistos nas proximidades de Mossoró, que remonta as oscilações do nível do mar no início da fase transgressiva;
- c) uma em fácies lagunar formadas por calcários maciços localmente fossilíferos, constituindo fácies de packstones e wackestones bioclásticos.

### **3.5 Arcabouço litoestratigráfico**

A realização de diversos estudos na Bacia Potiguar, possibilitou o conhecimento da sua evolução e gerou modelos deposicionais para as unidades litoestratigráficas. A Petrobrás é responsável pela prospecção de hidrocarbonetos e representa a empresa que possui maior quantidade de informações e dados sobre a Bacia Potiguar, com acervo de mais de 4.200 perfurações e aproximadamente 115.000 km de sísmica de reflexão. Com todas essas informações interpretadas foram estabelecidas as unidades litoestratigráficas da Bacia Potiguar (Figura 10) (Araripe e Feijó 1994).

As rochas do embasamento cristalino pré-cambriano estão inseridas na região de dobramentos NE da Província Borborema e são formadas por rochas gnáissico-migmatíticas, granitóides brasilianos e rochas supracrustais, configurando assim um complexo mosaico de faixas moveis (brasiliana) e núcléos do embasamento (collage pré-brasiliana) (Almeida, F. M. & Hasui, Y. 1984). Após as rochas do embasamento vem a sequência estratigrafia da bacia com suas formações dispostas na seguinte ordem da base para o topo: Grupo Areia Branca (Formação Pendência, Pescada e Alagamar), Grupo Apodi (Açu, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra) e Grupo Agulha (Formação Guamaré, Macau, Tibau e Barreiras).

#### **3.5.1 Grupo Areia Branca**

O Grupo Areia Branca está na base da sequência da Bacia Potiguar com idade Barriasiano até início do Albiano.



**A Formação Pendência** (Souza 1982) tem idade Valanginiano a Aptiano inferior, onde sua evolução tectônica encontra-se na fase de abertura do rifte. Nas sequências mais basais predominam uma sedimentação lacustre com fluxo gravitacional de arenitos e conglomerados, de leques e fandeltas, gerados na margem falhada e na margem flexural. Já na sequências mais superiores a sedimentação é predominantemente flúvio-deltaica, ficando a sedimentação lacustre reduzida a trechos isolados na bacia. Esta unidade chega a alcançar 5.000 m de espessura nas regiões onde se encontra a falha de Carnaubais, apesar de sua maior parte está em subsuperfície, aflorando ao sul da bacia. A Formada é composta por rochas siliciclásticas e carbonáticas interpretadas como um sistema flúvio-deltaico-lacustre que repousa discordante sobre o embasamento cristalino.

**A Formação Pescada** tem idade Aptiana e sua atividade está geneticamente relacionada ao final da fase rifte na bacia. Araripe e Feijó (1994) refere-se à cunha clástica sin-tectônica, reconhecida na região de Pescada de onde vem seu nome. A Formação é representada por conglomerados e arenitos, depositados em um sistema de leques aluviais.

**A Formação Alagamar** tem idade Aptiana a Albiana estando na fase de transição da evolução tectônica. Segundo Dantas (1998) foi nesta época que ocorreu a primeira incursão marinha na bacia. Araripe e Feijó (1994) definiram a Formação Alagamar como sendo composta por arenitos e lamitos interpretados como de origem flúvio-deltaico (Membro Upanema) e transicional (Membro Galinhos), separados por um intervalo de folhelhos pretos e calcilutitos ostracoidais, de ambiente transicional (Camada Ponta do Tubarão).

### **3.5.2 Grupo Apodi**

O Grupo Apodi tem idade Albo-Campaniano inferior que tem como Formação inicial a **Formação Açu** de idade Albo-Cenomaniana e constitui a porção continental da Sequência Transgressiva, onde teve início a deposição dos sedimentos.

**A Formação Açu**, na porção onde aflora apresenta uma espessura de 100 m e ocorre em uma faixa que circunda a Bacia Potiguar, entre as rochas do embasamento e os sedimentos da Formação Jandaíra, sendo recoberta na área em que aflora, em pequenas áreas isoladas, pelas aluviões dos rios Jaguaribe, Apodi, do Carmo, Piranhas e Cabugi.

De acordo com Bertani *et al.*, 1990, é composta por rochas siliciclásticas de ambiente fluvial a costeiro e é subdividida em dois membros sendo o superior de composição pelito-psamítica e o inferior essencialmente psamítica.

A Formação Açu é caracterizada por sedimentos clásticos em camadas relativamente espessas e de granulometria muito fina a conglomerática.

O membro superior tem espessuras que variam de 10 a 40 metros, sendo constituído no topo por folhelhos, argilitos e siltitos com intercalações de arenitos finos e raros bancos de calcários e margas, passando a arenitos finos a médios, argilosos, com intercalações de folhelhos e siltitos. Os reservatórios de hidrocarbonetos também podem ser encontrados neste membro superior.

O membro inferior pode ter espessuras acima de 200 metros, apresentando na base arenitos grosseiros a conglomeráticos (seixos de quartzo de pequenos diâmetros), por vezes arcoseanos, mal selecionados, gradando em direção ao topo para arenitos finos com delgadas intercalações de folhelhos e siltitos. Este membro constitui o denominado aquífero Açu, confinado entre o membro superior da Formação Açu e o embasamento cristalino que forma a base do sistema aquífero.

O membro inferior da Formação Açu foi depositado em uma fase de pronunciada subsidência no intervalo Neocomiano a Barremiano. Seguiu-se depois no Aptiano, um intervalo de quietude tectônica durante a qual, em ambiente flúvio-deltaico, foi depositado o membro superior.

A Formação Açu está discordante sobre as rochas do embasamento cristalino, sendo que seu contato com a Formação Jandaíra se dá de forma gradacional.

A **Formação Ponta do Mel** tem idade Albiana e é constituída por calcarenitos oolíticos, calcilitos e dolomitos intercalados por folhelhos de idade Eoalbiana a Mesoalbiana. A Formação Ponta do Mel ocorre apenas na porção submersa da bacia.

A **Formação Quebradas** é de idade Cenomaniana e foi caracterizada por Araripe & Feijó, 1994, como estando discordante da Formação Ponta do Mel, e com seus litótipos recobrimdo-as.

A **Formação Jandaíra** tem idade Turoniana a Santoniana. A deposição da Formação Jandaíra em sua porção emersa da Bacia, se deu em ambiente de plataforma interna, sob condições de super-maré, acompanhada de subsidência gradual, em um período de relativa aquiescência tectônica (Bertani *et al.*, 1994). De acordo com Bertani *et al.*, 1990 a sequência marinha transgressiva Jandaíra compõe a fase drifte e registra o fim de um pulso de subida do nível do mar imprimindo à sedimentação condições marinhas cada vez mais profundas.

A maior exposição de rochas carbonáticas não alteradas do Brasil é representada pela Formação Jandaíra que ocorre em todo o domínio da Bacia Potiguar. A Formação possui uma diversidade fossilífera apesar de carstificada e intensamente erodida na sua porção aflorante que se encontra sob a forma de platô mergulhando suavemente para nordeste.

A Formação Jandaíra é composta por *mudstones a grainstones*, bioclásticos, com eventuais intercalações de folhelhos, margas e evaporitos, depositados em sistemas de planície de maré.

Na porção a oeste do rio Açu predomina, em superfície, o caráter calcífero dos calcários dessa formação ao passo que a leste predominam dolomitos. Cresce também em direção a leste a participação de clásticos finos nos sedimentos carbonáticos. Ocorre também calcários microcristalinos, às vezes nodulosos ou coquinoideais, com bancos fossilíferos, podendo apresentar intercalações de folhelho preto e carbonoso. Arenitos cinzentos, argilosos, calcíferos, contendo abundantes fragmentos de conchas e moluscos são encontrados na área a leste do rio Açu.

Ao norte da cidade de Upanema, logo após o topo da cuesta que limita a Chapada do Apodi, ocorrem bancos calcários com foraminíferos miliolídeos, principalmente *Quinqueloculina*, intercalados com calcários compactos, muito recristalizados e espessos. A estratificação não é distinta, podendo apresentar-se em alguns locais como lajeada ou nodulosa. Tratam-se de calcários detriticos, onde a presença dos miliolíticos indicam águas quentes em pequenas profundidades, já a presença de calcários oolíticos apontam para uma fácies de águas mais agitadas (Beurlen,1967).

Nas proximidades da cidade de Apodi a Formação Jandaíra apresenta-se com superfícies de carstificação, a análise dos calcários revelou baixo teor de dolomita e ausência de argila e areia. Essa última característica poderia indicar que a área próxima ao litoral era plana, sem relevo acidentado ou então predominava o clima semi-árido, impossibilitando a formação de grandes rios transportadores de materiais provenientes do intemperismo continental (Beurlen,1967).

Os sedimentos carbonatados da Formação Jandaíra são concordantes com os folhelhos e siltitos da Formação Açu Superior, sendo o contato gradativo.

### **3.5.3 Grupo Agulha**

Araripe e Feijó (1994) definiram o Grupo Agulha do Período Terciário, como sendo composto da base para o topo, pelas formações Ubarana, Guamaré e Tibau, incluindo sedimentos siliciclásticos e carbonáticos de alta e baixa energia.

Na **Formação Ubarana** de idade Albiana estão os depósitos de taludes e bacias formados por rochas do tipo folhelhos e argilitos, intercalados por arenitos grossos a muito finos, siltitos e calcarenitos finos.

Souza 1982 descreveu a **Formação Guamaré** como sendo constituída por uma sequência carbonática interposta lateralmente aos arenitos Tibau e aos pelitos Ubarana. Já a **Formação Tibau** é descrita por Araripe e Feijó, 1994, como sendo composta por arenitos grossos e representa os sistemas de leques costeiros implantados na bacia a partir do Neocampaniano até o recente. É nesta formação que se registrou a grande regressão na bacia que teve início com a deposição da formação com contatos gradacionais ou discordantes dos sedimentos nas suas porções superiores e inferiores.

A **Formação Barreiras** recobre indistintamente as rochas metamórficas e ígneas do Pré-Cambriano e os sedimentos do Grupo Apodi, sendo composta por depósitos siliciclásticos diversos, tais como: Pelitos subordinados, conglomerados e arenitos. Estes depósitos siliciclásticos são de sistemas fluviais e transicionais (estuários e leques costeiros) (Araripe e Feijó, 1994).

#### ***3.5.4 Depósitos Quaternários***

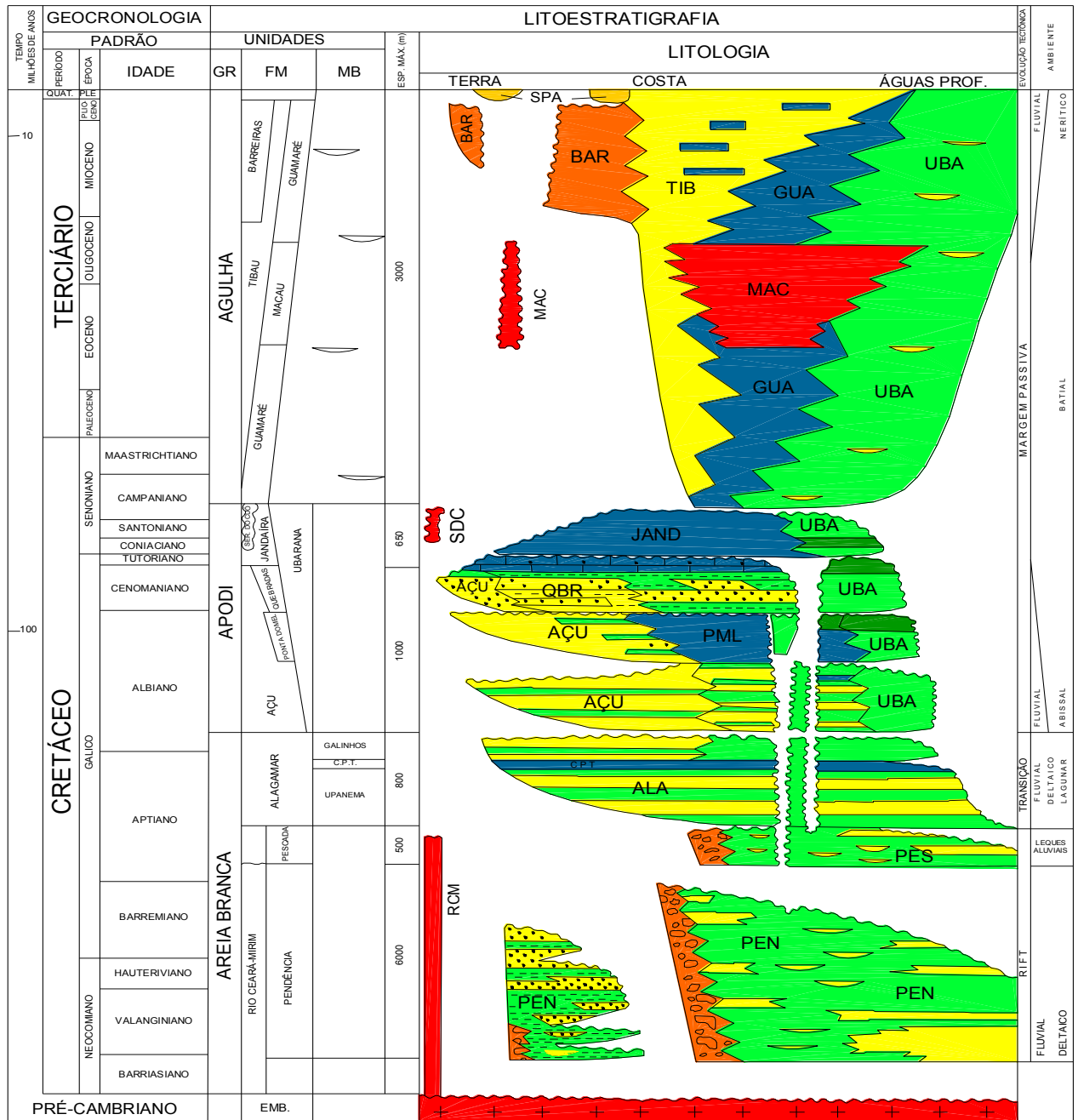
No domínio da área dos depósitos aluvionares quaternários os que merecem destaque são os relacionados aos rios Apodi e do Carmo. As litologias presentes são bastante variáveis e de maneira geral formadas por clásticos ocasionalmente grosseiros, contidos em matriz mais ou menos argilosa, por vezes rica em matéria orgânica.

As planícies aluviais localizadas sobre a Formação Açú têm sua evolução relacionada à barreira geomorfológica constituída pelas arestas do contato dos calcários da Formação Jandaíra com os arenitos da Formação Açú (Araripe e Feijó, 1994).

No baixo curso dos rios os aluviões ocorrem em forma de tabuleiros escalonados e planícies de inundação. Na borda destes tabuleiros, no contato com a Formação Jandaíra, podem ser encontrados conglomerados (“cascalheiras”) contendo blocos de sílex, de quartzo e de diversas rochas do embasamento cristalino.

Na planície aluvial do rio Apodi, próximo à cidade de Apodi, foram encontrados depósitos aluvionares até uma profundidade de 40 metros.

Figura 10 - Coluna Litoestratigráfica da Bacia Potiguar



Fonte: Araripe e Feijó (1994).

#### 4 RELEVO CÁRSTICO

O termo carste é utilizado para paisagens criadas através dos processos de dissolução. A palavra "karst" é uma versão germanizada da palavra antiga indo-européia "kar" e significa "rochosa" ou "solo pedregoso" (Drew, 1985).

As características diagnósticas de um relevo cárstico são as seguintes: falta de uma rede de drenagem superficial; · desorganização e fragmentação da drenagem; feições em pequena e grande escala originadas pela dissolução; processos morfológicos e hidrogeológicos subterrâneos; presença de uma rocha pura altamente solúvel; e, pluviosidade suficiente para permitir que o processo de dissolução predomine.

Outro fator muito importante que age determinando o grau de dissolução das rochas em ambientes cársticos é o clima. Geralmente em regiões tropicais ocorre dissolução elevada, enquanto na zona temperada ocorre dissolução em grau menor, pois a temperatura da água influencia diretamente na taxa de dissolução dos carbonatos. Deste modo, quanto mais quente, maior o grau de dissolução que a água provoca. Segundo (Salomon, 1997), os carstes tropicais caracterizam-se por precipitações anuais média de 1000mm.

A água é a chave da origem e do desenvolvimento das paisagens cársticas. Nas paisagens cársticas a medida que a água consegue localizar rotas subterrâneas através de sumidouros, a rede de drenagem passa a ser fragmentada, localizada e centrípeta. A rede de drenagem organizada passa a ser subterrânea ao invés de se localizar na superfície do terreno (endocarste).

Para o desenvolvimento das paisagens cársticas, além da presença de rochas carbonáticas solúveis é necessário que os carbonatos contenham poucas impurezas, porque uma quantidade significativa de resíduos insolúveis permanece após a dissolução do calcário, e em pouco tempo se colmata a superfície do solo prejudicando severamente o processo de dissolução.

Outra característica dos carbonatos, tão importante quanto a sua pureza, é aquela determinada pelos esforços tectônicos que criam sistemas de juntas ou falhamentos. As zonas de fraqueza nos calcários ocorrem nessas juntas ou nos planos de acamamento. Para que as paisagens cársticas se desenvolvam, parte do terreno tem que ser erodida mais que as outras. A erosão uniforme ocorrerá se a porosidade primária permitir que a água penetre livremente entre os grãos individuais da rocha e o processo de dissolução for difuso e se espalhar igualmente por toda a área de afloramento. Entretanto, se o calcário é predominantemente impermeável a água, o único modo de entrada da mesma é através das discontinuidades tais

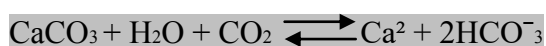
como as juntas (porosidade secundária), então a dissolução tenderá a se concentrar seletivamente nessas linhas de fraqueza.

Quanto mais antiga a rocha, menor será sua permeabilidade primária e maior será sua permeabilidade secundária. Esse fenômeno é resultado do aumento da litificação (compressão e cimentação) nas rochas mais velhas e do aumento de probabilidade das mesmas terem sofrido algum esforço tectônico ao longo de sua história causando o fissuramento.

Em resumo, a principal característica das paisagens cársticas é que na sua origem não está a predominância de apenas um processo que é a dissolução da rocha pela água, que corresponde a uma reação de hidrólise da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), a partir da circulação descendente de água meteórica, que pode ser representada pela reação (White, 1988):



Sendo o  $\text{HCO}_3^-$  o principal ânion em solução, em contato com o  $\text{CaCO}_3$  ocorre reações que pode ser representada pela reação:



Quando a concentração de  $\text{CO}_2$  aumenta, a reação é forçada para a direita e mais calcita é dissolvida, mas quando a concentração de  $\text{CO}_2$  diminui, ou mesmo desaparece da solução, a reação é deslocada para a esquerda e a saturação de bicarbonato irá gerar um precipitado fino de carbonato de cálcio.

De uma forma geral no verdadeiro carste todas as características estão presentes ou são ativas de alguma forma. Uma paisagem plenamente cárstica (*holokarst*) tem todos os fatores no seu máximo. Áreas que possuem algumas dessas características bem definidas podem não atingir o máximo desenvolvimento devido a imaturidade, a presença de rocha impura, ou a outros fatores impeditivos.

#### 4.1 Feições cársticas

O constante contato entre a água e o calcário produz diversas aberturas que podem se manifestar através de formas endocársticas ou exocársticas (Cassetti, 1995). As formas endocársticas manifestam-se por meio de cavernas e as exocársticas, através de formas como lapíás, poljes e dolinas por concentração de água e consequente dissolução do calcário, promovendo a formação de diversas feições.

As formas cársticas se desenvolvem na presença de pluviosidade, gerando em um carste maduro as feições predominantes cuja função é permitir a entrada de água no calcário e aquelas que descarregam água da rocha (fontes). As formas cársticas se desenvolvem onde

ocorre o excesso de chuvas o que por sua vez também propicia o crescimento de um sistema fluvial. Assim, muitas vezes as feições fluviais convivem com as feições cársticas formando o chamado fluviocarste onde existem rios, mais com baixa densidade de drenagem.

As dolinas são depressões que se desenvolvem possivelmente quando a água da chuva que percorre a superfície do maciço calcário penetra nas fissuras e acamamentos mais superiores da rocha. Se na percolação a água encontra outras aberturas que estão em maior profundidade este passa a se tornar o caminho preferencial, proporcionando a drenagem do excesso de pluviosidade. No decorrer do processo esta área induzirá na área adjacente a formação de canais que levam à fissura principal, assim a taxa de erosão aumentará proporcionalmente. A medida que a área de captação da fratura principal se estende para fora em todas as direções, uma quantidade crescente de água corre para ela e a dissolução do calcário é maior ali que nas áreas circundantes criando um vazão.

As dolinas são as feições mais comuns nas regiões cársticas amadurecidas. Podem assumir qualquer forma e tamanho embora sua forma arredondada seja a mais comum. A medida que as depressões fechadas evoluem através do tempo, seus diâmetros também aumentam. Eventualmente o divisor entre duas depressões adjacentes é erodido e uma nova depressão é criada, capturando assim a drenagem. O processo pode continuar até que grandes áreas que são criadas pela captura de várias sub-bacias sejam formadas. Essas áreas são denominadas uvalas. Conforme Karmann (2000), as dolinas são associadas a drenagens centrípetas e representam feições de relevo bastante típicas de drenagens cársticas, podendo se manifestar de duas formas: dolinas de colapso e de dissolução, podendo variar de tamanho através de medidas de diâmetro e profundidades. Outra estrutura negativa são os poljes que representam o maior tipo de depressão fechada. Poljes variam de 5 a 500 km quadrados, limitados por paredes íngremes e com seu fundo formado por rochas carbonáticas recoberto por sedimentos aluvionares ou lacustres que podem atingir centenas de metros de espessura. Frequentemente os poljes desenvolvem-se ao longo de zonas de fraturas ou falhamentos.

Outras feições de menor tamanho também são formadas, tais como: abrigos, fendas de dissolução, grutas, entre outras, além das micro-feições como os alveolos.

#### ***4.1.1 Feições Cársticas Locais***

Em particular, as rochas carbonáticas, tem um papel de destaque tanto localmente quanto regionalmente estando presentes em grande parte da Bacia Potiguar. São importantes não só como bem mineral em si (calagem e matéria prima para a indústria do cimento, rocha ornamental e etc.) mas também pela existência das ancestrais estruturas biológicas marinhas



algais que ocorrem associados as zonas mineralizadas. São relevantes ainda como aquíferos de grande importância, pois promovem a formação de dutos de dissolução que se intercomunicam criando redes de percolação de água subterrânea ao longo de zonas de fraqueza e que em certos casos concorre com a drenagem de escoamento superficial de água, quando não a substituí inteiramente criando estranhas paisagens sem rios – as paisagens cársticas. Estas paisagens cársticas caracterizam-se por feições típicas entre as quais ressaltamos as depressões denominadas dolinas que funcionam como zonas de recarga da água superficial para a rede subterrânea. A presença de dolinas num contexto de rochas carbonáticas torna-as evidencia superficial aparente e clara da distribuição dessa litologia em subsuperfície consistindo num indicador indireto, também em certos casos, da direção de fraturas e zonas de fraqueza predominantes na massa carbonática.

Essas regiões de rochas carbonáticas tais como as que são objeto do presente trabalho tornam-se importantes também do ponto de vista turístico, por aqueles que procuram aventurar-se nas cavernas da região ou pelo conteúdo fossilífero e de suas pinturas rupestres, a exemplo a região da Chapada do Apodi, onde localiza-se o lajedo Soledade.

A precipitação média anual na região é de 1000 mm (INPE, 2009), portanto suficiente para desenvolvimento do carste atualmente. Se considerarmos os requisitos morfológicos para a denominação de uma paisagem como cárstica, e considerando adicionalmente que as condições de pluviosidade atuais tem permanecido desde um passado geologicamente pouco remoto e são favoráveis ao seu desenvolvimento teríamos um relevo cárstico ainda em desenvolvimento nessa região.

Desta forma, na análise da distribuição espacial das feições identificadas e a confrontação com o mapa geológico possibilitam a individualização de dois domínios com características geológico-estruturais e com densidade de feições doliniformes e ocorrência de cavidades naturais/feições secundárias extremamente diferenciadas.

No domínio central e Leste, concentra-se a grande maioria das feições identificadas e mapeadas. Já no domínio oeste, foram verificadas poucas feições, isso pode ter ocorrido devido a um sistema de drenagem mais eficiente ou por motivos composicionais do calcário que resistiram a dissolução.

Utilizou-se de um critério para classificar as feições que estão englobadas em dois grupos (<http://www.espiritodaterra.com.br/get3.htm>):

- a) Formas Cársticas Primárias – **destrutivas** – compreendendo formas superficiais (dolinas, lápias, canyons, pontes, etc), e formas subterrâneas

(cavernas em suas múltiplas formas). Tais feições são mais freqüentemente macroformas;

- b) Forma Cársticas Secundárias – construtivas – embora não exclusivas, são mais frequentemente subterrâneas, correspondendo aos denominados espeleotemas (estalactites, estalagmites, colunas, helictites, cortinas, etc).

No caso das feições cársticas superficiais subdividimos em:

- **formas reentrantes** – corresponde às formações produzidas por dissolução da rocha. São normalmente feições côncavas ou esburacadas (dolinas, uvalas, vales cegos, cavernas, etc);
- **formas remanescentes** – corresponde às feições salientes produzidas pelas áreas mais resistentes do antigo modelo original, representando as áreas que resistiram a ação do tempo após o processo de desgaste (torres de pedra, morros, arcos);
- **formas mistas** – corresponde às feições formadas por áreas de dissolução e áreas remanescentes denominadas genericamente por lápias.

## 4.2 Exocarste

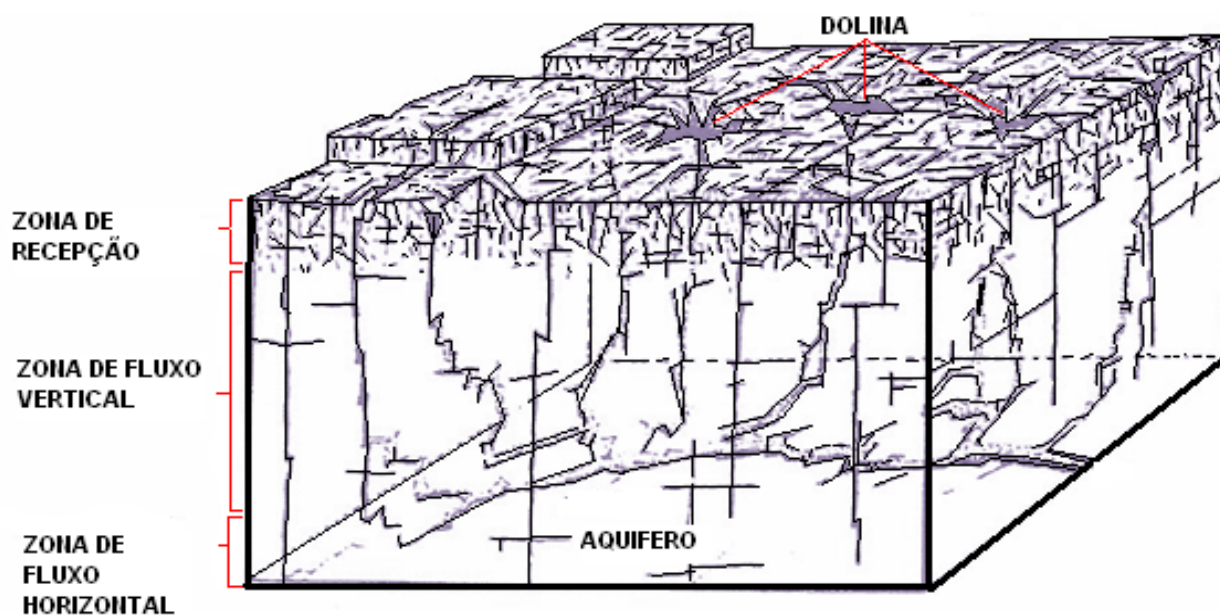
O exocarste, é a feição geomorfológica correspondente na superfície. Na área de estudo o exocarste está representado pelo campo de lápias e por dolinas.

Figura 11 – Campo de lápias representativo do modelo esquemático do exocarste.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 12 – Modelo esquemático do exocarste e suas divisões em zonas de recepção, fluxo vertical e fluxo horizontal



Fonte: PALOC (1977)

#### 4.2.1 Lapiás

Compreende um vasto conjunto de feições mistas aparentadas, as quais incluem estruturas em depressão (feições reentrantes) e estruturas em relevo (feições remanescentes), e, conforme seu aspecto morfológico, recebe inúmeras denominações: canaletas, canelura, lapiás e etc.

- **Lapiás Alveolar**

São lapiás onde a gênese atuante é semelhante a das pias, embora, por vezes, sejam, de forma mais evidente, condicionados por pequenas diferenças litológicas ou pelas microfraturas. É notado que a presença da matéria orgânica (raízes, algas e musgos) acelera o processo de dissolução e parece desempenhar um papel dominante na localização destes como se pode observar nas figuras 13 e 14.

Figura 13 - Alvéolos de dissolução ou lapiás alveolar em estado avançado de evolução em relação a figura 14.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 14 - Alvéolos de dissolução.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Bacia ou Pia de Dissolução**

As bacias foram encontradas em vários setores do lajedo, estando dispostas aleatoriamente sem nenhuma relação entre sua disposição e o local de sua formação. As pias ou bacias são lapiás que se desenvolvem horizontalmente formando depressões geralmente circulares simétricas (Figura 15) ou assimétrica. Essa formação se dá pela permanência prolongada da água da chuva, podendo ser acelerada devido a ação da matéria orgânica.

Figura 15 – Bacia de dissolução desenvolvida sobre fácies Pisolítica.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Dolina**

A dolina identificada em campo representa uma feição morfológica circular ou semicircular, com dimensões métrica e condicionada pelos planos de intersecção entre fraturas e fissuras menores. Comumente, ocorrem no topo das vertentes, concentrando-se, sobre as faixas carbonáticas.

Figura 16 – Dolinamento com dimensões aproximadas de 30 m de diâmetro e profundidade de 6 m.



Fonte: Produção do próprio autor.

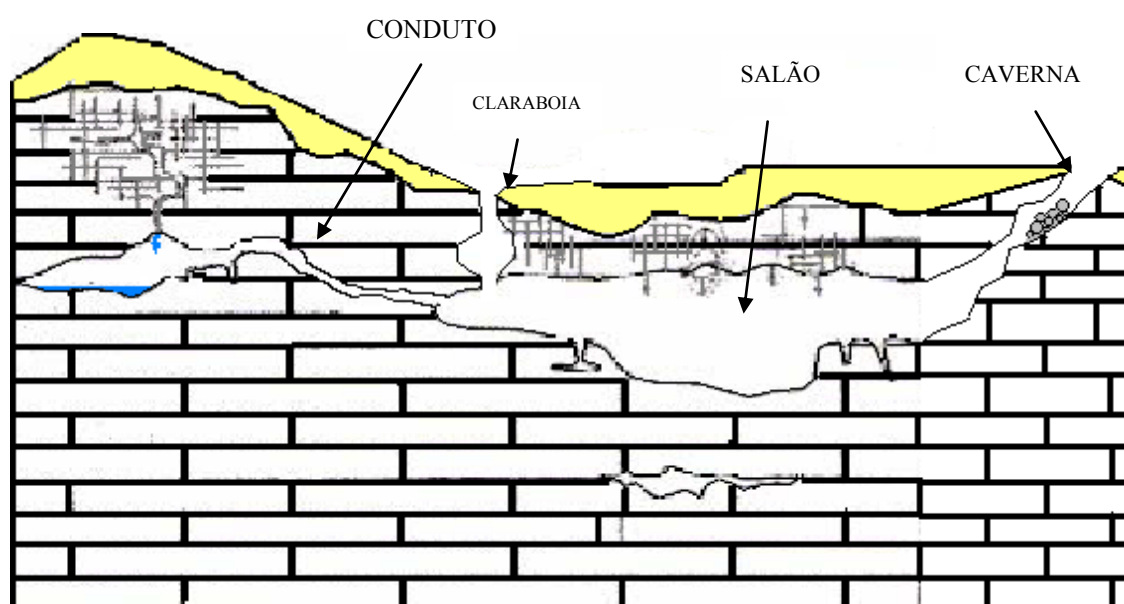
### 4.3 Endocarste

O endocarste é formado pelo processo que inicia na superfície, quando o ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) dissolve o carbonato de cálcio que compõe o calcário. Este composto

ácido infiltra-se no maciço rochoso ao longo dos planos de juntas, que se apresentam em famílias de fraturas organizadas segundo uma direção preferencial. O ácido carbônico ao dissolver o carbonato de cálcio durante sua trajetória torna-se saturado perdendo assim o seu potencial de dissolução, até que esse composto encontre água restituindo a sua capacidade de acidulação o que gradativamente irá criar vazios e condutos.

As fraturas em determinado ponto do maciço rochoso cruzam-se tornando este ponto de interseção o ponto de encontro das águas, conseqüentemente o local aonde a dissolução é mais acentuada. Nessa região a ampliação das aberturas pode gerar espaços vazios e em uma segunda fase condutos, galerias, salões, abismos, cavernas, etc. (Figura 17)

Figura 17 - Perfil esquemático de feições endocarsticas.



Fonte: Produção do próprio autor.

No endocarste, ou seja, no interior de grutas e cavernas os depósitos sedimentares e minerais por vezes acumulam-se, podendo ser divididos em:

- a) sedimentos Clásticos – É o material sedimentar transportado para o interior da caverna por meio da água, vento ou gravidade, podendo ter tamanho que variam de grãos até blocos;
- b) espeleotemas – São formados por dissolução e precipitação de  $\text{CaCO}_3$ .

### ***4.3.1 Cavernas Naturais Subterrâneas***

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 347, de 10 de setembro de 2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico nacional, “caverna natural subterrânea” é todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fumaça e buraco, incluindo seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde as mesmas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante”.

Assim, a seguir serão descritas as principais características das grutas e dolinas encontrados na área de estudo. A ficha cadastral com a identificação, localização e descrição de cada feição mapeada está no Anexo I - Memoriais Técnicos.

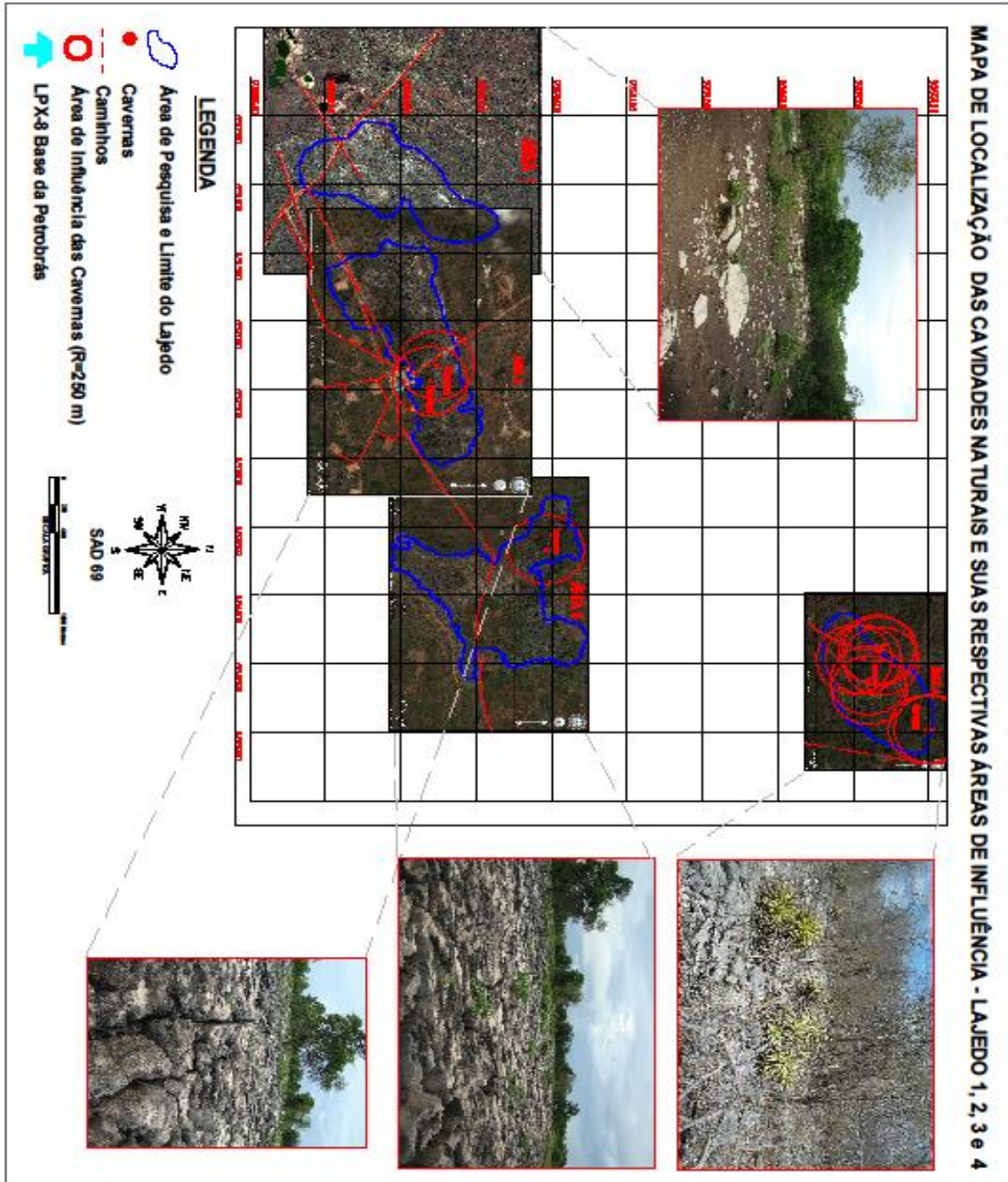
Nos estudos efetuados na área de interesse (Lajedos I, II, III e IV), os levantamentos de campo permitiram a identificação de 12 cavernas naturais subterrâneas, sendo duas no lajedo n.º 2, uma no lajedo n.º 3 e nove no lajedo n.º 4 (figura 18).

Classificamos como grutas as cavernas que apresentaram desenvolvimento de mais de 20 m, predominantemente na horizontal e dolinas as cavernas que possuem um desenvolvimento predominantemente vertical, com mais de 10 m de desnível.

Secundariamente foram definidas pequenas tocas e/ou locas, buracos, paredes e fendas que, embora regionalmente sejam conhecidos pela população local por designações como cavernas, grutas, ermidas ou abismos, apresentam menor interesse como elemento do patrimônio espeleológico. Não foram identificados sumidouros e ressurgências.

No interior das grutas foram encontradas a ocorrência de espeleotemas, que são ornamentos formados pela precipitação química de minerais, principalmente calcita, a partir das águas de infiltração que atingem as paredes e tetos dessas feições subterrâneas. Os espeleotemas encontrados são estalactites, estalagmites, colunas, escorrimentos de calcita, travertinos, formações tipo couve-flor, etc.

Figura 18 – Mapa de localização das áreas e suas cavidades naturais.



Fonte: Produção do próprio autor



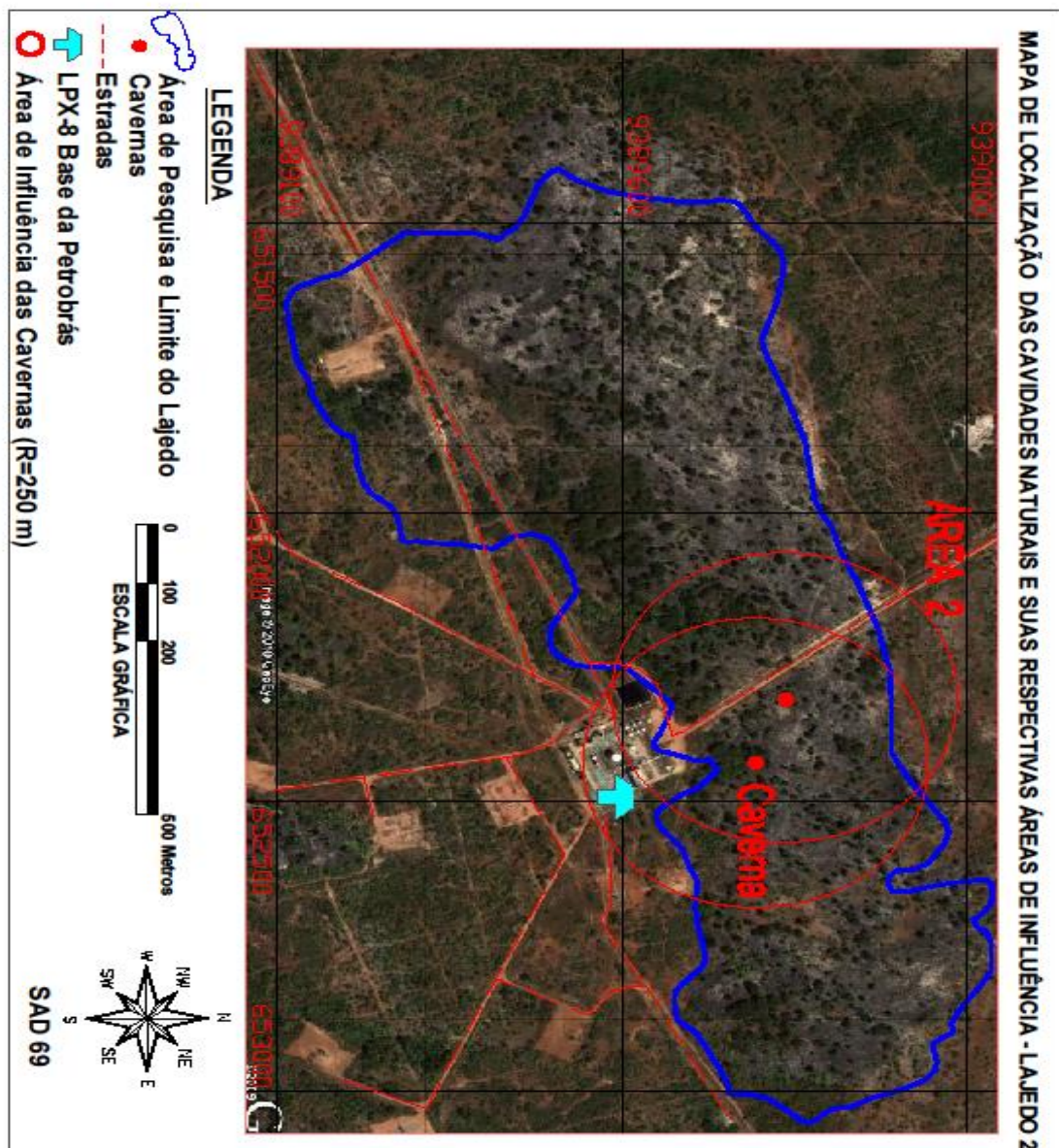
### 4.3.1.1 Caverna

#### Área 2

As grutas constituem feições com desenvolvimento essencialmente horizontal ou sub-horizontal com mais de 20m.

No lajedo foi localizado duas cavidades naturais com desenvolvimento controlado principalmente pelo planos de fraturas verticais, que condicionam o avanço do seu desenvolvimento.

Figura 19 – Mapa de localização das cavidades no lajedo - área 2.



Fonte: produção do próprio autor.

- **Caverna Teto Baixo**

A cavidade com coordenadas X:652377 /Y:9389890 foi dada o nome de Caverna Teto Baixo. Esta não apresenta complexidade ou grande extensão, tem desenvolvimento ao longo de uma fratura de direção 130 Az onde a percolação da água dissolveu o calcário e ampliou a galeria. Nesta caverna não foi encontrada grande quantidade de ornamentação, apenas espeleotemas do tipo estalactite de dimensões centimétricas. Não foi registrada presença de fauna cavernícola.

Figura 20 - Desenvolvimento ao longo da fratura de direção 130 Az. Suas dimensões são: 1,70 m de largura, 2 m de comprimento e 3 de profundidade. Coord. UTM-WGS 84: 652.377 / 9.389.890.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 - Vista da entrada da gruta



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 e 23 - Conduto com aproximadamente 40 cm de diâmetro. Espeleotemas do tipo couve-flor no teto.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Caverna Estreita**

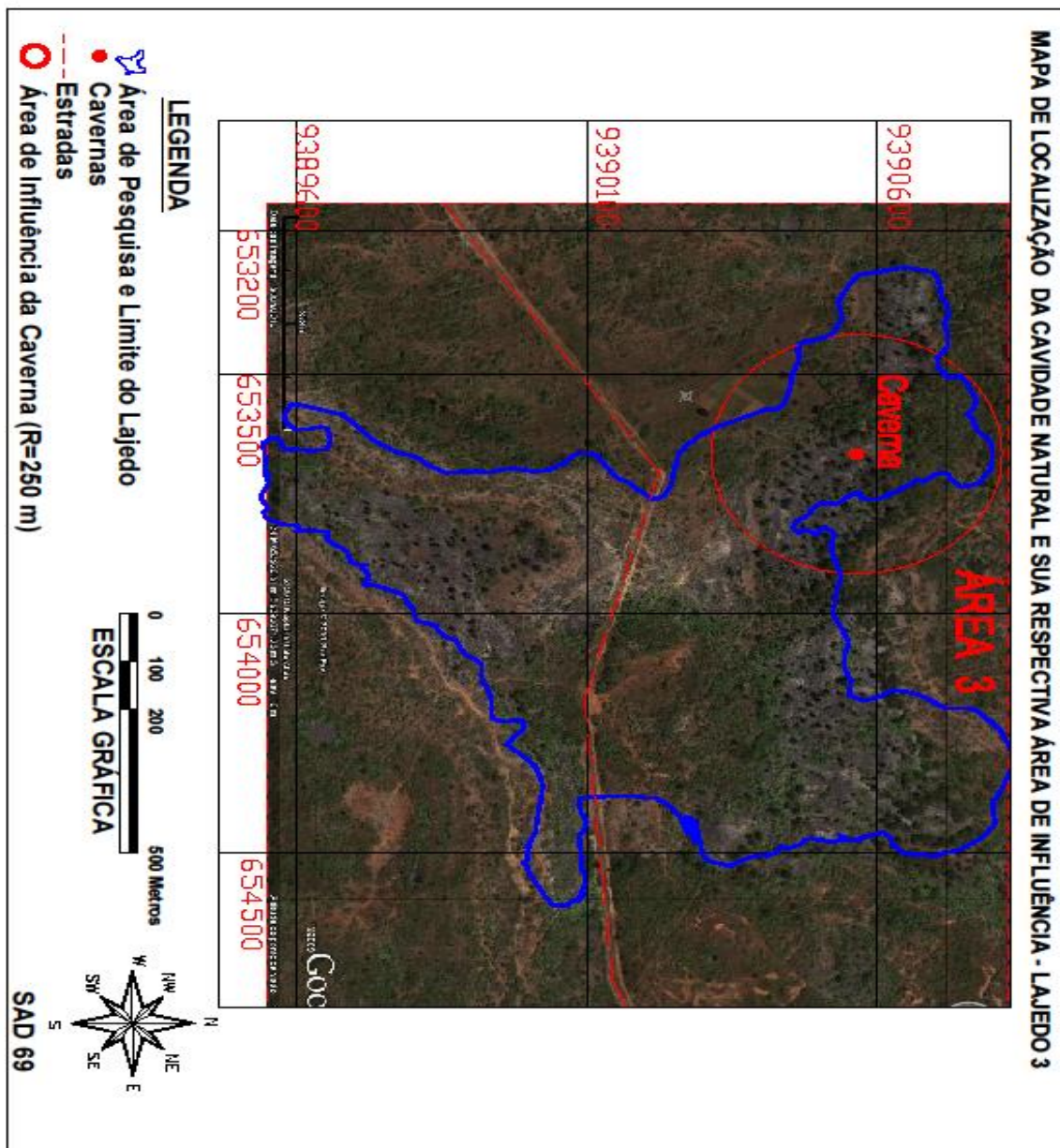
A cavidade se encontra nas proximidades da caverna Teto Baixo, com coordenadas X:652324 e Y:9389835, não apresenta grande complexidade e nem riqueza de ornamentos.

### Área 3

- Dolina dos Ossos

A dolina dos Ossos está localizada na porção NW do lajedo (figura 24). Tem desenvolvimento a partir da direção de fraturamento  $17^\circ$  Az que controlou sua formação e gerou uma dolina com forma elíptica, aonde ocorreu inicialmente a dissolução e em um segundo momento o abatimentos dos blocos.

Figura 24 – Mapa de localização da dolina dos Ossos no lajedo – área 3



Fonte: Produção do próprio autor.

O acesso a dolina dos Ossos se dá através de uma fratura com cerca de 70 m de comprimento e aproximadamente 08 metros de largura com profundidade máxima de 16 m e

mínima de 8 m, com pequeno desenvolvimento horizontal nas extremidades da fratura que formaram duas pequenas grutas com salões independentes. Os salões possuem abertura do teto inicial de 8 e 10 m que vai se afinilando até uma altura de 2 m no caso do segundo salão.

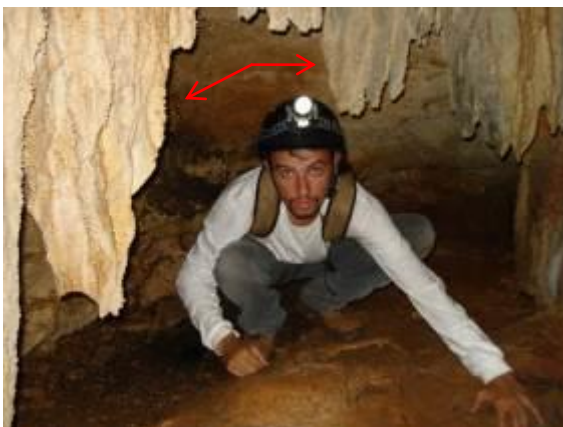
O primeiro salão tem aproximadamente 8 m de comprimento e alguns condutos não penetráveis devido ao seu diâmetro. Este salão está ornamentado com espeleotemas do tipo: estalactites, colunas e represa de travertino .

Figura 25 – Vista de dentro para fora do salão um, com altura média de 8 m.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 27 – Espeleotemas do tipo estalactites com cerca de 60 cm de comprimento.



Fonte: Produção do Próprio autor.

Figura 26 – Detalhe de acesso a dolina dos Ossos, através de fratura com direção 17 °Az. (Coord: 653656 /9390560).



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 28 – Estalactite na parte superior



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 29 – Represa de travertino preenchida por sedimentos.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 30 – Estalactites desenvolvidas ao longo de fratura de direção 48° Az.



Fonte: Produção do próprio autor.

O segundo salão da dolina dos Ossos tem cerca de 13 m de comprimento, não possuindo desenvolvimento por meio de condutos. Este salão está ornamentado com espeleotemas do tipo: cortinas, estalactites e estalactite na forma de lustre. A dissolução atuou de forma mais rigorosa na parte NE da fratura, gerando assim o segundo salão com forma alongada.

Figura 31 – Vista de dentro para fora do segundo salão. Abertura da entrada com altura de aproximadamente 8 m. Fratura com direção  $17^{\circ}$  Az



Fonte: Produção do Proprio autor.

Figura 33– Estalactites desenvolvidas no teto do segundo salão por gotejamento.



Fonte: Produção do proprio autor.

Figura 32 – Vista de fora para dentro do segundo salão, com altura do teto diminuindo de 8 m para cerca de 2,50 m no fim do salão, e largura diminuindo gradativamente.  $7^{\circ}$  Az.



Fonte: Produção do proprio autor.

Figura 34 – Micro-cortinas formadas por escorrimento no teto.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 35– Escorrimento formando cortinas e estalactite no interior do salão dois.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 36 - Estalactite na forma de lustre situado no teto do salão dois.

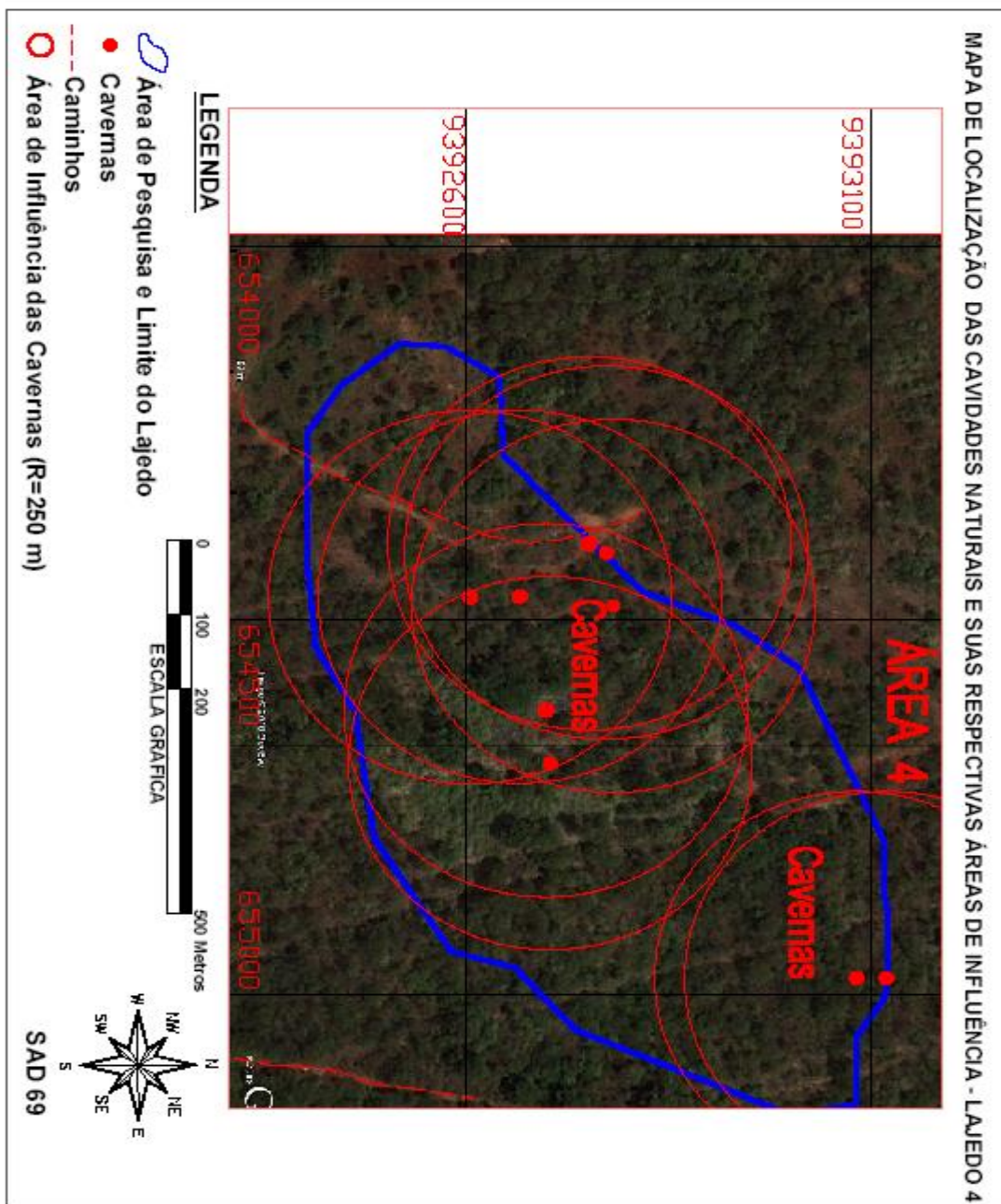


Fonte: Produção do Proprio autor.

## Área 4

No lajedo da área 4 foram identificadas nove cavidades naturais sendo sete destas localizadas no setor centro-oeste, e duas no setor norte do lajedo (figura 37). Todas as setes situadas na porção centro-oeste foram topografadas.

Figura 37 – Mapa de localização das cavidades naturais no lajedo da área 4, com suas respectivas áreas de influência.



Fonte: Produção do próprio autor.



Tabela 01 – Tabela de localização das nove cavidades naturais com seus respectivos nomes.

Caverna	X (Latitude)	Y (Longitude)	Nome das Cavernas
C1	654467	9392666	Caverna do morcego
C2	654619	9392698	Caverna do guano
C3	654396	9392752	Abrigo do cipó
C4	654468	9392604	Passagem estreita
C5	654409	9392772	Gruta do poço
C6	654480	9392780	Caverna três níveis
C7	654690	9392702	Caverna das folhas
C8	654977	9393118	Caverna do vazio
C9	654977	9393082	Caverna do pote

Fonte: Produção do próprio autor.

- **C1 ou Caverna do Morcego**

A caverna do Morcego não apresenta grande complexidade no seu desenvolvimento como também nos tipos de espeleotemas, onde foram vistos apenas estalactites de tamanhos centimétrico e escorrimentos formando cortinas.

Figura 38 – Conduto de acesso com estalactites no teto.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 39 – Controle estrutural promovendo o escorrimento e gotejamento em vários pontos, formando estalactites. Fratura com direção 10° Az e níveis de dissolução horizontais.



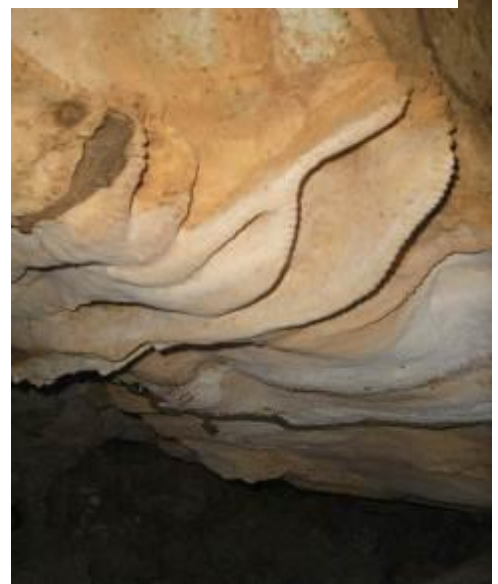
Fonte: produção do próprio autor.

Figura 40 – Galeria com abertura de acesso a fenda.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 41 – Formação de Cortinas por escoamento no teto de inclinação suave.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **C2 ou Caverna do Guano**

A Caverna do Guano não apresenta complexidade ou grande extensão, sendo formada por um único salão com forma circular imperfeita com área de 47 m<sup>2</sup> e dois níveis de dissolução bem desenvolvidos. Para ter acesso a esse salão é feito inicialmente uma descida vertical de 10 m, onde se vê alguns níveis de dissolução. Não foi visto nenhuma fratura externa e interna que pudessem ser correlacionadas com a formação da caverna. Também não foram encontrados espeleotemas. Já em relação a fauna foram observados a presença de morcegos e grande quantidade de guano.

Figura 42 e 43 – Vista da entrada semi-circular da caverna, onde também podem ser observado alguns níveis de dissolução.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 44 – Salão da caverna com grande quantidade de guano acumulada no piso.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 45 – Leitura da distância entre as estações.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **C3 ou Abrigo do Cipó**

O Abrigo do Cipó foi formado ao longo de uma fratura com direção 20Az. A fratura que permite o acesso ao abrigo tem 19 m de comprimento por 3 m de largura. O abrigo tem aproximadamente 3 m de diâmetro por 4,5 m extensão, não possui diversidade de espeleotemas, existindo no seu interior apenas represas de microtravestino.

Figura 46 – Vista do abrigo ao fundo da figura.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 47 – Entrada do abrigo com descida vertical de 5,9 m.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 48 – Equipe topográfica coletando medidas de diâmetro e direção no interior do abrigo.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 49 – Pequeno desenvolvimento formado por conduto com 3 m de extensão.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **C4 ou Passagem Estreita**

O Abrigo da Passagem Estreita tem um desenvolvimento vertical de 4,6 m que dá acesso a um pequeno salão com dimensões de 10 m comprimento por 5 m de largura, onde ocorreu o desabamento de parte do teto. Foram encontrados espeleotemas do tipo estalactites de tamanho centimétrico.

Figura 50 – Desenvolvimento vertical de acesso a gruta, necessitando, portanto de equipamentos de segurança.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 51 – Vista de dentro para fora da entrada da gruta que tem formato circular.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 52 – Desplacamento horizontal e desmoronamento do teto.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 53 – Estalactites com tamanhos variados alinhadas (E-W), e ao fundo desmoronamento do teto.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **C5 ou Abismo do Poço**

O Abismo do Poço (ou Poço Sem Ar) tem apenas um pequeno desenvolvimento horizontal e só possui espeleotemas do tipo couve-flor.

Figura 54 - Vista de entrada do poço (forma semi-circular) e descida por meio de técnica de rapel.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 55 – Vista de dentro para fora do poço.



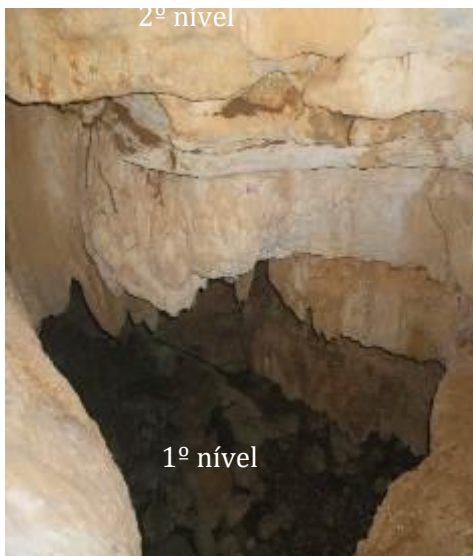
Fonte: Produção do próprio autor.

- **C6 ou Caverna dois Níveis**

A Caverna Dois Níveis como o nome já diz possui dois níveis de dissolução cárstica, situados respectivamente a 3,7 m um do outro. No primeiro nível foram encontradas estalactites de tamanhos métricos a centimétricos, estalactites na forma de lustre, escorrimento

formando cortinas e a união de estalactite com uma estalagmite formando uma coluna. O acesso ao segundo nível tanto pode ser feito pela entrada da caverna como através de uma clarabóia que conecta o primeiro ao segundo nível, onde foram observados alguns espeleotemas do tipo estalactites.

Figura 56 – Vista da clarabóia de acesso do nível 2 para o nível 1.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 58 – entrada da caverna com descida vertical de 4 m.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 57 – União de estalactite com estalagmite formando coluna.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 59 – Salão principal da caverna (nível 2).



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 60 – Nível 1 da caverna com espeleotemas (estalactites).



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 61 – Espeleotemas na forma de cortinas de tamanho métrico.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 62 – Teto repleto de estalactites com aproximadamente 20 cm comprimento.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 63 - Fauna cavernícola representada por Troglófilo da espécie escorpionídeo.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **C7 ou Caverna das Folhas**

A Caverna das Folhas é formada por apenas uma galeria onde os espeleotemas encontrados são estalactites de tamanho centimétrico, estalagmites e represas de microtravertino. O piso da caverna é formado por acumulação de sedimentos carbonatados formando uma elevação.

Figura 64 – Entrada da caverna das Folhas.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 65 - Estalagmite



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 66 e 67 – Canudos de estalactites tubulares na figura da direita e estalactites cônicas na figura da esquerda de tamanhos variando de 5 a 50 cm, formadas por gotejamento.



Fonte: Produção do próprio autor.





## 5 GEOLOGIA ESTRUTURAL

### 5.1 Introdução

A finalidade da geologia estrutural é a de entender as deformações da crosta terrestre ocupando-se basicamente com as estruturas, morfologia e mecanismo de sua formação devendo-se observar também os processos de deformação e de seus produtos que vão ser gerados em resposta a atuação de esforços, portanto as feições estruturais levantadas são resultado de vários eventos deformacionais.

A análise estrutural da área de estudo compreendeu a observação das características macroestruturas (obtidas pela extração de elementos texturais das imagens), por observações de campo e suas correlações com as feições microestruturais, objetivando uma melhor caracterização do comportamento deformacional da formação Jandaíra.

Na área de estudo a análise das imagens de satélite *Quick Bird* e *Google Earth* objetivou a delimitação dos lajedos e a identificação de possíveis dolinas e cavernas, visto que a qualidade não permitiu a delimitação das estruturas. Seguiu-se em uma segunda etapa com a verificação dessas possíveis dolinas e cavernas visualizadas nas imagens e o levantamento das estruturas por meio de GPS geodésico.

Segundo Hackspacher et al. (1985) in Dantas (1998) os lineamentos (NE-SW, NW-SE e N-S) formam um complexo sistema estrutural entrelaçados e que penetram por toda a Bacia Potiguar.

Com base no conceito de Amaro & Strieder (1994) que denominaram lineamentos, como estruturas regionais de tipo 1 (dúcteis) e estruturas rúpteis de tipo 2. Aos lineamentos do tipo 1 associaram feições geomorfológicas positivas (quebras positivas) e negativas (quebras negativas), com um arranjo linear ou curvilinear, considerando principalmente a homogeneidade da ocorrência, densidade e distribuição geométrica, que permitem caracterizar as lineações. Ao tipo 2 associaram predominantemente às feições geomorfológicas negativas, representando falhas ou fraturas, que provavelmente irá refletir uma estruturação em sub-superfície.

As rupturas ou fraturas e falhas possuem origem secundária por serem posteriores a gênese da rocha e são ditas disjuntivas ou disruptivas. As fraturas podem ser abertas, fechadas ou preenchidas e não mostram-se com movimentação em relação ao plano de ruptura, já as falhas mostram-se com movimentação em relação ao plano de ruptura.

Em 2003 a PROASNE- Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil, realizou um levantamento estrutural-geofísico em uma área situada entre Felipe Guerra e Apodi e

identificou a ocorrência de baixos e altos estruturais, controlados por falhas normais NW-SE, seccionadas por falhas de rejeito direcional NE-SW. Na área de afloramento das formações Açu e Jandaíra, entre Felipe Guerra e Apodi, foram identificados vários fotolineamentos retilíneos, que em sua maior parte devem corresponder a falhas e fraturas de *trend* N, NE e NW.

Para compilação dos elementos e confecção dos diagramas de rosetas que analisou os elementos estruturais e agrupou em intervalos de 10° (concentração relativa), foram utilizados os softwares a) Project Manager, b) Excel, c) Surfer e d) AutoCAD 2006.

Nos histogramas de orientação foram considerados norte, sul, leste e oeste valores com variação de até 10° pra mais ou pra menos.

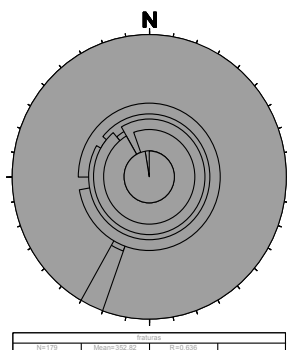
Para a classificação das estruturas em relação ao seu tamanho, utilizamos a classificação da ISRM (International Society for Rock Mechanic, 1983), que diz quando uma fratura tem comprimento menor que 1m ela é descrita como pequena, já as com tamanhos entre 1 e 3 m pequena, entre 3 e 10 m média, entre 10 e 20 m grande e maior que 20 m é dita muito grande.

A medida das estruturas levou em conta a sua proximidade com alguma caverna, gruta ou dolina.

- **ÁREA 2**

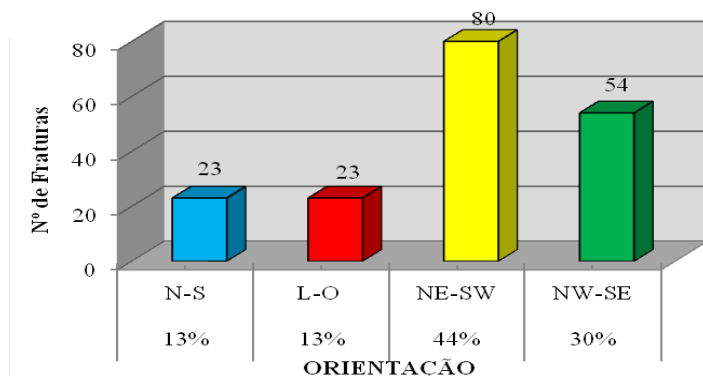
Na área 2 foram coletadas cento e oitenta fraturas sub-verticais, destas 44% estão orientadas NE – SW e 30% orientadas NW – SE (Figura 68 e 69).

Figura 68 – Diagrama de roseta representando a direção de 180 medidas de fraturas – área 2.



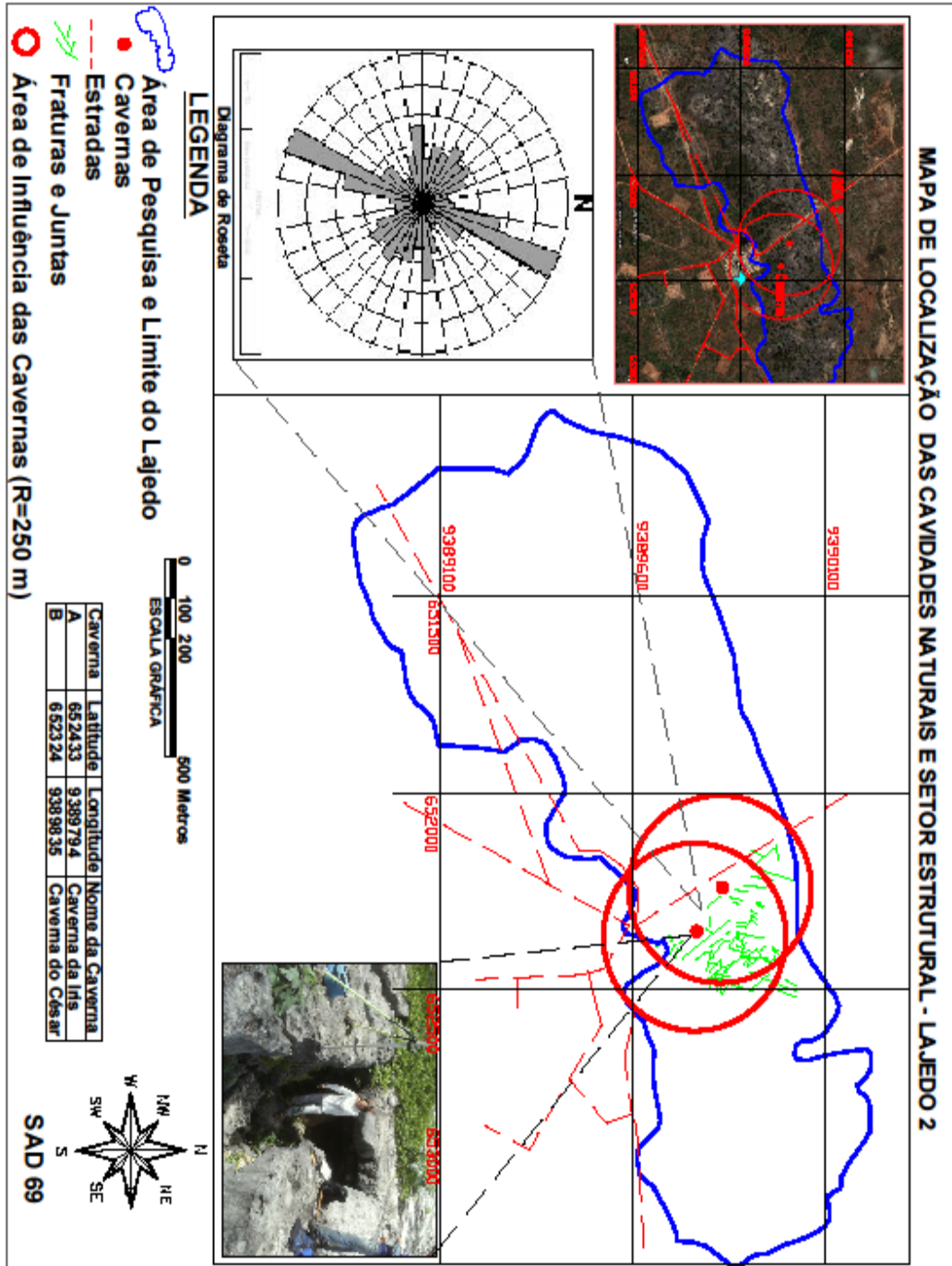
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 69 – Histograma de orientação das fraturas – área 2.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 70 – Mapa de localização das cavernas com diagrama de roseta indicando a direção preferencial de fraturamento NE-SW. Área 2.

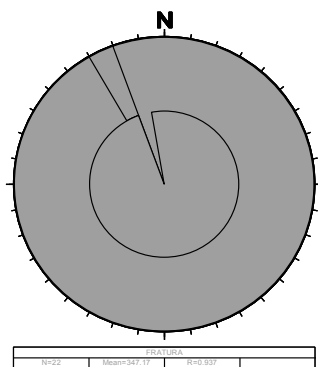


Fonte: Produção do próprio autor.

- **ÁREA 3**

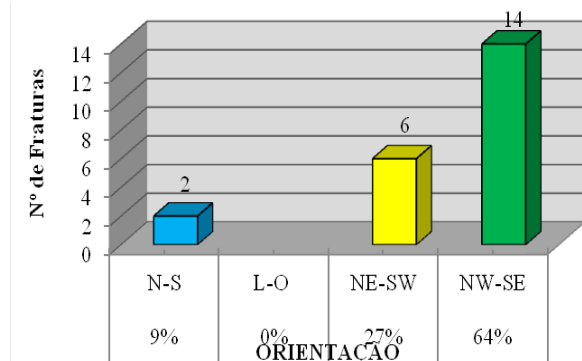
Na área 3 foram medidas vinte e duas fraturas, sendo seis (27%) com trend NE-NW e quatorze (64%) com trend NW-SE. Essas estruturas estão no entorno da caverna dos Ossos. A baixa exposição do lajedo devido a cobertura por parte do solo e da vegetação impossibilita a visualização de possíveis fraturas.

Figura 71 – Diagrama de roseta representando a direção de 22 medidas de fraturas – área 3.



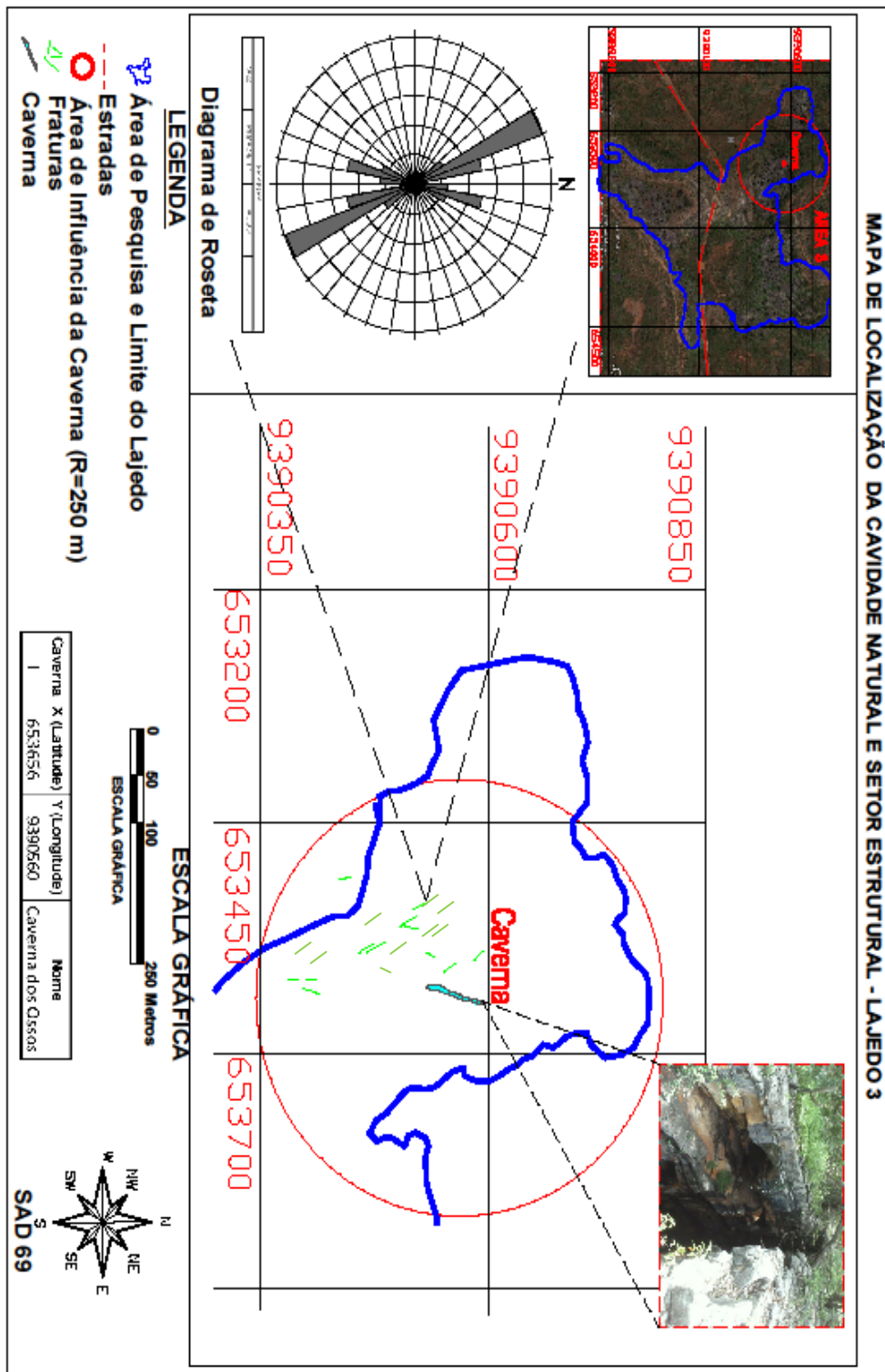
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 72 – Histograma de orientação das fraturas – área 3.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 73 – Mapa de localização da dolina dos Ossos com diagrama de roseta indicando a direção preferencial do fraturamento NW-SE. Área 3.



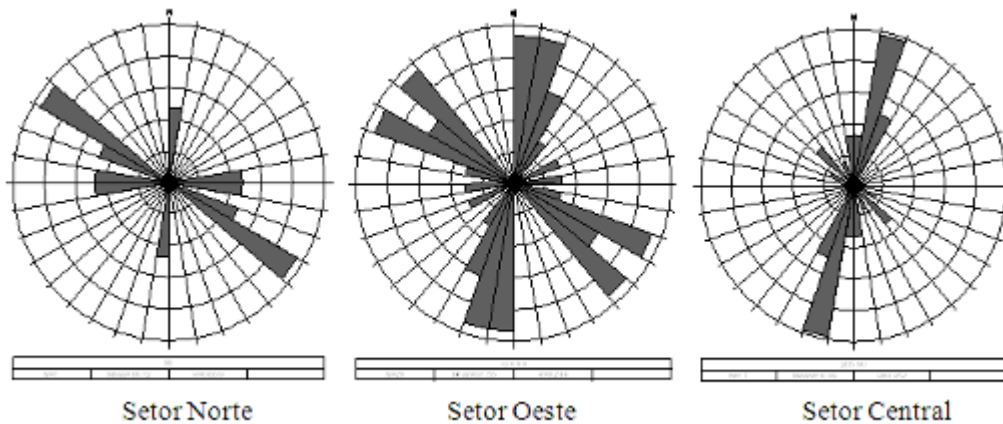
Fonte: Produção do próprio autor.

- **ÁREA 4**

As estruturas foram agrupadas em setores no lajedo 4, tendo em vista a baixa concentração de fraturas e a baixa exposição da rocha carbonática.

Foram coletadas quarenta e quatro medidas sendo, sete no setor norte, vinte no setor oeste e dezessete no setor central.

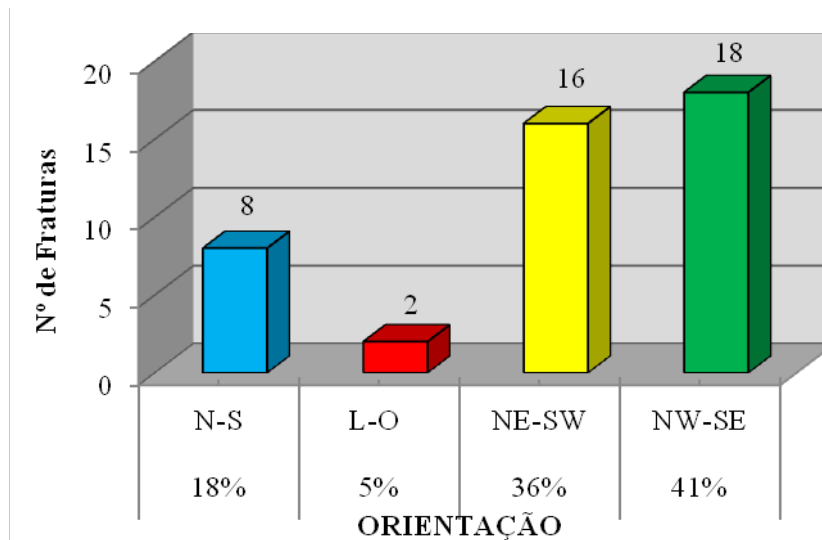
Figura 74 - Diagrama de roseta representando a direção de 44 fraturas – área 4.



Fonte: Produção do próprio autor.

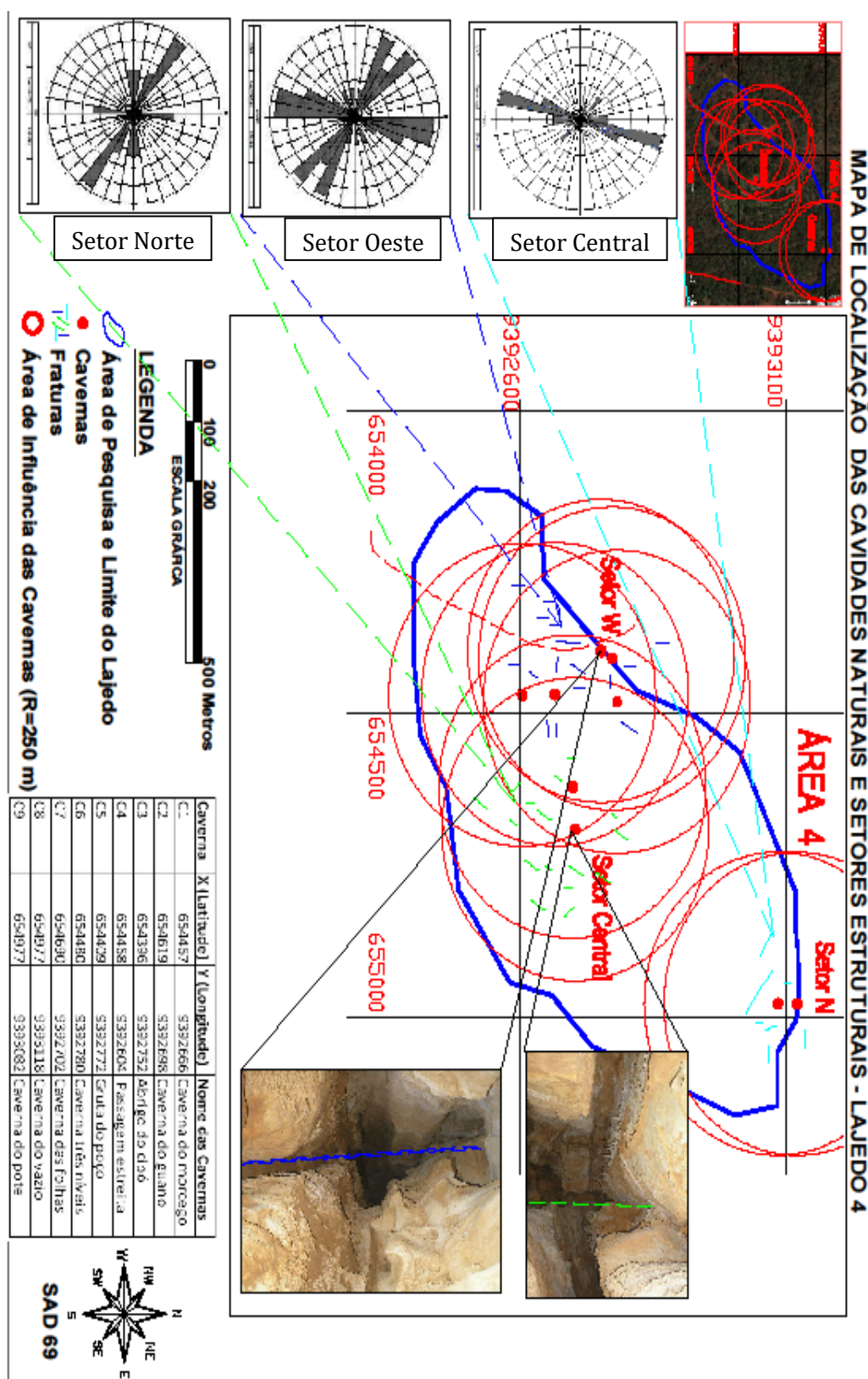
Como pode ser observado nos diagramas de roseta e mostrado no histograma a maior parte das fraturas estão orientadas: 41 % NW – SE, 36% NE – SW e uma terceira família de fraturas com 18% N – S.

Figura 75 – Histograma de orientação espacial das fraturas – área 4.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 76 - Mapa de localização das cavernas com diagramas de roseta indicando a direção preferencial de fraturamento NW-SE e NE-SW. Área 4.



Fonte: Produção do próprio autor.

## 5.2 Gênese das descontinuidades

É de suma importância a determinação da gênese das descontinuidades visto que estas estruturas tem influência direta no comportamento do maciço, podendo estas descontinuidades evoluírem e tornando-se caminho preferencial para as águas e desta forma possibilitando a formação de cavernas.

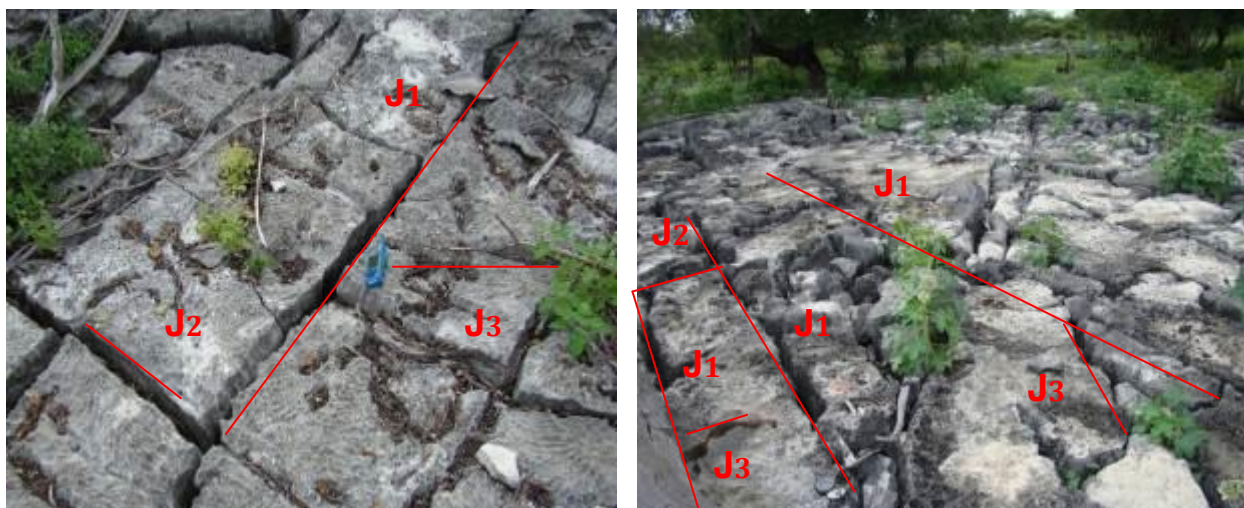
Com o levantamento das estruturas nos respectivos lajedos observou-se que as juntas apresentam padrão geométrico que condizem com as estruturas regionais.

As estruturas ocorrem com expressividade tanto no lajedado II e III, nos quais observou-se juntas de origem tectônica como também juntas de origem não tectônica. Estas juntas apresentam-se na maioria das vezes abertas e por vezes preenchidas por calcita.

## 5.3 Juntas tectônicas

As juntas de origem tectônica ou neotectônicas formam um conjunto de fraturas verticais abertas de direção NE (J1) que são muito persistentes, as de direção E-W (J2 e J3) apresentam penetratividade superficial, e suas superfícies ou paredes encontram-se afastadas com distância centimétrica (Figura 77 e 78).

Figura 77 e 78 – Juntas tectônicas, mais especificamente juntas ortogonais, com forma tabular dispostas em uma área de cerca de 30 m (Coord.652397/9389849).



Fonte: Produção do próprio autor.

Também foram medidas o tamanho das fraturas, ou seja sua continuidade, com trena e GPS Geodésico, desta forma obteve-se precisão na medição do tamanho e no georeferenciamento dessas estruturas.

As juntas foram classificadas da seguinte forma:



Tabela 2 - Classificação de continuidade formulada pelo autor desta dissertação

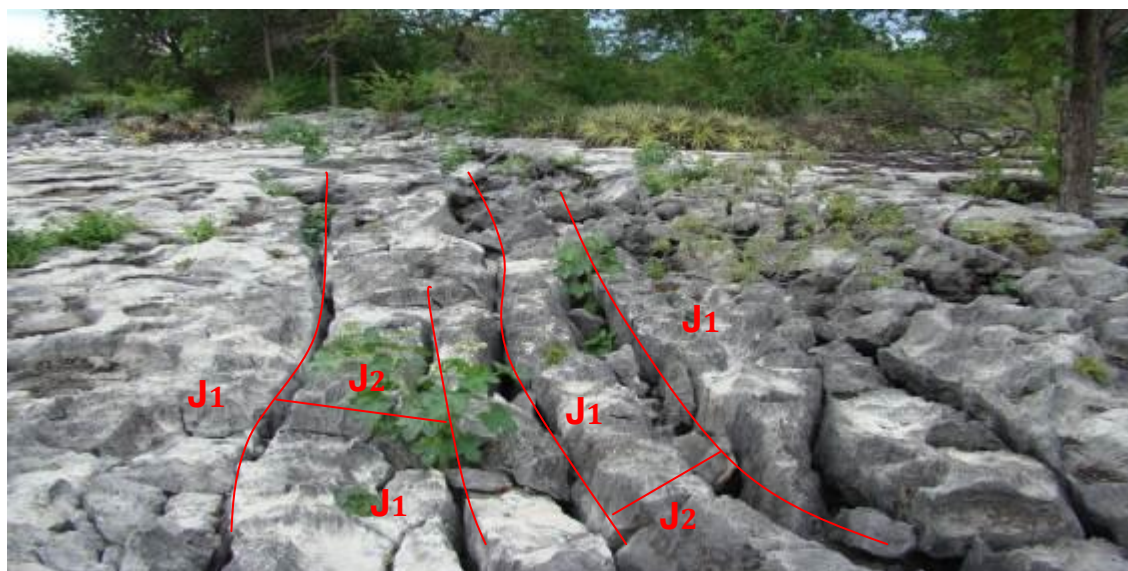
<b>Tipo</b>	<b>Quanto a persistência</b>	<b>Ordem de Aparecimento</b>
J1	Muito Persistente	Antiga ou Primitiva
J2	Persistente	Jovens ou Pós –primitiva
J3	Pouco Persistente	

Fonte: Produção do próprio autor.

As juntas J1 foram classificadas como antigas ou primitivas por cortarem todas as outras estruturas tendo estas comprimento superior a 20 m e destacando-se também sua abertura e profundidade.

As juntas J2 e J3 foram classificadas mais jovens, apresentam comprimento reduzido chegando ao máximo de 4 m. Estas juntas (J2 e J3), estão geralmente entre juntas J1, ou seja, tem início e terminações em descontinuidades.

Figura 79 – Juntas muito persistentes J1 e juntas persistentes J2, tendo essa última início e término em juntas contínuas J1. (Coord.652431/9389848)

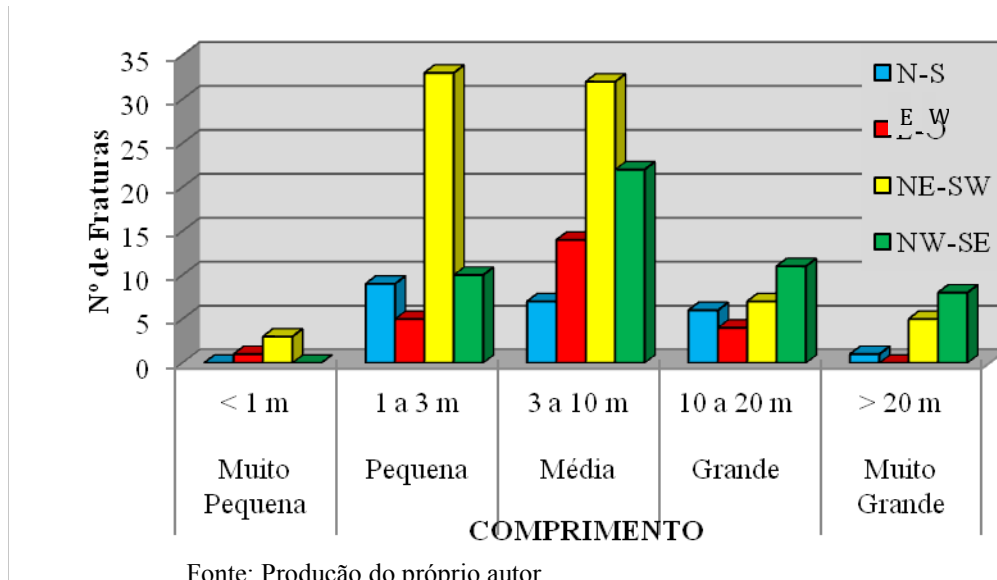


Fonte: Produção do próprio autor.

Na área 2 as fraturas com comprimento entre 3 e 10 m aparecem em maior quantidade e estão concentradas na categoria de comprimento médio, tendo maior

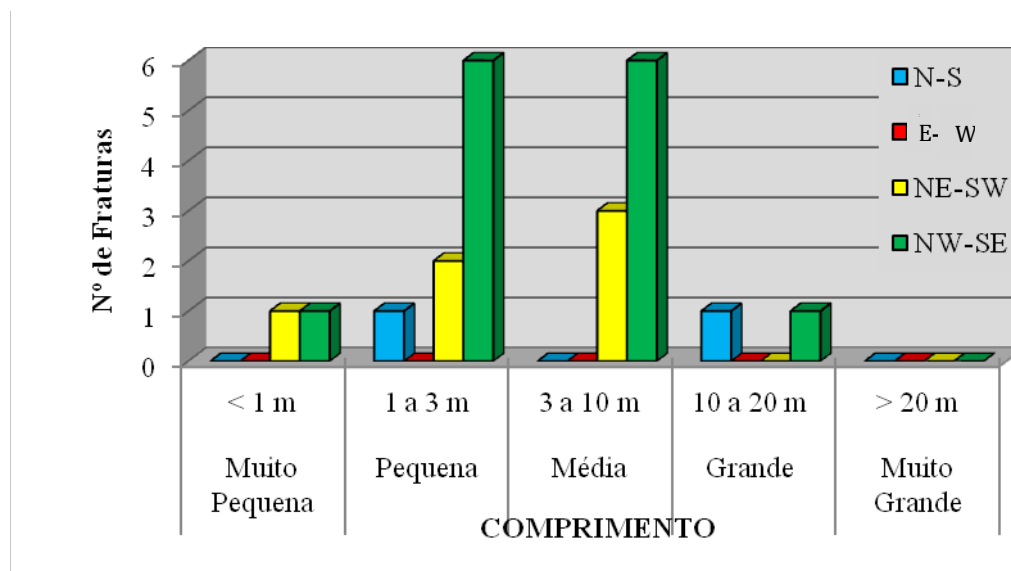
representatividade a família de fraturas com orientação NE – SW. As fraturas com essas orientações são persistentes (J2) e pouco persistentes (J3).

Figura 80 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 2.



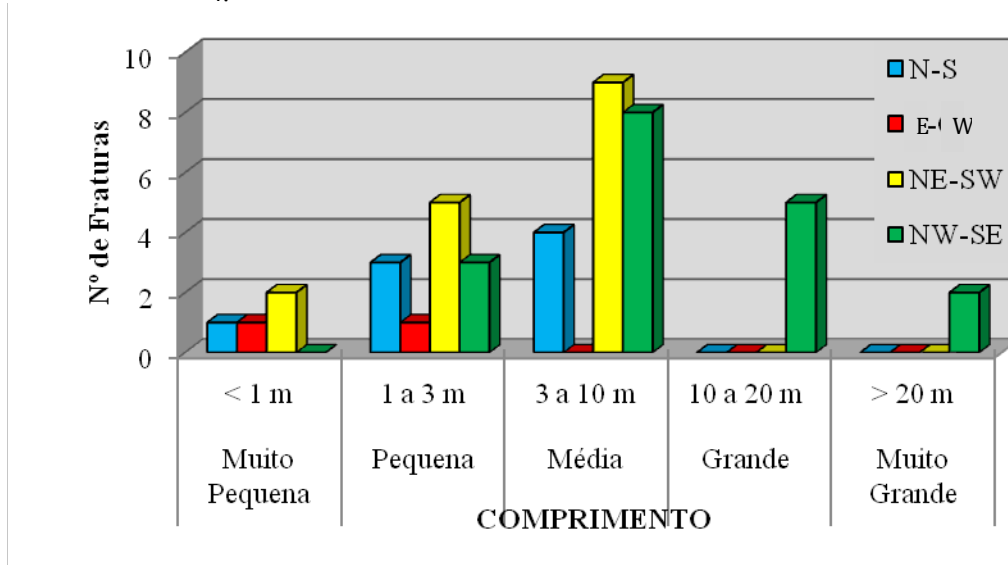
Na área 3 predominam as fraturas com orientação NW – SE e tamanho entre 1 e 3 m, e 3 e 10 m, ou seja, na categoria pequena e média. Estas fraturas são representadas por J2 e J3, sendo consideradas respectivamente persistentes e pouco persistentes.

Figura 81 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 3



Na área 4 a predominância de fraturas com comprimento entre 3 e 10 m e orientação NE – SW e NW – SE. Essas fraturas são pouco persistentes a persistentes.

Figura 82 – Histograma de classificação do comprimento de fraturas – área 4.



Fonte: Produção do próprio autor.

#### 5.4 Juntas não tectônicas

São juntas formadas devido a retração de sedimentos muito fino através da perda de água por evaporação subaérea, estando evidenciada na área por gretas de contração (Figura 83).

Figura 83 - Lama carbonática exposta a ambiente subaéreo.



Fonte: Produção do próprio autor.

São encontradas na área níveis de dissolução paralelos ao plano de estratificação (S0), o que vai gerar o deslocamento da superfície de erosão.

Figura 84 e 85 – Deslocamento da superfície ocorrida pela dissolução paralela junto ao plano S0.



Fonte: Produção do próprio autor.

No levantamento feito nos lajedos nas proximidades da LPX-8, observou-se estruturas (fraturas/juntas) com *trend* NE e NW, coincidindo assim com *trend* N, NE e NW encontrados no trabalho realizado pela PROASNE em 2003.

Os principais vales entalhados neste relevo uniforme, corresponde aos vales dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas Açu, de direção principal NNE-SSW, encaixados em lineamentos estruturais do embasamento cristalino. Outros vales menores de orientação norte-sul cortam, aparentemente, as principais estruturas regionais. Estes vales, desenvolvidos durante o Plioceno sobre a ampla superfície erosional são, localmente, preenchidos por depósitos aluvionares.

### 5.5 Condicionamento estrutural

As diferentes feições cársticas identificadas, assim como a rede de drenagem superficial, são fortemente controladas pela estruturação do maciço carbonático, onde a estratificação é a principal estrutura condicionante da solubilização em subsuperfície. As observações de campo das estruturas, dispostas segundo o fraturamento, indicam um controle estrutural sobre a formação de dolinas, grutas, fendas e formações secundárias.

O sistema cárstico dessa região está muito fraturado e revela uma tendência natural de acomodação das rochas, tornando-se evidente tanto superficialmente (processo de incasão) como em algumas galerias.

Nos lajedos 02 e 03 as rochas estão expostas em uma área bem maior que no lajedo 01 e 04, estando estas mais susceptíveis aos processos intempéricos. Dessa forma as feições estruturais estão mais visíveis e bem mais marcadas, estando por tanto, mais fáceis de ser interpretadas e estudadas.

Foram encontradas em campo feições estruturais do tipo: juntas ortogonais, juntas estilolíticas, fraturas preenchidas e abertas, as quais vão ser descritas a seguir.

- **Juntas estilolíticas**

Foram encontradas juntas estilolíticas paralelas ao plano de acamamento isso é resultado da compactação da bacia, que foi sofrendo sobrecarga por parte dos sedimentos depositados posteriormente, essas juntas são resultado por tanto de uma diagênese de compressão.

Figura 86 e 87 - Juntas estilolíticas dispostas paralela ao acamamento.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Juntas Preenchidas com Calcita**

As juntas que por vezes podem estar preenchidas por sedimentos ou mineralizações. No lajedo 02 estas juntas estão preenchidas pela recristalização da calcita que ocupa todo o plano da fratura. O material oriundo desse preenchimento provém da própria rocha que foi intemperizada.

No lajedo 03, nas proximidades da dolina dos Ossos não foi visto nenhuma junta com preenchimento por calcita, as poucas juntas existentes encontravam-se preenchidas por sedimentos.

Figura 88 - Juntas orientadas N-S preenchidas com calcita. (Coord.652474/9389893).



Fonte: Produção do próprio autor.

- **Fratura com Dissolução**

As fraturas estão em constante processo de modificação, mesmo após sua formação. Um dos mecanismos pós-deformacionais que atua constantemente no alargamento e escavação dessas estruturas é a dissolução por parte da água no calcário.

Na área do lajedo 2 essa dissolução é acelerada por essas estruturas coincidirem com a direção do fluxo de água, que escoava do lajedo que é a parte mais alta para uma vale que está a sudeste. Essas estruturas ao mesmo tempo que drenam a água, são também alargadas e escavadas.

Figura 89 – Fratura alargada por dissolução com direção NW-SE, 8 m de comprimento, 45 cm de largura e 1 m de profundidade. (Coord. 652470/9389778).



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 90 – Fraturas interligadas de direção NW-SE.(Coord. 652406/9389791).



Fonte: Produção do próprio autor.

## 6 PETROGRAFIA

Para a observação das lâminas delgadas utilizou-se um microscópio óptico Olympus BX41 com objectivas com ampliações de 4x, 10x e 40x e ocular com ampliação de 10x.

As lâminas observadas foram separadas segundo os níveis de um perfis da caverna Teto Baixo de onde foram coletadas as amostras para os ensaios petrograficos.

A divisão desses níveis obedeceu a variações de características faciológicas identificadas visualmente em campo.

Foram realizadas análise petrográfica em quatro lâminas delgadas coletadas segundo um perfil vertical na Caverna Teto Baixo – área 2, com a finalidade de diferenciar os modos de deposição através das suas variações texturais. Por se tratar de uma rocha com mais de 90% de CaCO<sub>3</sub> com uma mineralogia formada geralmente por um único mineral (monominerálica) a descrição se torna relativamente mais fácil.

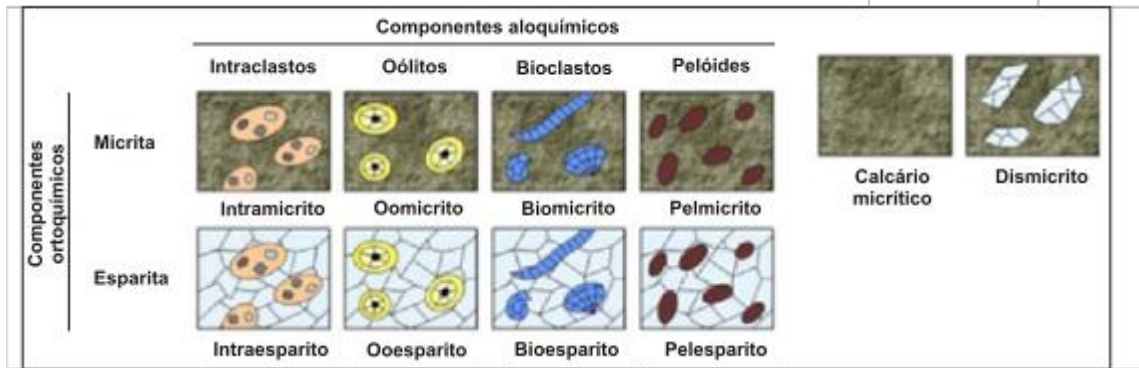
Os componentes texturais de rochas calcárias podem ocorrer de duas formas: por precipitação química direta, ou seja, os componentes não são transportados e por transporte e deposição, onde os fragmentos de carbonatos de cálcio foram transportados e depositados, tudo isso antes da sua formação. Estes fragmentos podem ser fragmento do próprio calcário, fósseis, restos orgânicos (fecal) e agregados circulares de origem inorgânica.

Para a descrição dessas lâminas, foram utilizadas as classificações propostas por Dunham (1962) e Folk (1959, 1962). O primeiro correlaciona a proporção da matriz micrítica aos aloquímicos, enquanto o segundo contempla a proporção de ortoquímicos aos aloquímicos.

A classificação de Folk (1959, 1962) é uma classificação litológica, baseada essencialmente nos componentes da rocha carbonática, isto é grãos aloquímicos, matriz e cimento. Identifica quatro grupos básicos: carbonatos onde os grãos aloquímicos estão cimentados por calcita espática, carbonatos com os grãos aloquímicos em matriz micrítica, carbonatos microcristalinos sem aloquímicos e estruturas orgânicas desenvolvidas *in situ*, denominados biolititos. Os dois primeiros grupos constituem as rochas aloquímicas (Figura 91).

O arcabouço fornece o prefixo do nome da rocha: oo (para oóide), bio (para fósseis), pel (para pelotilhas) e intra (para intraclastos). O carbonato intersticial fornece o sufixo do nome da rocha: micrito (para matriz lamítica calcária, com ambiente de deposição calmo) e esparito (cristais de carbonato, precipitado em ambientes de alta energia).

Figura 91 - Classificação de Folk (1959,1962).



Fonte: Folk (1959,1962). (Modificado de DORADO,1989).

A classificação de Dunham é extremamente prática e fornece indicações sobre a energia do meio ambiente onde se formaram as rochas carbonáticas. Ela é baseada essencialmente na textura deposicional da rocha carbonática, e segundo o autor, três feições são especialmente úteis para classificar carbonatos que preservam sua textura deposicional (Figura 92).

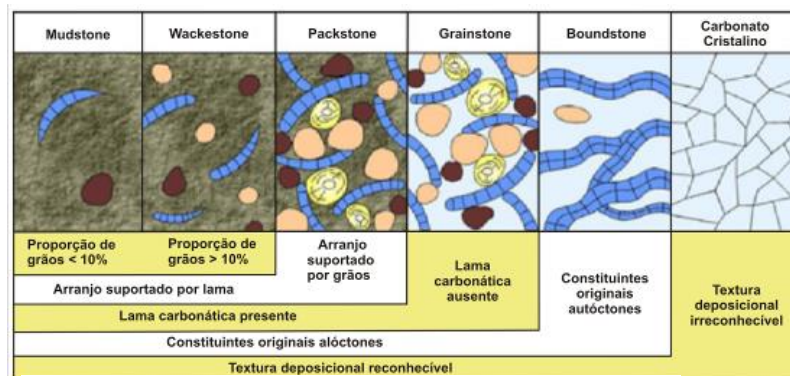
1- A presença ou ausência de lama carbonática, o que permite diferenciar carbonatos lamosos, de grainstones, que não apresentam lama.

2- A abundância de grãos, que permite subdividir os carbonatos lamosos em mudstones (menos de 10% de grãos), wackestone (mais de 10% de grãos) e packstones, que embora contenham lama na matriz, são sustentados pelos clastos como os grainstones. Wackestones são rochas sustentadas pela matriz.

3 - A evidência de trapeamento de sedimentos durante a deposição do carbonato caracteriza o boundstone.

Rochas carbonáticas que praticamente não preservam feições deposicionais são consideradas à parte, e denominadas carbonatos cristalinos.

Figura 92 – Classificação de Dunham (1962).



Fonte: Dunham (1962). (Modificado de DORADO, 1989)



## JR -1A

A lâmina JR-1A é formada por 60 - 65% de calcita e 30 - 35% de bioclastos (foraminíferos, algas e artrópodes). Os cristais de calcita apresentam formato sub-anguloso com esfericidade baixa a média. A matriz tem natureza micritica e textura biomicrítica. (Folk 1962)

Os fragmentos tem natureza carbonática e bioclástica com cristais de calcita medindo entre 0,1 e 0,3 mm, com cristais anedrais a subeudrais . Os bioclásticos Foraminíferos variam em tamanho entre 0,1e 0,3mm (figura 94). As algas variam entre 0,5 - 1,0 mm, já os artrópodes variam de 0,3 - 0,5mm.

Na lâmina foi visto porosidade entre 10 - 15% em relação a matriz, com estruturas cársticas em contato com a matriz micritica. A amostra tem menos de 10% de aloquímico sendo calssificado por Folk (1962) como calcário aloquimico e Dunhan (1962) como Wackstone.

## JR - 1B

A lâmina da amostra JR-1B apresenta composição mineralogia com 75 a 80% de calcita e 25 a 20% de bioclastos, sendo estes, algas, foraminíferos, corais e pelóides. Os cristais de calcita são sub-angulosos, com esfericidade dos cristais variando de baixa a média. A matriz possui uma natureza micrítica e textura biomicrítica, segundo a classificação de Folh 1959,1962.

Os fragmentos possuem natureza carbonática e bioclástica com tamanhos variados, sendo: cristais de Calcita variam de 0,1 a 0,7 mm com forma (subeudral), maior parte micriticos com alguns poucos cristais desenvolvidos. As algas variam entre 0,5-1,5 mm e possuem aspecto lamelares (figura 96) estando presentes por vezes micritizadas dentro de uma matriz micritica. Os foraminíferos variam entre 0,1 - 0,2mm (figura 95) e encontram-se com aspecto irregular esférico, já os pelóides variam entre 0,1 - 0,5mm e estão distribuidos dentro da matriz micritica, sendo formados por pellets (excrementos dos pelóides) que ocorrem por vezes em aspecto opacos e limonitizados(figura 97). Os corais variam entre 0,2 - 5 mm, apresentam formas sub-angulosas, por vezes os microorganismo passaram por processos de calcificação em algumas partes de sua estrutura interna.

A Porosidade do calcário é do tipo interpartículas segundo a evolução da porosidade no sedimento, com 5% em relação a matriz, tendo estes vazios tamanhos entre 0,1 - 0,5mm. A classificação de Folk (1959, 1962) enquadra este tipo de calcário como uma

rocha aloquímico e a de Dunham (1962) como Wackestone, por ter menos de 10% de aloquímicos.

#### JR - 1C

A lâmina JR-1C (figura 98) possui composição mineralógica composta de calcita (70 - 75%) e bioclastos (30 -25%) formados por: foraminíferos, braquiópodes e pelóides. Os cristais de calcitas tem formatos sub-angulosos a angulosos e esfericidade baixa. Constatou-se que a matriz tem natureza micrítica e textura biomicrítica.

Os fragmentos tem natureza carbonática e bioclástica com cristais de calcita variando entre 0,1 a 0,2 mm e forma (subeudral) na matriz micrítica apresentando por vezes estruturas de dissolução e aspecto cárstico. As algas variam em tamanho entre 0,2-0,5 mm, apresentando aspecto lamelares e estão por vezes micritizados. Os foraminíferos variam entre 0,1 – 0,3mm com forma irregular e esférica. Já os pelóides variam entre 0,1 – 0,3mm apresentando-se limonitizados e opacos.

A porosidade da amostra é do tipo interpartículas segundo a evolução da porosidade no sedimento, com 15% em relação a matriz, tendo estes vazios entre 0,1 - 0,3mm. Segundo a classificação de Folk (1959, 1962), o calcário é do tipo aloquímico, já a classificação de Dunham (1962) a rocha é um Wackestone por possuir menos de 10 % de aloquímicos.

#### JR -1D

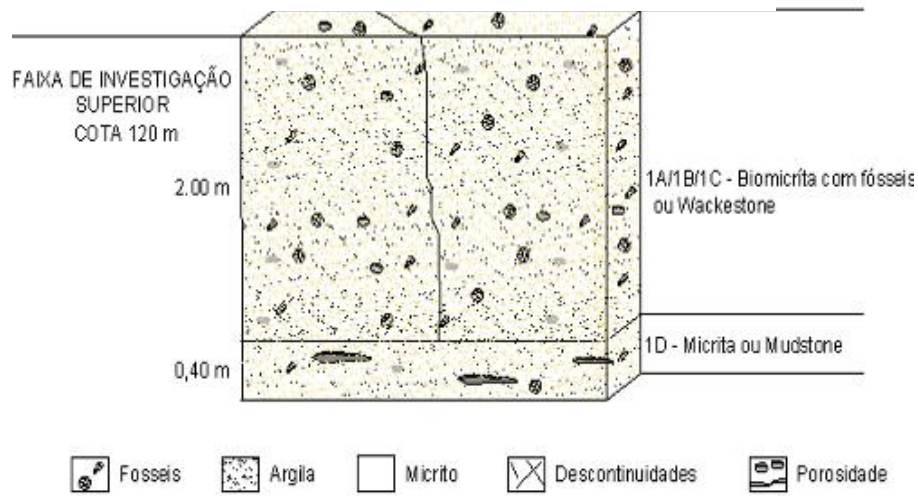
A mineralogia da lâmina JR - 1D (figura 99) é composta de 90% de calcita e 10% de pelóides e artrópodes. Os cristais de calcita são sub-angulosos com esfericidade baixa. A rocha tem uma matriz de natureza micrítica, composta de uma massa fina acinzentada composta de uma lama carbonática.

Os fragmentos de calcita variam em tamanho entre 0,1 e 0,5 mm na objetiva de 4x, com formas anedrais a subeudrais. Os bioclóstos pelóides variam entre 0,1 e 1,0 mm, já os artópodes variam entre 0,1 e 0,5 mm. Esses fragmentos tem natureza carbonática e bioclástica e são sub-angulosos. Na figura 100, os pellets aparecem em detalhe com provável oxidação.

A rocha tem 2% de porosidade, e segundo a classificação de Folk (1962) é um Calcário aloquímico por possuir de 1 a 10% aloquímicos, já em relação a classificação de Dunhan (1962) a rocha é um Mudstone.

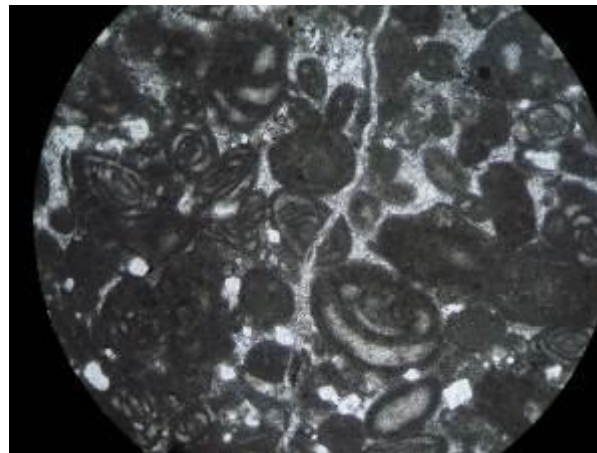
Em todas as lâminas JR – 1A, 1B, 1C e 1D a relação arcabouço fragmento – matriz é de uma matriz suportada.

Figura 93 – Perfil vertical realizado na caverna Teto Baixo.



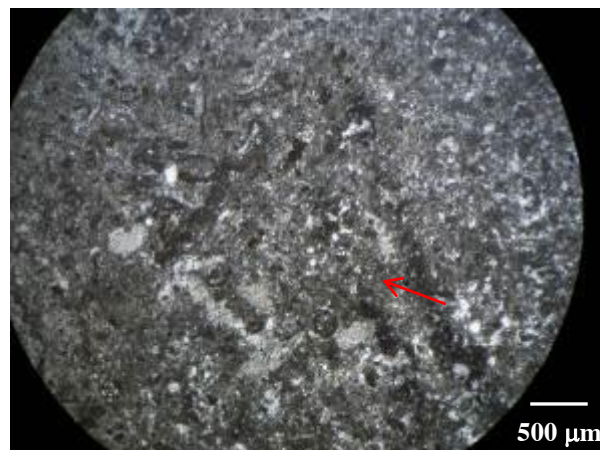
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 94 – Fotomicrografia da lâmina JR 1A - Detalhe do foraminífero recortado por um veio de calcita indicando um processo posterior.



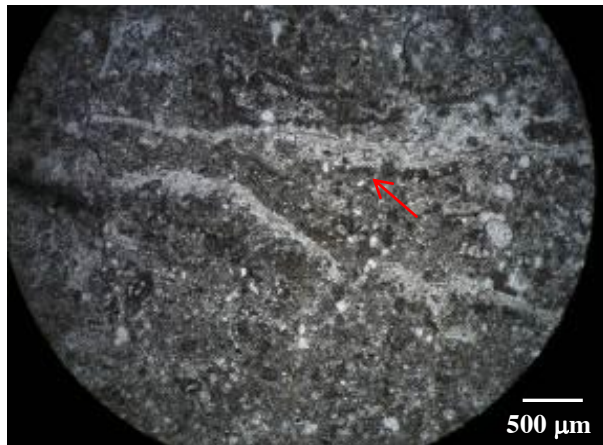
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 95 – Fotomicrografia da lâmina JR 1B - microfósseis- foraminíferos



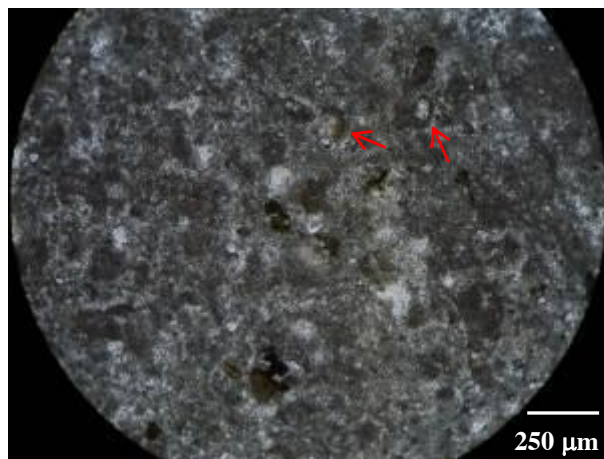
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 96 – Fotomicrografia da lâmina JR 1B - algas.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 97 – Fotomicrografia da lâmina JR 1B - Pellets com processo de limonitização.



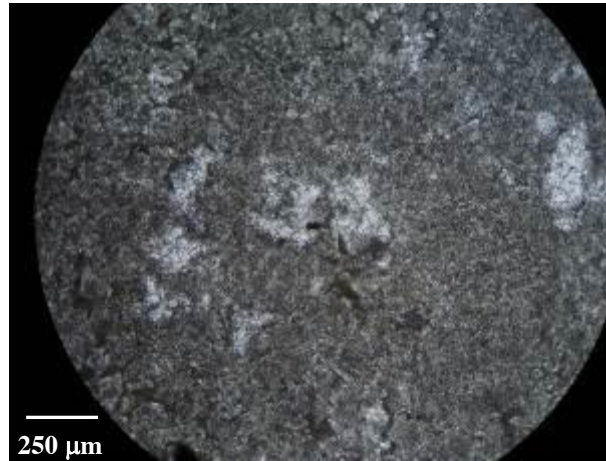
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 98 – Fotomicrografia da lâmina JR 1C - aspecto dos microfósseis- foraminíferos e algas.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 99 – Fotomicrografia da lâmina JR 1D - rocha com matriz fina em processo de calcificação com ausência de microfósseis



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 100 – Fotomicrografia da lâmina JR 1D - detalhe da oxidação provavelmente dos pellets



Fonte: Produção do próprio autor.

## 7 PROSPECÇÃO ESPELEOMÉTRICA

A prospecção espeleológica se deu inicialmente com o levantamento de campo com bússola e GPS (marca: Etrex Garmin) segundo linhas de levantamento paralelas, espaçadas entre 50 e 100 metros em média, registrando fendas, dolinas e cavidades naturais, aonde posteriormente foram realizadas prospecções preliminares de sub-superfície com objetivo de verificar a continuidade das fraturas, fendas e dolinas e o desenvolvimento de cavernas (grutas e furnas) em profundidade.

A grande maioria das fendas e fraturas não possuía continuidade ou ultrapassavam um metro e meio (1,5m) de profundidade.

No setor centro-leste do lajedo 2, e no setor norte do lajedo 3 foram localizadas, respectivamente, duas caverna de desenvolvimento predominantemente horizontal (gruta) e uma dolina com cerca de 8 a 16 metros de profundidade, com salões internos contendo espeleotemas e animais de caverna (troglóxenos e troglófilos). No lajedo 4 foram localizadas 9 cavernas, sendo que em apenas 7 foram realizadas a espeleometria.

A prospecção da dolina requereu o uso de técnicas verticais (*rappel* e ascensores) para incursão e acesso aos salões/galerias interiores.

Figura 101 e 102 - Detalhe do sistema de segurança e fixação dos equipamentos de descida (freio stop) nas cadeirinhas de escalada (*bouldrier*) para descida e prospecção do endocarste. Figura 101- (Coord:653656 /9390560).Figura 102 - (Coord:654693/9392700).



Fonte: Produção do próprio autor.

A espeleometria foi realizada com bússola e trena para tomada de distâncias entre as bases topográficas.

As seções transversais (cortes), distâncias do contorno das galerias (direita e esquerda) e altura de teto também foram medidas com auxílio de trena a laser.

A planta baixa e seções transversais encontram-se em escala de 1:150.

## 7.1 Topografia

Neste trabalho foi utilizado técnicas de topografia espeleológica com o auxílio de bússola brupton c/ clinômetro, montada sobre tripé, para leitura de ângulos horizontais (azimute) e verticais (inclinação do terreno), clinômetro, trena a laser e trena física, através da qual foram medidas ângulos e distâncias entre bases topográficas espalhadas ao longo das galerias. Foi utilizado o método das bases fixas, onde as bases são marcadas com estações (ferro e etiquetas de identificação) fixadas no piso da caverna, com exceção de alguns pontos onde não foram colocadas estações, por vários motivos, sendo apenas tiradas as medidas de largura e altura dos condutos. Estas estações são denominadas de flutuantes. O método das bases fixas vem sendo utilizado no Brasil desde 1988 pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

Quando a galeria da caverna adquire grandes dimensões como é o caso dos salões a opção utilizada foi efetuar irradiações, em que é fixada uma base no centro do salão, e são efetuadas várias visadas para pontos-chave, de forma a cobrir toda a área.

Para o grau de precisão do levantamento topográfico utilizamos o sistema de classificação da British Cave Research Association (BCRA) que atribui sete graus de precisão para a linha central da topografia e quatro classes de precisão para o detalhamento das galerias (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3 – Grau de precisão para a linha central da topografia

GRAU	
1	Esboço de baixa precisão em que não são efetuadas medidas.
2	Intermediária entre os graus 1 e 3.
3	Ângulos verticais e horizontais medidos com precisão de + ou - 2,5°. Distâncias medidas com precisão de + ou - 50 cm. Bases posicionadas com erro menor do que 50 cm.
4	Intermediária entre os graus 3 e 5.
5	Ângulos horizontais e verticais medidos com precisão de + ou - 1°. Distâncias medidas com precisão de + ou - 10 cm. Bases posicionadas com erro menor do que 10 cm.
6	Mapeamento mais preciso do que Grau 5
X	Mapeamento onde utiliza-se teodolito.

Fonte: British Cave Research Association (BCRA)

Tabela 4 – Classe de precisão para o detalhamento das galerias.

CLASSE	
A	Detalhe das galerias baseados na memória.
B	Detalhe das galerias estimados e anotados na caverna.
C	Medidas de detalhe realizadas apenas nas bases topográficas.
D	Medidas de detalhe realizadas nas bases topográficas e entre elas, de modo a representar mudanças morfológicas na galeria.

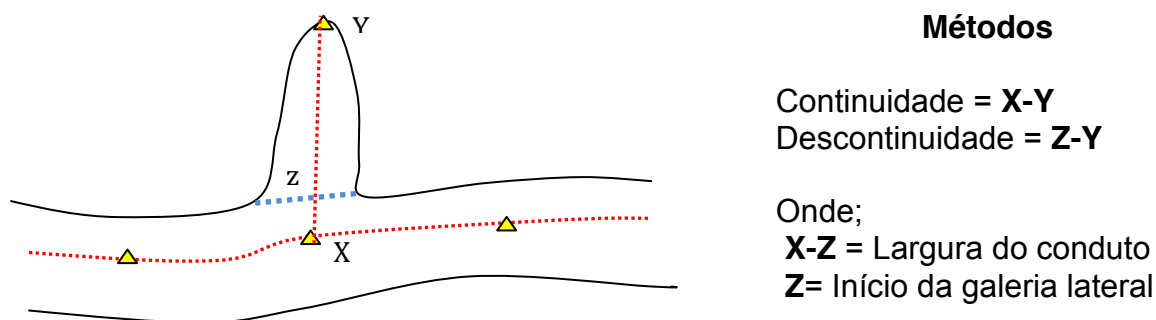
Fonte: British Cave Research Association (BCRA)

Neste trabalho os levantamentos são de Grau 4 e Classe C.

Foram adotados diversos métodos na realização deste trabalho e um deles é quanto a dolinas. A norma adotada diz que, caso a dolina seja mais profunda do que extensa ela não segmentará a cavidade em duas cavernas distintas, mas caso contrário causará a divisão da cavidade em duas grutas distintas.

Outro o método adotado foi o da continuidade, que ao topografar galerias que se ramificam a partir de um conduto principal, a distância obtida pela trena entre duas estações sendo uma no conduto principal e a outra em um conduto ramificado normalmente incluirá uma parte da largura do conduto principal, ou seja esta distância inclui também parte da largura do conduto maior (Figura 103).

Figura 103 - Ilustração em planta dos métodos da continuidade e da descontinuidade.



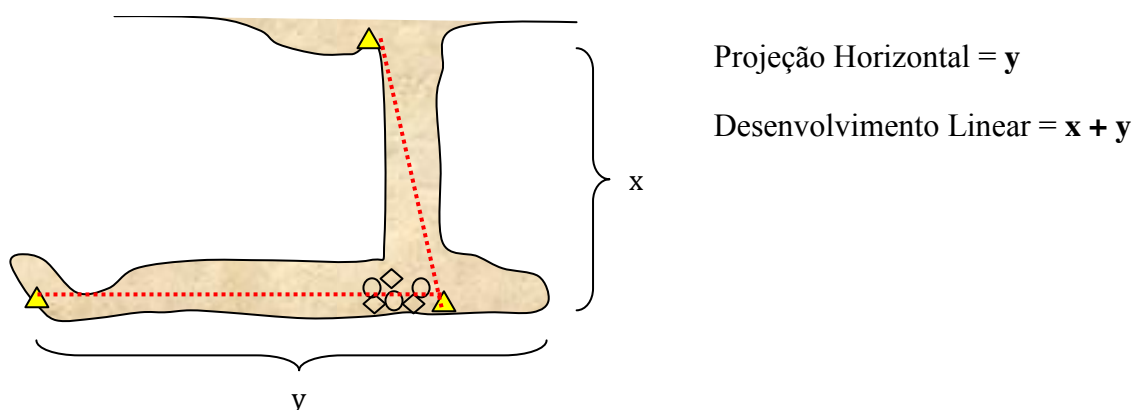
Fonte: Produção do próprio autor.

Na medição para obter o desenvolvimento das cavidades naturais “cavernas” utilizamos a forma denominada de projeção horizontal, onde se mede o comprimento das



galerias projetadas em um plano horizontal, somando os comprimentos. Foi aplicado no caso das cavernas com desenvolvimento predominantemente vertical o método do desenvolvimento linear, que mede a extensão segundo o eixo da galeria. No caso de galerias inclinadas a medida deve ser segundo a linha de maior declividade. Na área de desenvolvimento sub-horizontal da cavidade é adotado o conceito do caminhamento da topografia que nem sempre segue a trajetória do eixo da galeria, podendo ser realizada em zigzague procurando os locais mais convenientes para marcar as bases.

Figura 104 - Ilustração dos métodos de cálculo da extensão de uma cavidade natural.



Fonte: Produção do próprio autor.

### CAVERNA TETO BAIXO

Na caverna Teto Baixo (Anexo) o desenvolvimento é sub-horizontal, por isso foi adotado o método da projeção horizontal contínua (princípio da continuidade) para medir o desenvolvimento da cavidade que neste caso foi de aproximadamente 29,15 m. A altura do teto é de pouco menos de 1 m e o acesso pelos condutos é feito com dificuldade. Ao final da caverna foi visualizado uma clarabóia com distancia de 4,50 m da estação E6 de onde não foi mais possível continuar. Na topografia foi utilizada a técnica da poligonal aberta onde as estações foram marcadas com bases fixas.

A base localizada no interior da caverna foi “amarrada” a um ponto externo a caverna, com coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  conhecidas, possibilitando assim o georeferenciamento da cavidade.

### CAVERNA ESTREITA

A caverna Estreita (Anexo) também tem desenvolvimento sub-horizontal e o método adotado para calcular o desenvolvimento também foi o da projeção horizontal contínua onde a soma das visadas foi de 18,21 m. A caverna desenvolve-se na mesma direção

da fratura que é N12E. Os condutos são estreitos com largura variando de 3,00 a 0,60 m e altura do teto variando entre 1,50 a 0,30 m. Em alguns condutos não foi dada continuidade a topografia por questões de acesso. A estação fixa E0 foi “amarrada” a um ponto S0 na superfície por meio de coordenadas x, y e z.

### **DOLINA DOS OSSOS**

No caso da dolina dos Ossos (Anexo) a sua forma elíptica, tem cerca de 35m de comprimento na direção N17E, por 7,5m de largura segundo E-W. Dois salões internos acompanham, grosseiramente, a mesma direção da fratura, variando entre N15E e N20E.

O comprimento total da fratura onde se encontra desenvolvida a dolina e as galerias interiores é de aproximadamente 88 m, por outro lado a projeção horizontal pelo princípio da continuidade nos revela um desenvolvimento de aproximadamente 74,88 m, mas se for adotado o método do desenvolvimento linear e for considerado as variações da cavidade juntamente com o abismo, que dá acesso aos salões, temos um desnível médio de 12 m, com isso um desenvolvimento linear final de 86,88 m.

Ao norte da fratura existe um salão com desenvolvimento maior, atingindo pouco mais de 27m de comprimento por cerca de 2,70m, em média, de largura; ao sul da fratura, ocorre outro salão com 17,50m de comprimento e largura variando de 6m a 1,50m. Ao final da galeria sul existe um conduto estreito, não prospectado, com abertura inferior a 30 cm.

A base localizada no interior da dolina foi “amarrada” em pontos externos a dolina, com coordenadas x, y e z conhecidas, com objetivo de correlacionar o levantamento topográfico de sub-superfície (planta baixa) com a superfície do terreno.

### **CAVERNA DO MORCEGO**

A caverna do Morcego (Anexo) tem tanto desenvolvimento vertical (abismo) quanto desenvolvimento horizontal. A caverna tem projeção horizontal de aproximadamente 10 m, mas se for levado em conta a amplitude da caverna incluindo o plano vertical que é de 4,5 m teremos um desenvolvimento linear de 14,5 m. A altura do teto varia de 1,90 a 0,70 m. Foi utilizado na topografia a técnica da irradiação com bases flutuantes para melhor representar a cavidade, seguindo posteriormente com a técnica da poligonal aberta e bases fixas e uma flutuante. Foram visualizadas tanto em superfície quanto no interior da cavidade três fraturas sendo duas com direções N10E, e uma com direção N05E. A base E0 no interior da caverna está amarrada pelas coordenadas x, y e z com a base externa S0.

### **CAVERNA DOIS NÍVEIS**

A caverna Dois Níveis (Anexo) tem desenvolvimento vertical de aproximadamente 4 m o qual da acesso aos dois níveis. O primeiro nível tem 4 m de comprimento por dois de largura. O segundo nível tem projeção horizontal de 17 m, já o desenvolvimento linear final é de 21 m. Na topografia foi utilizada bases fixas e flutuantes para marcar e representar o início de condutos, salão, desníveis e presença de estruturas e feições. Foram feitos dois perfis transversais no salão um (2) de forma a representar o acesso ao nível (1), um conjunto de estalactites e blocos soltos. O segundo perfil foi feito com o objetivo de representar uma grande concentração de estalactites centimétricas em um conduto. Foi usado técnicas de irradiação e de poligonal aberta na topografia, com bases fixas e flutuantes.

### **ABRIGO DO CIPÓ**

O acesso ao interior do abrigo (Anexo) é feito em decida vertical de 5,9 m com projeção horizontal de 13,20 m. No mapeamento foi utilizada a técnica da poligonal aberta, onde foi fixada uma base logo a baixo do início do teto do abrigo e posteriormente feita as visadas para as demais estações, utilizando sempre bases fixas. A base E0 está amarada por um ponto S0 com coordenadas conhecidas na superfície do lajedo.

### **C AVERNA PASSAGEM ESTREITA**

Na caverna denominada Passagem Estreita (Anexo) o acesso ao seu interior também é feita por meio de rapel em uma decida de 4,00 m. A caverna tem projeção horizontal de 9,80 m e desenvolvimento linear de 13,80 m. A caverna pode desenvolver por mais alguns metros na direção 335 Az através de um conduto que não pode ser topografado por questão de acessibilidade, mas a existência de morcegos indica que este conduto pode levar a um outro ambiente. A caverna tem apenas um salão de aproximadamente 4 m de raio e um pequeno conduto formado por blocos proveniente do teto o qual não se conseguiu penetrar. No mapeamento foram usadas bases fixas e flutuantes e foi empregada a técnica da irradiação para a área do salão e o da poligonal aberta para o restante da cavidade.

### **CAVERNA DO GUANO**

A caverna do Guano (Anexo) possui três níveis de dissolução, o terceiro nível está a 1,6 m de distância em decida vertical da entrada e tem uma área de 20 m<sup>2</sup>, com altura do teto máxima de 1,3 m rebaixando em direção as bordas com altura de 0,50 m. O segundo nível está a 7,6 m da entrada em decida vertical e tem uma área de 23 m<sup>2</sup>, com altura do teto de 1m com rebaixamento até uma altura de 0,20 m. O primeiro nível tem uma área de

aproximadamente 47 m , e está a uma distancia de 10 m da entrada da cavidade que tem uma altura máxima do teto de 5 m. A galeria (primeiro nível) como também os níveis dois e três foram topografados pelo método da irradiação. Nesta cavidade não foi calculado o desenvolvimento horizontal, por se tratar de uma galeria com forma circular onde as visadas foram feitas colocando uma base fixa no centro e bases flutuantes aonde se fazia necessário de forma a representar o salão.

### **GRUTA DA FOLHA**

A Gruta da Folha (Anexo) está georeferenciada por coordenadas x e y contidas na tabela 4.01 (pagina 50) e possui uma abertura irregular de 1,7m por 1m de largura que dar acesso ao interior da gruta através de uma decida de 6,6 m de profundidade. No interior da gruta o espaço é reduzido por possuir uma área de 16 m<sup>2</sup> e uma altura máxima do teto de 1 m. Foi utilizado o método da irradiação onde foi colocado uma base fixa E0 na entrada interna da gruta e deste ponto foram colocadas apenas duas estações por questões de espaço e grande quantidade de sedimento e blocos cimentado impossibilitando as visadas entre as estações. Outras medidas foram feitas pelo croquista para melhor representar a grutas.

### **ABISMO DO POÇO (poço sem ar)**

O Abismo do poço (Anexo) tem um abertura com raio de aproximadamente 1 m e forma circular irregular que da acesso ao interior do poço através de um decida vertical de 10 m. O desenvolvimento horizontal do Abismo do Poço é de cerca de 3,65 m e desenvolvimento linear de 13,65 m. Foram utilizadas duas bases fixas na topografia, onde foi aplicado o método da poligonal aberta.

## 8 CONCLUSÕES

Observou-se que nas áreas a formação e evolução das cavidades se deram a partir da ação da água, gerando desde pequenas estruturas (lápias), alargando fraturas, formando dolinas e cavernas nas rochas calcárias da Formação Jandaíra. O padrão estrutural também é responsável pelo desenvolvimento das cavidades, e por controlar a direção de escoamento da água seja ela em superfície ou em sub-superfície.

A petrografia das lâminas não revelaram nenhuma relação entre a porosidade e a formação das cavidades, visto que o nível onde ocorreu a maior dissolução e geração de vazios foi a lâmina na qual a porosidade foi menor (2%) e a porcentagem de calcita foi maior 10 – 15%. Desta forma a caverna Teto Baixo pode ter como fator de formação a estratificação plano paralela das camadas associadas a uma fratura de direção 130 Az na qual a água percola dissolvendo esse plano.

Com o mapeamento foram localizadas 10 novas cavidades, as quais ainda não haviam sido catalogadas pelo CECAV/IBAMA. Outra contribuição importante foi no conhecimento dessas cavidades por meio da espeleometria realizada em 10 das 12 cavidades registradas nas quatro áreas de pesquisa, localizadas no município de Felipe Guerra.

A presença das estruturas (NE, N e NW) aliadas a fatores como grau de abertura, persistência e profundidade, exerce forte controle e influência direta na formação das cavidades, a exemplo da dolina dos Ossos, caverna Teto Baixo e abrigo do Cipó. As estruturas ocorrem como fraturas e envolve cárstificação, abatimento de blocos até formação de cavernas. Isso mostra que as estruturas da área apresentam relação direta com as estruturas regionais da bacia, uma vez que essas fraturas de direções NE-SW, NW-SE e N-S são o reflexo do que ocorre regionalmente.

A prova desse reflexo regional na porção estudada é que na área II, 44% das fraturas tem orientação NE-SW e 30% orientação NW-SE. Na área III também predominância essas duas direções, tendo em vista que 64% estão orientadas NW-SE e 27% orientadas NE-SW. A área IV não é diferente das demais áreas, pois 41% das fraturas tem orientação NW-SE, 36% orientação NE-SW e 18% estão orientadas N-S.

Das famílias de fraturas registradas no levantamento as que possuem direção NW-SE são muito persistentes com comprimento entre 10-20 m e superior a 20 m sendo responsável pela formação da caverna Teto Baixo. A família de fraturas de orientação NE-SW possuem faixa de comprimento de 3 a 10 m sendo classificadas como persistentes.

Os resultados obtidos com a realização deste trabalho propiciaram a readequação dos traçados das linhas sísmicas pela Petrobrás, deslocando-as ao máximo da área de influência das cavernas evitando prováveis impactos.

Por fim esperamos ter contribuído e aumentado o conhecimento geológico, como também contribuído para a preservação do patrimônio espeleológico da região.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. 1984, **O Pré- cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blucher, 378 p.
- AMARO, V.E. & STRIEDER, A.J. **Análise de Fotolineamentos e Padrões Estruturais em Imagens de Satélite**. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Camburiú, Anais, pp.443-444,1994.
- ARAÚJO, A.H.1989. Espeleometria. **Uma abordagem técnico-científica**. In Anais XX Congresso Nacional de Espeleologia, Brasília, pp.41-47.
- AULER,A., RUBBIOLI, E., BRANDI, R. **As Grandes Cavernas do Brasil**. 2001. Belo Horizonte. 228p.
- AB’SABER, A N. & COSTA, Jr. Contribuição ao Estudo do Sudoeste Goiano. **Boletim Paulista de Geografia Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. São Paulo, Nº 4, Vol.1.1953.
- ARARIPE, P. T. & FEIJÓ, F. P.; **Bacia Potiguar**.**Boletim Geociências PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 8 (1): p. 127-141,1994.
- \_\_\_\_\_. A N. **Os Domínios Morfoclimáticos na América do Sul**. Geomorfologia. São Paulo, IGEOG – USP, Nº 52, 1977.
- BEURLIN, K. (1967). **Geologia da região de Mossoró**. *Coleção Mossoroense*, sér. C, 18,173 p.
- BERTANI RT, COSTA IG & MATOS RMD. 1990. **Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na bacia potiguar**. In:RAJA GABAGLIA GP & MILANI EJ (Ed.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares.PETROBRAS/SDRH, Rio de Janeiro, 291-310.
- CREMONINI O.A. 1993. **Caracterização estrutural e evolução tectônica da área de Uharana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 143 p
- CORDOBA, V.C.; MENEZES, M.R.F. & LIMA FILHO, F.P. (1996). **Fácies, sistemas deposicionais e diagênese da Formação Jandaíra, Neocretáceo, no extremo sudoeste da Bacia Potiguar, RN**. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, Rio Claro, 1996. *Anais ...* Rio Claro, UNESP, p. 107-110.
- DAMAZIO, C.M. 2004. **Tipificação e bioestratificação cianobacteriana das esteiras microbianas da borda noroeste da lagoa Pitanguinha, Holoceno do Rio de Janeiro, Brasil**. Monografia de Bacharelado, UFRJ, 171 p.
- OLIVEIRA L.H.C. **Dissertação de mestrado estudo geológico e geofísico da falha de Carnaubais, Bacia Potiguar – RN, e implicações neotectônicas**.
- DANTAS, E.P. **Gravimetria e Sensoriamento Remoto: uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte**. 1998. 97p. Natal.

DUNHAM, R. J., 1962. **Classification of carbonate rocks according to depositional texture**, in Ham, W. E. ed., *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1*, p. 108-121.

DREW, D. **Karst Processes and Landforms**. London: Macmillan Education, 1985. 63p. (Aspects of Geography).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FOLK, R.L. **Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. 1959, v. 43, p. 1-38.

FOLK, R.L., 1962, **Spectral subdivision of limestone types**, in Ham, W.E., ed., **Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir**. 1962. 1, p. 62-84.

GOMES, I.P. **A Importância das Fraturas no Desenvolvimento de Feições Cársticas em Calcário da Formação Jandaíra (Cretáceo da Bacia Potiguar), Felipe Guerra – RN**. 2008. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). CCET, UFC.

ISRM - **Characterisation of Swelling Rock** 1983. Commission on Swelling Rock. Pergamon Press. Oxford, U.K.

JARDIM DE SÁ, E. F.; **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. Universidade de Brasília, Brasília. Tese de Doutorado, n3, 803p.; 1994.

KARMAN, I. **Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FARCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (org.) *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. 2000. p. 114-138.

L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (eds.) CPRM, Brasília, 2003. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**.

MATOS, R. M. D. **The northeast brazilian rift system**. *Tectonics*, Washington, v. 11, n. 4, p. 766-791, 1992.

MATOS, R.M.D. - 1992b - **Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil**. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 276 pp.

MASCLE, J.; BLAREZ, E. **Evidence for transform margin evolution from the Ivory – Coast-Ghana continental margin**, *Nature*, 326:378-381, 1987.

MASCLE, J., LOHMANN, P., CLIFT, P. 1997. **Development of a passive margin: Côte d'Ivoire–Ghana transform margin** – ODP Leg 159 preliminary results. *GeoMarine Letters*, 17:4-11.

MIZUZAKI, A. M. P. **A Formação Macau, Bacia Potiguar**. Rio de Janeiro, 1987  
PETROBRÁS, Relatório interno. v. 3, n. 3, p. 191-200



\_\_\_\_\_. **O Domínio Morfoclimático Semi-árido das caatingas Brasileiras.** Geomorfologia. São Paulo. USP-IGEOG, 43, 1974.

PALOC, H. Karsts anciens et eaux actuelles. In: TOLSON, J. S. **Karst Hydrogeology.** Huntsville, University of Alabama in Huntsville, 1977. p. 229-238.

ROCHA FILHO, O.M.; **Mapeamento Geológico e Análise Morfotectônica do Médio Rio Açu; UFRN, Natal-** Relatório de Graduação, 92p ;

SILVA-DA-ROCHA, L.F., OLIVEIRA, K.L., SESSEGOLO, G.C. **Conservando Cavernas: quinze anos de espeleologia.** GEEP – Açungui/ Grupo de Espeleologia do Paraná – Açungui, Curitiba, 2001. 218p.

SOUZA, S.M. (1982). **Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. *Anais ...* p.2392-2406.

SCHWAB D.L. **Precambrian Research, where they crosscut Early Proterozoic sedimentary strata of the Wernecke Supergroup.** 1996. pp.175–186

WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains.** New York: Oxford University Press, 1988.

\_\_\_\_\_. **Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário.** Geomorfologia. São Paulo. USP-IGEOG 18, 1969.

## **SITES VISITADOS**

[www.desenvolvimentomunicipal.com.br](http://www.desenvolvimentomunicipal.com.br)

[www.FJP.gov.br/produtos/cees/idh/Atlas\\_idh.php](http://www.FJP.gov.br/produtos/cees/idh/Atlas_idh.php)

[www.idema.rn.gov.br/perfildoseumunicipio](http://www.idema.rn.gov.br/perfildoseumunicipio)

<http://clima1.cptec.inpe.br/>

[www.cprm.gov.br/](http://www.cprm.gov.br/)

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/capIII-c.pdf> - MASCLE E BLAREZ 1987; MASCLE ET AL 1997; MATOS 2000; BIRD 2001 E MATOS 1999<sup>a</sup>

<http://www.espiritodaterra.com.br/get3.htm>