



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

---

**TUFAS CALCÁRIAS DE FELIPE GUERRA:  
CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO**

**VANUSA ANTONIA CASTELO BARBOSA**

**Fortaleza  
Outubro - 2013**

**VANUSA ANTONIA CASTELO BARBOSA**

**TUFAS CALCÁRIAS DE FELIPE GUERRA:  
CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

**Fortaleza  
Outubro - 2013**

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

- 
- B213t      Barbosa, Vanusa Antônia Castelo.  
            Tufas calcárias de Felipe Guerra: caracterização e classificação / Vanusa Antônia Castelo  
            Barbosa. – 2013.  
            114 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, 2013.  
            Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.  
            Orientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.
1. Geologia. 2. Tufa calcária. 3. Espeleologia. 4. Datação arqueológica. I. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**TUFAS CALCÁRIAS DE FELIPE GUERRA:  
CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO**

**VANUSA ANTONIA CASTELO BARBOSA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

Comissão Examinadora:

---

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

---

Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Júnior  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Profª. Dra. Maria Helena Ribeiro Hessel  
Universidade Federal do Ceará - UFC

**“Aos meus...”**

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao PROCAD, projeto de cooperação acadêmica UFC – UNB e seus colaboradores prof. Roberto Ventura, prof. Elton Dantas, Mancine, Eduardo, Karen, Luciana, enfim todos que integram o laboratório de Geocronologia da UNB.

Ao Departamento de Geologia da UFC.

Aos colaboradores e professores do DEGEO, em especial aos professores César Verissimo, Daniel Rodrigues, Helena Hessel e Wellington Ferreira.

Por fim aos queridos amigos que contribuíram nas atividades de campo, com sugestões e momentos de laser.

## RESUMO

O trabalho aqui apresentado corresponde a um estudo geológico, espeleológico e paleoambiental realizado nos depósitos de tufas calcárias que ocorrem no município de Felipe Guerra, Estado do Rio Grande do Norte. As tufas estudadas são produtos da dissolução das rochas carbonáticas da Formação Jandaíra. Por definição esses depósitos caracterizam-se pela precipitação do carbonato de cálcio a temperaturas próximas a ambiente, elevada porosidade e material orgânico em sua composição. Na região observou-se que as formações de tufas estão depositadas sobre os arenitos da Formação Açú e apresentam quantidade considerável de moldes fósseis de gastrópodes e vegetais. Os depósitos encontrados foram descritos como sendo de três tipos: micrítico, intraclástico e fitoclástico. Os micritos correspondem aos depósitos recentes ou em formação, e os demais são tidos como mais antigos. Na tufa mais extensa localizada em zona urbana ocorrem três cavernas cuja gênese está associada ao desenvolvimento de fraturas que afetaram a Bacia Potiguar em período pós-campaniano. Os dados geoquímicos revelam que as tufas são basicamente formadas por carbonato de cálcio sob a forma de cristais de calcita. Análises isotópicas indicam ambientes de deposição distintos: ambientes com influência de águas de origem continental e ambientes com influência de águas de origem oceânica. Cinco amostras foram analisadas por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ), quatro delas revelando idades de holocênicas a pleistocênicas. Apenas uma amostra extrapolou o limite do método. A correlação entre os dados isotópicos e radiogênicos, nos leva a concluir que a formação das tufas está associada a períodos com elevadas taxas de precipitações pluviométricas e que as cavernas possuem idades superiores a 40.000 anos.

**Palavras-chave:** tufas calcárias, classificação, datação e cavernas.

## ABSTRACT

The work presented here represents a geological, speleological and paleoenvironmental study of calcareous tufa deposits that occur in the municipality of Felipe Guerra, State of Rio Grande do Norte. The tufas studied are the dissolution of carbonate rocks Jandaíra Formation products. By definition these deposits are characterized by the precipitation of calcium carbonate at temperatures close to ambient, and high porosity organic material in the composition. In the region it was observed that the tufa formations are deposited on the sandstones of Açu Formation and present considerable amount of fossil casts of gastropods and vegetables. The deposits obtained were described as being of three types: micritic, intraclastic and fitoclástico. The micrites correspond to recent deposits or training, and the rest are thought to be the oldest. In tufa longer located in urban areas there are three caves whose genesis is associated with the development of fractures affecting the Potiguar Basin in post-Campanian period. The geochemical data show that tufa are basically formed by calcium carbonate in the form of calcite crystals. Isotopic analyzes indicate different deposition environments: environments influence of continental origin of waters and environments influence of oceanic origin waters. Five samples were analyzed by radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ), four of them revealing the ages of holocenic to pleistocene. Only one sample extrapolated the method of limit. The correlation between the isotopic data and radiogenic leads us to conclude that the formation of tufa is associated with periods of high rates of rainfall and that the caves have upper age 40,000 years.

**Keywords:** calcareous tufa, classification, dating and caves.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Figura de localização e acesso a área de pesquisa. ....	4
Figura 02 (A, B, C, D e E) – Trabalhos laboratoriais. ....	12
Figura 03 (A e B) – Mostra o aspecto atual da vegetação semi-árida da área pesquisada. ....	14
Figura 04 – Tipos de Solo: A - Cambissolo Eutrófico; B - Área de Várzea. ....	15
Figura 05 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar e área de estudo. ....	19
Figura 06 – Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar. ....	20
Figura 07 – Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar. ....	23
Figura 08 – Tectônica e Magmatismo da Bacia Potiguar. ....	25
Figura 09 – Perfil esquemático da ocorrência de tufa na sede do município de Felipe Guerra..	42
Figura 10 (A e B) – Cachoeira Caripina – Felipe Guerra, RN. ....	43
Figura 11 (A, B e C) – Molde fóssil de folha, concha de gastrópode e espelho de falha. ....	44
Figura 12 (A, B e C) – Subfósseis de Concha, Folha e Casulo de Vespa respectivamente. ....	45
Figura 13 – Exemplos de moldes de vegetais encontrados nas tufas pesquisadas. ....	47
Figura 14 – Exemplos de gastrópodes encontrados nas tufas pesquisadas. ....	48
Figura 15 – TUF 01: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia. ....	50
Figura 16 – TUF 02: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia. ....	51
Figura 17 – TUF 03: Amostra de mão e petrografia. ....	52
Figura 18 – TUF 04: Amostra de mão e petrografia. ....	53
Figura 19 – TUF 05: Amostra de mão e petrografia. ....	54
Figura 20 – TUF 06: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia. ....	55
Figura 21 – TUF 07: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia. ....	56
Figura 22 – TUF 08: Petrografia. ....	57
Figura 23 – Degradação dos depósitos de tufas. ....	58
Figura 24 – Exemplo de tufa micrítica. ....	59
Figura 25 – Exemplo de tufa intraclástica. ....	60
Figura 26 – Exemplo de tufa fitoclástica. ....	61
Figura 27 – Sistema de Falhas Carnaubais e Afonso Bezerra. ....	64
Figura 28 – Diagrama mostrando a relação entre os depósitos de tufas e as falhas pós-campanianas. ....	65
Figura 29 – Elementos Cársticos (espeleotemas, cavernas, lapiás e micro-travertinos). ....	66

Figura 30 – Difractogramas de raio-x mostrando que a composição mineralógica das tufas é $\text{CaCO}_3$ .	68
Figura 31 – Diagrama de dispersão $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ versus $\delta^{13}\text{CPDB}$ das amostras de Felipe Guerra, RN.	73
Figura 32 – Diagrama de dispersão $\delta^{18}\text{OPDB}$ versus $\delta^{13}\text{CPDB}$ comparativo.	74
Figura 33 – Comparação de registro $\delta^{18}\text{O}$ <i>G.sacculifer</i> e a relação Ti-Ca e Fe-Ca (registro Ti-Ca ampliados quádruplo) de núcleos GeoB 3104-1/3912-1 com o registro $\delta^{18}\text{O}$ de núcleo de gelo do GISP2 (GROOTES <i>et al.</i> , 1993), os eventos Heinrich (idades de VIDAL <i>et al.</i> 1997), e o esquema de ciclos de refrigeração a longo prazo (após BOND <i>et al.</i> 1993). Registros tentativamente correlacionados por linhas tracejadas verticais.	78
Figura 34 – Comparação de registro $\delta^{18}\text{O}$ x Idades $^{14}\text{C}$ das tufas estudadas.	81
Figura 35 – Molde de folha, foto tirada no MEV.	82
Figura 36 – Textura em fibras no cristal de calcita e molde de gastrópode.	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas da área de pesquisa (Datum: WGS84; UTM; MC: -39; Fuso: 24).	3
Tabela 2 - Classificação das tufas de Schwäbische Alb, Alemanha, (Irion & Müller, 1968).	36
Tabela 3 - Classificação dos travertinos do Vale do rio Tanagro, Campânia, Itália, segundo Buccino <i>et al.</i> (1978).	36
Tabela 4 - Modelo dos carbonatos fluviais da Espanha, segundo Ordoñez e Garcia Del Cura (1983).	37
Tabela 5 - Classificação dos travertinos da Itália Centro-Meridional, segundo Brancaccio <i>et al.</i> (1986).	38
Tabela 6 - Classificação de tufas, segundo Pedley (1990).	39
Tabela 7 – Proposta de Pedley (1990) para os ambientes formadores de tufas.	39
Tabela 8 – Proposta de classificação de tufas, segundo Ford e Pedley (1996).	40
Tabela 9 – Tipos de tufas de Felipe Guerra, RN.	41
Tabela 10 – Fluorescência de Raios-X (elementos maiores) nas tufas de Felipe Guerra, RN.	67
Tabela 11 – Análises geoquímicas das tufas.	69
Tabela 12 – Valores de Isótopos de O e C nas tufas calcárias de Felipe Guerra, RN.	72

Tabela 13 – Datações obtidas pelo método $^{14}\text{C}$ para as tufas calcárias de Felipe Guerra, RN e seus correspondentes isotópicos. ....	81
---	----

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Localização e acesso.....	3
2.2 Objetivo principal .....	5
2.3 Objetivos específicos .....	5
<b>3 MÉTODO DE TRABALHO .....</b>	<b>6</b>
3.1 Compilação inicial de dados: artigos científicos e cartografia.....	6
3.2 Processamento digital de imagens orbitais e produtos cartográficos existentes.....	6
3.3 Trabalhos de campo .....	7
3.4 Trabalhos laboratoriais.....	8
<b>4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>13</b>
4.1 Aspectos socioeconômicos.....	13
4.2 Clima .....	13
4.3 Vegetação.....	14
4.4 Solos.....	15
4.5 Relevo .....	16
4.6 Recursos hídricos .....	16
<b>5 GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>18</b>
5.1 Arcabouço estrutural.....	19
5.2 Estratigrafia.....	21
5.3 Evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar.....	26
5.4 Neotectônica da Bacia Potiguar .....	27
5.5 Geologia da área pesquisada .....	30
<b>6 TUFAS CALCÁRIAS: EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS E ESTUDOS BRASILEIROS</b>	<b>32</b>
6.1 Histórico do estudo de tufas.....	32
6.2 Estudos de tufas no Brasil .....	33

6.3 Classificação das tufas .....	34
6.2 Depósitos de tufas de Felipe Guerra.....	40
6.3 Registros fósseis nos depósitos de tufas de Felipe Guerra.....	44
6.4 Petrografia, caracterização e classificação das tufas .....	49
6.5 Avaliações sobre as tufas de Felipe Guerra.....	58
6.6 Desenvolvimento de cavernas nas tufas.....	61
<b>7 ANÁLISES DOS RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
7.1 Análises de raios-x e análises geoquímica.....	67
7.3 Dados isotópicos O e C .....	70
7.2 Comparativo entre dados isotópicos (O/C) e datação por <sup>14</sup> C .....	75
7.4 Microscópio eletrônico de varredura (Mev) .....	82
<b>8 CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 1 – MAPA PONTOS + IMAGEM DIGITAL .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 2 – MAPA GEOLÓGICO MODIFICADO DE ANGELIM <i>ET AL.</i> 2006 .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 3 – MAPA DA CAVERNA FOLHAS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO 4 – MAPA DA CAVERNA GEILSON .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 5 – MAPA DA CAVERNA MARIBONDO .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 6 – BOLETINS DE REFERENCIAS DE RAIOS-X .....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando que o Estado do Rio Grande do Norte possui grande parte de sua área coberta pelos calcários da Formação Jandaíra e que esforços tectônicos, durante e após o desenvolvimento da Bacia Potiguar, causaram o desenvolvimento de falhas e fraturas, formou-se um ambiente propício para existência das rochas calcárias fraturadas e para o desenvolvimento de cavernas. Além dos fatores geológicos estruturais a formação dos depósitos de tufas estão ligados também ao controle exercido pelo entalhe do vale do Rio Apodi-Mossoró, evidenciado pela própria concentração dos depósitos de tufas que estão dispostos na margem Oeste/NW. Associado a essa tectônica atuante nesta bacia, temos as variações climáticas ao longo do tempo geológico especialmente durante o Quaternário, o que possibilitou a formação dos depósitos de tufas calcárias.

Tufas são depósitos carbonáticos com elevada porosidade formados em águas com temperaturas próximas a ambiente, e que contém registros de materiais orgânicos em sua formação (FORD, 1989; PEDLEY, 1990; FORD *et al.* 1996). Seus depósitos estão sempre associados à dissolução de rochas carbonáticas. Tufas ocorrem de formas variadas, tanto em ambientes restritos como também em áreas muito extensa da ordem de quilômetros. São encontradas sobre rochas variadas, e apresentam-se tanto como depósitos maciços e pulverulentos ou cimentados e laminados.

Depósitos de tufas calcárias apresentam grande valor paisagístico, ambiental e científico, além de sua crescente importância com indicador paleoclimático do Quaternário, como visto nos trabalhos atuais realizados nesse tipo de depósito calcário. Tufas também estão associadas a sistemas cársticos, como na região objeto do presente estudo em Felipe Guerra (RN).

Atualmente na área onde foi realizada a pesquisa, as tufas em questão apresentam uma taxa de formação inferior à taxa de erosão. Essa razão negativa de formação está associada às condições climáticas atuantes no nordeste brasileiro. Outro fator importante que pode estar influenciando na baixa taxa de formação das tufas é a

atividade antrópica. Essas atividades interferem na qualidade das águas em função do avanço da agricultura e do desmatamento predatório.

Os depósitos carbonáticos quaternários mapeados em Felipe Guerra apresentam diferentes gerações de tufas sempre associadas a drenagens. Cavernas também aparecem desenvolvidas nas tufas quaternárias da região do estudo e não apenas nas rochas calcárias mais antigas, e são encontradas em geral onde o pacote rochoso apresenta maiores espessuras.

Todas as análises realizadas nas amostras dos depósitos de tufas de Felipe Guerra (RN), comparadas com outros depósitos estudados em ambientes de condições climáticas diferentes, mostraram que os processos de formação das mesmas são semelhantes, portanto, além da tectônica, outro fator, e não menos importante que propicia a formação das tufas é a existência de rochas carbonáticas expostas.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA

### 2.1 Localização e acesso

A área de pesquisa está localizada ao longo das bordas do vale do rio Apodi-Mossoró e drenagens adjacentes, totalizando uma área com dimensões de 7,5 km de comprimento por 2 km de largura (aproximadamente) no município de Felipe Guerra, estado do Rio Grande do Norte.

O referido município está inserido na microrregião da Chapada do Apodi (IBGE/2008) limitando-se com os municípios de Apodi (a sudoeste), Caraúbas (a sudeste) e Governador Dix-Sept Rosado (a nordeste). O acesso a área pesquisada partindo de Fortaleza – Ce, é feito pela Rodovia Estadual CE-040 até a cidade de Aracati a partir daí, segue-se pela Rodovia Federal BR-304 até a cidade de Mossoró de onde segue-se pela Rodovia Federal BR - 405 e desta, percorre-se 07 km até a sede de Felipe Guerra (Figura 01). Por estradas carroçáveis ao longo do vale do Rio Apodi-Mossoró e em drenagens secundárias foram encontradas as tufas calcárias. A área pesquisada abrange toda a porção oeste da vertente do Rio Apodi-Mossoró desde a sede do município de Felipe Guerra até a cachoeira Caripina no Lajedo do Rosário. As tufas encontradas, em sua maioria, estão associadas às bordas de drenagens ativas e inativas. A tabela 1 abaixo contém os vértices que limitam a área de estudo.

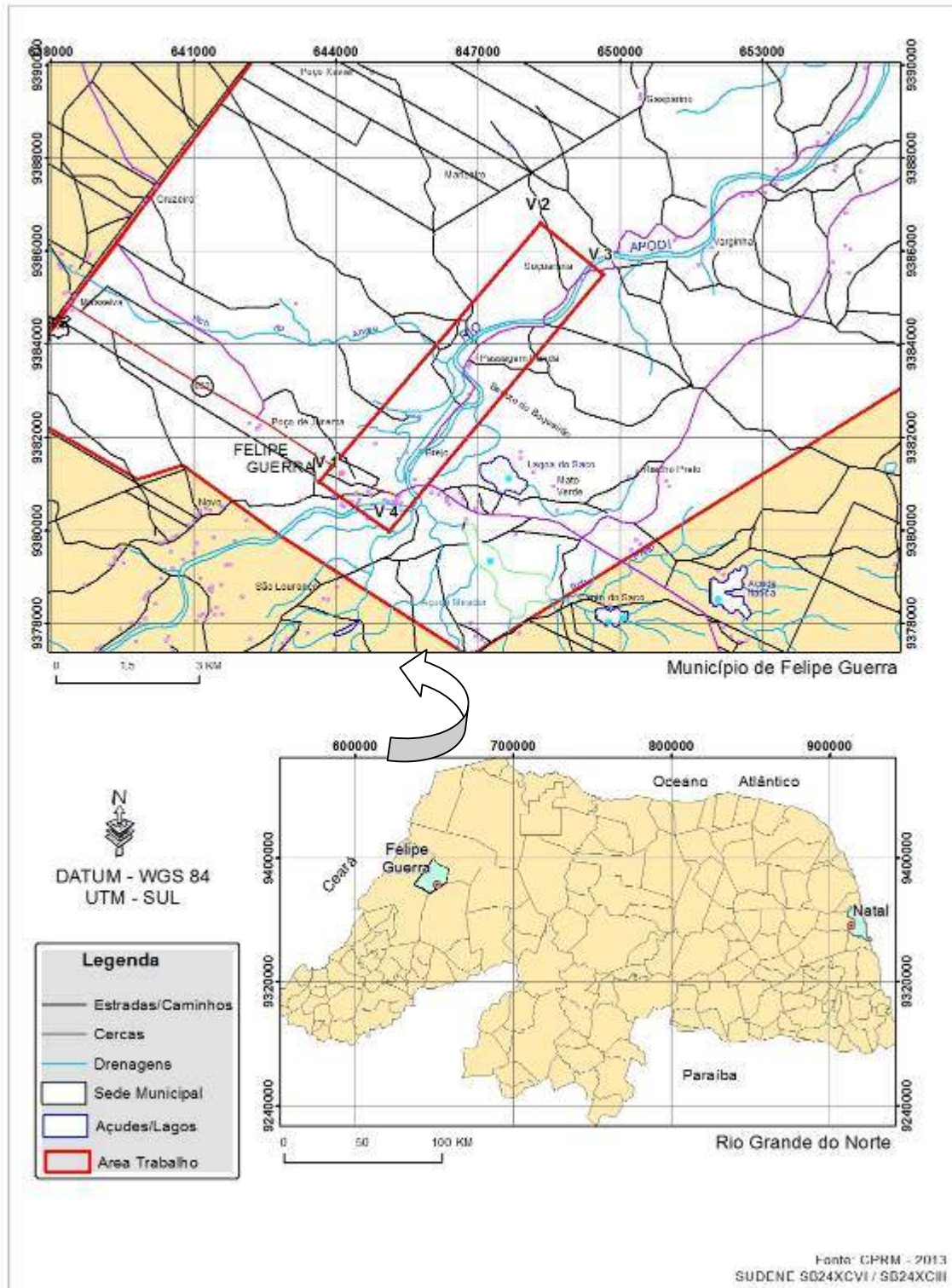
Tabela 1 - Coordenadas da área de pesquisa (Datum: WGS84; UTM; MC: -39; Fuso: 24).

VÉRTICES	COORDENADAS UTM	
	E	N
V <sub>1</sub>	643644	9381044
V <sub>2</sub>	648321	9386588
V <sub>3</sub>	649640	9385503
V <sub>4</sub>	645125	9379976

Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 01 – Figura de localização e acesso a área de pesquisa.



## 2.2 Objetivo principal

O foco principal do trabalho trata da caracterização, quanto à origem e tipo de deposição, das ocorrências de tufas calcárias do município de Felipe Guerra (RN), porção NW da Bacia Potiguar.

## 2.3 Objetivos específicos

Para a realização deste trabalho, foram estabelecidos outros objetivos que condicionaram a execução da pesquisa, objetivos esses especificados a seguir:

- Mapeamento geológico clássico e ao longo de drenagens;
- Identificação de estruturas rúpteis quando presentes no teto e nas paredes das galerias e salões das cavernas desenvolvidas em tufas;
- Levantar a topografia do interior das cavernas;
- Datar as ocorrências de tufas (por métodos relativos e absolutos);
- Analisar a química das tufas (difratometria de raios-x e ACME Labs para elementos maiores, menores e traços);
- Analisar a geocronologia das tufas ( $^{14}\text{C}$  e isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ));
- Caracterizar petrograficamente as tufas calcárias e identificar as diferentes fases de formação;
- Confeccionar mapa geológico de detalhe inserindo essas rochas carbonáticas no contexto geológico.

### **3 MÉTODO DE TRABALHO**

Este capítulo discorre sobre o método de trabalho e os materiais utilizados durante as etapas de campo e laboratorial que precederam a confecção da dissertação de mestrado aqui apresentada. O método de trabalho utilizado para se atingir os objetivos propostos para essa pesquisa pode ser descrito, de forma geral, através da exposição das seguintes etapas principais de atividades mostradas a seguir.

#### **3.1 Compilação inicial de dados: artigos científicos e cartografia**

Nesta etapa realizou-se inicialmente o levantamento e compilação de mapas e trabalhos já realizados envolvendo a área a ser pesquisada, o estudo de tufas calcárias no Brasil e no mundo, o quadro geológico regional, e ainda referências úteis a compreensão da geologia e do material a ser estudado. Nesse contexto foram consultados basicamente trabalhos científicos publicados em periódicos, anais de eventos, capítulos de livros, dissertações, etc, mapas plani-altimétricos e geológicos existentes, como as cartas planialtimétricas e a geologia proposta pelo Serviço Geológico Brasileiro - CPRM (ANGELIM *et al.* 2006) do Estado do Rio Grande do Norte e ainda imagens de sensoriamento remoto orbital.

#### **3.2 Processamento digital de imagens orbitais e produtos cartográficos existentes**

Nessa etapa foram utilizadas imagens digitais obtidas no Google Earth (Digital Globe), SRTM, ASTER GDEM, mapas geológicos e cartográficos existentes para compor a base cartográfica utilizada durante a etapa de campo.

As imagens do tipo Digital Globe, de alta resolução espacial, foram capturadas no formato Tif e georeferenciadas no sistema de coordenadas SAD-69/SUTM-24 na plataforma ARCGIS DESKTOP. Essas imagens serviram de base cartográfica para retirar informações planimétricas como drenagens, estradas, açudes, caminhos, informações estruturais e texturais de relevo.

Imagens do tipo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e do tipo ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model), foram utilizadas para se obter dados de âmbito topográfico e estrutural. A partir desses dados foram obtidas curvas de nível e feições de relevo positivas e negativas. As imagens foram trabalhadas no *software* Global Mapper 11.0 utilizando-se as ferramentas de geração de contorno (Generate Contours), 3D View, 3D Path Profile, etc, através das quais foram extraídas informações utilizadas na confecção do mapa geológico final.

Os mapas geológicos utilizados para o prévio conhecimento da geologia da região de estudo tiveram como base de informações o GEOBANK, banco de dados misto de propriedade do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

A principal base cartográfica existente utilizada no auxílio das atividades de campo foram as cartas da SUDENE SB.24-X-C-VI/SB.24-X-C-III (1:100.000). Informações planimétricas como drenagens, açudes, estradas, sede municipal, etc foram as mais utilizadas. Os mapas geológicos e as cartas da SUDENE digitalizadas forneceram informações referentes à geologia da região e a planimetria, auxiliaram na confecção de mapas que nos auxiliaram na etapa de campo e na geração dos produtos cartográficos finais que compõem esta pesquisa.

### **3.3 Trabalhos de campo**

Para a realização dos trabalhos de campo foram consideradas as técnicas de levantamento e mapeamento de informações mineralógicas, litológicas, texturais, estruturais e amostragem presentes nos trabalhos de Corrêa & Auler (2006), Oliveira (2009), Sallun Filho *et al.* (2009) e Sallun Filho *et al.* (2011).

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em três campanhas através do levantamento de afloramentos isolados e distribuídos ao longo de drenagens de forma a contemplar as principais ocorrências de tufas presentes na área de estudo. Foram realizados, preferencialmente, perfis contínuos ao longo das drenagens, uma vez que estes seccionam as principais feições geológicas previamente identificadas (lineamentos estruturais, estratificações, falhas, fraturas, etc). Em cada ponto de afloramento levantado foram coletadas as características litológicas (mineralogia,

coloração, textura) e estruturais (identificação e tomada de medidas da orientação espacial da estratificação e os elementos estruturais de falhas, fraturas, etc).

Durante os trabalhos de campo realizou-se também a coleta de amostras para análises laboratoriais (petrografia, análises químicas, geocronológicas, etc), além da captura de fotografias utilizadas na ilustração da dissertação de mestrado aqui apresentada.

A topografia das cavernas desenvolvidas nas tufas calcárias foi realizada, no âmbito do Projeto: “Espeleometria e Caracterização Ambiental de Cavidades Naturais Subterrâneas no Município de Felipe Guerra (RN), realizado em parceria entre o ICMbio/Cecav e o Departamento de Geologia – UFC no ano de 2009.

### 3.4 Trabalhos laboratoriais

No que se refere a análises laboratoriais, foi realizada uma sequência de atividades que envolveram o preparo de amostras, microscopia óptica e de varredura eletrônica, métodos de datação radiogênica ( $^{14}\text{C}$ ), análises de isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e análises químicas de elementos maiores, menores e traços. Objetivou-se quando da utilização desses métodos, discorrer sobre a gênese das tufas, suas idades de formação e sua possível relação com mudanças paleoclimáticas da região de estudo.

As análises laboratoriais obedeceram a seguinte ordem:

Preparação de amostras - Para a confecção das lâminas delgadas foi utilizado um método de impregnação com cola do tipo epoxi (araldite 90min), de endurecimento lento, para que houve-se uma penetração na amostra com o objetivo de preservar a porosidade primária da rocha. A princípio, as amostras coletadas em campo foram todas separadas, limpas e descritas macroscopicamente. Após a descrição inicial as amostras compostas principalmente por carbonatos foram submetidas a testes com HCl 10% para a determinação de sua natureza calcítica e/ou dolomítica. Em seguida fez-se a escolha das amostras que melhor representam as ocorrências das tufas para a confecção de 11 lâminas delgadas (Laboratório de Laminação – DEGEO, UFC) a serem descritas em microscópio petrográfico (Laboratório de Microscopia do Departamento de

Geologia da UFC) onde os resultados auxiliaram na classificação dos depósitos de tufas (Figura 02).

- Microscopia ótica – as análises microscópicas de amostras preparadas como descrito anteriormente foram feitas em microscópio petrográfico, que permite a identificação dos minerais através de suas propriedades óticas, observadas a luz transmitida e polarizada (FUJIMORI & FERREIRA, 1987). A descrição mineralógica das lamina delgadas, foi realizada através de técnicas de identificação mineral descritas nos atlas petrográficos para rochas sedimentares (MACKENZIE & GUILFORD, 1984). Eventuais abreviações para nomes de minerais seguiram a proposta de Kretz (1983).
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) – amostras brutas (não preparadas) também foram analisadas microscopicamente ao MEV com espectrômetro de energia dispersiva para elétrons retro-espalhados (EDS, da sigla em inglês), junto ao Laboratório MEVGeochronos (Instituto de Geociências – UNB). No equipamento, um canhão de elétrons bombardeia a superfície da amostra, a partir da qual elétrons retornados da própria amostra são usados para formar uma imagem microscópica e ainda podem ser analisados segundo sua massa atômica. Seu uso objetivou identificar possíveis microestruturas vegetais preservadas em amostras que continham moldes fósseis de vegetais (folhas e troncos) e conchas, além de análises químicas pontuais pelo EDS acessório.
- Análises geocronológicas -  $^{14}\text{C}$  idade absoluta – a datação radiogênica por  $^{14}\text{C}$  é o método mais utilizado na determinação da idade de fósseis e artefatos de diversos tipos. O  $^{14}\text{C}$  é formado nas camadas superiores da atmosfera onde os átomos de  $^{14}\text{N}$  são bombardeados por nêutrons contidos nos raios cósmicos, reagindo com o oxigênio do ar formando dióxido de carbono ( $\text{C}^{14}\text{O}_2$ ) que é absorvido por vegetais e seres vivos (FARIAS, 2002). Sua meia-vida é de aproximadamente 5730 anos. A preparação das amostras neste estudo constou da extração das conchas de gastrópodes preservadas nas amostras de tufa que foram enviadas ao Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating.

O método de datação usado pelo laboratório citado é do espectrômetro acelerador de massa (AMS, da sigla em inglês), onde uma fração da amostra é desintegrada em plasma e acelerada em campo de alta voltagem. Um eletroímã atrai os átomos de carbono acelerados e os desvia conforme sua massa. Isso permite quantificar sua proporção entre radioativos ( $^{14}\text{C}$ ) e não radioativos ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ), para o cálculo de idades, o que torna a datação mais precisa do que métodos convencionais (CURRIE, 2004). Cinco amostras foram enviadas ao laboratório Beta Analytics Inc. Florida, USA as quais foram submetidas a um processo de calibração através do programa CALIB 6.0 (STUIVER & REIMER, 1993), com distribuição de probabilidades de idades a intervalos de confiança de 95,4% ( $2\sigma$ ). Essa calibração incluiu a correção da variação isotópica atmosférica do Hemisfério Sul pelo protocolo SHCal04 (MCCORMAC *et al.*, 2004); e para o Hemisfério Norte é utilizado o protocolo IntCal09 (HEATON *et al.*, 2009). Utida (2009), também cita que Sallun Filho *et al.* (2009) aplicou o mesmo procedimento de calibração nos dados de tufas da Serra da Bodoquena. Segundo Geyh *et al.* (1977) a datação por  $^{14}\text{C}$  é distorcida em cerca de 1.700 anos, se comparado com materiais recentes, formados em água doce onde a concentração de  $^{14}\text{C}$  pode ser 15% inferior ao do gás carbônico atmosférico durante sua formação.

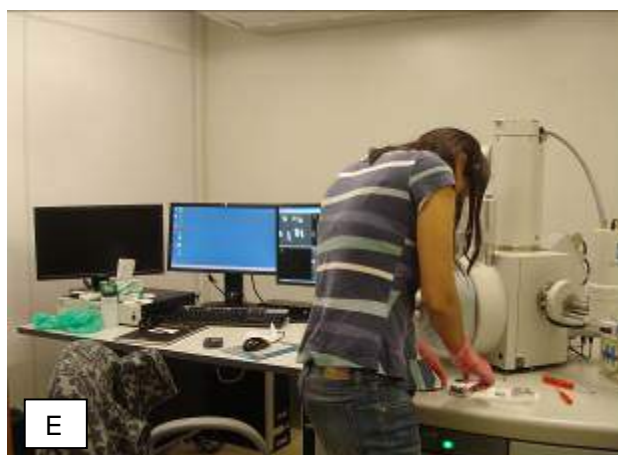
- Análises de Isótopos Estáveis de Oxigênio e Carbono – a análise de isótopos estáveis de oxigênio ( $^{18}\text{O}$  e  $^{16}\text{O}$ ) e carbono ( $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$ ) tem sido usada para interpretações paleoclimáticas em estudos focados principalmente em sedimentos carbonáticos. Esses estudos baseiam-se no fracionamento isotópico em sistemas naturais envolvendo principalmente os ciclos hidrológico e biológico (WHITE, 2001), onde processos como pluviosidade, temperatura e metabolismo enriquecem os sistemas em determinados elementos do par de isótopos estáveis. A relação entre os isótopos, dada em partes por mil (‰), é referida pela letra grega  $\delta$  com referência ao isótopo mais pesado. Em particular os isótopos de oxigênio em carbonatos continentais têm sido aplicados para determinações de paleopluviosidade (WANG *et al.*, 2006; CRUZ *et al.* 2007). Neste trabalho, as amostras foram tratadas e analisadas no Laboratório de Isótopos Estáveis *Geochronos*

(Instituto de Geociências – UNB). A metodologia de preparação da amostra consta de:

- Extração de gás CO<sub>2</sub> através de reação com ácido fosfórico a 100% (d > 1,92 g/cm<sup>3</sup>) sob vácuo, para análise de isótopos de δ<sup>18</sup>O e δ<sup>13</sup>C em rochas em linha *off-line* e análise espectrométrica em espectrômetro de massa *Delta V Plus (Thermo SCIENTIFIC)*;
- Preparação de amostras de carbonato em microperfurador (*MicroDrill*);
- Execução das análises Isotópicas de δ<sup>13</sup>C e δ<sup>18</sup>O utilizando a separação gasosa no equipamento *GasBench II* (linha on-line) e análise espectrométrica em espectrômetro de massa *Delta V Plus (Thermo SCIENTIFIC)*;
- Tratamento dos resultados das análises, preparo de planilhas com os resultados finais utilizando o programa de computador Excel;
- Análises Químicas - para elementos maiores, menores, traços e composição química foram feitas pelo Laboratório ACMELabs – *Care Commitment Performance*, bem como difratometria e fluorescência de raios-X pelo Laboratório LRX (Laboratório de Raios-X, Depto. de Física UFC). Para as análises químicas, foram separadas e enviadas quatro amostras de 40g aproximadamente, enquanto que para análises de raios-X, foram enviadas seis amostras. A preparação das seis amostras para raios-X constou de maceração em quantidade de 15g cada. Amostras maceradas foram analisadas por difratometria e fluorescência de raios-X; no caso da fluorescência, as amostras foram também preparadas em pastilhas prensadas (Figura 02).



Figura 02 (A, B, C, D e E) – Trabalhos laboratoriais.



Fonte: Autor, 2012 e 2013.

**A:** separação e limpeza das amostras; **B:** espectrômetro de massa Delta V Plus; **C:** macerando amostras para análises de raios-x; **D:** preparação de amostras para análise isotópica O e C; **E:** microscópio eletrônico de varredura - Mev.

## 4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

O município de Felipe Guerra situa-se a Noroeste do estado do Rio Grande do Norte, na microrregião da Chapada do Apodi. Apresenta uma área total de 268,43 Km<sup>2</sup>, equivalente a 0,51% da área estadual. Limita-se a Norte com Apodi e Governador Dix-Sept Rosado, a Sul com Caraúbas e Apodi, a Leste com Governador Dix-Sept Rosado e Caraúbas e a Oeste com o município de Apodi (IDEMA 2008). O referido município está inserido nas folhas Apodi (SB.24-X-C-VI) e Quixeré (SB.24-X-C-III), na escala 1:100.000, editadas pela SUDENE (CPRM 2005).

A sede do município está localizada nas coordenadas geográficas: 05°36'09" de latitude Sul e 37°41'19" de longitude Oeste, distando cerca de 351 km de Natal, capital do estado (IDEMA 2008).

### 4.1 Aspectos socioeconômicos

Segundo dados do IBGE, no censo de 2010, o município de Felipe Guerra possui uma população em torno de 5.734 habitantes, sendo aproximadamente 3.800 residentes no meio urbano e 1.900 no meio rural, com densidade demográfica de 20,0 hab/Km<sup>2</sup> (CPRM 2005).

A economia municipal é movimentada principalmente por atividades agropecuárias, extração de petróleo e gás natural, extrativismo e comércio.

### 4.2 Clima

O clima do município de Felipe Guerra é classificado como muito quente e semi-árido, com período chuvoso de fevereiro a maio e seco de junho a Janeiro. A temperatura média anual é de 27,8°C com máxima de 36,0°C e mínima de 21,0°C. A umidade relativa média anual é de 68% (IDEMA, 2008).

### 4.3 Vegetação

O IDEMA (2008) identifica dois tipos de formação vegetal na região, a caatinga hiperxerófila e Carnaubal. A caatinga hiperxerófila é uma vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactácea e plantas de porte mais baixo e espalhado. Também conhecida como caatinga arbustivo-arbórea caracterizada como uma vegetação densa e de estrutura irregular, muitas vezes formando moitas e descobrindo parcialmente o solo, permanecendo sem folhas durante a maior parte do período seco (Figura 03 A e B). Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro.

O carnaubal é uma vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira e a carnaúba. Os carnaubais são espaçados e iluminados.

Figura 03 (A e B) – Mostra o aspecto atual da vegetação semi-árida da área pesquisada.



Fonte: Autor, 2013.



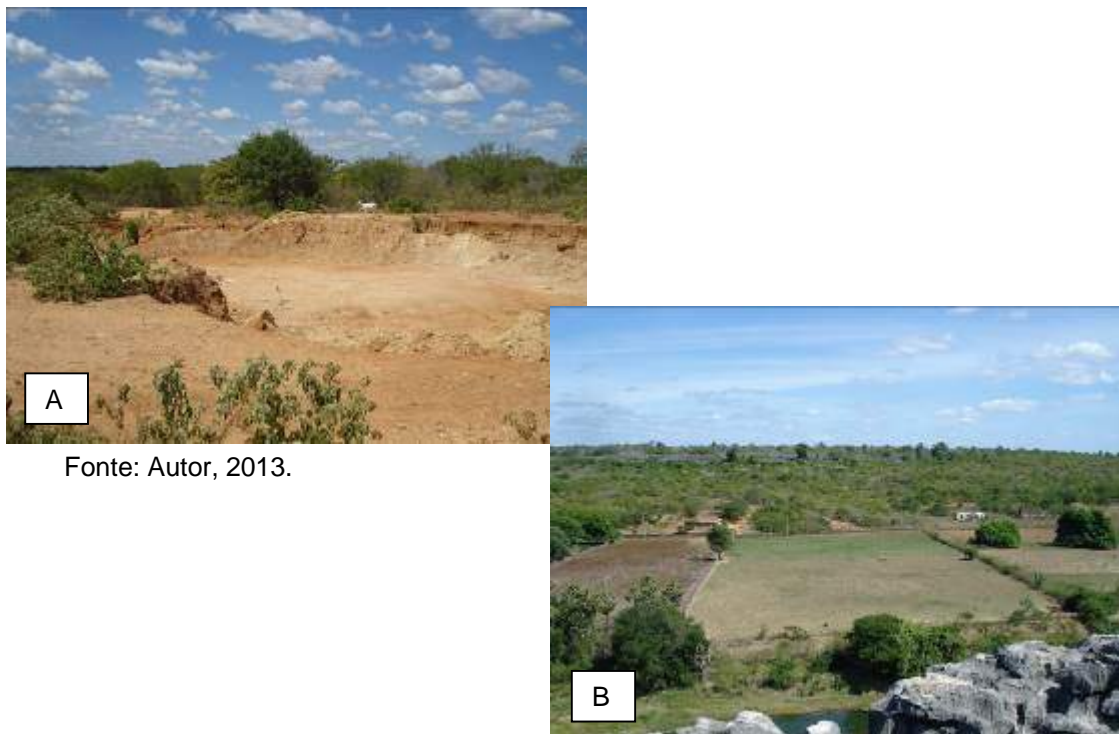
#### 4.4 Solos

Quanto à cobertura pedológica, predomina na região a redzina e o cambissolo eutrófico. O solo redzina é caracterizado por apresentar fertilidade alta, textura argilosa, moderado e imperfeitamente drenado e de relevo plano.

O cambissolo eutrófico apresenta fertilidade de média a alta, textura argilosa, são solos bem ou moderadamente drenados com relevo plano.

O principal uso destes solos é na pecuária. E sua maior limitação quanto ao uso agrícola é a escassez de água, portanto, devem ser cultivadas culturas resistentes à seca. No município também é encontrada uma pequena área de várzea com solos aluviais bastante aproveitados nas culturas de subsistência (Figura 04). A maior parte dos solos de Felipe Guerra apresenta aptidão agrícola regular e restrita para pastagens naturais, áreas menores restritas para lavouras aptas a culturas especiais de ciclo longo como algodão arbóreo, sisal, caju e coco. A área de várzea possui aptidão regular para lavouras aptas a culturas de ciclo curto (IDEMA 2008).

Figura 04 – Tipos de Solo: A - Cambissolo Eutrófico; B - Área de Várzea.



Fonte: Autor, 2013.

#### 4.5 Relevo

O município de Felipe Guerra apresenta altitudes máximas em torno da cota 100 metros, destacando-se no relevo a Serra do Boqueirão e a Chapada do Apodi formadas por terrenos sedimentares da Bacia Potiguar, cortados pelos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. O relevo varia de plano a suavemente ondulado, com cotas entre 10 e 150 m de altitude, aumentando gradativamente do litoral para o interior com declividade dominante menor que 2%. Este relevo monótono possui alguns vales abertos, de direção principal NNE-SSW, correspondendo a lineamentos estruturais do embasamento cristalino e vales de menor expressão com expressão aproximada N-S. A drenagem raramente se concentra em canais superficiais devido à grande permeabilidade das rochas calcárias (PROASNE, 2006).

#### 4.6 Recursos hídricos

Felipe Guerra encontra-se com 100% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica do rio Apodi – Mossoró, que o atravessa na direção SW-NE. Seus principais tributários são: os Rios do Alazão, do Meio, do Abreu e Preto. As principais acumulações de água são: a Barragem Mirador (685.000m<sup>3</sup>/comunitário) e a lagoa do Saco. Todos os cursos de água são intermitentes e o padrão da drenagem dos mesmos é do tipo dendrítico (CPRM 2005).

De acordo com IDEMA (2008) o município de Felipe Guerra é composto por dois grandes aquíferos. São eles: Aquífero Jandaíra e Aquífero Aluvião.

O Aquífero Jandaíra que abrange a maior parte do município e é caracterizado por ser de natureza cárstico-fraturada constituído pelos calcários da Formação Jandaíra. Apresenta água geralmente salobra e composição química favorável a pequena irrigação. Além da irrigação as águas do Jandaíra também são utilizadas para o abastecimento doméstico. O processo de salinização do aquífero ocorre, preferencialmente, pela dissolução da calcita e dolomita. 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 8,00m (IDEMA 2008).

Já o Aquífero Aluvião é do tipo livre e apresenta-se disperso, sendo constituído pelos sedimentos depositados nos leitos e terraços dos rios e riachos de maior porte que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi - Mossoró. 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 pela população.

## 5 GEOLOGIA REGIONAL

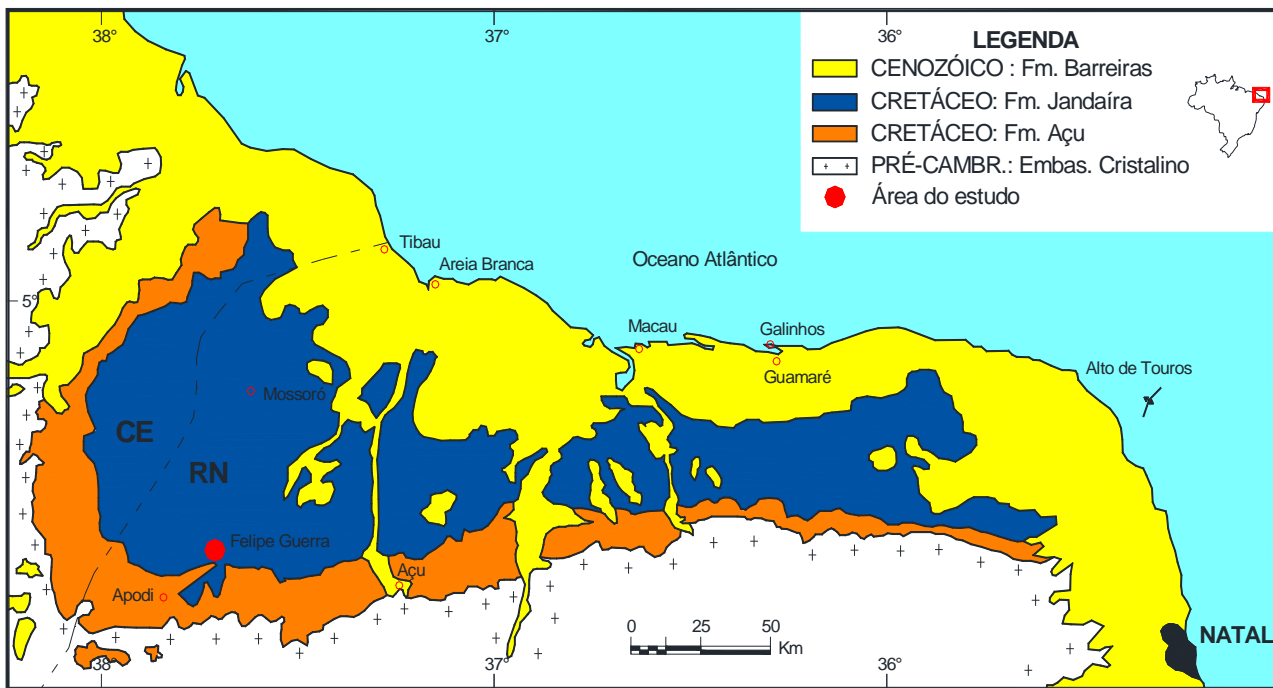
A área em questão está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar. Localizando-se na porção oriental no nordeste do Brasil, abrange parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará e suas respectivas plataformas continentais.

A Bacia Potiguar está implantada na Província Borborema de Almeida *et al.* (1977), limitando-se ao sul com uma zona de falha que marca uma discordância com o embasamento cristalino; a noroeste com a Bacia do Ceará, pelo Alto de Fortaleza; a leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba, pelo Alto de Touros; enquanto a norte limita-se pela cota batimétrica submersa de - 2.000m (PESSOA NETO *et al.* 2007).

A bacia abrange uma área estimada entre 48.000 Km<sup>2</sup> (BERTANI *et al.* 1990) e 60.000 Km<sup>2</sup> (ARARIPE & FEIJÓ, 1994), ocupando a parte norte do estado do Rio Grande do Norte e uma pequena parte do estado Ceará. Deste total, 45% (21.500 Km<sup>2</sup>) emersos e 55% (26.500 Km<sup>2</sup>) na plataforma e talude continental estendendo-se até a isóbata – 2000m.

Neves (1987), conclui que a Bacia Potiguar representa um rifte intracontinental na porção emersa e uma bacia do tipo pull-apart na porção submersa. A Bacia Potiguar foi originada a partir da fragmentação do supercontinente Gondwana que teve início no Jurássico Superior, estando sua origem diretamente ligada à formação do Atlântico Sul (FRANÇOLIN & SZATMARI, 1987) (Figura 05).

Figura 05 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar e área de estudo.



Fonte: Dantas (1998 *apud* SANTOS, 2010)

### 5.1 Arcabouço estrutural

A evolução da Bacia Potiguar deu-se sobre um substrato de rochas pré-cambrianas pertencentes à Província Borborema que apresenta um trend estrutural com direção NE preferencial. A bacia apresenta também um importante sistema de zonas cisalhantes E-W e NE-SW, estando sua origem relacionada à abertura do Oceano Atlântico (ALMEIDA & HASUI, 1984).

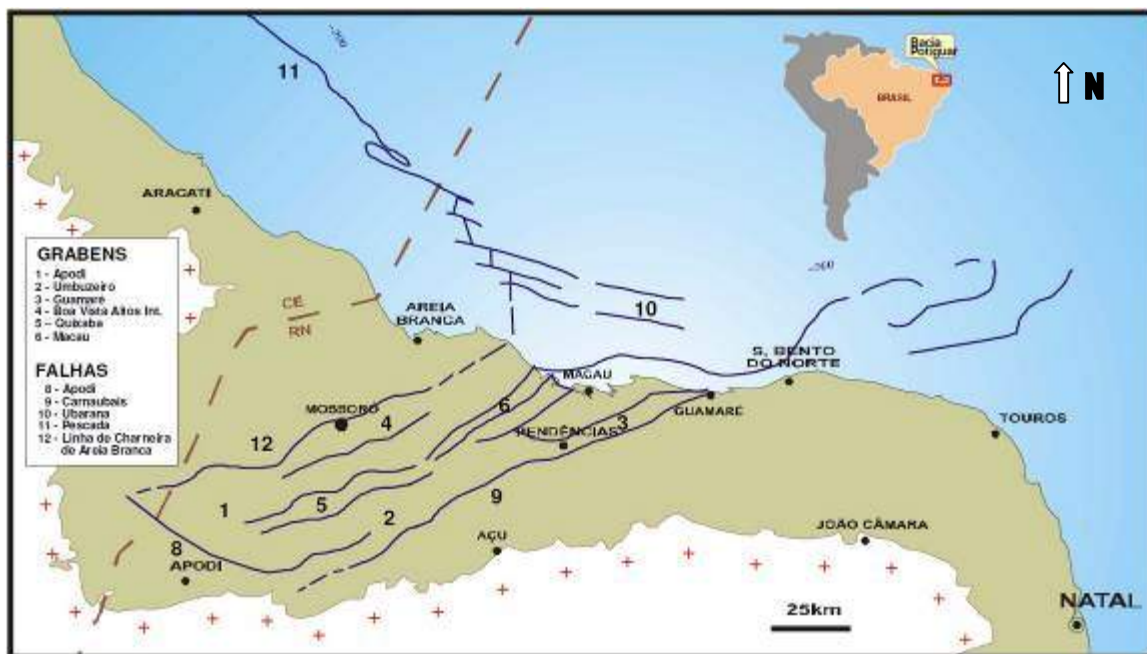
O Rifte Potiguar possui alinhamento segundo a direção ENE-WSW, estando representado por grabens assimétricos, tendo por limites a sudoeste, falhas com mais de 5.000 m de rejeito e flexuras na borda oposta que apresentam como feições estruturais principais os grabens de Apodi, Umbuzeiro, Boa Vista, Pendência e Guararé. A separação destes grabens se dá por cristas alongadas do embasamento raso denominadas de altos internos, dispostos de forma paralela à direção do eixo



principal do rifte (Figura 06) bordejado por plataformas rasas do embasamento, denominadas de Aracati, a oeste, e Touros, a leste.

De acordo com Bertani *et al.* (1990), os limites sudoeste e sudeste, são estabelecidos pelas Falhas de Apodi e Carnaubais, respectivamente, e o limite noroeste pela Linha de Charneira de Areia Branca. Outros extensos falhamentos cortam o Rifte Potiguar nas direções WNW-ESE/NW-SE, ortogonalmente às falhas de borda, que foram interpretadas por Bertani *et al.* (1985) e Matos (1987b) como sendo falhas de transferência. Fortes (1982), Hackspacher *et al.* (1985) e Oliveira *et al.* (1993) interpretam estes falhamentos como produto de reativações pós-campanianas, já que muitas dessas falhas também afetam os sedimentos das formações Açú e Jandaíra, depositados entre o Albiano e o Eocampaniano. Segundo Bertani *et al.* (1991), os grabens da porção submersa mostram seus eixos principais orientados ligeiramente paralelos à atual linha de costa. Cremonini *et al.* (1996) dizem que a direção preferencial das feições estruturais do rifte potiguar é na direção NW-SE, por efeito de uma tectônica transtensional dextral em resposta ao processo de separação continental entre América do Sul e África.

Figura 06 – Arcabouço Estrutural da Bacia Potiguar.



Fonte: Bertani *et al.* (1990 *apud* REYES, 2003).

## 5.2 Estratigrafia

A estratigrafia da Bacia Potiguar teve seus primeiros trabalhos publicados a partir da última metade do século passado. Araripe & Feijó (1994) e Pessoa Neto *et al.* (2007), propuseram a compartimentação da litoestratigrafia da bacia em três grupos: Grupo Areia Branca (formações Pendência, Pescada e Alagamar), Grupo Apodi (formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e Quebradas) e Grupo Agulha (formações Ubarana, Guamaré e Tibau). Inclusos a estes grupos estão também às unidades estratigráficas que representam as rochas vulcânicas Rio Ceará-Mirim, Serra do Cuó e Macau (Figura 07).

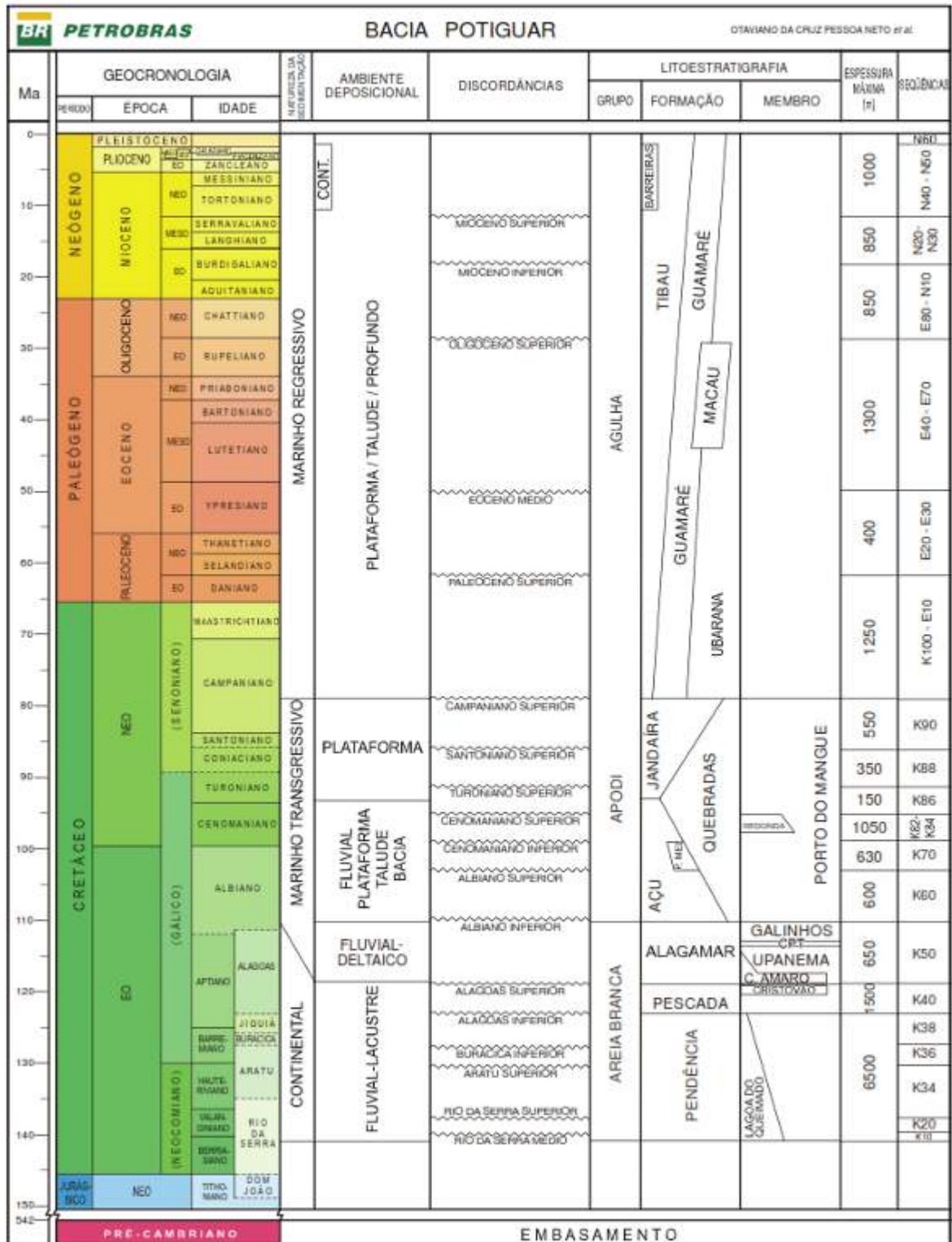
O **Grupo Areia Branca** constitui a sucessão basal da Bacia Potiguar, de caráter siliciclástico, composto pelas formações Pendências, Pescada e Alagamar. A Formação Pendência depositada em porção não aflorante da bacia é constituída por arenitos muito finos até conglomeráticos com intercalações de folhelhos e siltitos que recobrem o embasamento cristalino nas porções mais profundas da Bacia Potiguar (SOUZA, 1982). Segundo Pessoa Neto *et al.* (2007) as rochas que constituem esta formação foram depositadas em sistemas lacustres, flúvio-deltaicos e fandelas. Segundo a proposta de evolução tectono-sedimentar proposta por Pessoa Neto *et al.* (2007), a Formação Pendência e a Formação Pescada constituem a Supersequência Riffe. A Formação Pescada é representada por uma cunha siliciclástica, composta de arenitos intercalados a folhelhos e siltitos depositados em sistema de leques aluviais, flúvio-deltáicos, lacustres e turbiditos. Araripe & Feijó (1994) apresentam os contatos superior e inferior desta unidade, com as formações Alagamar e Pendência, respectivamente, como discordantes. A Formação Alagamar representa uma seção areno-carbonática sotoposta em discordância à Formação Açú (SOUZA, 1982). Segundo Araripe & Feijó (1994), esta unidade pode ser dividida em dois membros, separados por uma seção pelítica informalmente denominada de Camadas Ponta do Tubarão. O Membro Upanema é basal e composto por arenitos flúvio-deltáicos, intercalados a calcários e folhelhos. As Camadas Ponta do Tubarão são formadas por folhelhos pretos e calciludito ostracoidal em sistema lagunar. O Membro Galinhos é predominantemente

pelítico, com folhelhos e calcilutitos. De acordo com a proposta de Pessoa Neto *et al.* (2007) as rochas desta formação podem ser consideradas como da fase Pós-Rifte.

Os **Grupos Apodi e Agulha**, segundo a proposta de Pessoa Neto *et al.* (2007) estão compreendidos na Supersequência Drifte. O **Grupo Apodi** envolve as formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra. A Formação Açú é constituída por arenitos médios a muito grossos, intercalados com siltitos e argilitos, em contato inferior discordante com a Formação Alagamar e interdigitado lateralmente com as formações Ponta do Mel e Quebradas. A Formação Ponta do Mel foi primeiramente definida por Tibana & Terra (1981), sendo composta por calcarenitos oolíticos, calcilutitos e dolomitos intercalados por folhelhos. Os sistemas deposicionais das rochas que compreendem esta unidade são: planície de maré, plataforma rasa e plataforma externa. A Formação Quebradas, situada entre as formações Ponta do Mel (inferior) e Jandaíra (superior), foi subdividida em dois membros: o Membro Redonda, com intercalações de arenitos, folhelhos e siltitos, e o Membro Porto do Mangue representado por folhelhos e, subordinadamente, arenitos (SOUZA, 1982). A Formação Jandaíra é composta por calcarenitos bioclásticos e calcilutitos, possui contato inferior concordante com a Formação Açú ou Formação Quebradas e ocorre localmente interdigitado com a porção inferior da Formação Ubarana.

O **Grupo Agulha** engloba as formações Ubarana, Guamaré e Tibau, compostas por rochas sedimentares clásticas depositadas em ambientes de alta e baixa energia. A Formação Ubarana é constituída por folhelhos e argilitos, entremeados por camadas delgadas de arenitos, siltitos e folhelhos, interdigitadas em direção ao continente com rochas do Grupo Apodi e da Formação Guamaré. A Formação Guamaré é formada por calcarenitos e calcilutitos de plataforma e taludes carbonáticos, apresentando contatos laterais com as Formações Tibau em direção ao continente e Ubarana em direção ao mar. A Formação Tibau é composta por arenitos calcíferos grossos por vezes interdigitados lateralmente com rochas das formações Guamaré e Barreiras.

Figura 07 – Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar.



Fonte: Pessoa Neto *et al.* 2007.

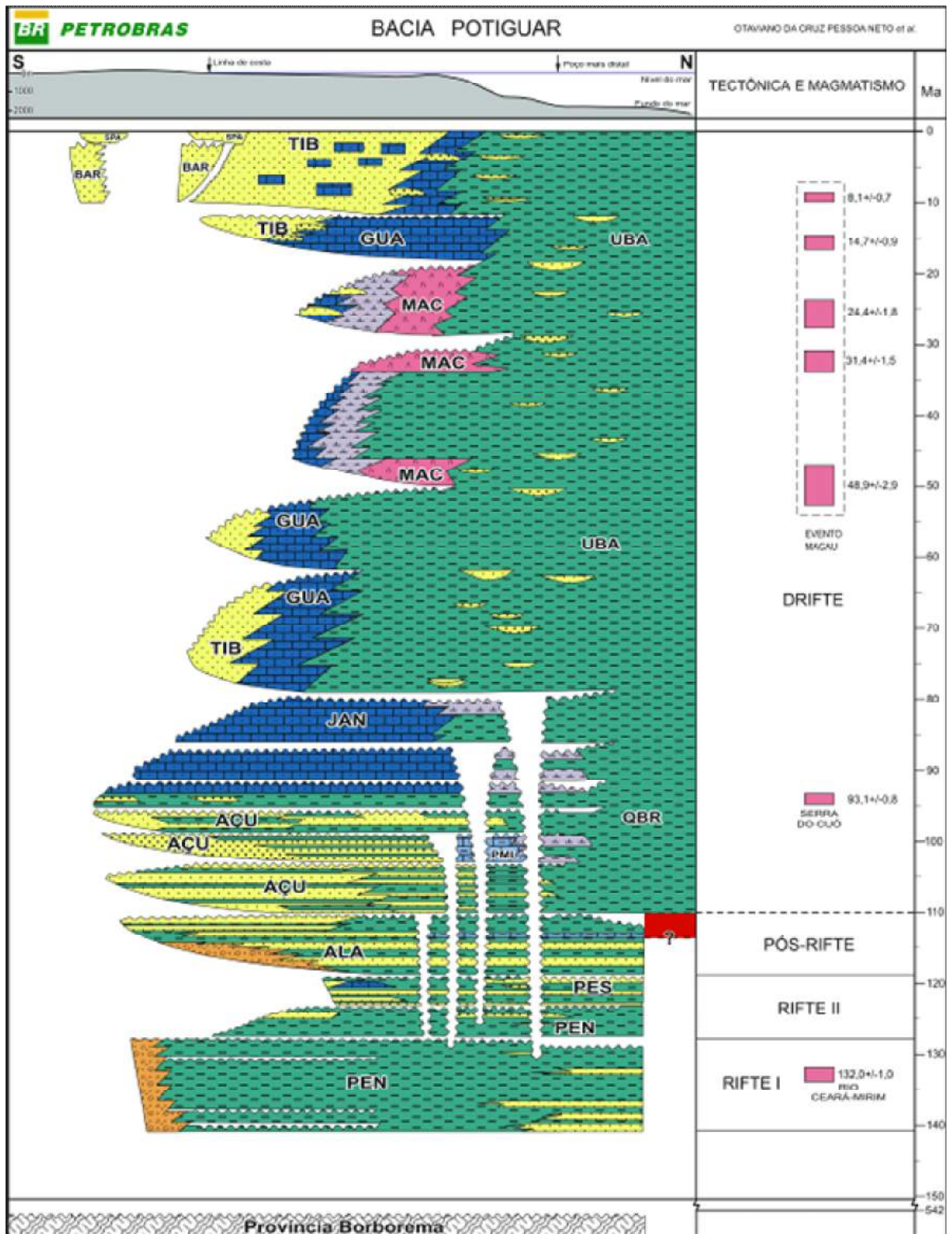
Concomitantes ao desenvolvimento da Bacia Potiguar ocorreram três eventos magmáticos, reconhecidos como Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim, Magmatismo Serra do Cuó e o Magmatismo Macau (Figura 08). Esses magmatismos foram individualizados segundo a sua relação tempo e espaço com o preenchimento da bacia, a sua natureza físico-química e vinculação geodinâmica (OLIVEIRA, 1998).

O magmatismo **Rio Ceará Mirim** (120 a 140 Ma, RADAMBRASIL, 1981) ocorre na borda da Bacia Potiguar na forma de diques de composição diabásica a toleítica resultantes de uma extensa atividade magmática orientados na direção E-W, ou ainda de forma intercalada nas rochas da Formação Pendência (Oliveira, 1998). Segundo Pessoa Neto *et al.*(2007) o evento teve duração contínua com picos de atividades entre 145 e 130 Ma.

O magmatismo **Serra do Cuó** (93 Ma, SOUZA *et al.* 2004), ocorre na serra de mesmo nome. É composto por diques e soleiras de composição básica que intrudiram na porção basal da Formação Açú (OLIVEIRA, 1992). Esse mesmo magmatismo ocorreu concomitante a deposição dos carbonatos da Formação Jandaíra.

O magmatismo **Macau** foi definido por Mayer (1974) para indicar os derrames basálticos que ocorrem intercalados aos sedimentos terciários de sequência regressiva das formações Ubarana, Tibau, Guamaré e Agulha e no embasamento adjacente a bacia. Esses derrames são compostos principalmente por basaltos ocorrendo de formas diversas (plugs, diques, derrames e soleiras de olivina basalto) no Alinhamento Macau Queimadas (AMQ) desde a Bacia Potiguar offshore até o centro de Pernambuco e atingindo espessuras de 1500m na região dos cânions de Agulha e Ubarana, evidenciando a grande magnitude desse evento que ocorreu entre 29 e 45 Ma (MIZUSAKI, 1987).

Figura 08 – Tectônica e Magmatismo da Bacia Potiguar.



Fonte: Pessoa Neto et al. 2007.

### 5.3 Evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar

Dentre os vários modelos propostos para a evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar abordaremos os mais aceitos para explicar sua origem. Em sua maioria, os modelos se distinguem baseados na orientação dos esforços e pelos mecanismos de cunho estrutural que atuaram na época da abertura da bacia.

A proposta de Françolin & Szatmari (1987) sugere uma rotação horária na placa sul-americana em relação à africana, em torno de um pólo localizado próximo a cidade de Lavras de Mangabeira a sul de Fortaleza no Estado do Ceará. Essa rotação explica a separação América do Sul-África, envolvendo esforços compressivos e distensivos. Outra proposta bastante aceita foi elaborada por Matos (1992) sugerindo dois estágios principais de geração da Bacia Potiguar, ambos em ambiente distensivos.

Françolin & Szatmari (1987) propuseram que as primeiras manifestações da separação entre Brasil e África ocorreram no Jurássico Superior com movimentação divergente leste-oeste. Este movimento de separação favoreceu a implantação de uma extensa fratura que se iniciou a sul do continente propagando-se em direção ao norte de forma progressiva.

Segundo Matos (1992), essa evolução tectônica ocorreu de forma puramente extensional nas direções NW-SE e E-W, compreendendo três estágios tectônicos denominados de sin-rifte (I, II e III). Estes estágios imprimem a diferença temporal e espacial das bacias do sistema de rifte do nordeste brasileiro, lembrando que a Bacia Potiguar se formou nos estágios II e III. O mesmo autor afirma que o início da Bacia Potiguar deu-se no Neocominiano-Barremiano e não no Jurássico Superior como propôs Françolin & Szatmari (1987).

Outro modelo evolutivo bastante aceito na atualidade é o modelo proposto por Pessoa Neto *et al.* (2007). Em sua proposta o autor afirma que a evolução tectônica da bacia compreende três superseqüências denominadas: Superseqüência Rifte, depositada no Cretáceo Inferior; Superseqüência Pós-rifte, depositada durante o Andar Alagoas e a Superseqüência Drifte, depositada entre o Albiano e o Quaternário.

O autor dividiu a **Superseqüência Rifte** em duas fases Rifte I e Rifte II.

Na **Supersequência Pós-rifte** é encontrado um regime tectônico marcado por subsidência térmica, que ocorreu após o afinamento litosférico e crustal da fase rifte. O processo de sedimentação dessa fase foi dominado por sistemas deposicionais flúvio-lacustres, cujos depósitos encontram-se assentados diretamente sobre uma forte discordância angular no topo da seção rifte, correspondendo às litofácies da Formação Alagamar.

Durante a **Supersequência Drifte** a subsidência foi controlada por mecanismos termais e isostáticos, tendo as modificações estruturais constituídas por falhamentos normais, ao longo de lineamentos mais antigos preferencialmente. As sequências transgressivas são do tipo flúvio-marinhas e compreende as formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas, Jandaíra e Ubarana. Por outro lado às sequências regressivas são siliciclásticas e carbonáticas e compreendem as formações Ubarana, Tibau e Guamaré.

#### 5.4 Neotectônica da Bacia Potiguar

Considerando que a tectônica cretácea culminou com a abertura do Oceano Atlântico e aceita por muitos como o evento geológico-geomorfológico mais importante a afetar a margem leste da América do Sul, pode-se afirmar que essa margem exhibe diversos indicadores morfoestruturais de reativação pós-cretácea (BEZERRA & VITA FINZI, 2000).

Maia (2012) aponta em seu trabalho que diversos autores têm descrito o atual contexto estrutural da Margem Atlântica Brasileira como sendo resultado da atividade tectônica cenozóica (RICCOMINI & ASSUMPÇÃO, 1999; MELLO *et al.*, 1999; BEZERRA & VITA FINZI, 2000; MATOS, 2000). As correlações entre as reativações tectônicas cenozóicas e o desenvolvimento do relevo estão sendo gradativamente evidenciadas a partir de trabalhos com ênfase morfoestrutural (SAADI, 1993; VALADÃO, 1998; FORTES, 2005; MENDES *et al.*, 2007; GONTIJO-PASCUTTI *et al.* 2010, MAIA & BEZERRA, 2012). Estes trabalhos apontam para uma estreita correlação entre as estruturas de deformação neotectônica e as descontinuidades pré-cambrianas.



Tais discontinuidades foram reativadas no Cretáceo na forma de zonas de cisalhamento.

Silva & Mello (2011) afirmaram que os mecanismos neotectônicos que afetaram a Fachada Atlântica Brasileira enquadra-se em um modelo tectônico ressurgente, ou seja, esse modelo aproveitou-se parcialmente de planos de fraqueza existentes que foram desenvolvidos durante fases tectônicas anteriores. Para Maia (2012) atualmente esses planos de fraqueza são importantes para a compreensão dos processos geomorfológicos que direcionam as drenagens, a dissecação e a agradação. Os vales dos rios principais, as escarpas de falha e os alinhamentos de cristas residuais orientam-se conforme as direções tectônicas preferenciais, definidas por zonas de cisalhamento e por falhas (MAIA & BEZERRA, 2011).

O autor afirma que no Nordeste brasileiro, as estruturas tectônicas resultaram da reativação de zonas de cisalhamento brasileiras, após a abertura do Atlântico (MATOS, 2000) e que o relevo dessa região comporta um conjunto complexo de formas estruturais com disposição morfoestrutural diretamente herdada do Cretáceo (PEULVAST & CLAUDINO SALES, 2003). Disposição essa evidenciada nas morfologias relacionadas a eventos tectônicos Pós-Cretáceos, como as escarpas de falha, as superfícies estruturais, alinhamento de cristas, vales estruturais, deformações em rochas neógenas e o controle estrutural da drenagem (MAIA & BEZERRA, 2011).

Diante dos dados de reativação cenozoica, a influência da tectônica pós-cretácea na evolução do relevo não pode ser levada a segundo plano, sobretudo em áreas sedimentares onde a reativação de sistemas de falhas repercute diretamente nos padrões de canais, no controle da dissecação e na deposição neógena e quaternária. E nesse contexto, percebemos que os sistemas fluviais são muito sensíveis ao tectonismo e preservam registros dessas atividades, como migração de canais, variação da espessura de depósitos aluviais, deformação de terraços e capturas de drenagem (LARUE, 2008) além das anomalias padrão de densidade de drenagem que também são indicadores de tectonismo recente (SCHUM *et al.*, 2000).

Segundo Maia (2012) na fachada atlântica setentrional nordestina, a definição de campos de tensões a partir de dados sismológicos e breackouts são ferramentas

importantes que ajudam na definição das tensões atuais (FERREIRA *et al.*, 1998; BEZERRA & VITA FINZI, 2000 e BEZERRA *et al.*, 2011). A direção da tensão máxima horizontal neotectônica, obtida pela análise desses mecanismos, aponta para uma direção de máxima compressão que varia de E-W a NW-SE.

Essas direções de tensões estão ligadas à migração da placa sul-americana e a contrastes locais de densidade (LIMA *et al.*, 1997; FERREIRA *et al.*, 1998). As tensões pós-rifte da bacia foram responsáveis pela reativação de falhas da fase rifte (Sistema de Falhas de Carnaubais de direção NE-SW e Afonso Bezerra de direção NW-SE) e dobramentos com grandes comprimentos de onda e eixos na direção N-S resultantes de esforços compressivos E-W (CREMONINI & KARNER, 1995). Segundo Sousa & Bezerra (2005) dois campos de tensões de idade pós-rifte atuaram na Bacia Potiguar. O primeiro atuou do Campaniano ao Mioceno afetando apenas as sequências da fase rifte e o início da deposição da Formação Barreiras, o segundo caracterizado por compressão predominantemente sub-horizontal de orientação aproximada N-S e distensão aproximada E-W (BEZERRA & VITA-FINZI, 2000).

Esse último campo de tensões é o único a ser observado na Formação Barreiras e sedimentos neogênicos e quaternários, exercendo também importante interferência na rede de drenagem, erosão e sedimentação quaternária. A expressão geomorfológica dessas interferências torna os dados morfotectônicos importantes subsídios para o conhecimento das tensões neotectônicas (SAADI, 1998).

Trabalhos relacionando a evolução de áreas sedimentares e o contexto tectônico Pós-Cretáceo da Bacia Potiguar foram desenvolvidos por Moura-Lima (2007) e Fonseca (1996) no vale do Rio Açu e por Nogueira *et al.* (2010), no vale do Rio Jundiá (RN). Esses trabalhos apontaram para a existência de estruturas rúpteis afetando depósitos sedimentares neogênicos e quaternários do Rio Grande do Norte.

## 5.5 Geologia da área pesquisada

Na área de estudo ocorrem três unidades geológicas: Formação Açu, Formação Jandaíra e depósitos aluviais quaternários, em meio aos quais as tufas calcárias ocorrem (ANGELIM *et al.*, 2006) (Anexo 2).

As formações Açu e Jandaíra integram o Grupo Apodi, unidade cretácea formada predominantemente por depósitos siliciclásticos e carbonáticos, admitidos como de sistema plataformal do tipo siliciclástico a misto (PESSOA NETO *et al.*, 2007). Neste contexto, a Formação Açu é composta por arenitos médios a muito grossos, intercalados com siltitos e argilitos, em contato inferior discordante com a Formação Alagamar (cascalhos, arenitos e folhelhos, imaturos) e interdigitado lateralmente com as formações Ponta do Mel (folhelhos) e Quebradas (calciarenitos, calcilitos e folhelhos) (KREIDLER & ANDERY, 1949; TIBANA & TERRA, 1981). A sedimentação da Formação Açu teria se dado do Albiano ao Cenomaniano.

Estratigraficamente acima da Formação Açu, a Formação Jandaíra foi definida por Sampaio & Schaller (1968) como sendo formada por mudstones a grainstones bioclásticos a intraclásticos, com eventuais intercalações de arenitos, folhelhos, margas e evaporitos. As rochas desta formação interdigitam-se com os litotipos basais da Formação Ubarana (folhelhos com eventuais lentes de arenitos) e sua sedimentação teria sido do Turoniano ao Eocampaniano. As tufas calcárias são produto de dissolução e reprecipitação continental de carbonatos expostos da Formação Jandaíra, durante o Quaternário.

A primeira menção sobre ocorrências de tufas na região de estudo foi elaborada por Beurlen (1967), que as cita entre os depósitos quaternários no livro “Geologia da Região de Mossoró”. O autor descreve os depósitos de tufas como “Calcários Travertinos”, termo atualmente inadequado. Segundo o mesmo autor, as tufas seriam redepositadas e reprecipitadas pelas “águas de fontes” (surgências de água subterrânea). No livro são citadas algumas ocorrências desses “travertinos” em outras regiões do entorno de Felipe Guerra, como em Russas (CE, localidade de Olho D’água do Vieira) e em Apodi (RN, localidade de Canto de Veras). No mesmo trabalho, Beurlen

(1967) observou diversas ocorrências de tufas “cheias de folhas incrustadas”, e que a maior ocorrência é a sobre a qual é construída parte do município de Felipe Guerra (RN), cujo nome antigo da cidade “Pedra de Abelhas” remete ao caráter muito poroso do calcário onde também são encontradas muitas folhas e restos de conchas de gastrópodes.

Em outros trabalhos, como os de Duarte e Vasconcelos (1980), são novamente descritas tufas com fósseis de vegetais bem preservados no município de Russas (CE). Recentemente, Reyes Perez *et al.* (2003) e Jesus (2010), em trabalhos de mapeamento e caracterização de rochas carbonáticas da borda oeste da Bacia Potiguar, também descrevem depósitos de tufas, em todos os casos associadas a dissolução dos carbonatos da Formação Jandaíra.

Em Felipe Guerra, na área deste estudo, os depósitos aluviais com ocorrências de tufas estão presentes principalmente na planície de inundação do rio Apodi-Mossoró e nas coberturas pedológicas recentes.

## 6 TUFAS CALCÁRIAS: EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS E ESTUDOS BRASILEIROS

### 6.1 Histórico do estudo de tufas

A denominação "tufa" é uma derivação do termo *tophus*, de origem latina empregado para descrever qualquer tipo de depósito de "cor branca e friável" de origem carbonática ou vulcânica (FORD & PEDLEY, 1996). Atualmente, é usado apenas para depósitos carbonáticos originados pela precipitação de carbonato de cálcio em águas continentais (FORD & PEDLEY, 1996).

Muitas são as ocorrências de tufas no mundo, mas os primeiros estudos parecem remontar a 1862, como citado na pesquisa de Davis (1900). Nesse trabalho pioneiro, o autor já fala da interação entre algas e plantas nos processos de deposição das tufas. No entanto, somente a partir da década de 60 maior importância à gênese algácea das tufas foi dada nos trabalhos de Scholl *et al.* (1964), o que elevou consideravelmente sua importância e o número de trabalhos (OLIVEIRA, 2009). Irion *et al.* (1968), na Alemanha, foram os primeiros a realizar análises químicas e petrográficas nas tufas. Em 1978 na Itália, Buccino *et al.* (1978) classificam os depósitos de tufas considerando vários fatores: geográficos, geomorfológicos, sedimentológicos, petrográficos, geoquímicos e isotópicos. A primeira proposta de classificação para as tufas é lançada em 1983 por Ordoñez & Garcia Del Cura. Três anos depois, Brancaccio *et al.* (1986) propõem considerando a litificação ou não litificação dos depósitos, separando-os em "Travertino Detrítico" (detríticos e inconsolidados) e "Travertino Autóctone" (autóctones e consolidados); esta classificação evidencia que o termo tufa ainda era usado como sinônimo de travertino (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Reyes (2003), a formação de tufas está associada a fenômenos cársticos controlados por fatores morfo-topográficos (ORDOÑEZ *et al.* 1986; HEIMAN & SASS, 1989), hidrogeológicos (ORDOÑEZ & GARCIA DEL CURA, 1983), hidroquímicos (HERMAN & LORAH, 1987; LORAH & HERMAN, 1988), biológicos

(WEIJERMARS *et al.* 1986) e climáticos (HENING *et al.* 1983; PAZDUR *et al.* 1988, MAGNIN *et al.* 1991).

Quimicamente, os depósitos de tufas são resultado da interação das águas ricas em CO<sub>2</sub> com as rochas carbonatadas. Os processos de formação desses depósitos são condicionados por dois fatores: a dissolução, a precipitação e/ou a evaporação. O contato entre a água ácida e as rochas carbonatadas proporciona o processo de dissolução gerando bicarbonato de cálcio que fica suspenso em solução. Essa supersaturação favorece o processo de precipitação da calcita. Em regiões cársticas a calcita é o principal mineral de precipitação química (HILL & FORTI, 1997). A equação que representa esse processo de reprecipitação da calcita é mostrada a seguir:



(equação de precipitação do carbonato de cálcio)

A precipitação de depósitos de tufa depende, além da disponibilidade química dos íons envolvidos (Ca<sup>+2</sup> e HCO<sup>3-</sup>), da quantidade de água no sistema hídrico e da quantidade de dióxido de carbono. Em função disso, as condições em geral mais favoráveis à formação de tufas seriam em períodos muito úmidos e quentes (FORD & PEDLEY, 1996), embora reconheçam-se tufas formadas em diferentes condições climáticas como tropical úmido (CARTHEW *et al.* 2006; OLIVEIRA *et al.* 2008b) e mesmo semi-árido (ORDOÑEZ *et al.* 2005; MOEYERSONS *et al.* 2006).

## 6.2 Estudos de tufas no Brasil

No Brasil o primeiro autor a mencionar tufas calcárias foi Almeida (1945, 1965), que as assinalou como quaternárias no seu trabalho sobre a Geologia do Sudoeste Matogrossense, na região da Serra da Bodoquena. Desde então, raros trabalhos mencionam tufas antes da década de 1990 (BEURLIN, 1967).

A partir desta década, trabalhos sobre tufas começaram a ressurgir, embora o maior foco na Serra da Bodoquena tenha se mantido. Neste âmbito, Boggiani e Coimbra (1995) detalharam a ocorrência das tufas e propuseram uma relação estratigráfica com depósitos carbonáticos da região do Pantanal. Na mesma região, Ribeiro *et al.* (2001) realizaram datações por U/Th nesses depósitos, onde encontraram dificuldades relacionadas a contaminação terrígena dos calcários. Sallun Filho *et al.* (2004) e Sallun Filho (2005) estudaram as tufas da região com enfoque geomorfológico. Utida *et al.* (2007) estudou o conteúdo faunístico associado aos depósitos de tufas. Posteriormente, Oliveira *et al.* (2008b) e Oliveira (2009), realizaram análises petrográficas, microscópicas e químicas nas mesmas tufas, e ainda propuseram novos modelos de classificação e gênese. Mais tarde, Sallun Filho (2009) propôs classificar as tufas da região como Formação Serra da Bodoquena.

Embora seja amplamente empregado na literatura estrangeira, o termo tufa ainda é utilizado de forma equivocada no Brasil (Oliveira, 2009).

Corrêa *et al.* (2006) descreveram as tufas da Serra das Araras como sendo depósitos do tipo vertente (segundo a classificação de Pedley e Ford, 1996). Outras descrições importantes de tufas no Brasil são as de: Cristalli (2006) e Cristalli *et al.* (2007) em Campo Formoso envolvendo a fauna e a flora associadas aos depósitos, de Duarte e Nogueira, (1983); Auler, (1999); Petri *et al.* (2003); Auler *et al.* (2004); Wang *et al.* (2004), todos na Bahia, na porção mais central tendendo a oeste, com abordagens desde faunísticas a geomorfológicas; Sant'Anna *et al.* (2004) no Rio de Janeiro, região de Itaboraí; Na Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, Duarte *et al.* (1980a); Duarte *et al.* (1980b), realizaram estudos paleobotânicos nos "Calcários Travertinos" que ocorrem bordejando a Chapada do Apodi entre o Ceará e o Rio Grande do Norte.

### 6.3 Classificação das tufas

Na literatura mundial, muitas foram às classificações propostas para os depósitos de tufas. Diversos autores classificaram os depósitos no qual estudaram baseados em

interesses diferenciados. Alguns chegaram, em parte, a concordar com as classificações quanto à descrição e interpretação dos depósitos.

Em 1990, Pedley (1990) lança uma nova classificação que considera além da litificação, as inclusões biogênicas e o ambiente de formação segundo Dunham (1962). Pedley *et al.* (1983) acrescenta a sua classificação anterior uma divisão das tufas quanto ao ambiente: quente / semi-árido e fresco / temperado.

Os depósitos de tufas passaram a ser descritos considerando dados isotópicos e geoquímicos, a partir dos trabalhos de Buccino *et al.* (1978). No trabalho de Ford e Pedley (1996) é apresentada também uma revisão bibliográfica sobre os vários trabalhos ao redor do mundo que contemplam dados isotópicos e geoquímicos até então publicados.

Neste trabalho, é empregada uma classificação combinada dos trabalhos de Pedley (1990) e Ford e Pedley (1996), no qual o termo “tufa” descreve vários depósitos calcários que não tenham origem hidrotermal e que contenham bactérias, plantas ou animais, sem levar em consideração seu grau de cristalização ou idade.

Dentre as várias classificações podemos citar como exemplo as de Irion e Müller, (1968); Buccino *et al.* (1978) que fizeram uma classificação de caráter botânico. No trabalho de Oliveira (2009), ele fez uma compilação das várias tentativas de classificação dos depósitos de tufas anterior à classificação proposta (Ford e Pedley, 1996).

O autor cita que as primeiras tentativas de classificação dos depósitos de tufas calcárias alçam a estudos apenas descritivos realizados por Davis (1900). Mas a partir de 1968 Irion & Müller começaram a utilizar um arranjo de classificação ligada diretamente à complexidade das tufas, no caso dos autores com interpelação botânica. Dessa forma, Irion & Müller (1968) apresentaram uma classificação para os depósitos da Alemanha de acordo com a espécie vegetal predominante na sua gênese (Tabela 2).



Tabela 2 - Classificação das tufas de Schwäbische Alb, Alemanha, (Irion &amp; Müller, 1968).

Tufas Algais	Tufas de Musgo	Sinter Calcário
<i>Cyanophyceae</i>	Representa a maioria das ocorrências de tufas recentes, representadas pelas espécies <i>Eucladium verticillatum</i> e <i>Bryum vertricusum</i>	Representa as incrustações de calcita, sem a influência biológica
<i>Xanthophyceae</i>		
<i>Chlorophyceae</i>		
<i>Rhodophyceae</i>		

Fonte: Oliveira (2009).

Os estudos de Buccino *et al.* (1978) no vale do rio Tanagro, Campania, Itália, possibilitaram a identificação das diversas influências do ambiente na formação das tufas, discriminando o processo de sedimentação *in situ* do processo de sedimentação livre, por incrustação de partículas vegetais e precipitação direta (Tabela 3). Após esta classificação, passou-se a dar ênfase à caracterização e distinção aos componentes autóctones e alóctones presentes nas tufas. Os autores neste trabalho empregaram a concepção antiga para o termo “travertino”.

Tabela 3 - Classificação dos travertinos do Vale do rio Tanagro, Campânia, Itália, segundo Buccino *et al.* (1978).

Travertino Estromatolítico e Travertino Fitohermal	Travertino Fitoclástico e Areia calcária
Derivados da incrustação <i>in situ</i> sob suporte vegetal.	Derivados de areia calcária e fragmentos vegetais incrustados.

Fonte: Oliveira (2009).

Ordoñez e Garcia Del Cura (1983) na Espanha propuseram a classificação abordando a gênese das tufas, com base na importância da influência da energia do meio no processo de formação, classificando os depósitos em função dos mecanismos de liberação de CO<sub>2</sub> (Tabela 4).

Tabela 4 - Modelo dos carbonatos fluviais da Espanha, segundo Ordoñez e Garcia Del Cura (1983).

Suporte de colonização	<p style="text-align: center;">Mecanismos de Desgasificação</p> <p style="text-align: center;">Biológico ←————— Agitação</p> <p style="text-align: center;">Energia</p> <p style="text-align: center;">Baixa ←————— Alta</p>	
Plantas vivas Fundo de canal Objetos erráticos	<p style="text-align: center;">Fácies de tubos verticais e cruzados Tufa musgo e planar Estromatólitos mamelonares</p> <p style="text-align: center;">Oncólitos Ooids</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Alta densidade ←————— Baixa densidade</p> <p style="text-align: center;">colonização</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Carbonatos biogênicos</p>	Carbonatos fluviais detriticos
		Carbonatos Bioclásticos

Fonte: Oliveira (2009).

Outra proposta de classificação apresentada foi a de Brancaccio *et al.* (1986) com base na classificação dos carbonatos de Dunham (1962). Nesta classificação Brancaccio preservou o princípio básico da proposta de Dunham em relação aos componentes autóctones e alóctones com maior aplicação na caracterização textural (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação dos travertinos da Itália Centro-Meridional, segundo Brancaccio *et al.* (1986).

TRAVERTINO DETRÍTICO (TRANSPORTE LIMITADO OU INEXISTENTE)				TRAVERTINO AUTÓCTONE (INCROSTRAÇÃO <i>IN SITU</i> )				
Menos de 10% de grãos fitoclásticos > 2 mm		Mais de 10% de grãos fitoclásticos > 2 mm						
Com matriz de areia calcária ≤ 2 mm		Sem matriz de areia calcária		Matriz- sustentado > 10% < 50%	Clásto sustentado	Cianofitas. Forma laminas	Microfita. Forma estrutura micro- tubular orientada	Microfita e macrofita. Forma estrutura rígida.
Matriz sustentado	Clásto sustentado	Matriz calcária ≥ 50% < 50% > 10% ≤ 10%						
Fitoclásticos < 10% > 10%								
Areia Calcária	Areia Fitoclástica	Calcarenito Fitoclástico	Travertino (Grainstone) Fitoclástico	Calcirudito Fito- clástico	Travertino (Rudito) Fitoclástico	Travertino Estromato- lítico	Travertino Micro- hermal	Travertino Fitohermal
Areia Travertínosa					Travertinos Boundstone			

Fonte: Oliveira (2009).

Pedley (1990) apresentou uma classificação para tufas calcárias, levando em conta o conteúdo vegetal, petrográfico (Tabela 6) e o ambiente de deposição (Tabela 7). Com essa classificação o trabalho de Pedley (1990) tornou-se referência pela facilidade no enquadramento da classificação.

Tabela 6 - Classificação de tufas, segundo Pedley (1990)

Depósitos Autóctones		Depósitos Clásticos	
Tufa Fitohermal	Framestone	Tufa Fitoclástica	
		Tufa Cyanólita "oncoidal"	
		Tufa Intraclástica	
	Boundstone	Tufa Microdetritica	Tufa Micrítica
			Tufa Peloidal
		Paleossolos tufáceos	

Fonte: Oliveira (2009).

Tabela 7 – Proposta de Pedley (1990) para os ambientes formadores de tufas.

Ambiente	Sub-Ambiente
Vertente	Depósitos Proximais
	Depósitos Distais
Cachoeira	
Fluvial	Entrelaçado
	Barragem
Lacustre	
Paludal	

Fonte: Oliveira (2009).

Ford e Pedley (1996) propuseram uma classificação para as tufas calcárias considerando o enquadramento biogênico, os ambientes de formação integrados as definições topográficas e sedimentológicas (Tabela 8). Considerando os resultados obtidos com as diversas pesquisas dos autores juntamente com as condições propostas inicialmente por Pedley (1990), obteve-se uma proposta de classificação global aplicável para qualquer depósito de tufa, justificando-se assim aceitação da proposta em todo o mundo.

Tabela 8 – Proposta de classificação de tufas, segundo Ford e Pedley (1996).

Alóctone		Autóctone
Tufa Microdetritica	Tufa Macrodetritica	Tufa Fitohermal
Matriz sustentado		Camadas de micrita e peloides (tipo estromatolítico)  Microermal, forma de colônias de bactérias  Forma de coral, com macrofitas recobertas e cimento micrítico
	Clásto sustentado	
Tufa Micrítica	Tufa Oncoidal e Cyanólita	
Tufa Peloidal	Tufa Intraclástica	
Tufa Sapropelítica (rica em restos orgânicos)	Tufa Fitoclástica	
Tufa Litoclástica (rica em restos inorgânicos)	Tufa Litoclástica	
<b>Lime Mudstone</b>	<b>Wacke/Packstone</b> <b>Grainstone</b>	<b>Boundstone</b>

Fonte: Oliveira (2009).

As várias propostas de classificações das tufas calcárias evidenciam uma grande evolução se comparadas aos primeiros trabalhos relacionados ao tema. Essa evolução levou a uma completa proposta de classificação que envolveu todos os fatores que determinam a ocorrência desses depósitos no mundo. A proposta de classificação completa e atualmente mais usada e aceita é a de Ford & Pedley (1996) e a partir deste trabalho a descrição dos depósitos de tufas deixam de ser meramente descritivos e passam a interpretativos.

## 6.2 Depósitos de tufas de Felipe Guerra

De maneira geral os depósitos de tufas que ocorrem no município de Felipe Guerra podem ser divididos em dois grupos: de tufas em formação (ou recém-formadas) e de tufas antigas (Tabela 9). Essas tufas ocorrem principalmente na porção

Oeste do município na vertente do vale do Rio Apodi – Mossoró. O depósito de maior extensão que ocorre dentro do município, encontra-se depositado sobre os arenitos da Formação Açú (Figura 09).

Tabela 9 – Tipos de tufas de Felipe Guerra, RN.

Grupo	Ambiente	Forma	Características
Tufas Recém Formadas ou Tufas em Formação	Fluvial	Cachoeira Margem Fluvial	Ocorre na maioria das drenagens da área Sucessão de camadas estratificadas Presença de materiais detríticos e orgânicos
	Vertente	-	Distribuição Restrita Formadas em períodos de pluviosidade extrema
Tufas Antigas	Vertente	-	Maior distribuição na área pesquisada com espessura entre 15 e 20m Componentes detríticos e fósseis Elevado processo de intemperismo e erosão Estruturas maciças - com ausência de estratificação

Fonte: Modificado de Oliveira, 2009, p. 36.

Os depósitos de tufas estão associados a drenagens apresentando processo de deposição ativo e lento (Figura 10). Por se tratar de uma região com clima atual semiárido a árido, as taxas de deposição das tufas são relativamente inferiores às taxas de erosão se comparados aos dados obtidos nas serras da Bodoquena (OLIVEIRA, 2009; SALLUN FILHO *et al.*, 2009; UTIDA, 2009), das Araras (CORRÊA & AULER, 2006; CORRÊA *et al.*, 2011) e André Lopes (SALLUN FILHO *et al.*, 2011; SALLUN FILHO *et al.*, 2012), localizadas em áreas onde o clima da região é sub-tropical úmido. As tufas da formadas recentemente ou ainda em processo de formação classificam-se como do tipo cachoeira e as tufas que representam os depósitos mais antigos são classificados do tipo vertente. Esses dois tipos depósitos representam a morfologia predominante na área estudada.



Figura 10 (A e B) – Cachoeira Caripina – Felipe Guerra, RN.



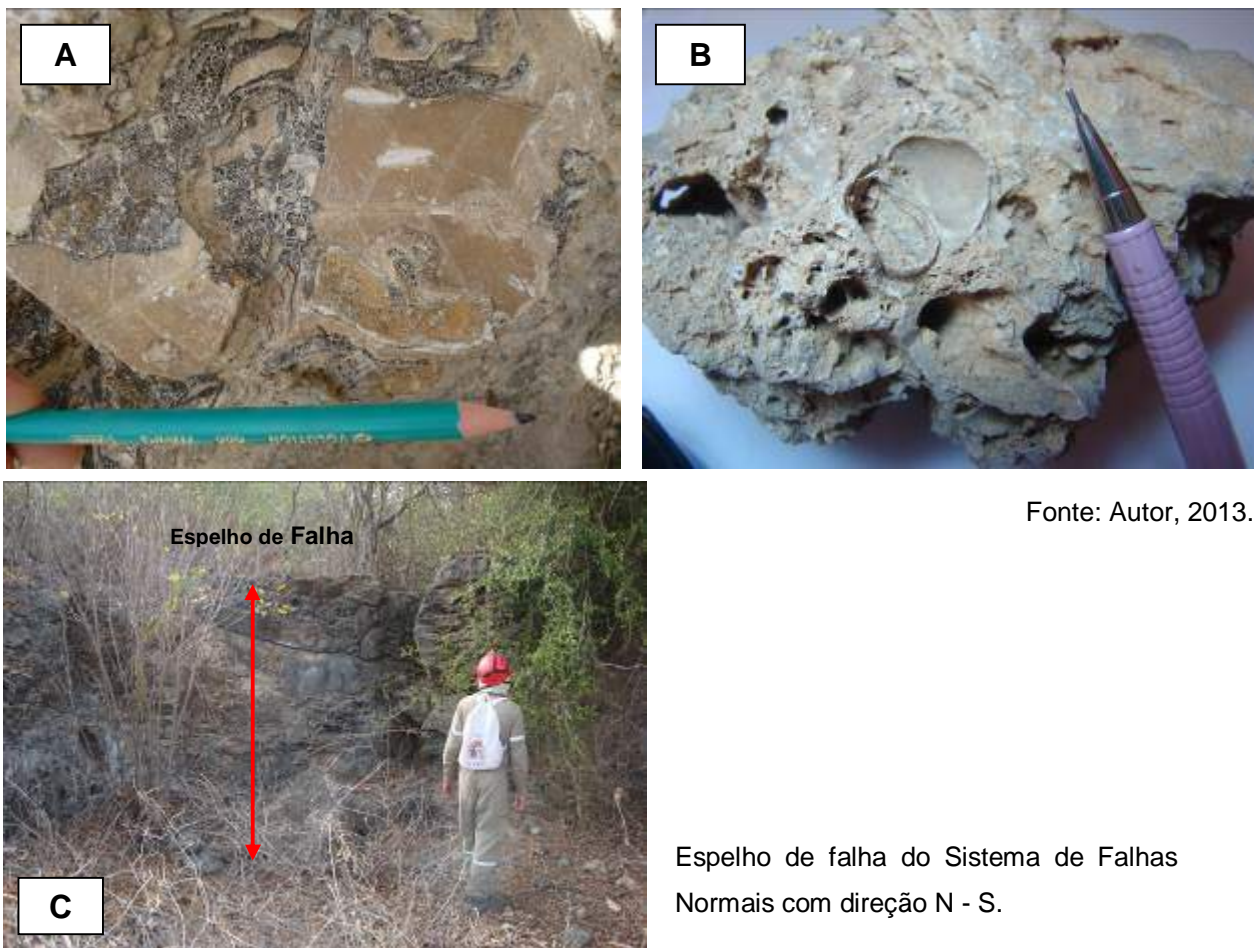
Fonte: Autor, 2013.

A - Deposição de tufa recente associada à drenagem em ambiente de cachoeira; B - Material detrítico de carbonato e conchas.



Quanto aos depósitos antigos de tufas, foram encontrados associados a pequenas drenagens e sua maior ocorrência está localizada onde se desenvolveu o município de Felipe Guerra às margens do rio Apodi-Mossoró. Trata-se de um depósito com idades superiores a 40.000 anos, identificadas por datação radiogênica ( $^{14}\text{C}$ ), com muitos moldes de material fóssil (folhas, troncos, galhos e conchas) todos já tendo sofrido o total processo de substituição por carbonato de cálcio (Figura 11). Esses depósitos especificamente encontram-se depositados sobre os arenitos da Formação Açú. Limitam-se pelo encontro de falhas geológicas que segundo Reyes (2003), fazem parte de um sistema de falhas normais que atingiram os depósitos de tufas, onde esses sistemas de falhas apresentam-se paralelos a escarpa do vale do rio Apodi-Mossoró e foram controladas por falhas de idades pós-campanianas que também afetaram a Bacia Potiguar (Figura 11 C). Situadas nesse sistema de falhas normais desenvolveram-se as cavernas registradas nos depósitos de tufas.

Figura 11 (A, B e C) – Molde fóssil de folha, concha de gastrópode e espelho de falha.



Fonte: Autor, 2013.

Espelho de falha do Sistema de Falhas Normais com direção N - S.

### 6.3 Registros fósseis nos depósitos de tufas de Felipe Guerra

A principal característica dos depósitos de tufas é a presença de material de origem orgânica em sua composição, fator que as diferencia também dos depósitos de travertinos. Esse mesmo tipo de material orgânico é comum em todos os estudos de casos no Brasil o que nos leva a afirmar de forma preliminar que esses depósitos, principalmente os mais antigos são de certa forma semelhantes em relação às condições físicas, químicas e biológicas. Nas tufas de idades mais recentes, também foram encontrados ainda preservados fósseis de gastrópodes, folhas e casulo de vespas (Figura 12) semelhantes ao que encontramos na região atualmente.

Figura 12 (A, B e C) – Subfósseis de Concha, Folha e Casulo de Vespa respectivamente.



Fonte: Autor, 2013.

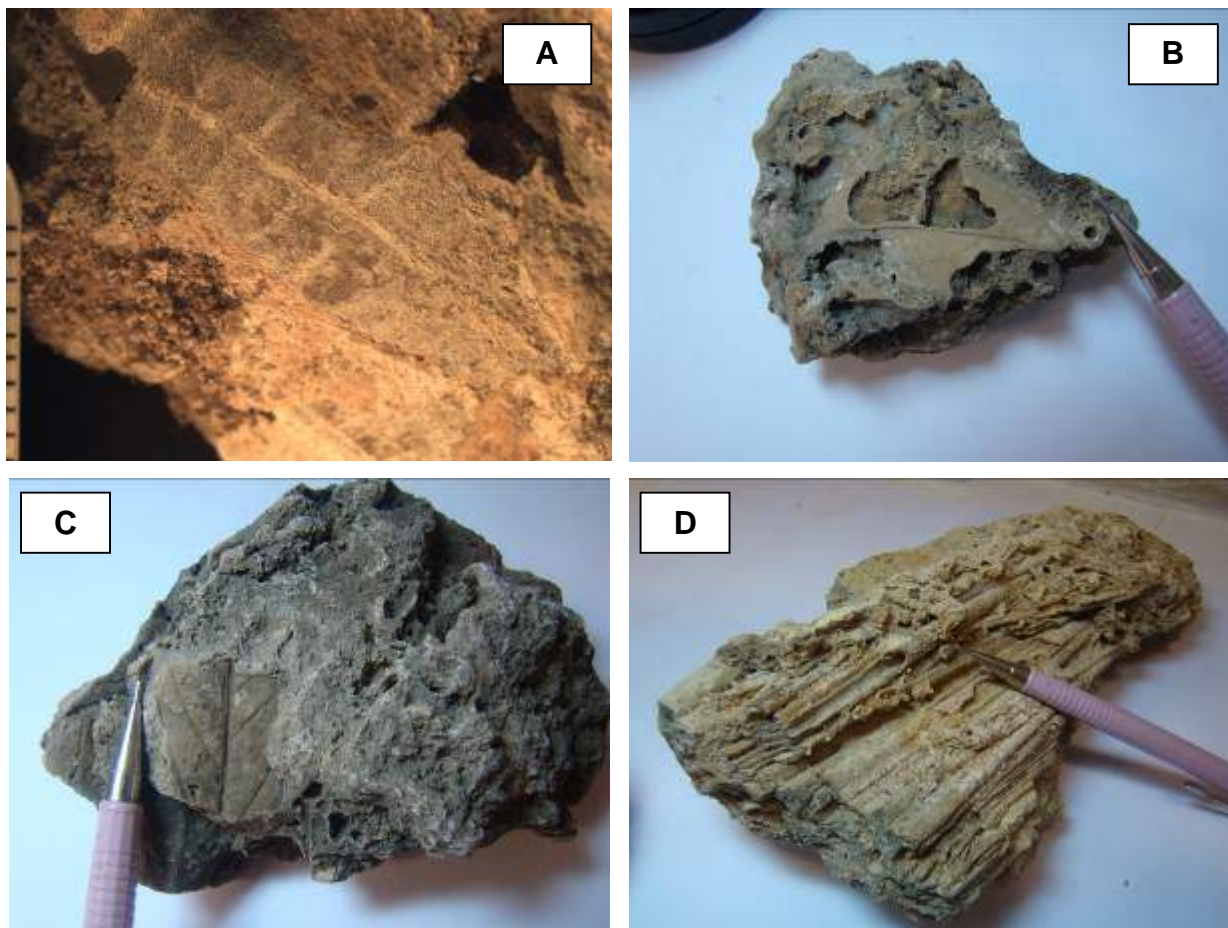


A e B: Escala em milímetros, foto tirada em lupa de bancada; C: Foto de amostra de mão.

Como o foco principal do trabalho trata da classificação das tufas em relação ao material de origem, o tipo de ambiente deposicional e o processo de carstificação, a identificação dos materiais orgânicos ficaram em segundo plano. Na tentativa de identificar os tipos vegetais quaternários da região nordeste, alguns trabalhos foram realizados com esse objetivo. Major & Porto (2003) registram novos achados de folhas de idade pleistocênica na Bacia Potiguar. As amostras estudadas pelo autor apresentam semelhanças com as folhas da família *Styracaceae*, presente em calcários terrosos de coloração parda provavelmente do Pleistoceno, que foram estudadas por Oliveira (1981). Duarte, Duarte & Nogueira (1989) e Duarte & Japiassú (1971) estudaram respectivamente: os vegetais do Quaternário do Brasil, a flórua de Olho D'água da Boa Vista e a de Olho D'água do Abreu. Neste trabalho, as autoras avaliaram 46 amostras, das quais 40 foram de Olho D'água da Boa vista e 06 de Olho D'água do Abreu. Estão catalogadas sob os números 122 – 67 Pb. DBAV-UERJ, distribuídos em oito famílias, dez gêneros e onze espécies de Angiospermae – Dicotyledoneae. No mesmo trabalho apenas um táxon foi considerado novo – *Canavalia oliveirai*; No mesmo ano, foram estudados também os vegetais da flórua do Morro do Chapéu na Bahia, no qual é tratada a continuidade dos estudos em restos de vegetais encontrados em calcários também do tipo travertinos cujos depósitos são conhecidos em várias partes do Brasil e notadamente na região Nordeste. Na pesquisa sobre os vegetais meso e cenozóicos do Brasil, houve-se a necessidade de se atualizar o banco de dados catalográficos do país. Baseando-se nessa revisão, os autores anexaram um mapa com a localização e a distribuição da ocorrência desses vegetais fósseis já estudados no Brasil.

Considerando os registros de moldes vegetais encontrados nas tufas mais antigas concluímos que se trata de folhas e troncos de samambaias e angiospermas, grupo de plantas mais numeroso e mais comum na atualidade. Esse grupo de plantas teve sua diversificação e domínio na Era Cenozóica (65 Ma até o presente) (Figura 13). De qualquer forma, podemos citar que os gastrópodes encontrados nas tufas estudadas nesta pesquisa, são de origem continental divididas em dois grupos: continentais terrestres e continentais aquáticos (Figura 14).

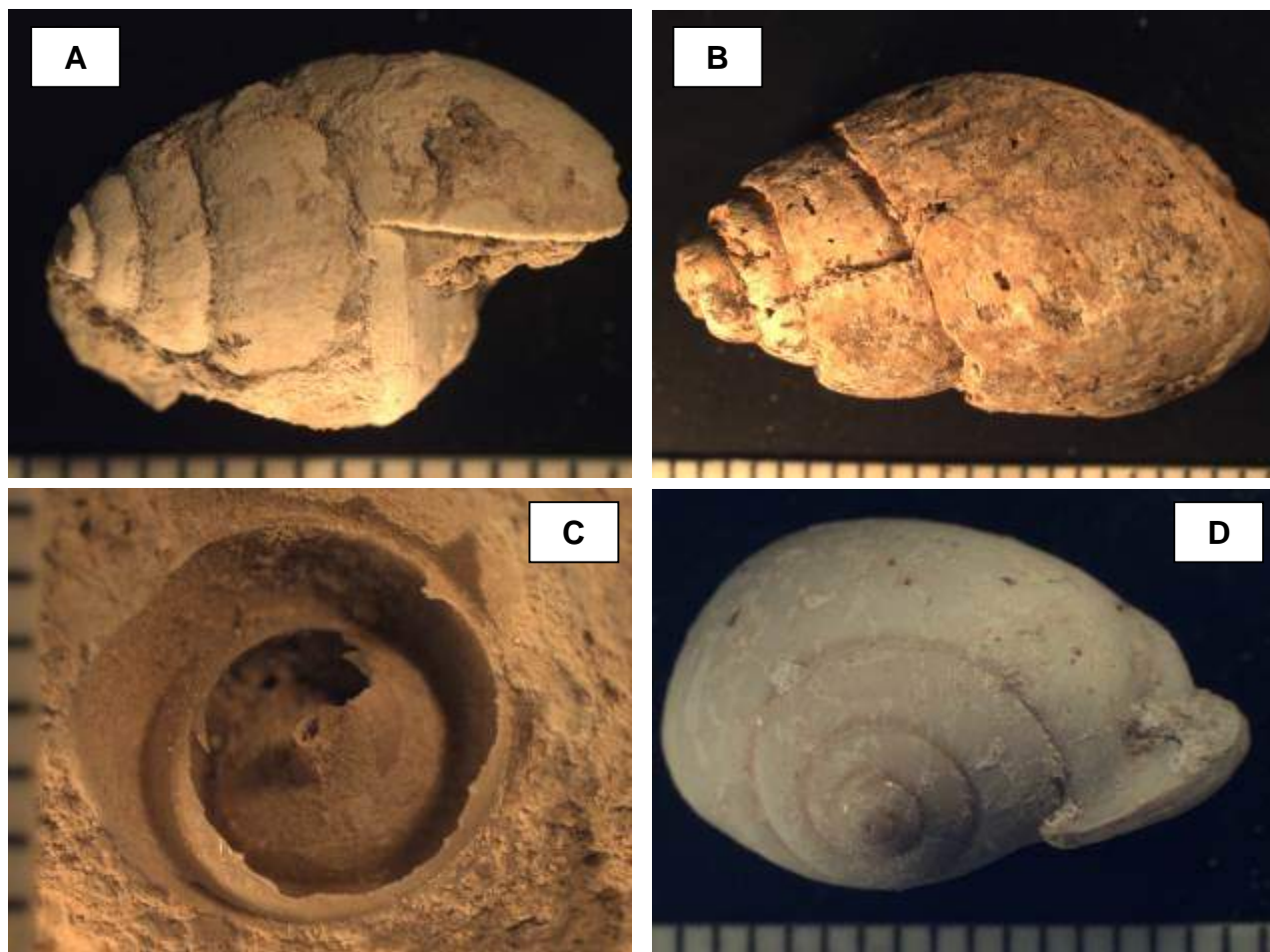
Figura 13 – Exemplos de moldes de vegetais encontrados nas tufas pesquisadas.



Fonte: Autor, 2013.

As escala da foto A está em milímetros, foto tirada em lupa de bancada; B, C e D: amostras de mão; A foto D trata-se de um tronco subfóssil de samambaia.

Figura 14 – Exemplos de gastrópodes encontrados nas tufas pesquisadas.



Fonte: Autor, 2013.

As escalas das fotos estão em milímetros; Fotos tiradas em lupa de bancada.

Comparando-se algumas características dos moldes vegetais fósseis encontrados nas tufas calcárias de Felipe Guerra, com os vegetais descritos por Duarte (1981 e 1989) nos municípios de Russa, CE e nas cidades de João Câmara e Apodi, RN, podemos afirmar que o carbonato que originou os depósitos de tufas bem como os vegetais e os moluscos que deram origem aos fósseis identificados nas tufas estudadas, possuem mesma proveniência.

#### 6.4 Petrografia, caracterização e classificação das tufas

Para caracterizar petrograficamente os depósitos de tufas calcárias estudados, o sistema de classificação utilizado foi o sistema proposto por Ford e Pedley (1996) onde os autores consideram o enquadramento biogênico e os ambientes de formação integrados as definições topográficas e sedimentológicas.

A seguir é mostrada a análise macroscópica e petrográfica de cada lâmina delgada e sua respectiva classificação.

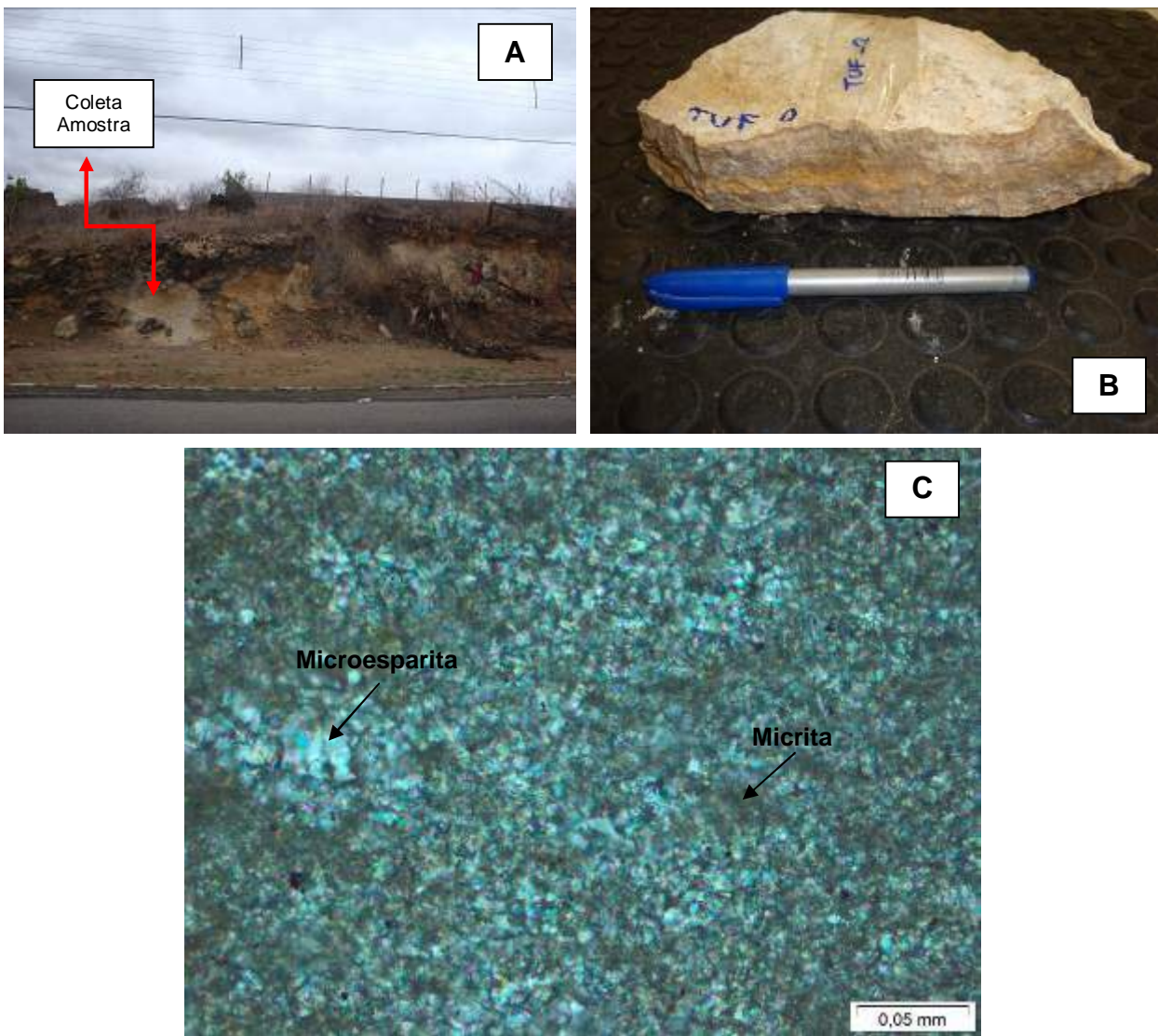
- **Ponto TUF 01 (645179/ 9380733)** - Amostra coletada ao longo de um perfil na zona urbana do município de Felipe Guerra ao nível de contato entre a tufa calcária e o arenito da Formação Açú. Apresenta-se em elevado processo de intemperismo, com porções da deposição primária preservada.

**Descrição macroscópica:** amostra compacta e maciça com níveis deposicionais de coloração diferenciada; Porosidade secundária presente e apresenta estruturas em fibras, podendo ser cristais de calcita reprecipitado, altamente reagente ao HCl (10%) a frio; entre os níveis percebe-se também diferenças na granulometria.

**Descrição microscópica:** apresenta textura micrítica com níveis impuros contendo clastos de Qz envoltos em uma matriz lamosa. Também apresenta microestruturas deposicionais e uma matriz neomórfica.

Na classificação proposta por Ford e Pedley (1996) essa porção do afloramento onde foi coletada a amostra é do tipo “**Tufa Micrítica**” (Figura 15).

Figura 15 – TUF 01: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A: local de coleta da amostra de tufa; B: foto da amostra coletada; C: fotomicrografia da lâmina delgada ao microscópio ótico a luz polarizada.

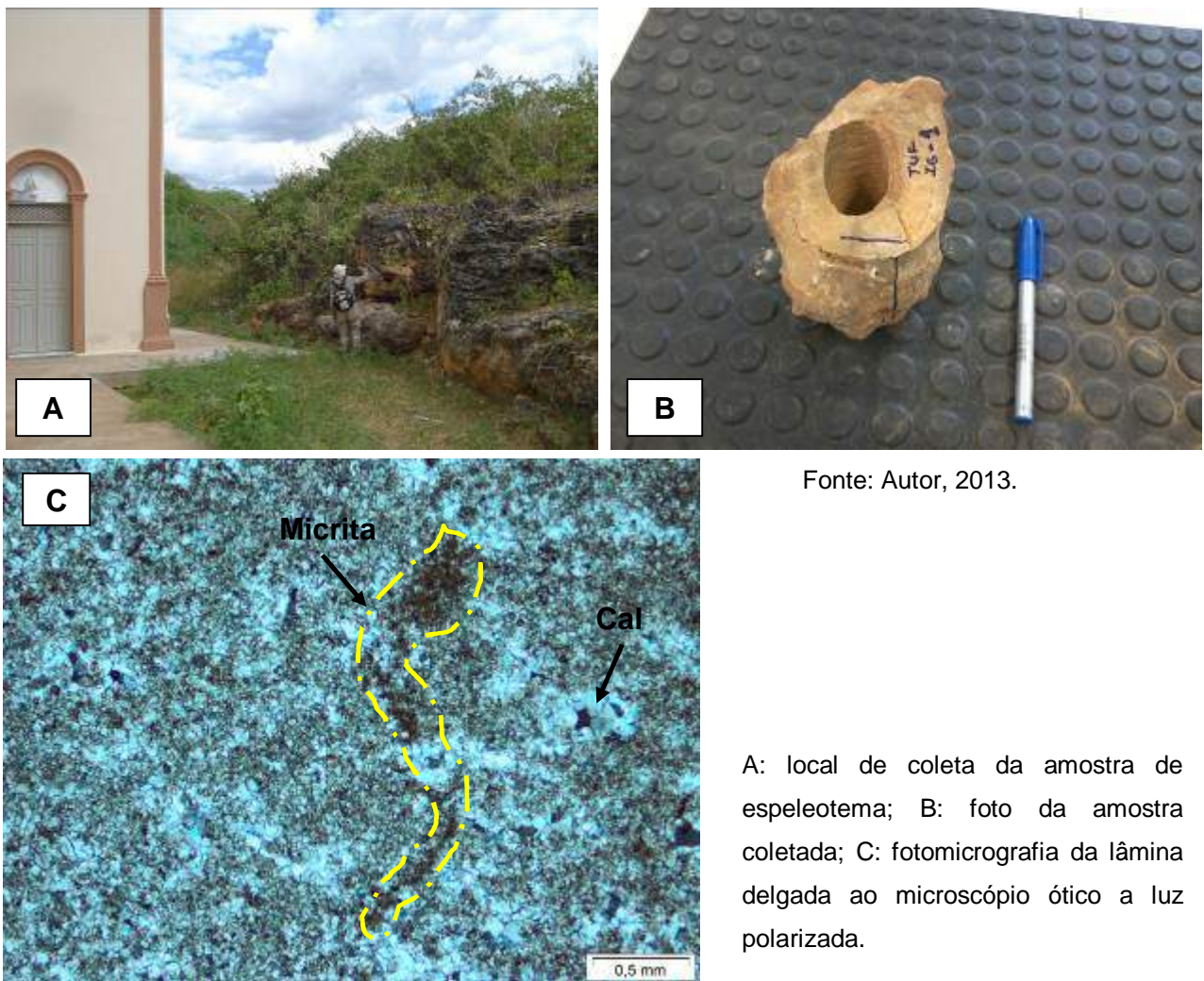
- **Ponto TUF 02 (645225/9380644)** – Coleta realizada em afloramento ao lado da igreja matriz (zona urbana).

**Descrição macroscópica:** Amostra bastante compacta de forma circular mostrando aureolas circulares de crescimento; reagente ao ácido HCl (10%) a frio.

**Descrição microscópica:** Material compacto com textura variando de micritica a esparítica predominando as porções microesparíticas; os cristais de calcita mostram-se alongados imprimindo na amostra um aspecto radial.

- Essa rocha trata-se de uma amostra de **Espeleotema** encontrado em depósito de tufa (Figura 16).

Figura 16 – TUF 02: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A: local de coleta da amostra de espeleotema; B: foto da amostra coletada; C: fotomicrografia da lâmina delgada ao microscópio ótico a luz polarizada.



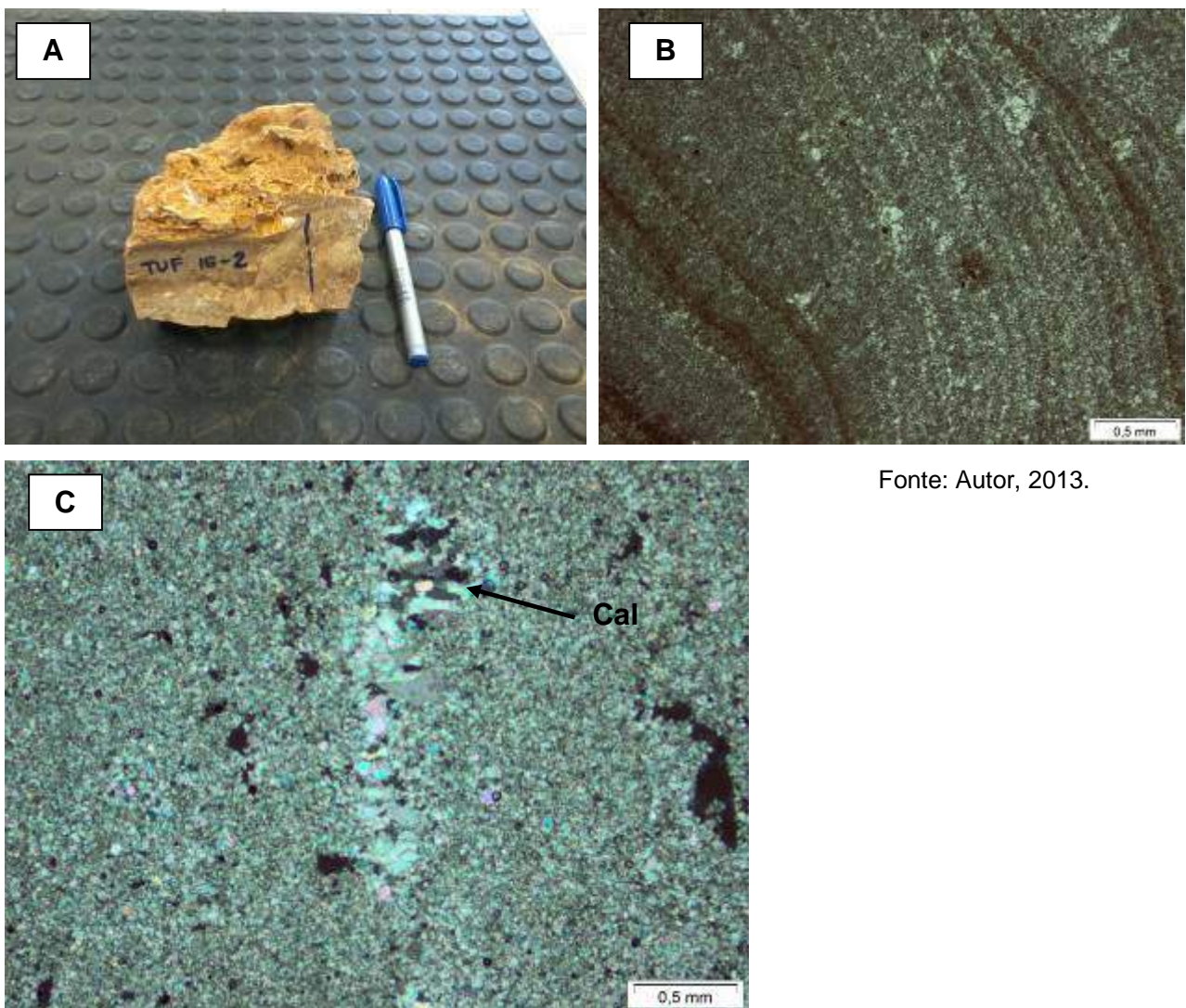
- **Ponto TUF 03 (645164/9380686)** – Amostra coletada ao lado da igreja matriz (zona urbana).

**Descrição macroscópica:** Compacta, densa com níveis de deposição de granulometria diferenciada entre arenosa e argilosa. Crescimento mineral radial.

**Descrição microscópica:** Material bastante compacto semelhante ao anterior com textura variando de micritica a esparítica predominando porções microesparíticas.

A amostra trata-se também de um fragmento de espeleotema (Figura 17).

Figura 17 – TUF 03: Amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A: foto da amostra; B: foto a luz natural mostrando as estruturas deposicionais; C: fotomicrografia a luz polarizada individualizando minerais alongados de calcita(Cal) por crescimento sintaxial.

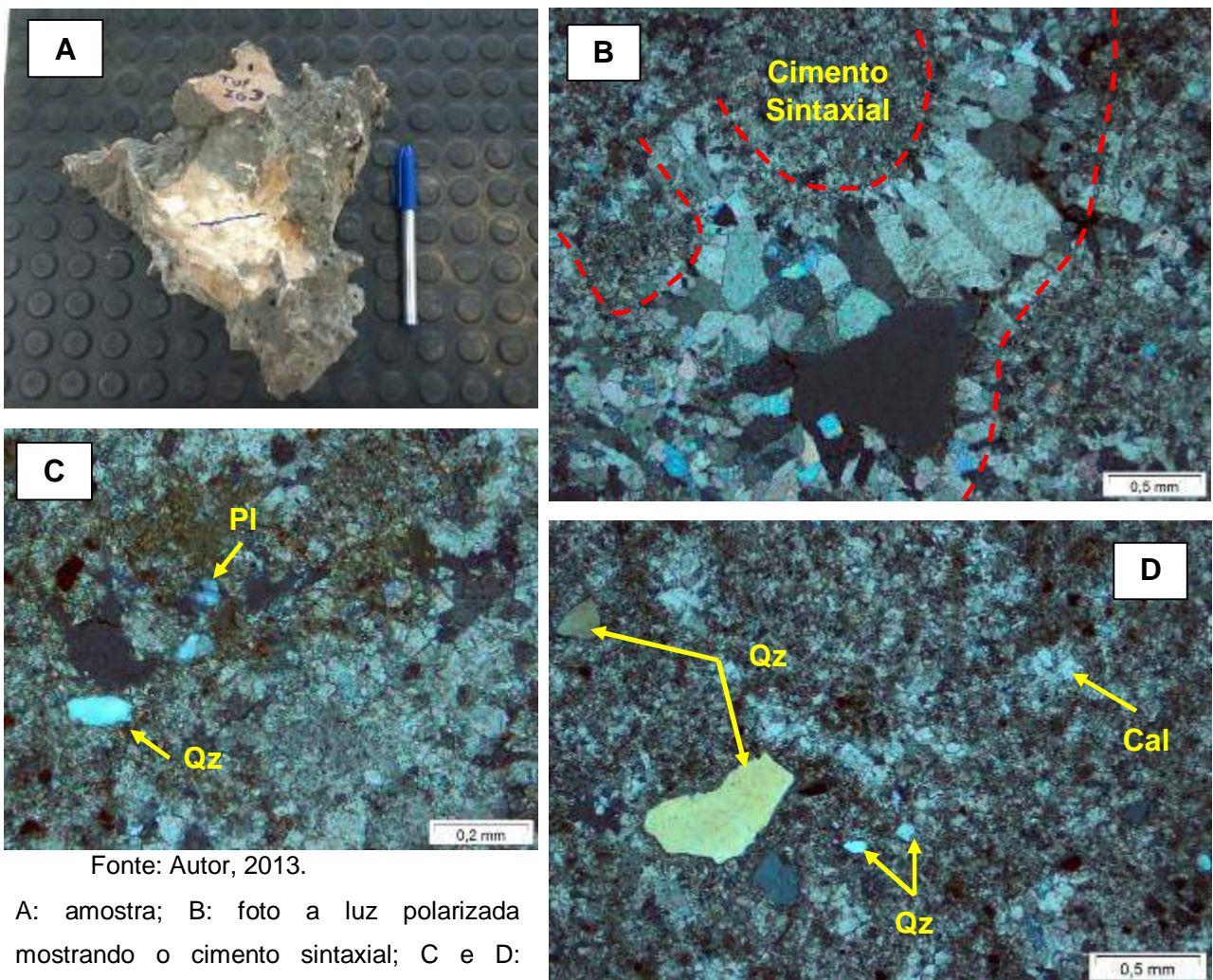
- **Ponto TUF 04 (645192/9380697)** – Coletada no afloramento ao lado da igreja matriz (zona urbana).

**Descrição macroscópica:** Material compacto e denso com ausência de estruturas deposicionais e bastante porosa.

**Descrição microscópica:** Matriz variando entre micrítica, microesparítica e esparítica. Apresenta clastos de quartzo (Qz) e plagioclásio (Pl) em torno de 3%. Algumas porções apresentam **Cimento Sintaxial** – crescimento de grãos das bordas para o centro em locais onde há contato entre níveis diferentes de deposição.

Segundo a classificação de Ford e Pedley (1996) trata-se de um depósito de **Tufa Intraclástica** (Figura 18).

Figura 18 – TUF 04: Amostra de mão e petrografia.



- **Ponto TUF 05 (645187/9380688)** – Amostra coletada no afloramento ao lado da igreja (zona urbana).

**Descrição macroscópica:** Material compacto e denso com leve presença de estruturas deposicionais. Com registros de moldes fósseis de vegetais.

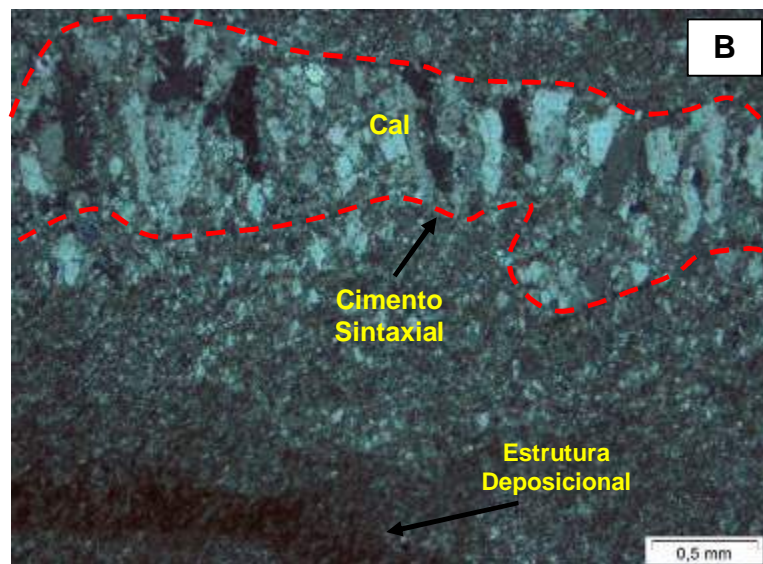
**Descrição microscópica:** Matriz variando de micrítica a esparítica, com textura deposicional e cimento sintaxial preenchendo poros.

Material classificado segundo Ford e Pedley (1996) como **Tufa Micrítica** (Figura 19).

Figura 19 – TUF 05: Amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013



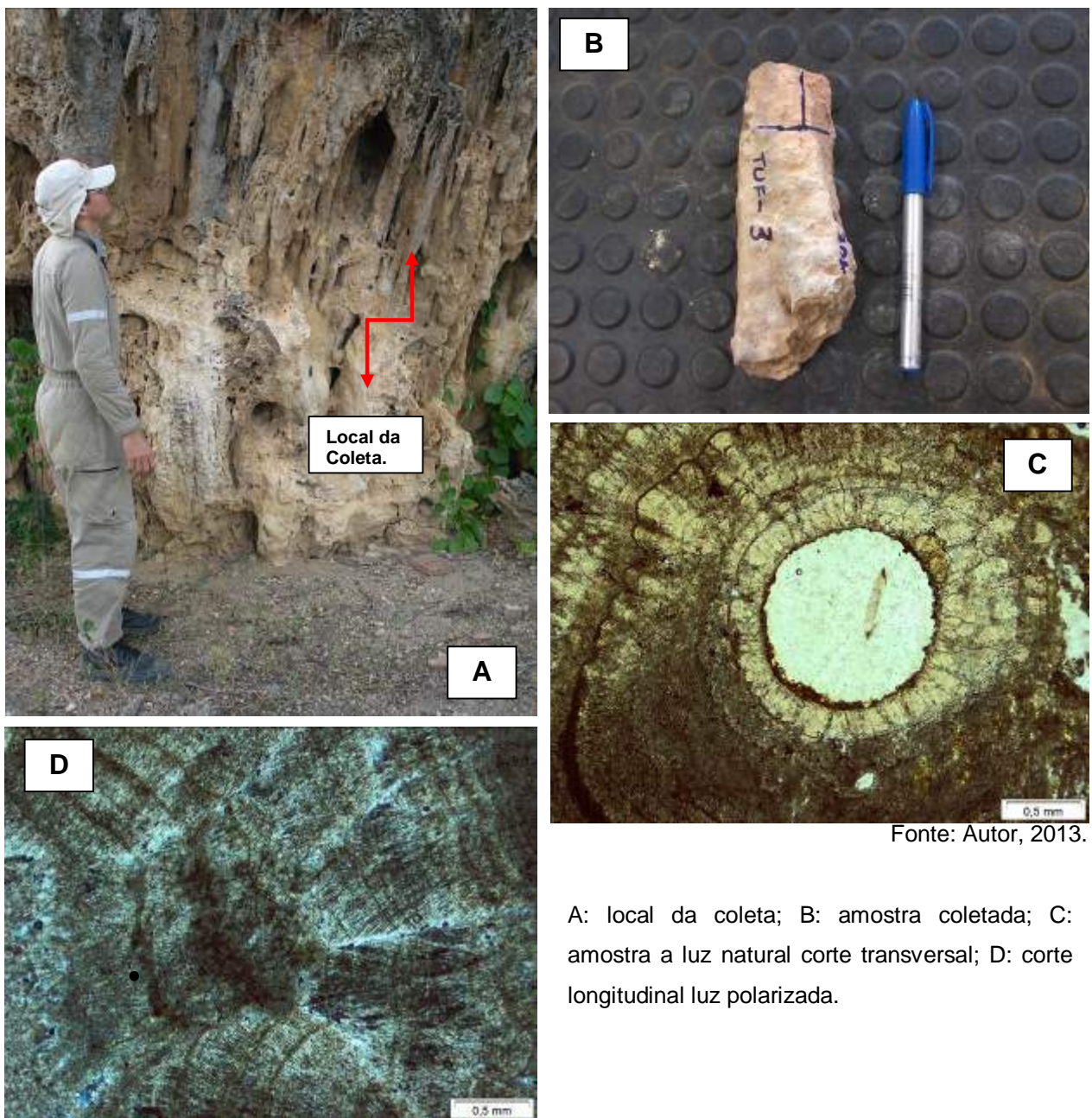
A: Amostra coletada; B: luz polarizada mostrando o cimento sintaxial e estrutura deposicional.

- **Ponto TUF 06 (645178/9380720)** – Coletada em afloramento na zona urbana de Felipe Guerra.

**Descrição macroscópica:** Amostra compacta, densa, com crescimento mineral radial e estruturas deposicionais.

**Descrição microscópica:** amostra de espeleotema com crescimento radial fibroso dos cristais de calcita. Apresenta também estrutura deposicional (Figura 20).

Figura 20 – TUF 06: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A: local da coleta; B: amostra coletada; C: amostra a luz natural corte transversal; D: corte longitudinal luz polarizada.

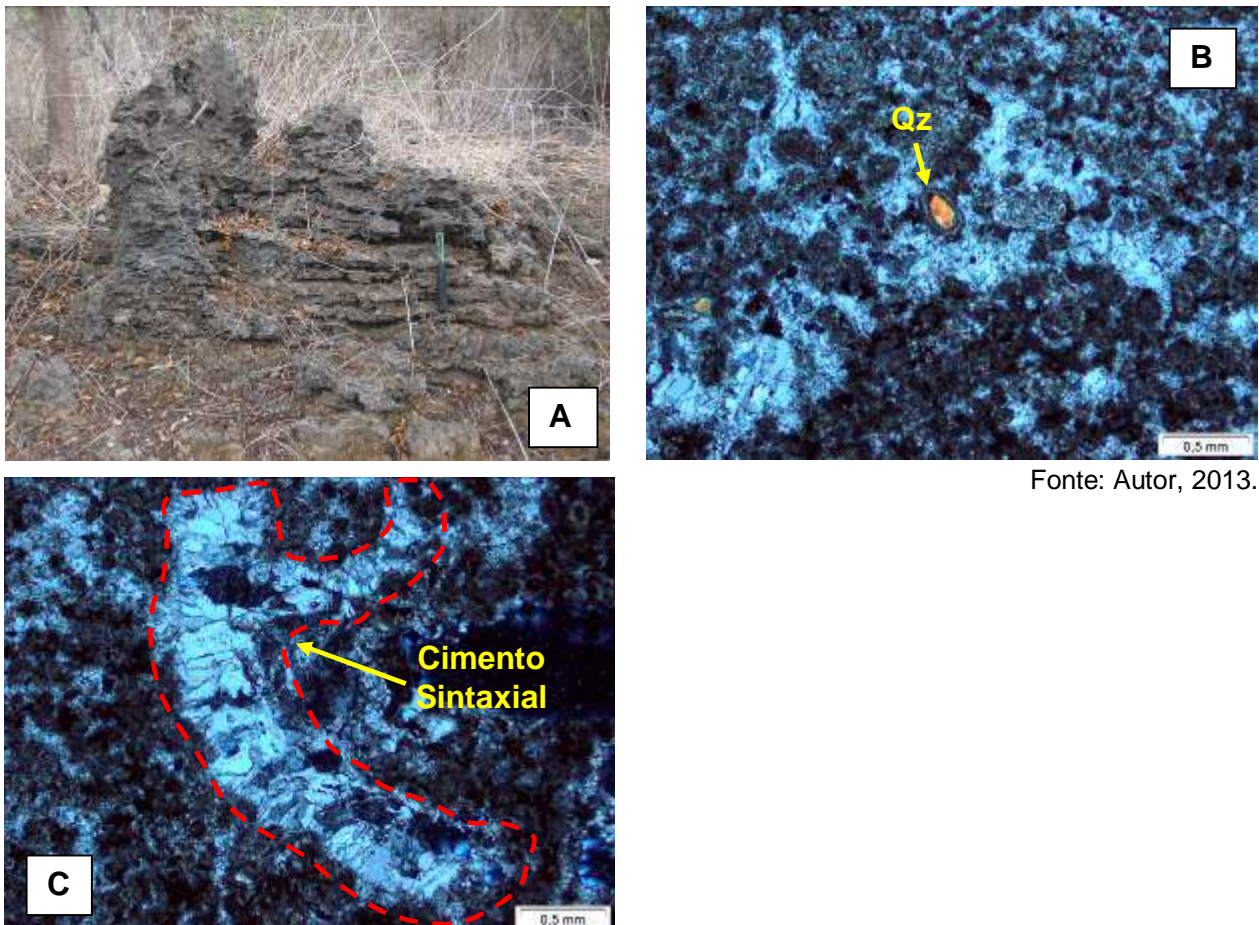
- **Ponto TUF 07 (645246/9380782)** – Amostra coletada em afloramento da zona urbana de Felipe Guerra.

**Descrição macroscópica:** Composta por material compacto, poroso apresentando processo de carstificação (lapiezamento).

**Descrição microscópica:** Possui porções lamosas e porções onde ocorre opreenchimento dos poros por cimento sintaxial. Alguns clastos de Quartzo são vistos envoltos por cimento calcítico.

Considerando a classificação de Ford e Pedley (1996) a tufa é do tipo **Fitoclástica** (Figura 21).

Figura 21 – TUF 07: Ponto de coleta, amostra de mão e petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A: local da coleta; B: luz polarizada com clasto de Qz; C: amostra a luz polarizada com cimento sintaxial.

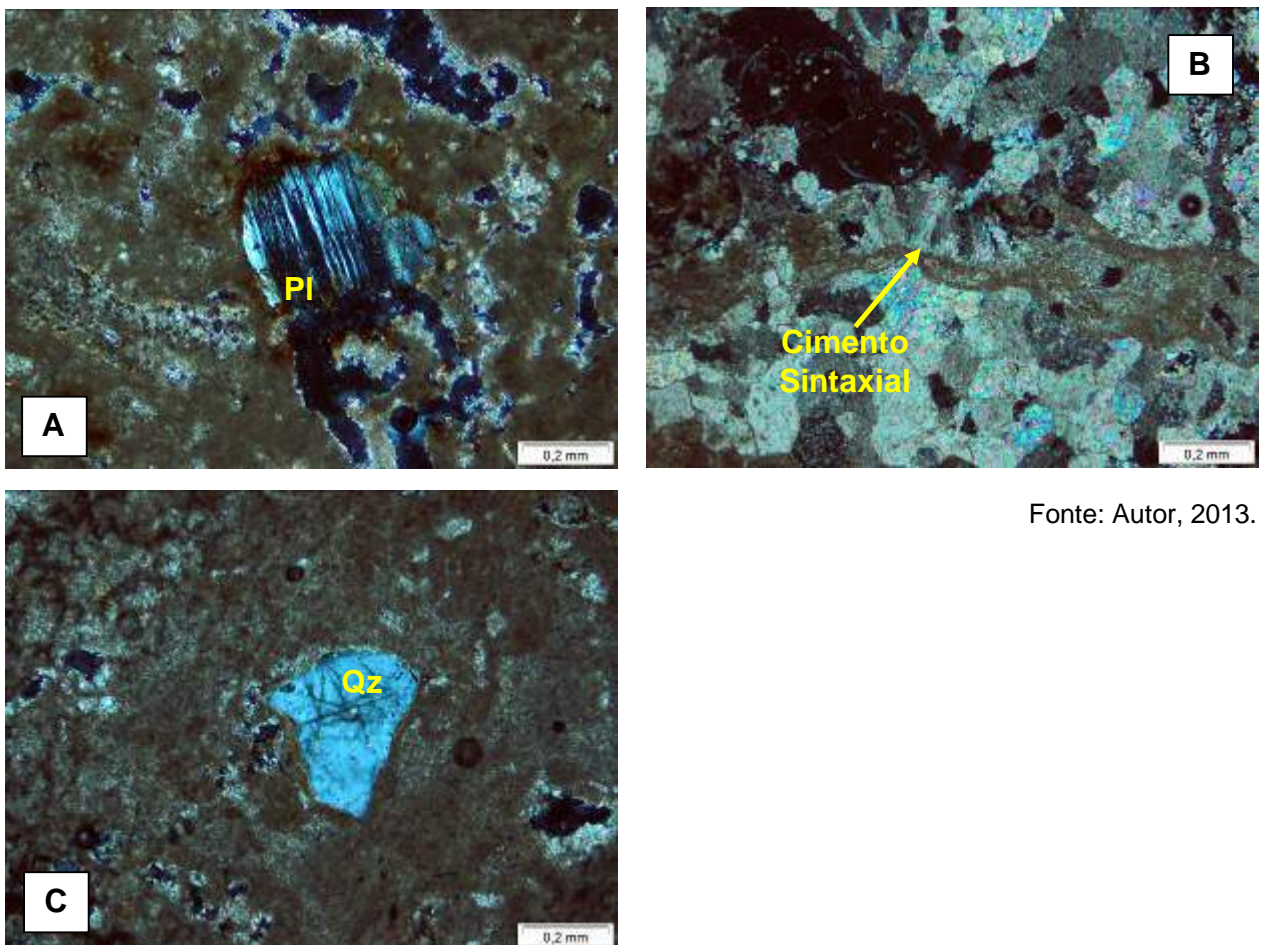
- **Ponto TUF 08 (645242/9380815)** – Amostra coletada no mesmo afloramento anterior.

**Descrição macroscópica:** Composta por material compacto, poroso apresentando processo de carstificação (lapiezamento).

**Descrição microscópica:** Apresenta porções lamosas e micriticas com clastos de Quartzo (Qz) e Plagioclásio (Pl). A amostra também apresenta cimento sintaxial.

Segundo Ford e Pedley (1996) a tufa é do tipo **Fitoclástica** (Figura 22).

Figura 22 – TUF 08: Petrografia.



Fonte: Autor, 2013.

A, B e C: amostra a luz polarizada mostrando: clasto de Pl, cimento sintaxial e clasto de Qz.

### 6.5 Avaliações sobre as tufas de Felipe Guerra

As ocorrências dos depósitos de tufas estudados na atual pesquisa estão associadas à evolução da escarpa da Bacia Potiguar e principalmente a abertura do vale do rio Apodi-Mossoró. A maior ocorrência mapeada encontra-se na zona urbana do município exatamente onde se desenvolveu a cidade. São depósitos castigados pelo processo intenso de intemperismo, erosão e ação antrópica (Figura 23).

Figura 23 – Degradação dos depósitos de tufas.



**A**

Fonte: Autor, 2013.



**B**

A: ação antrópica; B: ação natural.

As observações de campo associadas às análises petrográficas nos levou a identificar as tufas da área pesquisada segundo Ford e Pedley (1996) como sendo de três tipos: Tufa Micrítica, Tufa Intraclástica e Tufa Fitoclástica.

As tufas micríticas são as de idade mais recentes e foram encontradas na “Cachoeira Caripina” (TUF 09) onde é visível o processo recente de formação desses depósitos com incrustações de fragmentos de outras rochas, materiais orgânicos aprisionados por sedimentos finos e com ausência de estruturas deposicionais (Figura 24).

Figura 24 – Exemplo de tufa micrítica.



Fonte: Autor, 2013.

A e B: incrustação de material nas tufas em formação.



As tufas intraclásticas foram encontradas em dois locais distintos: no ambiente urbano e na cachoeira denominada “Cachoeira do Roncador” (TUF 10) caracterizada pela presença de material detrítico em matriz de fração muito fina do tipo argila-silte. O depósito encontrado na cachoeira apresenta elevado grau de intemperismo imprimindo na rocha um aspecto friável (Figura 25).

Figura 25 – Exemplo de tufa intraclástica.



Fonte: Autor, 2013.



A: afloramento de tufa em zona urbana; B: tufas cachoeira roncador.

As tufas fitoclásticas foram encontradas no ambiente urbano (TUF 02 e TUF 07) caracterizada pela presença de fragmentos de vegetação incrustado, composto por folhas, galhos e gastrópodes formando um depósito do tipo clasto suportado (Figura 26). O depósito de tufas encontrado na cidade apresenta no mínimo duas fases de deposição, fato comprovado pela descrição petrográfica e observações de campo onde temos tufas intraclásticas e fitoclásticas.

Figura 26 – Exemplo de tufa fitoclástica.



Fonte: Autor, 2013.



A e B: tufas fitoclásticas clasto suportado.

## 6.6 Desenvolvimento de cavernas nas tufas

O município de Felipe Guerra é um dos municípios com maior ocorrência de cavernas no estado do Rio Grande do Norte. O desenvolvimento dessas cavidades está associado a dois grandes sistemas de falhas que afetaram a Bacia Potiguar. Estes sistemas de falhas são paralelos e apresentam características geométricas, estruturais e tectônicas semelhantes estando orientados segundo as direções NE-SW e NW-SE.

Dantas (1998) bem como outros autores adotaram uma nomenclatura para designar esses falhamentos e assim os chamaram de Sistema de Falhas Carnaubais (SFC) e Sistema de Falhas Afonso Bezerra (SFAB). Estes sistemas foram responsáveis por toda a dinâmica costeira da bacia implicando em reativações tectônicas recentes no arcabouço estrutural da Bacia Potiguar provocando a migração e o armazenamento de óleo na parte rasa da Bacia.

Falhas de Carnaubais é a denominação dada a um falhamento de grande extensão orientado de NE-SW, delimitada por métodos geofísicos, que marca o limite SE do Graben da Bacia Potiguar.

Françolin e Szatimari (1987) afirmam que inúmeras falhas com direção NE-SW, inclusive o sistema de Falhas Carnaubais teriam se formado e/ou teriam sido reativadas por movimentos compressivos E-W, durante o Neocomiano, causando na bacia movimentos transcorrentes dextrais e transtracionais. Esta sequência de movimentos foi interrompida no Aptiano com o início de um evento distensivo de N-S. O soerguimento da plataforma carbonática da Formação Jandaíra bem como a reativação de numerosas falhas na bacia, ocorreu como consequência de um evento compressivo N-S, durante o Neocretáceo.

Segundo Matos (1992) durante o Neocomiano ocorreu a abertura dos meio-graben NE-SE no qual o Sistema de Falhas Carnaubais, representado por falhas lítricas normais intracrustais, teria exercido um forte controle no desenvolvimento no arcabouço tectônico da bacia potiguar.

Para Caldas *et al.* (1997) e Caldas (1998) a ocorrência de eventos tectônicos na bacia causaram reativações no falhas de carnaubais imprimindo nas mesmas

características de um sistema de falhas subverticais que afetaram inclusive sedimentos holocênicos.

Um conjunto de falhas paralelas orientadas segundo a Falha de Afonso Bezerra, foi denominado de Sistemas de Falhas Afonso Bezerra. Esta falha de direção NW-SE foi identificada por Hackspacher *et al.* (1985) através de sensoriamento remoto, na qual possui uma extensão aproximada de 150 km, localizada entre as cidades de Afonso Bezerra e Areia Branca no estado do Rio Grande do Norte.

Hackspacher *et al.* (1985) reconheceu também uma complexa trama estrutural onde os lineamentos NE e NW se entrelaçam e penetram por quase toda a Bacia Potiguar (Figura 27).

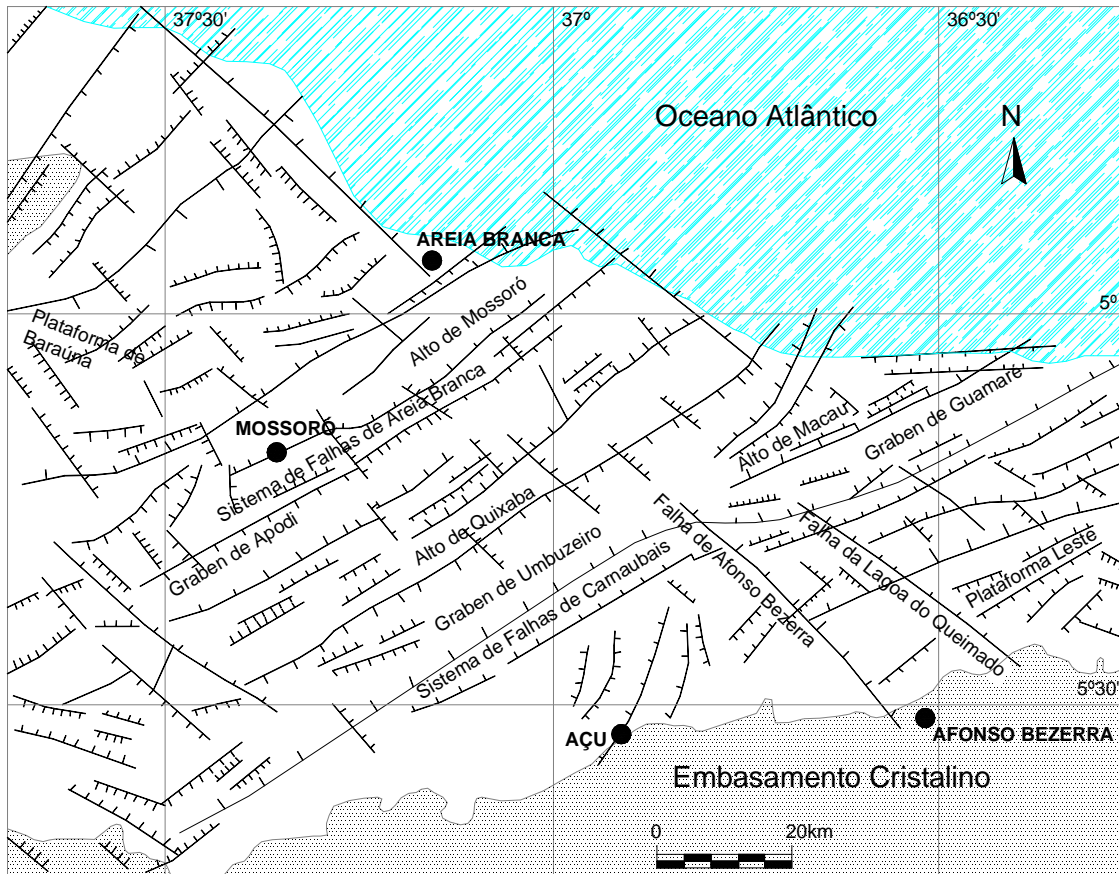
O autor relata ainda que o trend NE é predominante em relação ao trend NW, refletindo, assim, alternâncias de falhas escalonadas formando altos (p. ex. Quixaba e Macau) e baixos (p. ex. Umbuzeiro e Guamaré) estruturais em toda a bacia. Este autor afirma também que o SFAB é posterior ao SFC, associando-o a uma tectônica distensiva, representada por falhas normais, com abatimento de blocos para NE.

Estes grandes falhamentos reconhecidos por toda extensão da Bacia Potiguar associada às condições climáticas e hídricas, favoreceram o desenvolvimento de cavernas por toda a porção em que ocorrem os carbonatos da Formação Jandaíra no estado. Os depósitos de tufas que também ocorrem em várias porções da bacia, são produto da reprecipitação do carbonato de cálcio dissolvido da Formação Jandaíra associado à matéria orgânica.

No trabalho de Reyes (2003) que trata da caracterização da geometria de depósitos sedimentares da Bacia Potiguar, utilizando o método geofísico GPR (Ground Penetrating Radar), que faz investigações de subsuperfície, o autor estudou os depósitos de tufas no município de Quixeré – CE. Nesses depósitos ele identificou de forma significativa a presença de falhas e fraturas, estruturas que afetaram os depósitos de tufas e que foram gerados por uma tectônica de gravidade expressas por falhas normais e paralelas a escarpa da Bacia Potiguar. O autor cita que os depósitos de tufas de Quixeré são compostos por rochas de comportamento plástico e que a deposição

em encostas esta relacionada a deslizamentos que ocorreram antes e depois da deposição.

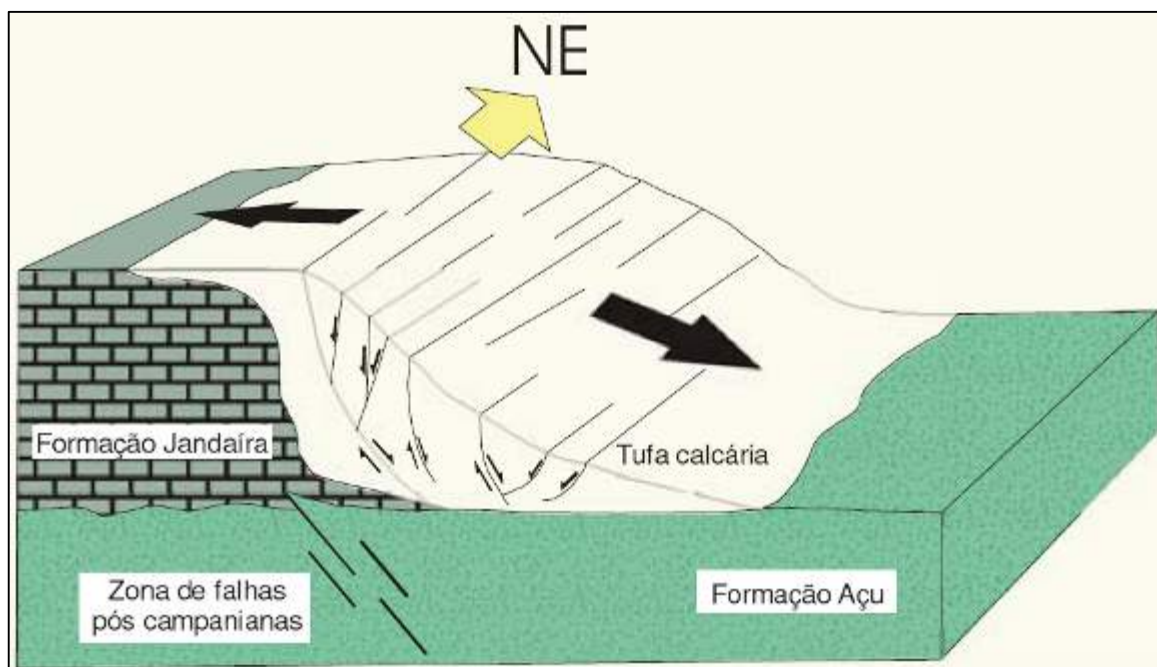
Figura 27 – Sistema de Falhas Carnaubais e Afonso Bezerra.



Fonte: Hackspacher *et al.* (1985).

Os deslizamentos que acometeram as tufas foram acomodados por falhas normais paralelas a escarpa. As escarpas são controladas por falhas pós-campanianas. Portanto, o autor conclui que as falhas que atingiram as tufas estão indiretamente ligadas as grandes zonas de falhas pós-campanianas que afetam toda a Bacia Potiguar (Figura 28).

Figura 28 – Diagrama mostrando a relação entre os depósitos de tufas e as falhas pós-campanianas.



Fonte: Reyes, (2003).

Os depósitos de tufas de Felipe Guerra apresentam desenvolvimento de feições cársticas tais como espeleotemas, lapiás e sendo as mais importantes delas as cavernas (Figura 29). Nesses tipos de depósitos é comum a formação de cavernas concomitante a sua deposição e em fase posterior condicionada a um processo evolutivo das mesmas. Na pesquisa aqui apresentada foram identificadas e mapeadas três cavernas, além de vários abrigos. As cavernas mapeadas foram denominadas de Caverna das Folhas (645295E/9381054N – Anexo 3), Caverna do Geilson (645286E/9381054N – Anexo 4) e Caverna Maribondo (645302E/9381094N – Anexo 5).

Os depósitos de tufas pesquisados são relíquias, ou seja, ocorrem em porções isoladas uns dos outros em consequência do intenso intemperismo e erosão sofrida. Ao analisar imagens do tipo digital globe e fazer comparativos com dados levantados no campo pode-se perceber que as três cavernas mapeadas se desenvolveram ao longo do plano onde há o encontro de duas fraturas uma com direção NE-SW e a outra N-S. O desenvolvimento linear das cavernas assume uma preferência para o sentido NE-SW.

Figura 29 – Elementos Cársticos (espeleotemas, cavernas, lapiás e micro-travertinos).



Fonte: Autor, 2013.

A: Vista de frente da escarpa que mostra o pacote de tufas com altura de  $\pm 10\text{m}$ ; B: Formação de abrigos em tufas; C: Entrada da caverna em fratura; D: Presença de micro-travertino; E: Amostras de espeleotemas.

## 7 ANÁLISES DOS RESULTADOS

No presente capítulo será discutido de forma detalhada os resultados das análises laboratoriais realizadas nas amostras de tufas coletadas em campo. Essas análises nos forneceram resultados imprescindíveis para a realização dessa pesquisa.

### 7.1 Análises de raios-x e análises geoquímica

Foram enviadas seis amostras de tufas para análises de raios-x feitas no Laboratório LRX – Deptº de Física da UFC. Os resultados obtidos através da fluorescência e difratometria de raios-x, nos leva a concluir que quimicamente e independente de suas idades, as tufas estudadas possuem composição semelhantes (Tabela 10). Os dados de fluorescência mostram que o óxido de cálcio (CaO) em todas as amostras apresenta porcentagens superiores a 90% de toda composição das tufas significando que a mineralogia da rocha é basicamente carbonato de cálcio (calcita ou aragonita).

Tabela 10 – Fluorescência de Raios-X (elementos maiores) nas tufas de Felipe Guerra, RN.

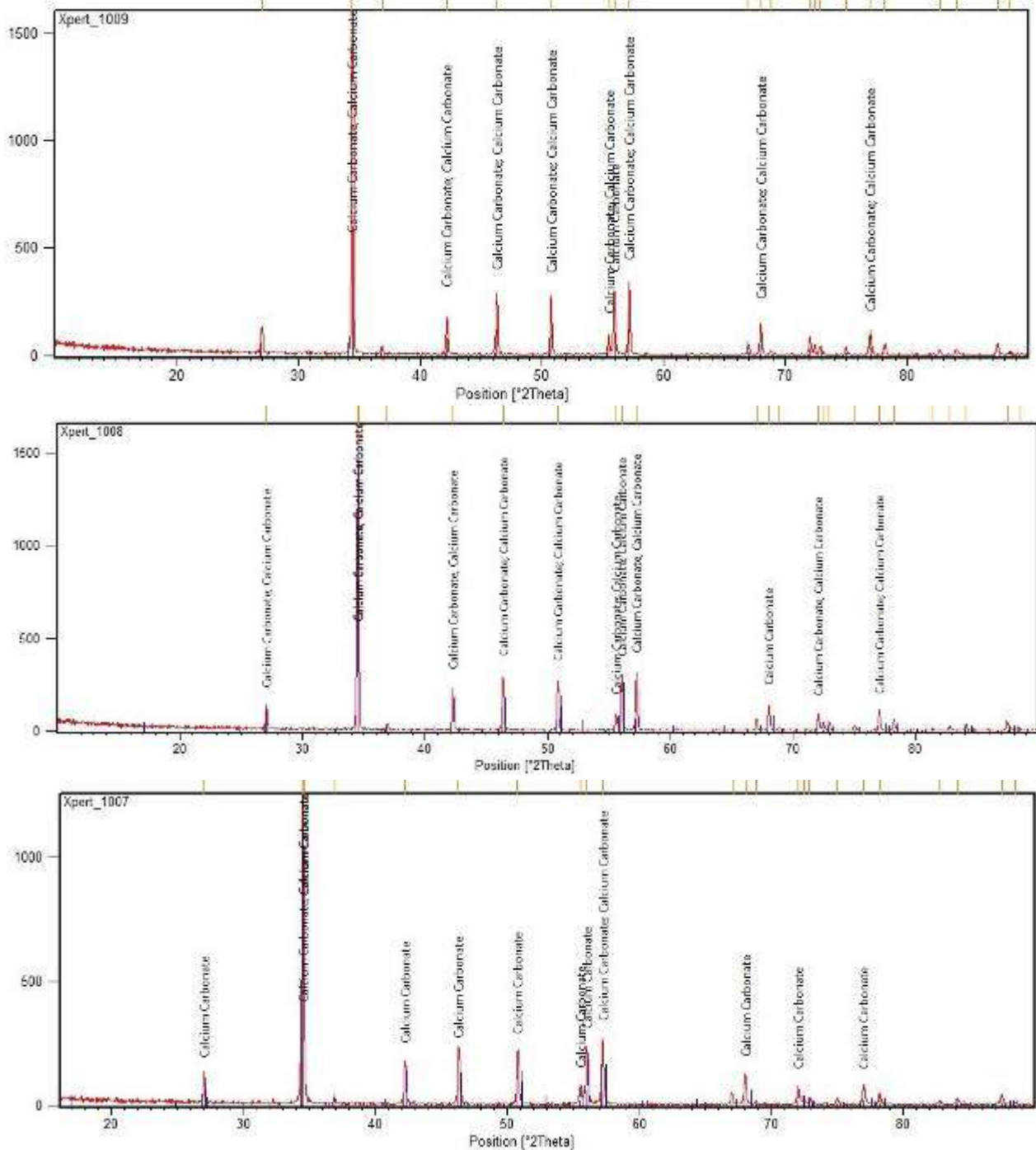
Amostra	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TUF 01 - 1007	0,709	1,586	0,096	-	0,012	0,107	96,607	0,884
TUF 02 - 1008	1,683	2,492	0,127	0,079	-	0,173	94,551	0,896
TUF 03 - 1009	0,266	0,457	0,145	0,068	0,030	0,102	98,704	0,228
TUF 04 - 1011	-	1,385	0,314	0,281	0,039	-	97,839	0,142
TUF 05 - 1010	0,749	1,834	0,128	-	0,010	0,072	96,912	0,295
TUF 06 - 1012	0,526	1,345	0,152	0,065	0,011	0,126	97,292	0,483

Fonte: Autor, 2013.

Os dados de difração de raios-x para as seis amostras se mostraram concordantes quanto a química (Figura 30). Para cada amostra analisada, um banco de dados de referência (Anexo 06) é consultado mostrando a compatibilidade mineralógica com a amostra analisada, esses dados de referência estarão disponíveis nos anexos.



Figura 30 – Difratogramas de raio-x mostrando que a composição mineralógica das tufas é CaCO<sub>3</sub>.



Para completar as análises envolvendo a química, quatro amostras de tufas foram enviadas ao laboratório ACMELabs para uma análise geoquímica (Tabela 11). Os dados analisados contemplam os elementos maiores, menores e traço. Em concordância com os dados de raios-x o elemento com maior porcentagem é o CaO todos maiores que 50%. Os outros elementos não apresentam expressividades em seus valores.

Tabela 11 – Análises geoquímicas das tufas.

	Maiores					Menores			
	TUF 05	TUF 07	TUF 10	TUF 09		TUF 05	TUF 07	TUF 10	TUF 09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	0,47	0,63	1,30	Ta	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Ba	45	64	47	31	Tb	0,08	0,08	0,08	0,12
Be	<1	<1	<1	<1	Th	0,6	0,4	0,5	1,2
CaO	50,23	53,99	53,05	51,49	TiO <sub>2</sub>	0,03	0,03	0,03	0,07
Ce	5,8	7,9	5,4	11,0	Tm	0,04	0,03	0,03	0,04
Co	1,4	3,5	2,1	2,1	U	0,2	0,2	0,1	0,4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	V	<8	<8	17	12
Cs	0,2	<0,1	0,2	0,5	W	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dy	0,63	0,59	0,58	0,65	Y	4,0	4,1	2,9	3,7
Eu	0,18	0,14	0,15	0,22	Yb	0,33	0,17	0,17	0,33
Er	0,39	0,32	0,25	0,44	Zr	25,7	13,5	6,0	19,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40	0,20	0,37	0,59	<b>TOT/C</b>	<b>11,44</b>	<b>12,19</b>	<b>12,01</b>	<b>11,98</b>
Ga	0,7	0,6	0,9	1,7					
Gd	0,55	0,64	0,61	0,94					
Hf	0,5	0,4	0,1	0,5					
Ho	0,11	0,12	0,10	0,19					
K <sub>2</sub> O	0,10	0,05	0,04	0,05					
La	3,6	3,1	6,2	6,0					
LOI	41,4	43,4	43,9	43,7					
Lu	0,05	0,03	0,02	0,05					
MgO	0,50	0,39	0,57	0,53					
MnO	<0,01	0,08	0,03	0,01					
Na <sub>2</sub> O	0,01	<0,01	<0,01	0,03					
Nb	0,2	0,4	0,2	1,1					
Nd	2,5	3,6	3,4	5,1					
Ni	23	<20	<20	<20					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,03	0,02	0,01					
Pr	0,75	0,68	1,03	1,31					
Rb	5,7	4,1	4,9	8,4					
Sc	<1	<1	<1	1					
SiO <sub>2</sub>	6,74	1,35	1,34	2,16					
Sm	0,58	0,50	0,50	0,90					
Sn	<1	<1	<1	<1					
Sr	27,4	21,8	27,3	85,1					
<b>Total</b>	<b>99,97</b>	<b>99,97</b>	<b>99,96</b>	<b>99,96</b>					

	Traço			
	TUF 05	TUF 07	TUF 10	TUF 09
<b>TOT/S</b>	<b>&lt;0,02</b>	<b>&lt;0,02</b>	<b>&lt;0,02</b>	<b>&lt;0,02</b>
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As	<0,5	<0,5	<0,5	1,1
Au	0,8	3,8	1,7	0,7
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cu	1,9	3,7	5,0	2,4
Hg	<0,01	0,02	<0,01	<0,01
Mo	1,7	0,2	0,5	<0,1
Ni	11,7	4,3	2,4	3,3
Pb	1,8	3,2	0,9	1,5
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Tl	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zn	3	3	5	4

Fonte: Autor, 2013.

Com exceção da amostra TUF 09, que apresenta alguns elementos com porcentagens maiores como, por exemplo, para  $Al_2O_3$ , Ce e Sr, as outras amostra apresentam padrão semelhante para todos os elementos. Essa diferença em alguns valores se dá pelo fato dessa amostra ter sido coletada em tufas recém formadas ou em estágio de formação o que significa que a influência de material de proveniência terrestre pode gerar uma elevação nos teores de alguns elementos químicos. Outro dado que merece destaque é o teor de sílica da amostra TUF 05, é provável que o leve aumento no teor desse elemento esteja associado a processos de substituição dos fósseis por sílica; ou ainda a sílica foi assimilada a partir de sedimentos terrestres que foram reprecipitados junto a matriz carbonática.

Outro dado que merece destaque é a perda ao fogo (LOI) que está associada à decomposição do carbonato de cálcio, onde a liberação dos voláteis (gás e água) altera a massa da amostra.

### 7.3 Dados isotópicos O e C

Os resultados das análises para os isótopos estáveis de O e C mostraram uma pequena variação nos valores de  $\delta^{18}O_{V-PDB}$  entre tufas analisadas (Tabela 12). Com os dados de  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  variando entre -11,21 e -1,92 ‰ e os dados de  $\delta^{18}O_{V-PDB}$  -5,30 e -3,03 ‰ pode-se concluir que as condições paleoclimáticas de formação das tufas de Felipe Guerra aconteceu em períodos climáticos pouco instáveis (Figura 31). Valores mais negativos de  $\delta^{18}O_{V-PDB}$  estão associados a ambientes com influencias de águas continentais.

Reyes (2003) encontra valores de O/C com poucas oscilações indicando condições climáticas estáveis, mesmo para níveis de tufas diferenciados. As tufas mais antigas apresentam valores bastante variados indicando que as deposições foram distintas. Na presente pesquisa dentre os depósitos mais novos de tufas, duas amostras foram analisadas e apresentaram valores de  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  de -9,97 a 9,71 ‰ e  $\delta^{18}O_{V-PDB}$  -3,93 e -3,75 ‰ com baixa oscilação. Para valores de  $\delta^{13}C$  próximos a -10 ‰ pode-se afirmar que a precipitação da calcita aconteceu na presença de atividade

orgânica, para valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  oscilando próximo de  $-5,00\text{‰}$  significa dizer q a precipitação da calcita ocorreu a baixas temperaturas (ANDREWS *et al.* 1993, ZAK *et al.* 2002).

Boggiani (1999) identificou dois tipos de depósitos de tufas, antigos e modernos. Os depósitos modernos apresentaram baixos valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  coerentes com as condições hidrológicas da drenagem, caracterizada por condições de fluxo de água contínuo, sem condições de águas paradas, o que possibilitaria a concentração de  $^{18}\text{O}$ .

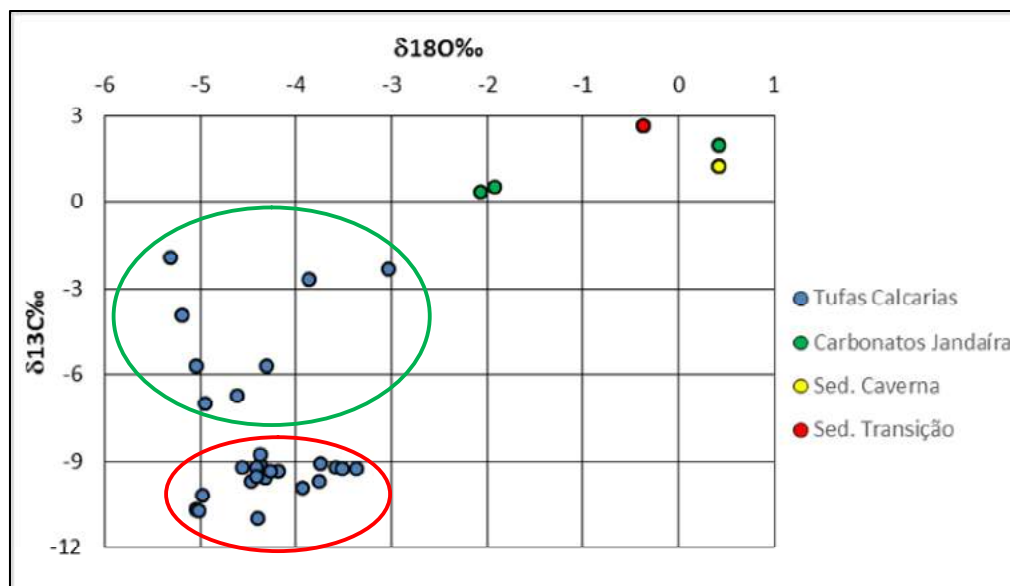
O autor afirma que valores baixos de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  em tufas antigas indicam que as condições hidrológicas durante a formação destas seria semelhante às atuais.

As tufas de Felipe Guerra apresentam semelhanças com outros depósitos estudados no Brasil e ao mesmo tempo mostram características distintas de deposição (Figura 31).

Tabela 12 – Valores de Isótopos de O e C nas tufas calcárias de Felipe Guerra, RN.

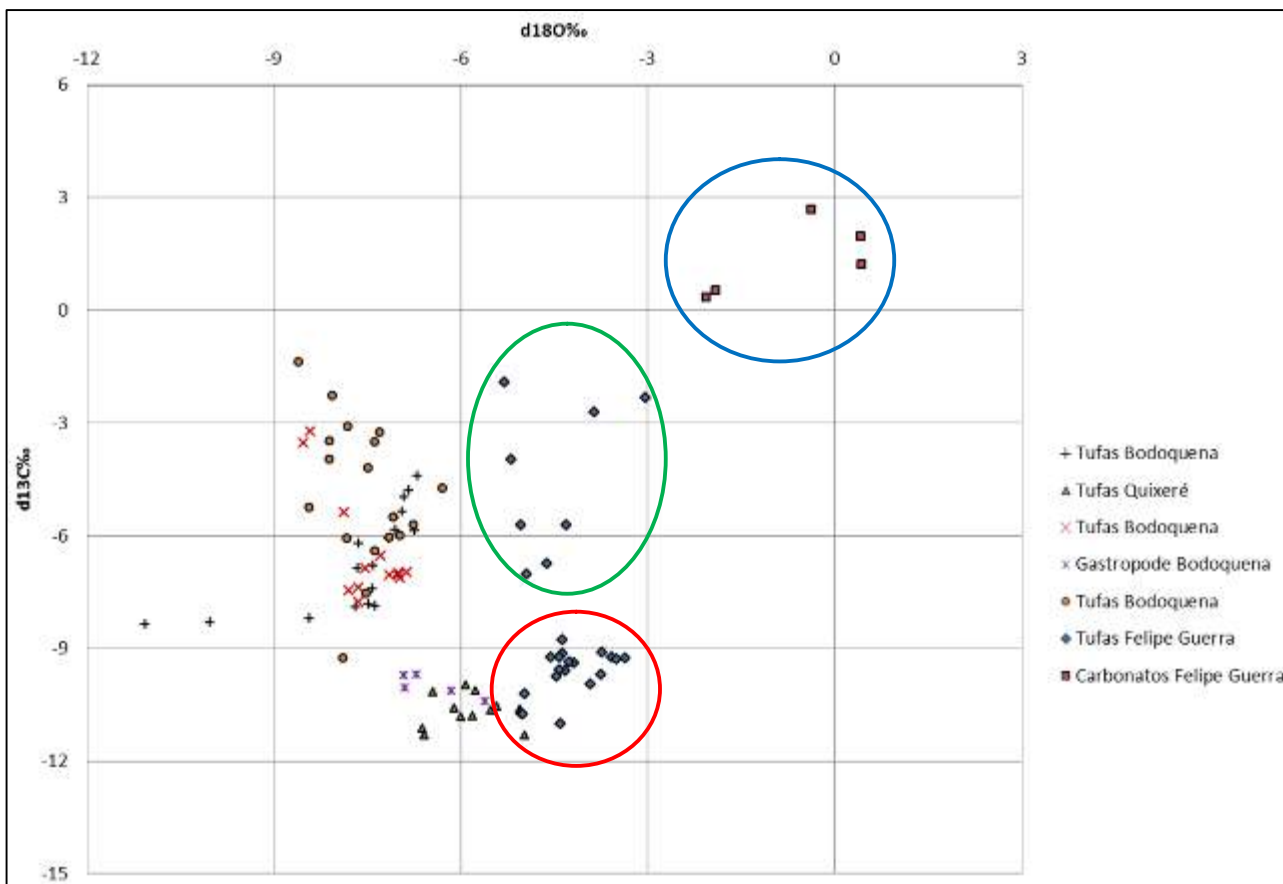
Tipo	Amostra	V-PDB	V-PDB
		$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$
<b>Tufas Calcárias</b>	TUF 10 A-1	-5,72	-5,03
	TUF 10 A-2	-5,73	-4,30
	TUF 10 B-1	-2,32	-3,03
	TUF 10 B-2	-2,71	-3,86
	TUF 10 C	-3,96	-5,19
	TUF 10 D-1	-7,02	-4,95
	TUF 10 D-2	-6,75	-4,61
	TUF-43 1M	-9,23	-3,58
	TUF-43 1F	-9,28	-3,51
	TUF-43 2M	-9,26	-3,37
	TUF-43 2F	-9,11	-3,74
	TUF-49 M	-9,74	-4,46
	TUF-50 M	-9,15	-4,37
	TUF-50 F	-8,77	-4,37
	TUF-57 M	-10,72	-5,04
	TUF-57 F	-9,25	-4,55
	TUF-58 M	-9,24	-4,41
	TUF 09 M	-9,71	-3,75
	TUF 03 M	-9,97	-3,93
	TUF 07	-9,38	-4,18
	TUF 12	-11,01	-4,40
	TUF 08	-9,59	-4,32
	T44-1	-10,75	-5,01
	T44-2	-9,56	-4,41
	T44-3	-10,22	-4,97
	T44-4	-9,37	-4,26
T44-5	-1,92	-5,30	
<b>Carbonatos Jandaíra</b>	TUF 13	1,20	0,43
	TUF 10 E	2,66	-0,37
	LRD4 J	0,51	-1,91
	LRD4 V	0,33	-2,06
	TUF-36	1,96	0,43

Fonte: Autor, 2013.

Figura 31 – Diagrama de dispersão  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  versus  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  das amostras de Felipe Guerra, RN.

Fonte: Autor, 2013.

Boggiani (1999), Utida (2009) e Oliveira (2009) estudaram as ocorrências de tufas da Serra da Bodoquena em Mato Grosso do Sul. A maior parte dos dados mostrados revela o mesmo padrão de assinatura isotópica. Utida (2009) analisou depósitos de tufas e alguns gastrópodes se assemelharam as amostras de Reyes (2003) em Quixeré. O diagrama de dispersão desses dados mostra que há uma agregação isotópica entre as tufas analisadas representadas na figura 32 pelos círculos verde e vermelho. As que foram separadas pela linha vermelha apresentam valores mais negativos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ , indicando uma assinatura isotópica com influencia de águas continentais. As amostras separadas pela linha verde apresentam valores que se aproximam dos positivos e isso pode ser resultado de influencia de águas marinhas.

Figura 32 – Diagrama de dispersão  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  versus  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  comparativo.

Fonte: Autor, 2013.

Um comparativo é feito por Reyes (2003) entre os dados de tufas por ele estudados e os dados da Formação Jandaíra estudados por Córdoba (2001). Os dados da presente pesquisa apontam uma tendência de caráter semelhante ao da Formação Jandaíra quando assumem valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ . Além das amostras de tufas, foram enviadas para análises isotópicas outras cinco amostras com relação mais proximal a Formação Jandaíra que apresenta características de fácies águas rasas. Outra característica observada é que a origem do carbonato que favoreceu a formação das tufas de Felipe Guerra é uma plataforma carbonática calcítica; as tufas estudadas por outros autores na Bodoquena e Araras tem sua origem em uma plataforma carbonática dolomítica; embora as tufas tenham sido originadas por rochas com

características diferentes, os resultados em termos de formação dos depósitos é semelhante. Já em termos de assinatura isotópica os dados mostram que as tufas de Felipe Guerra apresentam valores com tendência positiva para  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$  e isso está associado a mudanças climáticas, mais precisamente mudanças nas condições pluviométricas.

## 7.2 Comparativo entre dados isotópicos (O/C) e datação por $^{14}\text{C}$

Com o objetivo de avançar nos estudos sobre a Bacia Potiguar e melhorar a sua estratigrafia, optou-se por datar os depósitos de tufas pelo método radiogênico  $^{14}\text{C}$ . A escolha desse método deu-se após o levantamento bibliográfico sobre tufas no Brasil, onde a maioria dos autores utilizou-se desse mesmo método para datarem os depósitos por eles pesquisados. Talvez não seja o método mais apropriado para esse tipo de estudo, mas no estudo de outros casos no Brasil, dados satisfatórios foram apresentados baseados nesse método de datação. Para fazer o comparativo entre as idades obtidas pelo método  $^{14}\text{C}$  e os resultados da razão isotópica (O/C) fez-se necessário o estudo de trabalhos relacionados aos eventos de mudanças climáticas ocorridas durante o quaternário.

No trabalho de Novello *et al.*, (2012), o autor apresenta registros de alta resolução de  $\delta^{18}\text{O}$ , com o objetivo discutir a paleoclimatologia dos últimos milênios do Holoceno e seus eventos climáticos mais relevantes como a Pequena Idade do Gelo (*LIA – Little Ice Age*), Aquecimento medieval (*MCA – Medieval Climate Anomaly*) e o evento que ocorreu em 2700 anos A.P. fenômenos climáticos como: El Niño-Oscilação Sul (*ENSO- El Niño Sulthern Oscillation*), Oscilação do Atlântico Norte (*NAO – North Atlantic Oscillation*) e Oscilação Decadal do Pacífico (*PDO – Pacific Decadal Oscillation*), através de registros de  $\delta^{18}\text{O}$  de espeleotemas do Estado da Bahia. Utilizando modelos experimentais o autor mostrou que o  $\delta^{18}\text{O}$  da precipitação é controlado por “amount affect” em áreas onde a precipitação é determinada pela atividade da Monção Sul Americana, como o sul da Bahia (VUILLE *et al.* 2003), de



forma que valores mais negativos (positivos) de  $\delta^{18}\text{O}$  estão associados a maior (menor) precipitação.

Oliveira *et al.* (1999) fez estudos palinológicos de uma turfeira, com data basal de 10.990  $\pm$  80 anos A.P., forneceu uma história vegetacional e de mudanças climáticas no Vale do Rio Icatu localizado em um grande sistema de dunas, de areia estabilizadas, no meio do Rio São Francisco no nordeste do Brasil.

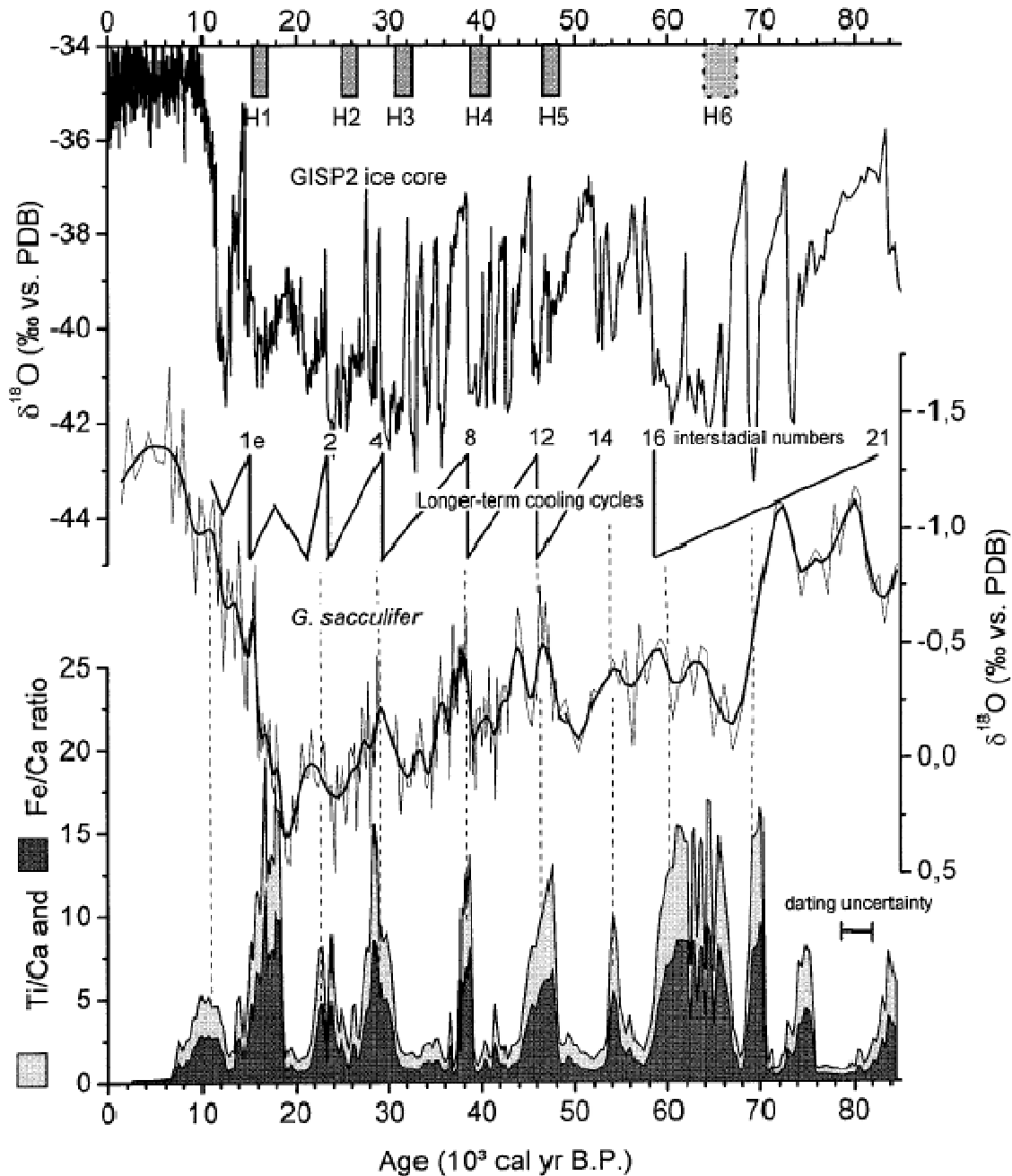
O autor gerou um perfil palinológico na localidade Saquinho no qual dividiu o vale do Rio Icatu em cinco zonas: Zona palinológica SA1 (10,990-10,540 anos AP) com grãos de pólen encontrados atualmente, na Amazônia e Mata Atlântica sugerindo condições climáticas muito úmidas síncronicas com temperaturas mais reduzidas. Zona SA2 (10,540-6790 anos AP) tem pólen de um tipo de vegetação dominado por *Mauritia*, sugerindo altos níveis de umidade e aquecimento progressivo. O período entre 8920 e 8910 anos A.P. tem altas taxas de sedimentação e aumento acentuado de pólen de *Mauritia* e *Ilex*, sugerindo um clima muito úmido. De 8910-6790 anos A.P. há um declínio progressivo de taxons florestais e um gradual aumento de grãos de pólen característicos de caatinga e cerrado. Zona SA3 (6790 - ca. 6.230 anos AP) não contém palinóforos, possivelmente indicando condições semi-áridas. Zona SA4 (ca. 6230 - ca. 4.535 anos AP) marca o retorno da vegetação composta por mata de galeria, cerrado e caatinga indicando condições climáticas úmidas. Um declínio acentuado nos níveis de umidade caracteriza o período entre 4240 anos AP e presente, como sugerido por um aumento na caatinga e cerrado. Zona SA5 (ca. 4535 anos AP), estabelece o presente vegetacional e padrão climático do Vale do Rio Icatu.

Arz *et al.* (1997), trabalhou com a composição de isótopos estáveis de foraminíferos planctônicos marinhos correlacionando-os com as evidências de pulsos de sedimentos terrígenos em um núcleo de sedimentos do talude continental superior ao longo do nordeste do Brasil. Registros de isótopos estáveis de oxigênio em *Globigerinoides sacculifer* e *Globigerinoides ruber* revelam mudanças na hidrografia da superfície do mar durante os últimos 85.000 anos. Estes sinais tropicais se correlacionam com oscilações climáticas registradas na Groenlândia em núcleos de

gelo (ciclos Dansgaard-Oeschger) e em sedimentos do Atlântico Norte (eventos Heinrich).

Os autores estudaram núcleos de gravidade GeoB 3104-1 (03°40.09S, 37°43.09W), coletadas durante um cruzeiro no R/V Victor Hensen em Fortaleza (Ceará), a partir de uma profundidade de 767m de água. Como resultados deste estudo, os autores concluíram que as variações nos registros de isótopos estáveis, teor de carbonato, e intensidades de FRX de Ca, Fe, Ti e no núcleo de um sedimento talude continental superior do nordeste do Brasil implica vinculação entre os sinais de clima marinho e continental (Figura 33). Períodos de condições mais úmidas continentais, como indicado pela alta Fe e Ti XRF- intensidades coincidem com SST (*SST - Sea-surface temperature*) quente, como mostrado por valores no sinal  $\delta^{18}\text{O}$  de foraminíferos planctônicos marinhos. A diferença entre o  $\delta^{18}\text{O}$  de *G. ruber* e de *G. sacculifer* também indica alteração na sazonalidade.

Figura 33 – Comparação de registro  $\delta^{18}\text{O}$  *G.sacculifer* e a relação Ti-Ca e Fe-Ca (registro Ti-Ca ampliado quádruplo) de núcleos GeoB 3104-1/3912-1 com o registro  $\delta^{18}\text{O}$  de núcleo de gelo do GISP2 (GROOTES *et al.*, 1993), os eventos Heinrich (idades de VIDAL *et al.* 1997), e o esquema de ciclos de refrigeração a longo prazo (após BOND *et al.* 1993). Registros tentativamente correlacionados por linhas tracejadas verticais.



Fonte: Arz *et al.*, (2003).

Wang *et al.* (2008), trabalhou com a obtenção de registros de eventos climáticos de escala milenar em espeleotemas (MCDERMOTT *et al.* 2005), pois eles têm o potencial para o controle preciso e exato de idades. Nos últimos dez anos os autores coletaram amostras de espeleotemas no Brasil com particular interesse em amostras do nordeste e sul. A intenção era investigar se os eventos climáticos bruscos eram registrados no hemisfério sul, especialmente nas latitudes meridionais baixas, se há os mesmo registros nas latitudes correspondentes no hemisfério norte e que tipos de mecanismos poderiam explicar o padrão geográfico global de todos os eventos gravados. As fases de crescimento foram representadas em escala milenar durante curtos períodos pluviais e o último período glacial, enquanto que o crescimento da amostra não foi observado em condições secas como hoje (Wang *et al.* 2004).

Dentre as cinco amostras de tufas analisadas, os resultados obtidos foram satisfatórios (Tabela 13), embora uma das amostras tenha extrapolado o limite de análise do método, isso indica que essas tufas foram formadas a idades superiores a 40.000 mil anos.

A amostra da Cachoeira Caripina (TUF 09) revelou idade entre 680 - 570 cal anos AP, assim como observado em campo e comprovado pela razão isotópica de O/C, esse depósito de tufa é o mais recente e ainda esta em processo de formação.

As outras amostras (Bacia - TUF 49, Castelo - TUF 43 e Complexo Folhas - TUF 07) apresentam valores de idade de acordo com o esperado, do início do Holoceno ao final do Pleistoceno respectivamente. Para a amostra Pavão (TUF 03) não obtivemos resultados precisos em anos uma vez que foi ultrapassado o limite de detecção do método. Acreditava-se com base nas observações de campo que as amostras Pavão (TUF 03) e Bacia (TUF 49), fossem contemporâneas por apresentarem características físicas semelhantes.

A seguir na tabela 13, é feito um comparativo entre as idades radiogênicas, os dados isotópicos e a correlação dessas idades com os resultados paleoclimáticos de outros trabalhos. Um gráfico foi gerado utilizando os dados isotópicos e radiogênicos para mostrar a variação de  $\delta^{18}\text{O}$  das tufas analisadas ao longo do período de formação das mesmas (Figura 34).

A amostra de tufa (TUF 09) que apresentou idades mais novas (680 - 570 cal anos AP) sugere que o período no qual esse depósito foi formado as condições climáticas indicavam períodos mais úmidos o que corresponde a Pequena Idade do Gelo (LIA) segundo a tabela *Regional chronostratigraphical correlation for the last 270,000 years - Europe north of the Mediterranean* esse evento ocorreu no MIS 1 (*MIS - Marine Isotope Stages*). A amostra Bacia (TUF 49) apresentou idade 12937 – 12648 cal anos AP, compatível com MIS 2 e com evento Heinrich H0 (*Heinrich events*) caracterizado pelo avanço de blocos de geleiras em direção ao oceano provocando um grande aumento de água doce lançada ao mar. Essa grande descarga de água doce teria provocado mudanças climáticas globais; e o final do estágio *Younger Dryas (YD)*, também conhecido como o Big Freeze (BERGER, 1990) foi geologicamente breve ( $1.300 \pm 70$  anos) período de condições climáticas frias e secas que ocorreram entre cerca de 12.800 e 11.500 anos AP. A amostra Castelo (TUF 43) com idade 30870 – 30220 cal anos AP, foi depositada durante a transição evento MIS 2/3 e H3 pouco antes do último máximo glacial (LGM - *Last Glacial Maximum*), de acordo com a literatura acima citada nesse período houve um aumento da umidade global e conseqüentemente uma maior taxa de precipitação pluviométrica no planeta o que favoreceu a deposição das tufas. Mas para esta amostra os dados isotópicos responderam de forma contraditória indicando condições climáticas mais secas e áridas semelhantes a atual.

Esse resultado merece ser melhor investigado uma vez que contradiz a literatura consultada para compor esse capítulo, embora a mesma tenha sido satisfatória para as idades das outras amostras. A amostra Pavão (TUF 03), embora não tenha fornecido idades que pudessem ser detectadas pelo método de datação utilizado, nos forneceu informações importantes a cerca da gênese das cavernas desenvolvidas nessas tufas, podendo afirmar que elas foram formadas em idades superiores há 40.000 mil anos.

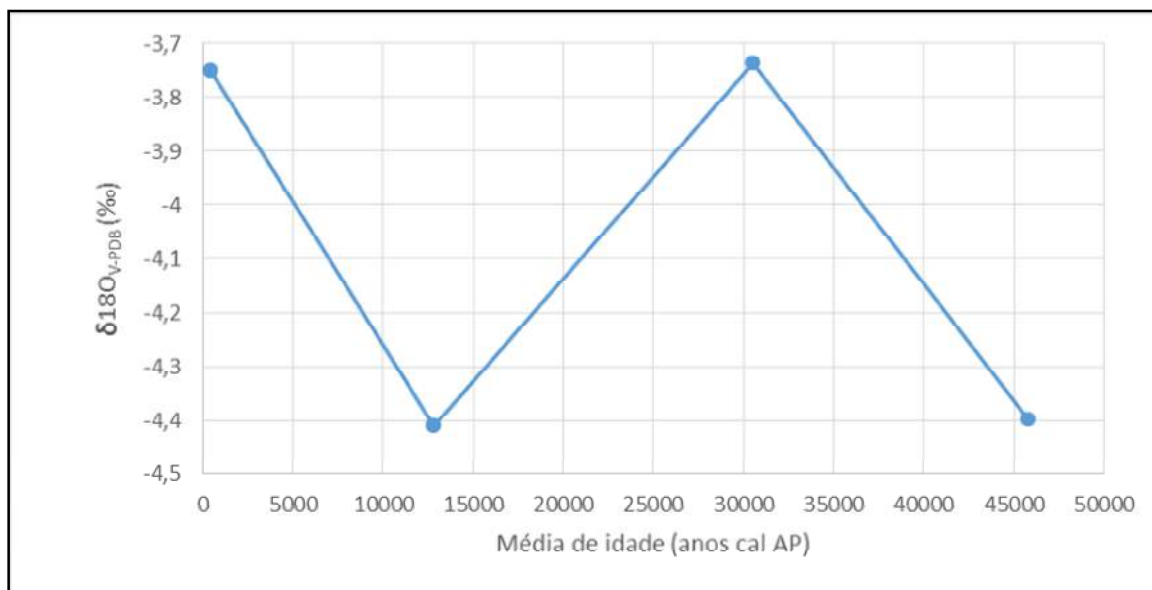
Portanto, baseados nas idades, nos dados isotópicos e na literatura consultada podemos concluir que a formação dos depósitos de tufas de Felipe Guerra ocorreu em períodos onde houve um aumento da umidade do planeta favorecendo elevadas taxas de precipitação pluviométrica.

Tabela 13 – Datações obtidas pelo método  $^{14}\text{C}$  para as tufas calcárias de Felipe Guerra, RN e seus correspondentes isotópicos.

Carbono 14								
Material	ID Amostras	Idade Bruta (anos AP)	$\delta^{13}\text{C}$	Idade Calibrada (cal anos AP)	Protocolo	Arredondamento? (erro bruto $\geq 50$ )	Arredondado (10 anos cal)	Média da idade cal
concha	TUF 09 - 346914	430 +/- 30	-8.5 ‰	507-328	SHCal	não	x	418
concha	TUF 49 - 346913	10930 +/- 40	-10.9 ‰	12937-12648	IntCal	não	x	12793
concha	TUF 43 - 346915	25640 +/- 140	-9.0 ‰	30867-30216	IntCal	sim	30870-30220	30545
tufa	TUF 07 - 346916	42570 +/- 680	-14.2 ‰	46990-44663	IntCal	sim	46990-44660	45825
concha	TUF 03 - 346917	-	-7.4 ‰	x	x	x	x	x

Isótopos O/C			
Material	ID Amostras	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
tufa	TUF 09	-9,7058	-3,7517
tufa	TUF 49	-9,235	-4,4112
tufa	TUF 43	-9,1072	-3,7379
tufa	TUF 07	-11,0054	-4,399
tufa	TUF 03	-9,97	-3,93

Fonte: Autor, 2013.

Figura 34 – Comparação de registro  $\delta^{18}\text{O}$  x Idades  $^{14}\text{C}$  das tufas estudadas.

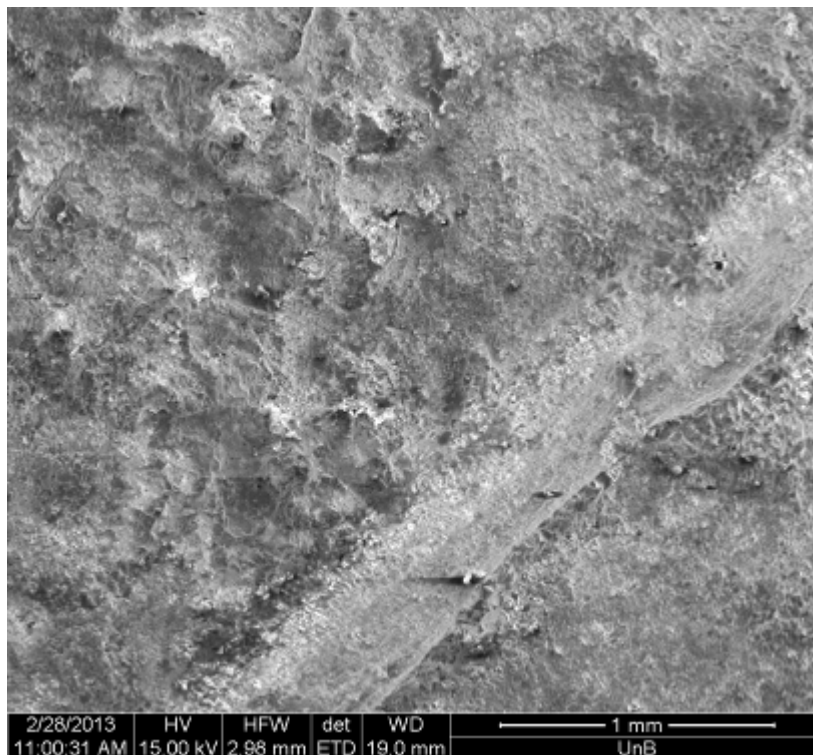
Fonte: Autor, 2013.

#### 7.4 Microscópio eletrônico de varredura (Mev)

O Mev foi mais uma ferramenta utilizada na pesquisa com o objetivo de melhorar a qualidade dos resultados finais, através de fotomicrografia. O equipamento utilizado foi MEV *Geochronos* (Instituto de Geociências – UNB).

Amostras de folhas e conchas foram fotografadas com o intuito de se encontrar algum vestígio orgânico e assim identificar suas estruturas originais para em seguida classificá-los e depois de identificado o vegetal e/ou o gastrópode teríamos mais uma ferramenta de datação. Infelizmente todas as amostras visualizadas no equipamento já apresentavam substituição completa de suas estruturas por carbonato de cálcio, no caso, minerais de calcita. As figuras a seguir mostram essa total substituição por carbonato sendo possível visualizar diferentes texturas de reprecipitação nos cristais de calcita (Figura 35 e 36).

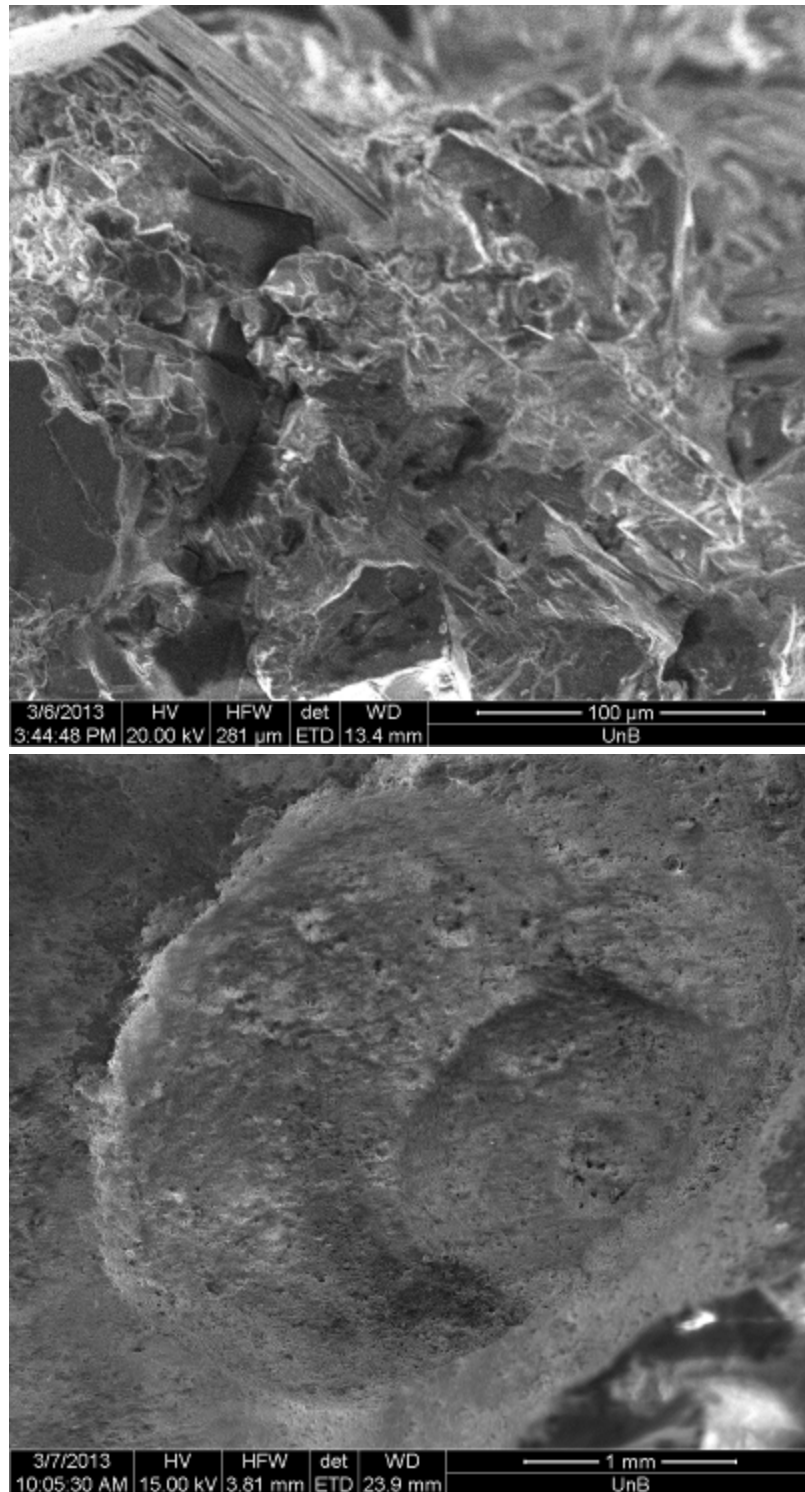
Figura 35 – Molde de folha, foto tirada no MEV.



Fonte: Autor, 2013.

A foto mostra textura irregular de precipitação de calcita e o vazão de xilema ou lenho por onde é conduzida a seiva.

Figura 36 – Textura em fibras no cristal de calcita e molde de gastrópode.



Fonte: Autor, 2013.



## 8 CONCLUSÕES

Para a realização da pesquisa aqui apresentada desenvolveu-se uma metodologia semelhante às utilizadas por diversos autores do Brasil e do mundo que estudaram ocorrências de depósitos de tufas. Os depósitos de tufas de Felipe Guerra como já mencionados, estão agrupados de duas maneiras: as tufas antigas e as recém-formadas e/ou em formação.

Considerando a distribuição estratigráfica da Bacia Potiguar, as tufas calcárias ocorrem no topo da bacia, e especialmente em Felipe Guerra os depósitos estudados foram precipitados sobre os arenitos da Formação Açú. A própria dinâmica estrutural da Bacia Potiguar, os sistemas de horst e grábens, favoreceram a dissolução da Formação Jadaíra e sua posterior deposição sobre a Formação Açú.

A caracterização petrográfica nos permitiu identificar três tipos de deposição diferentes entre as tufas. São elas dos tipos Micríticas, Intraclásticas e Fitoclásticas. Os tipos micríticas foram encontradas nos depósitos de formação recente e que ainda passam por processo de formação. Os outros dois tipos intraclásticas e fitoclásticas correspondem aos depósitos mais antigos.

O desenvolvimento de cavernas nesse material tufáceo está associado aos grandes falhamentos e/ou a reativações dos mesmos. Foram mapeadas três cavernas em tufas e as mesmas estão entalhadas no depósito de maior extensão que ocorre na vertente do rio Apodi-Mossoró. As cavernas se desenvolveram em uma região de encontro de falha com direção N – S e NE – SW.

Os dados obtidos através da difratometria e fluorescência de raios-x mostraram que a composição mineral predominante dos depósitos de tufas é o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sob a forma de cristais de calcita. Todas as seis amostras analisadas por fluorescência de raio-x apresentaram teores de sílica, fosfato e ferro, relacionados a presença de matéria orgânica na composição das tufas.

Amostras de tufas também foram enviadas para análises geoquímicas e os resultados foram condizentes aos resultados de raio-x, o elemento que apresentou maior teor nessas análises é o óxido de cálcio proveniente da dissolução do calcário

calcítico. Nessa análise é observado um leve enriquecimento no elemento estrôncio. Esse enriquecimento pode estar associado à presença de cristais de aragonita na formação da tufa. A estrutura cristalina da aragonita não permite a captura do íon de Mg mas permite que o íon de estrôncio entre em sua estrutura.

Os dados isotópicos apresentaram um intervalo de variação bem acentuado em relação aos valores de  $^{13}\text{C}$  o que indica que as tufas estudadas foram formadas em condições estáveis. As amostras que apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  próximos a  $-10\text{‰}$  indicam que a precipitação da calcita aconteceu na presença de atividade orgânica. O gráfico de dispersão dos valores isotópicos de O/C mostraram que as tufas de Felipe Guerra apresentam dois agrupamentos de dispersão o que demonstra existir mais de um evento de formação dos depósitos.

Os resultados de  $^{14}\text{C}$  confirmam que temos no mínimo, três eventos de deposição de tufas. As idades contempladas pelo método revelam depósitos de idades Holocênicas para os depósitos mais recentes e Pleistocênicas para os depósitos mais antigos. Correlacionando os dados isotópicos com os dados radiogênicos e ao mesmo tempo fazendo comparativos com resultados de trabalhos que envolvem paleoclimas, podemos perceber que a formação das tufas de Felipe guerra, estão associados a períodos em que houve condições climáticas que favoreceram um elevado aumento nas taxas de precipitação pluviométrica.

Ainda sobre os resultados de  $^{14}\text{C}$  podemos afirmar que as cavernas desenvolvidas em tufas apresentam idades superiores a 40.000 anos.

Outra observação importante está relacionada às formações recentes de tufas, elas ocorrem bem lentamente, apenas quando há períodos chuvosos mais intensos. A deposição ocorre na fase final desse período, pois na fase de maior volume de águas no sistema hidrológico acontece um processo intenso de erosão dos depósitos de tufas. Nos pontos mapeados onde ocorrem as tufas, só foi visto processo de formação nas cachoeiras: Roncador (TUF 10) e Caripina (TUF09).

Ao finalizar a pesquisa podemos afirmar que os resultados foram satisfatórios diante da proposta apresentada. Algumas lacunas ainda ficaram em aberto como, por exemplo, as amostras de tufas que não foram possíveis datar por  $^{14}\text{C}$ . Uma análise

estrutural mais detalhada na região estudada faz-se necessário, pois os depósitos mapeados encontram-se depositados sobre a Formação Açu e não em contato direto com os calcários da Formação Jandaíra o que sugere que há uma discordância que pode ser erosiva ou por falhamentos. A identificação dos vegetais e moluscos preservados nas tufas também trará informações mais concretas sobre as condições paleoclimáticas nas quais eles viveram. Aqui apenas identificamos que os moluscos são de ambiente aquático e terrestre, diferente dos moluscos estudados por Utida (2009) que são todos de ambiente aquático.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; *et al.* Províncias estruturais brasileiras. 1977. *In*: SBG, Simpósio Brasileiro de Geologia do Nordeste, 2, Campina Grande, **Anais**. 2006. p.242-258.
- ALMEIDA, F. M.; HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. (Eds.). Edgard Blucher, São Paulo, 1984. p. 378.
- ALMEIDA, F. F. M. Geologia do Sudoeste Mato-Grossense. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM**, v.116, p.1-118, 1945.
- ALMEIDA, F. F. M. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil. **Boletim de Geologia e Mineralogia, DNPM**, v.219. 1965. p 1-96.
- ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil – PGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006, 1 mapa colorido.
- ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. Rio de Janeiro, RJ, v. 8, n.1, 1994. p.127-141.
- ARZ, H. W.; PATZOLD J.; Wefer, G. Correlated Millennial-Scale Changes in Surface Hydrography and Terrigenous Sediment Yield Inferred from Last-Glacial Marine Deposits off Northeastern Brazil. **Quaternary Research** 50. 1998. p 157–166.
- AULER, A. S. *et al.*. Quaternary ecological and geomorphic changes associated with rainfall events in presently semi-arid northeastern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v. 19, 2004. p. 693–701.
- AULER, A. S. **Karst Evolution and Paleoclimate of Eastern Brazil**. 268 f. 1999. Tese de Doutorado - School of Geographical Sciences, University of Bristol, Bristol. 1999.
- BERTANI, R. T.; ARARIPE, P. T.; BELTRAMI, C. V. **Evolução tectono-sedimentar das bacias sedimentares do Ceará e Potiguar**. UFPE, v. 1, 1985. p. 34-35 (Série D: textos didáticos).
- BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R. M. D. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e “habitat” do petróleo na Bacia Potiguar. *In*: G.P.R. GABAGLIA & E.J. Milani (eds.) Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. **Petróleo Brasileiro S.A**, 1991. 2 Ed, Rio de Janeiro, p. 291-310.

- BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R. M. D. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. *In: GABAGLIA,, G. P. R; MILANI, E. J. (eds). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobras, 1990. p. 291-310.*
- BEURLEN, KARL. **Geologia da Região de Mossoró**. Rio de Janeiro: Editora Pongeti, 1967. p.168. (Coleção Mossoroense, 18).
- BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in Northeastern Brasil. **Geology**. v.28. 2000. p 591-594.
- BOGGIANI, P. C.; KARMANN, I. Characterization of quaternary tufas in the Serra do Andre´ Lopes karst, southeastern Brazil. **Carbonates Evaporites**, 27, 2012. p.357–373.
- BOGGIANI, P. C.; COIMBRA, A. M. Quaternary limestone of Pantanal area, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.67, n.3, p.343-349, 1995.
- BRANCACCIO, L. *et al.*. Caratteri Tessiturali e Geochimici dei Travertini di Rocchetta a Volturno (Molse). **Bollettino della Societa Geologica Italiana**, v.105, p.265-277, 1986.
- BUCCINO, G. *et al.*. I Travertini della bassa valle del Tanagro (Campania). Studio Geomorphologico, Sedimentologico e Geochimico. **Bollettino della Societa Geologica Italiana**, v.97, p.617–646, 1978.
- CALDAS, L. H. *et al.* Os beachrocks no litoral do Rio Grande do Norte: potencial como marcadores neotectônicos. *In: SBG/NE, Simp. Geol. Nordeste, XVII, Fortaleza-CE, Atas, 1997. p.369-374.*
- CALDAS, L. H. O. **Estudo Geológico e Geofísico da Falha de Carnaubais, Bacia Potiguar – RN, e Implicações Neotectônicas**. 1998. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Dissertação de Mestrado, 89p.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. An environmental model of fluvial tufas in the monsoonal tropics, Barkly karst, northern Australia. **Geomorphology**, v.73, p.78-100, 2006.
- CÓRDOBA, V. C. **A Evolução da Plataforma Carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar: Análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Tese Doutorado, 239 p. 2001.
- CORRÊA, D.; AULER, A. S. Caracterização, cronologia e gênese das tufas da Serra das Araras, Mato Grosso. *In: I SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. Anais*. Campo Grande-MS: Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2006. p.165-174.

CORRÊA, D. *et al.* **Geomorphology and genesis of the remarkable Araras Ridge tufa deposit, Western Brazil** *Geomorphology* 134, p. 94–101, 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Diagnóstico do município de Felipe Guerra**. Rio Grande do Norte. p. 1-11. 2005.

CREMONINI, O. A.; GOULART, J. P. M.; SOARES, U. M. O rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 4, 1996, Rio Claro, **Boletim..Rio Claro**: UNESP, 1996, p. 89-93.

CREMONINI, O. A., KARNER, G. D. Soerguimento termal e erosão na Bacia Potiguar submersa e seu relacionamento com a evolução da margem equatorial brasileira. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 16, 1995, Recife. **Boletim...** Recife: SBG/NE, vol. 14. 1995. p 181-184.

CRISTALLI, P. S. *et al.* Tafonomia de folhas fósseis e características deposicionais de tufos calcários quaternários de Campo Formoso, Bahia, Brasil. *In: CARVALHO, I. S.; CASSAB, R. C. T.; SCHWANKE, C.; CARVALHO, M. A.; FERNANDES, A. C. S.; RODRIGUES, M. A. C.; CARVALHO, M. S. S.; ARAI, M.; OLIVEIRA, M. E. Q. (Ed.). **Paleontologia: Cenários da Vida**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2007, v.2, p.251-260. (Seção 3).*

CRISTALLI, P. S. **Macrofitofósseis em tufos calcários quaternários do norte da Bahia como indicadores paleoclimáticos**. 2006. 195p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo São Paulo, 2006.

CRUZ, F.W., Jr.; *et al.* Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. **Geochimica and Cosmochimica Acta**, 71. 2007. p 2250-2263.

CURRIE, L. A. The Remarkable Metrological History of Radiocarbon Dating [II]. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v.109, p.185-217. 2004.

DANTAS, E. P. **Gravimetria e sensoriamento remoto: Uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 97p. 1998.

DAVIS, C. A. A contribution to the natural history of marl. **Journal of Geology**, v.8, 1900. p.485-497.

DUARTE, L.; NOGUEIRA, M. I. M. Vegetais do Quaternário do Brasil III: Flórua do Morro do Chapéu – BA. *In: DNPM. **Coletânea de Trabalhos Paleontológicos do 8º Congresso Brasileiro de Paleontologia***. 1989.

DUARTE, L. Vegetais do Quaternário do Brasil. V – Flórua de Olho D'Água da Boa Vista e de Olho D'Água do Abreu, RN. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Paleontologia**, vol. 1. 1989. p.733-745.

DUARTE, L.; VASCONCELOS, M.E.C. Vegetais do Quaternário do Brasil. I – Flórua de Russas, CE. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 52(1). 1980a. p 37-48.

DUARTE, L.; JAPIASSÚ, A. M. S. Vegetais Meso e Cenozóicos do Brasil **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 43(1). 1971. p 433-443.

DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of Carbonate Rocks: **American Association of Petroleum Geologists, Memoir**, v.1, p.108–121, 1962.

FARIAS, R. F. **A química do tempo: carbono 14**. QNESC, v.16, 6-8, Novembro, 2002.

FERREIRA, J. M.; *et al.* **Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from local mechanisms around the Potiguar marginal basin**. Geophys, J. Int., 134. 1998. p 341-335.

FONSECA, V. P. **Estudos morfo-neotectonicos no baixo curso do Rio Açu (Açu - Macau, RN)**. 1996. Dissertação de Mestrado, UFMG.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst Geomorphology and Hidrology**. Londres: Unwin Hyman, 1989. p .601.

FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. **A review of tufa and travertine deposits of the world**. Earth-Science Reviews, v.41, n.3, p.117-175, 1996.

FORTES, E.; STEVAUX, J. C.; VOLKMER, S. Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology** (Amsterdam), Amsterdam, v. 70. 2005. p 325-338.

FORTES, F. P. Utilização combinada de fotogeologia com magnetometria e sísmica, na prospecção de petróleo na Bacia Potiguar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. p.2407-2411.

FRANÇOLIN, J. B. L.; SZATIMARI, P. Mecanismos de Riftingamento da Porção Oriental da Margem Norte Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, 17, 1987. p.196-207.

FUJIMORI, S.; FERREIRA, Y. A. **Introdução ao uso do microscópio petrográfico**. 1987. UFBA, Salvador, 202 p.

GEYH, M. A.; BENZER, J. H.; RHODESCHMAN, G. **Problem of dating Pleistocene and Holocene soils by radiometric methods**. *In*: D. H. Yaalon (ed.) Paleopedology:

origin, nature and dating of paleosoils. Jerusalem, International Soc. Soil Science and Israel University Press, 1977. p 63-75.

GOMES, J.R.C. *et al.*. Geologia e Mapeamento regional. *In*: Brasil. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro, 1981. (Levantamento de recursos naturais, 23), 1981. P.27- 176.

GONTIJO-PASCUTTI, A. H. F.; *et al.* Brittle Reactivation of Mylonitic Fabric and the Origin of the Cenozoic Rio Santana Graben, Southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, 2010. p. 522-536.

HACKSPACHER *et al.* 1985. *In*: DANTAS, E. P. **Gravimetria e Sensoriamento Remoto: uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte**. f. 97. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). CCET, UFRN. Natal, 1998.

HEATON, T. J.; BLACKWELL, P. G.; BUCK, C.E. A Bayesian approach to the estimation of radiocarbon calibration curves: the IntCal09 methodology. **Radiocarbon** 51(4). 2009. p 1151–64.

HEIMANN, A.; SASS, E. Travertines in the northern Hula Valey, Israel. **Sedimentology**, v. 36, 1989. p. 95-108.

HENNIG, G. J.; GRUN, R.; BRUNNACKER, K.. Speleothems, travertines and paleoclimates. **Quaternary**. Research, 20, 1983. p.1-29.

HERMAN, J. S.; LORAH, M. M. CO<sub>2</sub> outgassing and calcite precipitation in fallingspring creek, Virginia, U.S.A. **Chemical Geology**. 62, 1987. p.251-262.

HILL, C. A.; FORTI, P. Cave minerals of the world. **National Speleological Society**, 1997. p.463.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. **Perfil do seu município**. Rio Grande do Norte. p. 1-22. 2008.

IRION, G.; MÜLLER, G. Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwabische Alb, Germany. Carbonate Sedimentology in Central Europe: New York, **Springer-Verlag**, p.157–171, 1968.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo**. 2010.

JESUS, T.E.S. **Mapeamento de rochas carbonáticas da borda oeste da Bacia Potiguar e imageamento digital de paleocavernas colapsadas**. 2010. 57 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.



KREIDLER, W.L.; ANDERY P.A. Mapa Geológico da área sedimentar costeira do estado do Rio Grande do Norte e parte do Ceará. Rio de Janeiro, **Conselho Nacional do Petróleo**. 1949. p. 86-90. Inédito.

KRETZ, R. **Symbols for rock-forming minerals**. American Mineralogist, Canada, v. 68, 1983. p.277-279.

LARUE, J. P. Tectonic influences on the Quaternary drainage evolution on the north-western margin of the French Central Massif: The Creuse valley example. **Geomorphology**, V.93. 2008.

LIMA, C. C.; NASCIMENTO, E.; ASSUMPÇÃO, M. **Stress orientations in Brazilian sedimentary basins from breakout analysis – implications for force models in the South America plate**. Geophys, J. Inte., 130. 1997. p 112-124.

LORAH, M. M.; HERMAN, J. S. The chemical evolution of a travertine-depositing stream: geochemical processes and mass transfer reactions. **Water Resources Researches**, 24. 1988. p. 1541-1552

MACKENZIE, W. S; GUILFORD, C. **Atlas of sedimentary rocks under the microscope**. 1984. Longman, 98 p.

MAGNIN, F. *et al.*. Les travertins; accumulatiois carbonatées associes aux systems karstiques, sequences sedimentaires et paleoenvironments quaternaires. **Bulletin de la Société Geologique de France**, 162, 1991. p.585-594.

MAIA, R. P. **Geomorfologia e Neotectônica no Vale do Rio Apodi-Mossoró, RN**. 2012. 158 f. Tese ( em Geodinamica e Geofísica) – Centro de Ciencias Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R. Neotectônica, geomorfologia e ambientes fluvias: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Caderno Especial. 2012. p 12-3.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F.H . Neotectônica, Geomorfologia e Sistemas Fluviais: Uma análise preliminar do contexto Nordeste. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12.3. 2011. p 32-4-42.

MATOS, R.M.D. **Tectonic evolution of the equatorial South Atlantic**. In: Mohriak, W.U.; Talwani, M. (eds.). Atlantic rifts and continental margins, AGU Geophysical Monograph. 115. 2000. p 331-354.

MATOS, R. M. D. The northeast brazilian rift sistem. **Tectonics**, n. 11, 1992. p. 766-791.

- MATOS, R. M. D. Sistema de riftes cretáceos do NE brasileiro: In Seminário de Tectônica da PETROBRÁS, 1. Rio de Janeiro. **Atas**, 1987. p.125-159.
- MAYER, E. Estratificação preliminar na Plataforma Continental da Bacia Potiguar, Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro, **PETROBRÁS**. Relatório Interno. 1974.
- MCCORMAC, F. G.; *et al.* SHCal04 Southern Hemisphere Calibration 0-11.0 cal Kyr BP. **Radiocarbon**, v. 46, n. 3. 2004. p 1087-1092.
- MELLO, C. L.; *et al.* Quaternary Sedimentation, Neotectonics and the Evolution of Doce River Middle Valley Lake System (Southeastern Brazil). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 20, n. 1-2. 1999. p 29-36.
- MENDES, L. D.; FERNANDES, N. F.; GONTIJO-PASCUTTI, A. H. F. Morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Bonito, Petrópolis, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8. 2007. p 63-77.
- MIZUSAKI, A. M. O. A Formação Macau, Bacia Potiguar. Rio de Janeiro, **PETROBRAS**, Rel. interno. 1987.
- MOEYERSONS, J.; NYSSSEN, J.; POESEN, J.; DECKERS, J.; HAILE, M. Age and backfill/overflow stratigraphy of two tufa dams, Tigray Highlands, Ethiopia: Evidence for Late Pleistocene and Holocene wet conditions. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.230, p.165-181, 2006.
- MOURA-LIMA, E.N. **Liquefação em sedimentos aluvionares no Rio Açu – RN**. 2007. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica UFRN, Natal, RN.
- NASCIMENTO JUNIOR, D. R. **Evolução sedimentar holocênica do delta do rio tubarão, estado de Santa Catarina**. 2010. 231 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2010.
- NEVES, C. A. O. **Análise regional do trinômio geração-migração-acumulação de hidrocarbonetos na seqüência continental Eocretácea da Bacia Potiguar emersa, NE do Brasil**. 1987. 75 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 1987.
- NOGUEIRA, F.C.; BEZERRA, F. H. R.; FUCK, R. A. Quaternary fault kinematics and chronology in intraplate northeastern Brazil. **Journal of Geodynamics**, v. 49. 2010. p 79-91.
- OLIVEIRA, D. C. Evolução magmática da Bacia Potiguar. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Minas Gerais. SBG, **Anais**, 1998. p. 102.

OLIVEIRA, D. C., MATOS, R. D., SOARES, U. M. Contribuição ao estudo de estruturas rasas na Bacia Potiguar: análise estrutural do afloramento Afonso Bezerra (RN) e adjacências. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4, 1993, Belo Horizonte. **Anais**..Belo Horizonte: SBG, 1993. vol. 12, p. 306-311.

OLIVEIRA, D. C. **O papel do enxame de diques Rio Ceará–Mirim na evolução tectônica do Nordeste Oriental (Brasil): implicações na formação do Rife Potiguar**. 1992. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional), Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 1992.

OLIVEIRA, E. C. **Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, SP, 2009.

OLIVEIRA, E. C. *et al.* A Formação Xaraiés e as Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 44, 2008b, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Sociedade Brasileira da Geologia, 2008b, p.991.

OLIVEIRA, L. D. D. **Estudo petrográfico e paleontológico de travertinos na região de Jandaíra, RN**. Atas x Simp. Geologia, NE, Recife. 1981. p. 268-279.

OLIVEIRA, P. E. De.; *et al.* **Late Pleistocene=Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152. 1999. p 319–337.

ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ MARTIN, J. A.; GARCIA DEL CURA, M. A.; PEDLEY, H. M. Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area: The Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain). **Geomorphology**, v.69, 2005. p.332-350.

ORDOÑEZ, S.; GONZALES-MARTIN, J.A.; GARCIA DEL CURA, M.A. **Sedimentación carbonática actual y paractual en las Lagunas de Ruidera**. *Rev. Mat. Proc. Geol. Univ. Complutense, Facultad Ciencias Geológicas*, 4, 1986. p. 229-255.

ORDÓÑEZ, S.; GARCIA DEL CURA, M. A. Recent and Tertiary fluvial carbonates in central Spain. *In*: COLLINSON, J. D.; LEWIN, J. **Ancient and Modern Fluvial Systems**. v. 6, 1983. p.485-497.

PAZDUR, A. *et al.* Stable isotopes of Holocene Calcareous tufa in southern Poland as paleoclimatic indicators. **Quaternary Research**, 30, 1988. p.177-189.

PEDLEY, H. M. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. **Sedimentary Geology**, v.68, p.143-154, 1990.

PEDLEY, S. *et al.*. Molecular characterization of rotaviruses with distinct group antigens. **Journal of General Virology**, 64, 1983. p.2093-2101.

PESSOA NETO, O. D. *et al.*. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociência da Petrobras**, vol. 15. 2007. p.357-369.

PETRI, S. *et al.*. Microfósseis em tufo em calcários referentes ao último glacial provenientes do município de Campo Formoso, norte da Bahia, Brasil. *In*: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2003, Brasília. **Boletim de Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia**. 2003.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Stepped surfaces and Paleolandforms in the Northern Brazilian <Nordeste>: Constraints on models of morfotectonic evolution. **Geomorphology**. v. 3. 2003. p. 89-122.

PORTO, V. B.; MAJOR, I. Novo registro de folhas plaistocênicas na Bacia Potiguar. *In*: 18º Congresso Brasileiro de Paleontologia. **Boletim de Resumos**. 2003.

PROASNE – Projeto água subterrânea do nordeste do Brasil. **Modelamento matemático da área de recarga do aquífero Açú**. Rio Grande do Norte. 2006. <<http://proasne.net/acufinalreport.html>> (Acessado em 25/05/2013).

REYES, Y. A.; BEZERRA, F. H. R.; LIMA FILHO, F. P. Falhas de gravidade em tufo calcários na Bacia Potiguar, NE do Brasil. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 9., 2003, Búzios. **Boletim de resumos**. Búzios: SBG, 2003. p. 276-279.

REYES PEREZ, Y. A. **Caracterização da Geometria de Depósitos Sedimentares na Borda Sudoeste da Bacia Potiguar**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2003.

RIBEIRO, F. B. *et al.*. Uranium and thorium series disequilibrium in quaternary carbonate deposits from the Serra da Bodoquena and Pantanal do Miranda, Mato Grosso do Sul State, central Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, v.54, n.1, p.153-73, 2001.

RICCOMINI, C. & M. ASSUMPÇÃO. Quaternary tectonics in Brazil. **Episodes**, 22(3). 1999. p 221-225.

SAADI, A. **Neotectônica da Plataforma Brasileira: Esboço de Intepretação preliminar**. Geonomos, MG. 1(1). 1993. p 1-15.

SALLUN FILHO, W. *et al.*. Paleoclimatic records of quaternary tufa in the Serra do André Lopes karst, southeastern Brazil. *In*: XVIII INQUA Congress; **Quaternary sciences**; 2011. Bern, Switzerland 21-27 July.

SALLUN FILHO, W. **A deposição de tufas quaternárias no estado de Mato Grosso do Sul: proposta de definição da formação Serra da Bodoquena.** Geol. USP. Sér.cient. v.9 n.3 São Paulo out. 2009.

SALLUN FILHO, W. *et al.* Quaternary tufa in the Serra da Bodoquena karst, West-central Brazil: evidence of wet period. *In: International Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions.* IOP Conf. Series: **Earth and Environmental Science 6.** Copenhagen. 2009. Disponível em: < <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/7>> Acesso em: 10/09/2012.

SALLUN FILHO, W. **Geomorfologia e Geoespeleologia do Carste da Serra da Bodoquena, MS.** 2005. 193 f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I.; BOGGIANI, P. C. Paisagens Cársticas da Serra da Bodoquena (MS). *In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, A. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo: Beca Editora, 2004, p.423-434.

SAMPAIO, A.V.; SCHALLER H. Introdução à Estratigrafia da Bacia Potiguar. Rio de Janeiro, **Boletim Técnico PETROBRÁS**, 11(1). 1968. p.19-44.

SANT`ANNA, L. G.; *et al.* The Paleocene travertine system of the Itaborai basin, Southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.18, p.11-25, 2004.

SCHOLL, D. W.; TAFT, W. H. Algae, contributors to the formation of calcareous tufa, Mono Lake. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.34, n.2, p.309-319, 1964.

SCHUM, S. A; DUMONT, J.F; HOLBROOK, J.M. **Actives Tectonics and Alluvial Rivers.** Cambridge University. 2000. p 290.

SILVA, T. P; MELLO, C. L. **Reativações neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (sudeste do Brasil).** Geol. USP, Sér. cient., vol.11, no.1, São Paulo. 2011.

SOUZA, Z. S.; *et al.* Geocronologia e geoquímica do magmatismo cretácico a terciário do NE do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 42. 2004, Araxá. **Resumos.** Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004. 1 CD-ROM.

SOUZA, S. M. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 32, 1982, Salvador. **Anais...**, Salvador: SBG, 1982, v. 5, p. 2392-2406.

STUIVER, M.; REIMER, P.J. Extended <sup>14</sup>C data base and revised calib 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. **Radiocarbon**, v. 35, No. 1, 1993. p 215 - 230.

TIBANA, P.; TERRA, G.J.S. Seqüência carbonáticas do Cretáceo da Bacia Potiguar. Riode Janeiro, **Bol. Técnico PETROBRÁS**, 24(3), 1981. p.174-183.

UTIDA, G. **Fósseis em micritos quaternários da serra da bodoquena, bonito-ms e sua aplicação em estudos paleoambientais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2009.

UTIDA, G.; *et al.* Gastrópodes em tufos calcários quaternários da Serra da Bodoquena, Bonito, MS. *In: Congresso Brasileiro de Paleontologia*, 20, 2007, Búzios, RJ. **Anais**. Búzios, RJ: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2007, p.146-147.

VALADÃO, R. C. **Evolução de Longo - Termo do Relevo do Brasil Oriental (Desnudação, Superfícies de Aplanamento e Soerguimentos Crustais)**. 1998. p 243. Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia, UFBA, Salvador.

WANG, X.; *et al.* **Millennial-scale climate variability recorded in Brazilian speleothems**. Pages News, vol. 6. n 3. 2008. p 31-32.

WANG, X.; *et al.* Interhemispheric anti phasing of rainfall during the last glacial period. **Quaternary Science Rev.**, 24, 2006. p 2015–2029.

WANG, X.; *et al.* **Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies**. Nature, v. 432, 2004. p.740-743.

WEIJERMARS, R.; MULDER-BLANKEN, C. W.; WIEGERS, J. **Growth rate observation from the moss-built Checa travertine terrace central Spain**. **Geol. Mag.**, 123, 1986. p.279-286.

WHITE, W.M. **Geochemistry**. Online text book. Dept. Geo. Sci., Cornell, University, Ithaka, New York, 2001. p 701.

**ANEXO 1 – MAPA PONTOS + IMAGEM DIGITAL**

# ANEXO - 1

## Mapa de Pontos e Imagem Digital

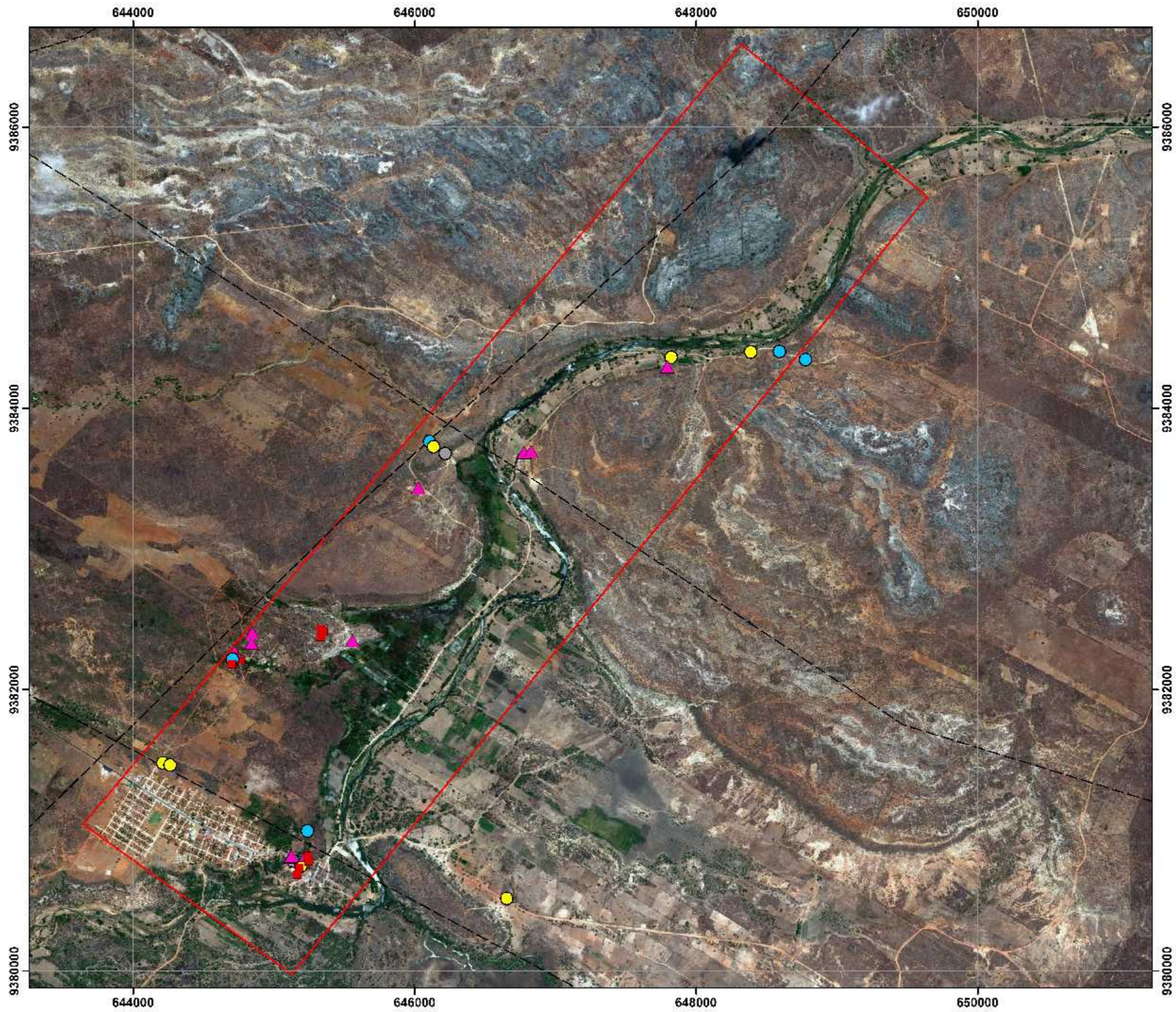
### Legenda

-  Arenito
-  Argilito
-  Calcario
-  Transição
-  Tufa
-  Fraturas CPRM
-  Area Trabalho



DATUM HORIZONTAL :WGS84  
PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA:UTM  
MC=-35°; ZONA: 24 - SUL

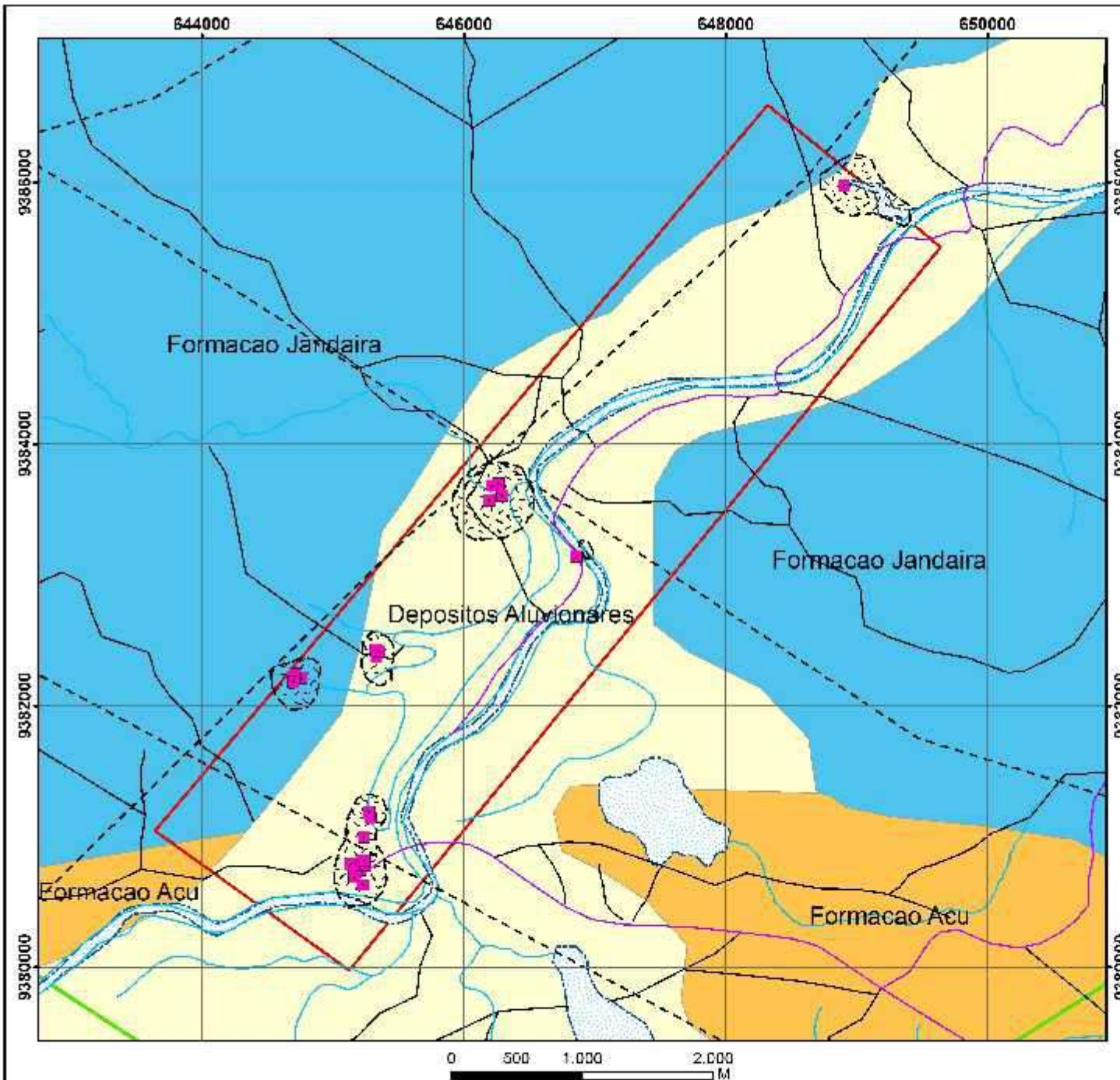
Parte Integrante Dissertação Mestrado  
"TUFAS CALCÁRIAS: CARACTERIZAÇÃO,  
CLASSIFICAÇÃO E GÊNESE DE CAVERNAS."  
FELIPE GUERRA - RN"  
Autora: Vanusa A. Castelo Barbosa  
DEGEO - UFC





**ANEXO 2 – MAPA GEOLÓGICO MODIFICADO DE ANGELIM *ET AL.* 2006**

**ANEXO - 2**  
**MAPA GEOLÓGICO**  
**MODIFICADO DE**  
**ANGELIM et al. 2006.**



**Legenda**  
**Unid. Estratigráficas**

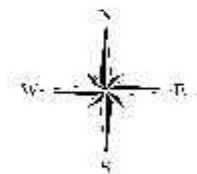
- Depositos Aluviais
- Tufas Calcárias
- Formação Jandaira
- Formação Açu

**Convenções Geológicas**

- Tufas Calcárias
- Fraturas CPRM

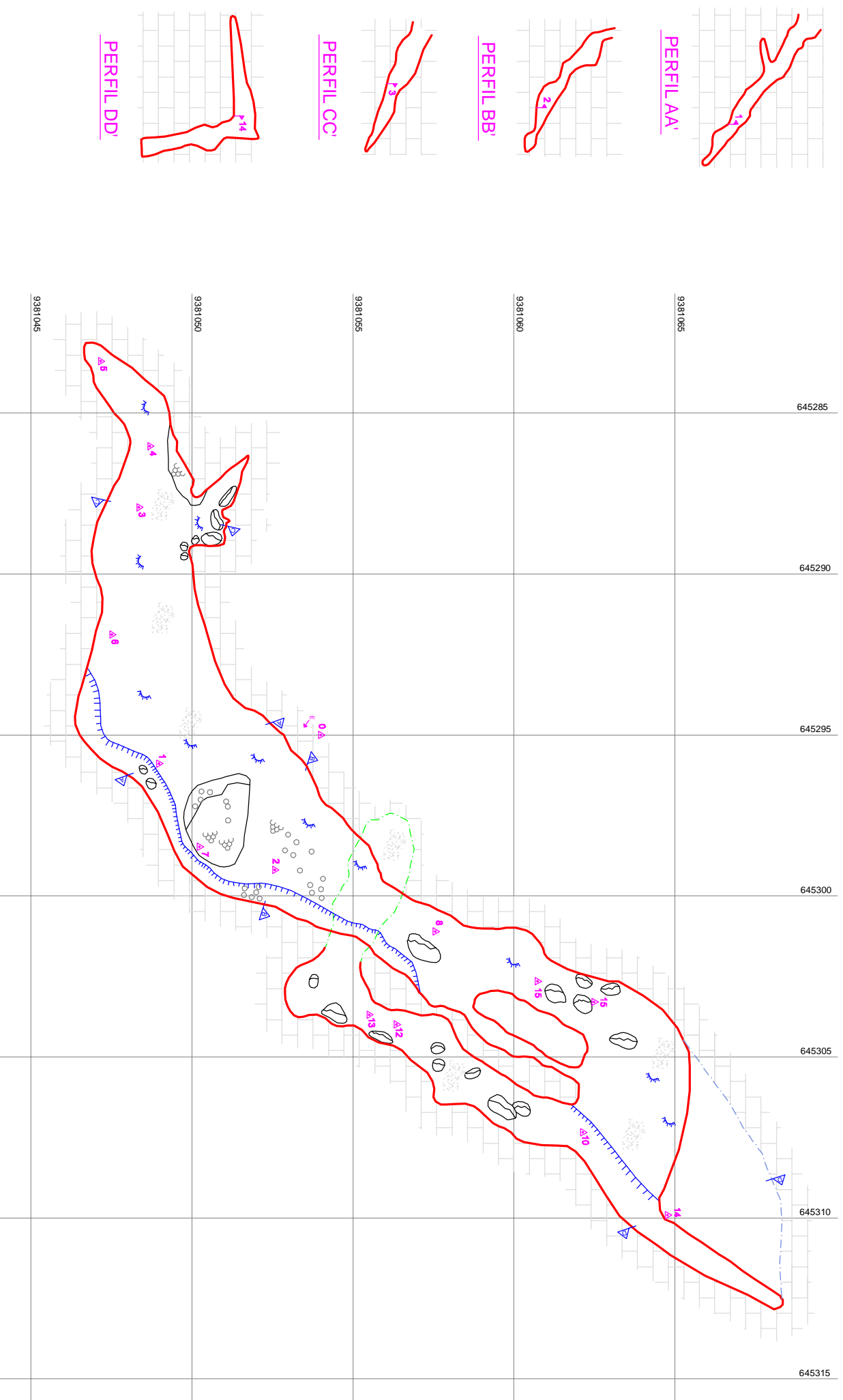
**Convenções Cartográficas**

- Corpos d' água.
- Área Trabalho
- Estradas
- Drenagens



DAIUM HORIZONTAL: WGS84  
 PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA: UTM  
 MC= 39°; ZONA: 24 SUI

**ANEXO 3 – MAPA DA CAVERNA FOLHAS**



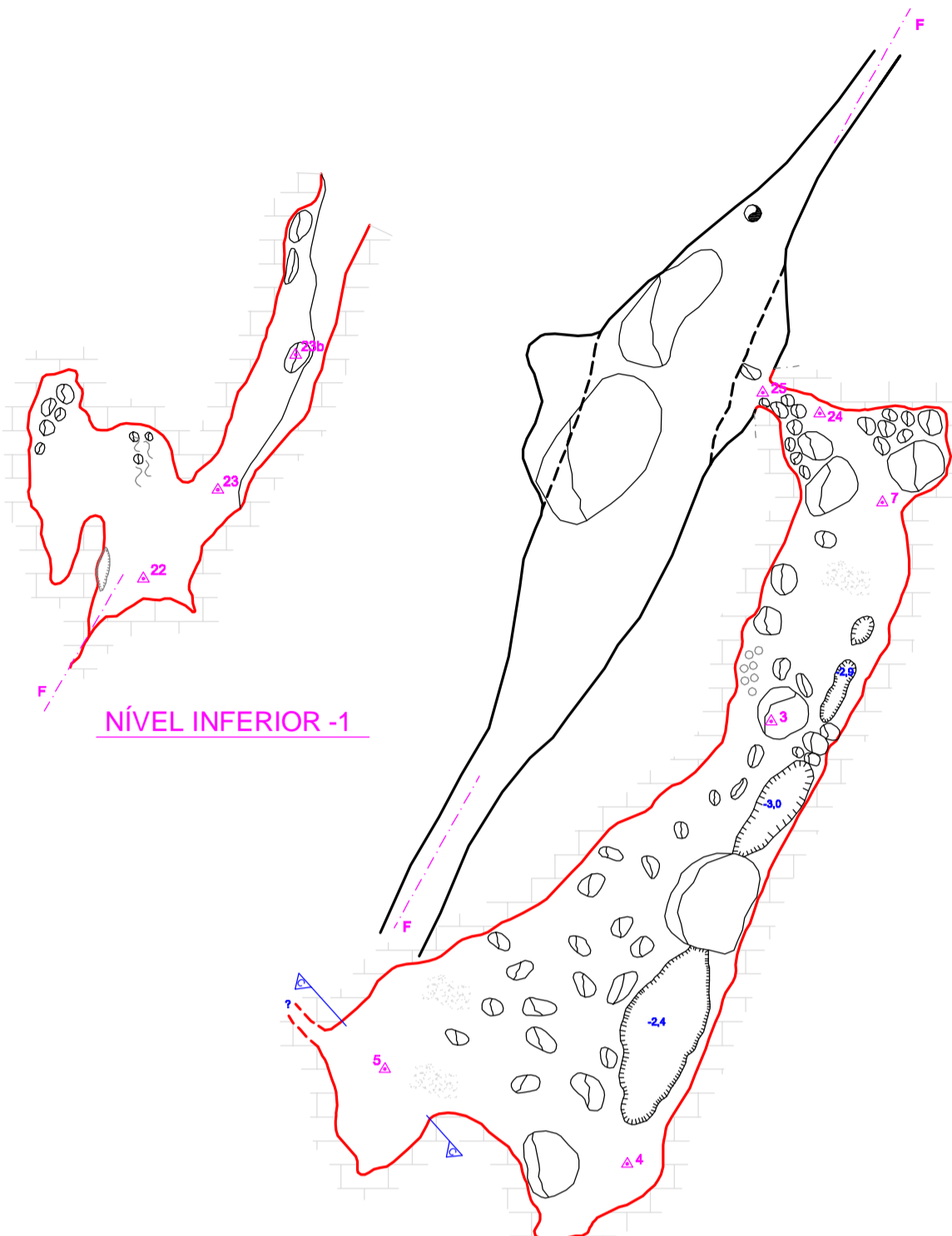
**CONVENÇÕES ESPELEOMÉTRICAS**

- BASE FIXA
- BASE TEMPORÁRIA
- CONTO DO NÍVEL PRINCIPAL (NÍVEL 0)
- NÍVEL INFERIOR
- NÍVEL SUPERIOR
- ESTALACTITE
- ENTRADA DA CAVERNA
- ÁREA
- TRAVESTINO
- BLOCOS SOLTOS
- DENÍVEL AGENTUADO

**ANEXO - 3**

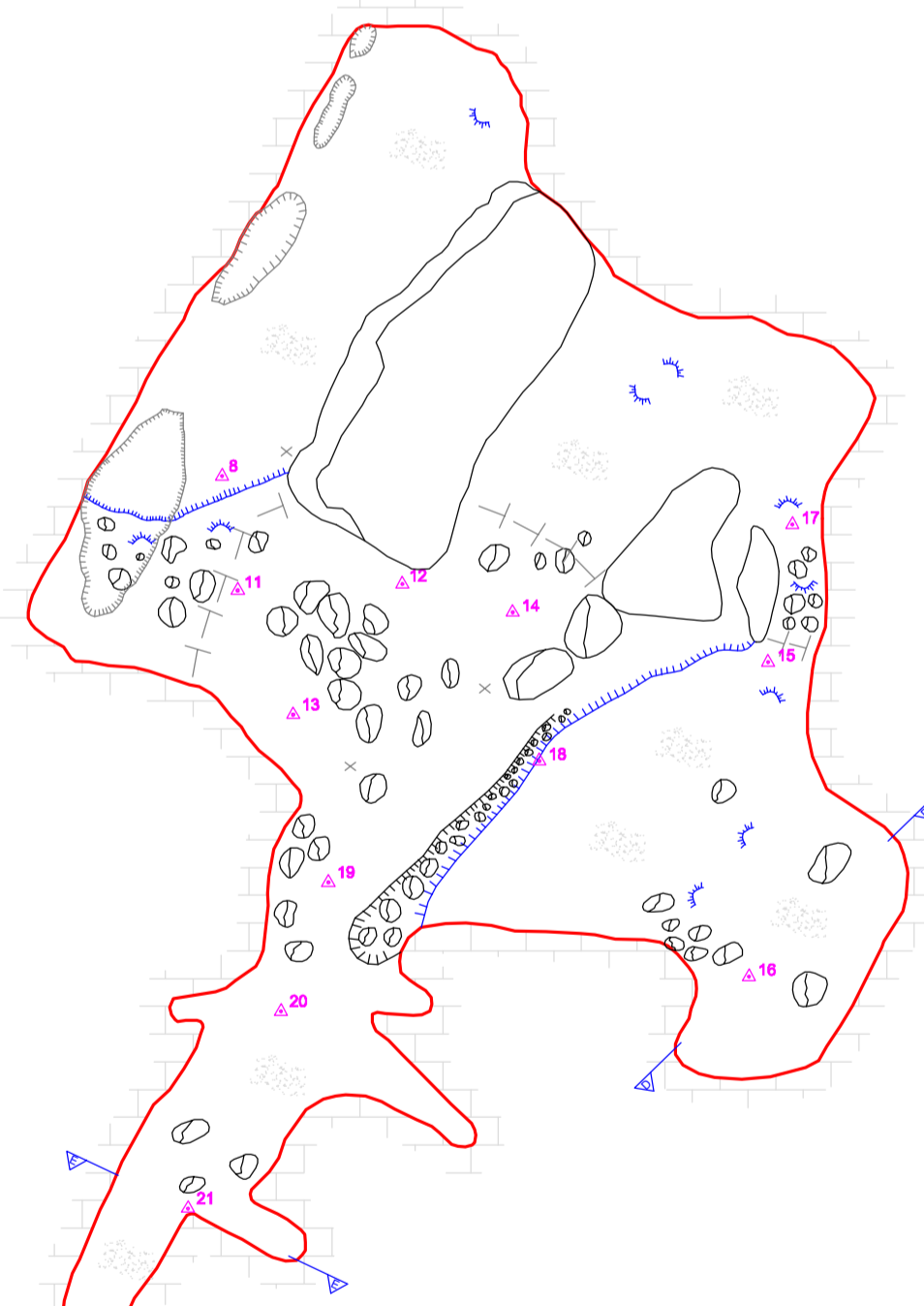
 <b>UFC</b> Laboratório de Geotécnica		<b>PROJETO:</b> <b>ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA</b>	
NOME DA CAVIDADE:	CAVERNA FOLHAS	LOCAL:	MUNICÍPIO/UF:
COORDENADA / ALTITUDE / ESTAÇÃO:	645299E / 9381054N / 71m / 0	CIDADE FELIPE GUERRA	FELIPE GUERRA / RN
METODO DE MAPEAMENTO:	BASE FLUTUANTE COM PÊNDULO	DESENH. / VERT. / PROJ. HORIZ. DA CAVIDADE:	DESNÍVEL TOTAL:
EQUIPE TOPOGRÁFICA:	JEFFERSON LIMA, ANTONIO RAFAEL, CÉSAR VERISSIMO, HARLEM ENCKEL, LUIZ EDUARDO E CÉSAR VERISSIMO	PRECISÃO:	9,0 m
COORDENADOR DO PROJETO:	CÉSAR U. V. VERISSIMO	BCR A - 3C	LITOLÓGIA:
LAYOUT:	JEFFERSON LIMA		TUFAS CALCÁRIAS
DATA DO MAPEAMENTO:	JANEIRO/2010		

**ANEXO 4 – MAPA DA CAVERNA GEILSON**

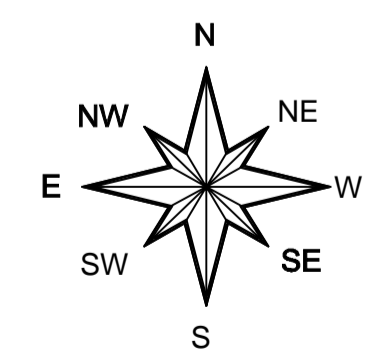


NÍVEL INFERIOR -1

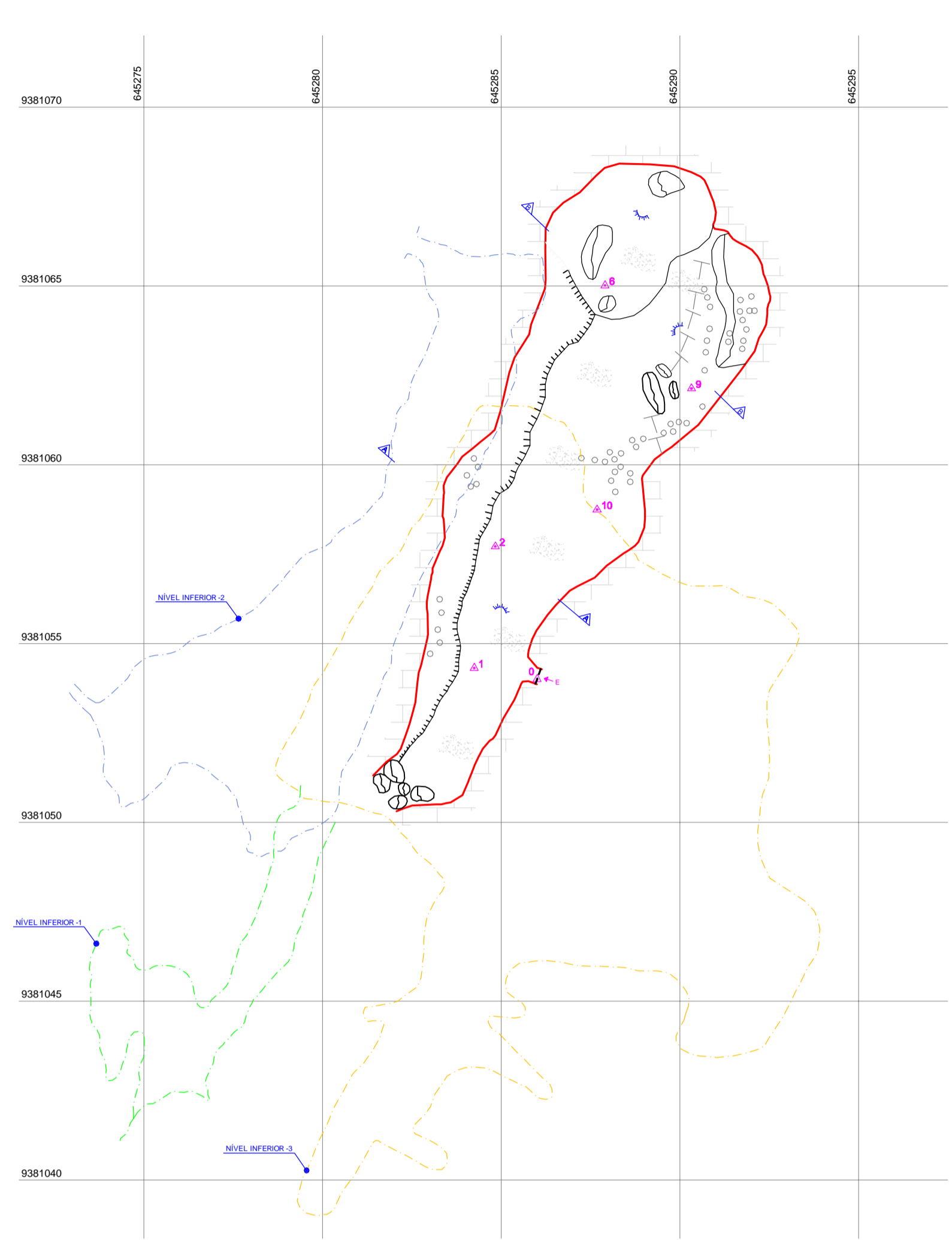
NÍVEL INFERIOR -2



NÍVEL INFERIOR -3



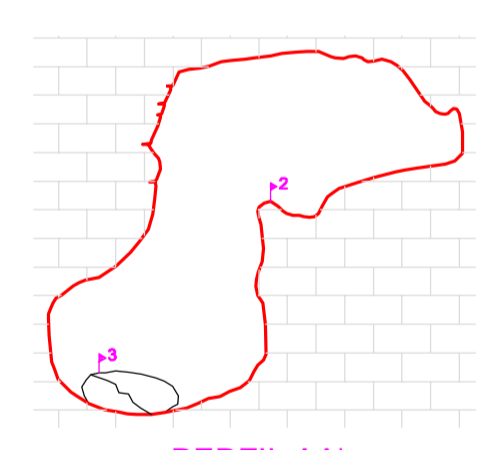
WGS 84 - UTM  
ZONA 24 - MC: -39  
0 1 2 5m  
ESCALA GRÁFICA



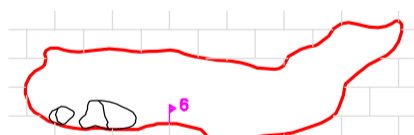
NÍVEL PRINCIPAL

CONVENÇÕES ESPELEOMÉTRICAS

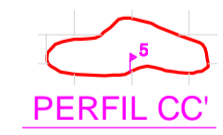
- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1 Δ BASE FIXA  | ENTRADA DA CAVERNA |
| SQ Δ BASE TEMPORÁRIA                                 | AREIA              |
| CONTOURNO DA GALERIA                                 | CLARABOIA          |
| NÍVEL INFERIOR -1                                    | POÇO               |
| NÍVEL INFERIOR -2                                    | TETO BAIXO         |
| NÍVEL INFERIOR -3                                    | COUVE-FLOR         |
| CONTOURNO DA GALERIA NÃO TOPOGRAFADA OU INEXPLORÁVEL | FALHA              |
| CONTOURNO EXTERNO DA CAVERNA                         | CORTINA            |
| BLOCOS SOLTOS  | ESTALACTITE        |
| DESNÍVEL ACENTUADO                                   | CALCÁRIO           |



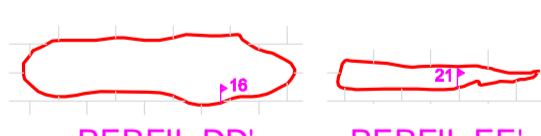
PERFIL AA'



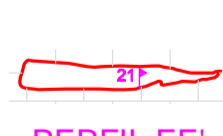
PERFIL BB'



PERFIL CC'



PERFIL DD'

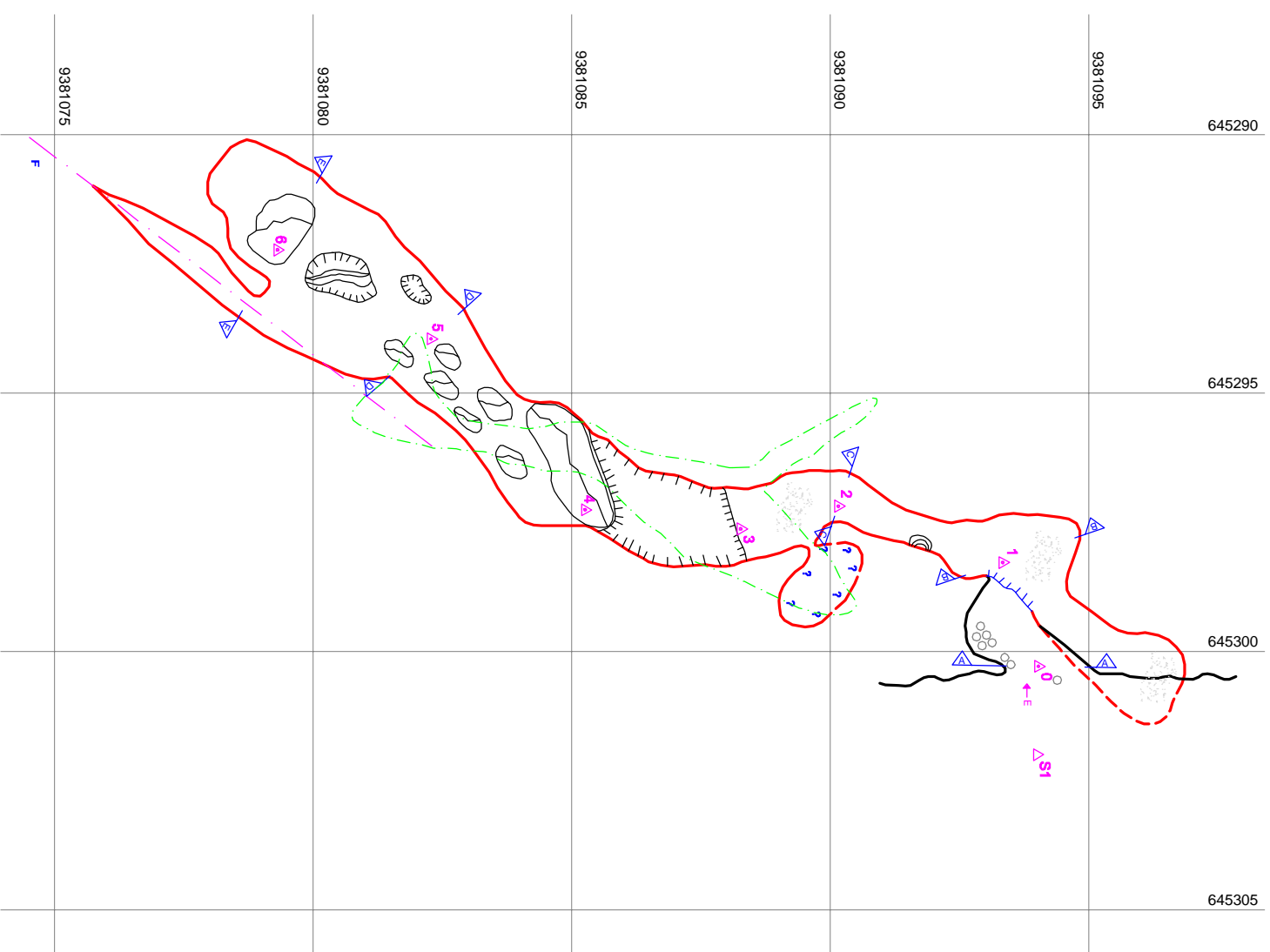
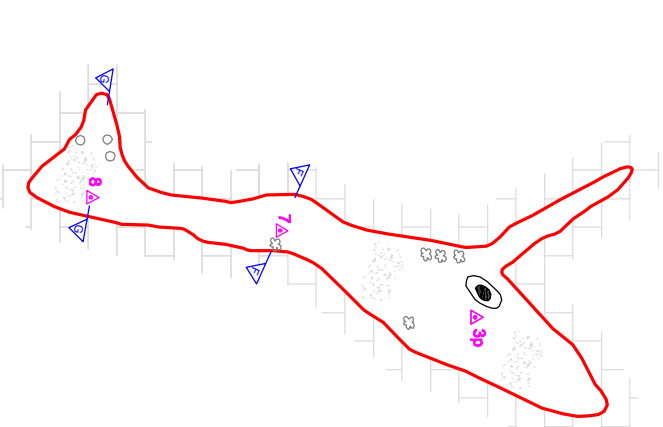
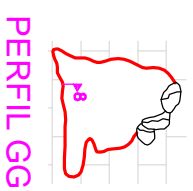
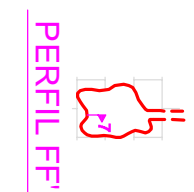
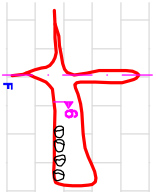
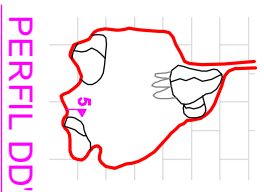
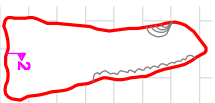
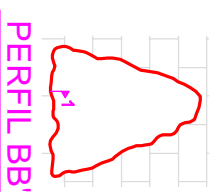
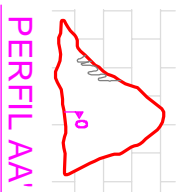


PERFIL EE'

ANEXO - 4

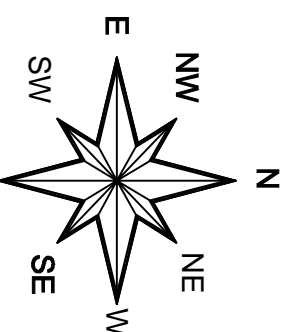
	<b>PROJETO:</b> <b>ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA</b>		
	<b>NOME DA CAVIDADE:</b> CAVERNA GEILSON	<b>LOCAL:</b> CIDADE FELIPE GUERRA	<b>MUNICÍPIO / UF:</b> FELIPE GUERRA / RN
	<b>COORDENADA / ALTITUDE / ESTAÇÃO:</b> 645.286E, 9.381.054N / 71m / 0	<b>DESENV. VERT. / PROJ. HORIZ. DA CAVIDADE:</b> 132,3 m -DESCONTINUIDADE / 148,7 m	<b>DESNÍVEL TOTAL:</b> 9,1 m
	<b>MÉTODO DE MAPEAMENTO:</b> BASE FLUTUANTE COM PÊNDULO	<b>PRECISÃO:</b> BCRA - 3C	<b>LITOLOGIA:</b> TUFAS CALCÁRIAS
	<b>EQUIPE TOPOGRÁFICA:</b> JEFFERSON LIMA, ANTÔNIO RAFAEL, CÉSAR VERISSIMO, HARLEM ENCKEL E LUIZ EDUARDO		
	<b>COORDENADOR DO PROJETO:</b> CÉSAR U. V. VERISSIMO	<b>LAYOUT:</b> JEFFERSON LIMA	<b>DATA DO MAPEAMENTO:</b> JANEIRO/2010

**ANEXO 5 – MAPA DA CAVERNA MARIBONDO**



### CONVENÇÕES ESPELEOMÉTRICAS

- |  |   |  |                        |
|--|---|--|------------------------|
|  | BASE FIXA   |  | ENTRADA DA CAVERNA     |
|  | BASE TEMPORÁRIA                                     |  | AREIA                  |
|  | CONTORNO DO NÍVEL PRINCIPAL (NÍVEL 0)               |  | COUVE-FLORES           |
|  | NÍVEL INFERIOR                                      |  | FALHA                  |
|  | CONTORNO DA GALERIA NÃO TOPOGRÁFICA OU INEXPLORAVEL |  | ESCORRIMENTO CALCÍFICO |
|  | CONTORNO EXTERNO DA CAVERNA                         |  | TRAVESTINO             |
|  | BLOCOS SOLTOS                                       |  | COLUNA                 |
|  | DESNÍVEL AGENTUADO                                  |  | CORTINA                |
|  | ESTALACTITE   |  | CALCÁRIO               |
|  | ESTALACTITE E ESTALAGMITE                           |  |                        |



WGS 84 - UTM  
ZONA 24 - MC: -39



<b>PROJETO:</b>			
<b>ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA</b>			
<b>NOME DA CAVIDADE:</b>	CAVERNA MARIMBONDO	<b>LOCAL:</b>	CIDADE FELIPE GUERRA
<b>COORDENADA / ALTITUDE / ESTAÇÃO:</b>	645 302E, 9 381 094N / 100m / SO	<b>DESENV. VERT. / PROJ. HORIZ. DA CAVIDADE:</b>	34,9 m-DESCONTINUIDADE / 32,1 m
<b>MÉTODO DE MAPEAMENTO:</b>	BASE FLUTUANTE COM PÊNDULO	<b>PRECISÃO:</b>	BCRA - 3C
<b>EQUIPE TOPOGRÁFICA:</b>	VANUSA CASTELO, JEFFERSON REGIS, ELENILZA GOMES E BRUNO FARIAS		
<b>COORDENADOR DO PROJETO:</b>	CÉSAR U. V. VERÍSSIMO	<b>LAYOUT:</b>	JEFFERSON LIMA
<b>MUNICÍPIO / UF:</b>	FELIPE GUERRA / RN	<b>DATA DO MAPEAMENTO:</b>	OUTUBRO/2010



**ANEXO 6 – BOLETINS DE REFERENCIAS DE RAIOS-X**

**Name and formula**

Reference code: 01-085-0849  
ICSD name: Calcium Carbonate  
Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3c  
Space group number: 167

a (Å): 4,9803  
b (Å): 4,9803  
c (Å): 17,0187  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,73  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 365,57  
Z: 6,00

RIR: 3,12

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Pharmaceutical  
ICSD Pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 028827  
ICSD Space group comment: Origin translated by (1/4,1/4,1/4) prior to calculation.  
Test from ICSD: No R value given.  
At least one TF missing.

**References**

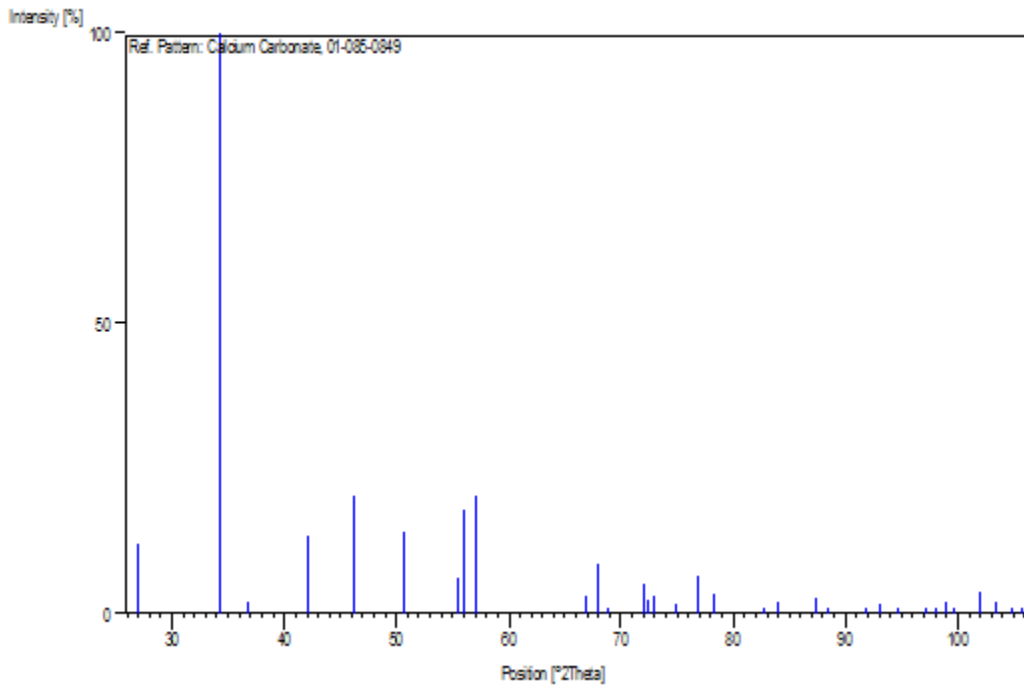
Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
Structure: Elliott, N., *J. Am. Chem. Soc.*, **59**, 1380, (1937)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,84712	26,890	12,0
2	1	0	4	3,02895	34,353	100,0
3	0	0	6	2,83645	36,765	2,2
4	1	1	0	2,49016	42,104	13,3
5	1	1	3	2,28015	46,195	20,5

6	2	0	2	2,09045	50,669	14,1
7	0	2	4	1,92356	55,424	6,3
8	0	1	8	1,90789	55,919	17,9
9	1	1	6	1,87133	57,110	20,4
10	2	1	1	1,62276	66,902	3,0
11	1	2	2	1,60107	67,931	8,6
12	1	0	10	1,58309	68,810	1,0
13	2	1	4	1,52228	71,975	5,2
14	2	0	8	1,51447	72,405	2,5
15	1	1	9	1,50597	72,879	3,0
16	1	2	5	1,47026	74,948	1,8
17	3	0	0	1,43769	76,951	6,4
18	0	0	12	1,41822	78,207	3,3
19	2	1	7	1,35399	82,698	1,1
20	0	2	10	1,33597	84,065	2,0
21	1	2	8	1,29396	87,465	2,5
22	0	3	6	1,28237	88,460	0,4
23	2	2	0	1,24508	91,850	0,9
24	1	1	12	1,23237	93,078	1,6
25	2	2	3	1,21613	94,705	0,1
26	1	3	1	1,19329	97,114	0,1
27	3	1	2	1,18459	98,071	0,5
28	2	1	10	1,17724	98,899	2,0
29	0	1	14	1,17004	99,726	0,3
30	1	3	4	1,15158	101,930	3,8
31	2	2	6	1,14008	103,367	2,0
32	3	1	5	1,12856	104,860	0,1
33	1	2	11	1,12221	105,707	0,4

## Stick Pattern



**Name and formula**

Reference code: 01-070-0095  
ICSD name: Calcium Carbonate  
Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Monoclinic  
Space group: P21/c  
Space group number: 14

a (Å): 6,3340  
b (Å): 4,9480  
c (Å): 8,0330  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 107,9000  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,77  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 239,57  
Z: 4,00

RIR: 2,09

**Status, subfiles and quality**

Status: Diffraction data collected at high or low pressure  
Subfiles: Inorganic  
Pharmaceutical  
ICSD Pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

Additional pattern: See PDF 29-305.  
ICSD collection code: 000150

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
Structure: Merrill, L., Bassett, W.A., *Acta Crystallogr., Sec. B*, **31**, 343, (1975)

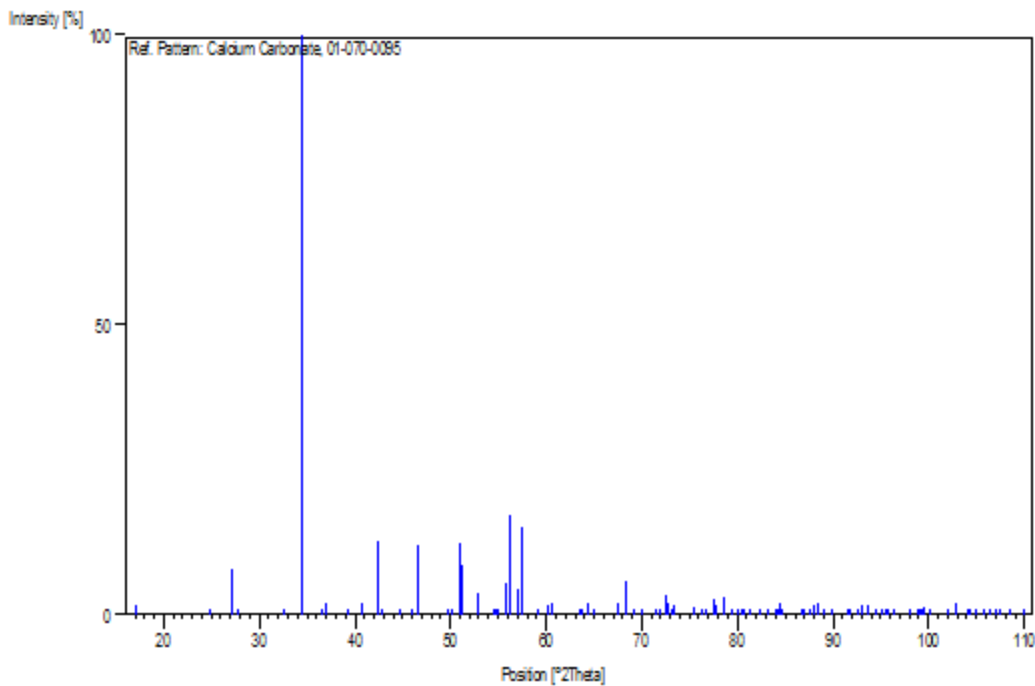
**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	6,02740	17,069	1,6
2	0	1	1	4,15375	24,872	0,1
3	1	1	0	3,82441	27,053	7,7
4	-1	0	2	3,79878	27,239	2,3
5	-1	1	1	3,72309	27,804	0,4
6	1	1	1	3,18100	32,664	0,4

7	2	0	0	3,01317	34,539	100,0
8	1	0	2	2,85524	36,515	0,6
9	-2	0	2	2,82627	36,902	2,0
10	-2	1	1	2,65955	39,308	0,1
11	2	1	0	2,57387	40,673	1,9
12	0	2	0	2,47303	42,410	12,7
13	-2	1	2	2,45414	42,752	0,9
14	0	2	1	2,35379	44,671	0,1
15	1	2	0	2,28870	46,013	0,5
16	2	1	1	2,26532	46,516	12,0
17	1	2	1	2,12544	49,777	0,1
18	-2	1	3	2,10856	50,203	0,1
19	0	2	2	2,07688	51,024	12,4
20	-1	2	2	2,07311	51,123	8,7
21	3	0	0	2,00815	52,903	3,7
22	1	1	3	1,95210	54,546	0,1
23	-2	2	1	1,94656	54,714	0,3
24	-3	1	1	1,94014	54,910	0,2
25	2	2	0	1,91220	55,782	5,5
26	-3	1	2	1,90009	56,169	17,2
27	1	2	2	1,86975	57,163	4,5
28	-2	2	2	1,86155	57,438	15,0
29	-1	2	3	1,81100	59,198	0,1
30	0	1	4	1,78270	60,234	1,8
31	0	2	3	1,77323	60,590	2,0
32	3	1	1	1,70075	63,464	0,2
33	-2	2	3	1,69649	63,642	0,2
34	1	0	4	1,67905	64,382	2,2
35	-3	0	4	1,66332	65,066	0,5
36	0	3	1	1,61223	67,397	2,1
37	1	3	0	1,59085	68,427	5,7
38	-4	0	2	1,57663	69,132	0,8
39	3	2	0	1,55916	70,019	0,3
40	1	3	1	1,53287	71,401	0,3
41	-1	1	5	1,52587	71,779	0,1
42	-1	3	2	1,51289	72,492	3,4
43	4	0	0	1,50659	72,844	1,9
44	-4	1	2	1,50248	73,076	1,0
45	-4	1	1	1,49906	73,269	1,6
46	3	2	1	1,46137	75,483	1,3
47	2	3	0	1,44683	76,377	0,4
48	4	1	0	1,44149	76,711	0,3
49	1	3	2	1,42818	77,559	2,8
50	-2	3	2	1,42451	77,796	1,6
51	-4	0	4	1,41314	78,542	2,9
52	-1	3	3	1,40148	79,324	0,1
53	1	2	4	1,38930	80,159	0,7
54	2	3	1	1,38458	80,489	0,4
55	-3	2	4	1,38036	80,785	0,1
56	2	1	4	1,37167	81,405	0,9
57	-4	1	4	1,35881	82,341	0,2
58	4	1	1	1,34591	83,305	0,8
59	3	2	2	1,33676	84,004	0,8
60	3	1	3	1,33284	84,308	0,7
61	-4	2	2	1,32978	84,547	1,8
62	-4	2	1	1,32740	84,734	0,9
63	1	3	3	1,30280	86,723	0,2
64	0	2	5	1,30055	86,911	0,1
65	2	3	2	1,29150	87,674	0,3
66	4	2	0	1,28693	88,065	1,8

67	-2	1	6	1,28360	88,353	1,9
68	3	3	0	1,27480	89,124	0,6
69	-5	0	2	1,26626	89,888	0,2
70	0	3	4	1,24861	91,516	0,7
71	-2	3	4	1,24535	91,825	0,9
72	0	4	0	1,23700	92,626	0,9
73	4	1	2	1,23378	92,940	1,7
74	-5	1	2	1,22718	93,590	1,6
75	4	2	1	1,21782	94,532	0,1
76	1	4	0	1,21121	95,211	0,4
77	3	2	3	1,20806	95,539	0,3
78	5	0	0	1,20548	95,810	0,2
79	-5	0	4	1,19941	96,454	0,1
80	2	3	3	1,18494	98,032	0,1
81	0	4	2	1,17690	98,938	0,3
82	-1	4	2	1,17552	99,095	0,4
83	-1	2	6	1,17287	99,399	1,0
84	5	1	0	1,17122	99,590	1,4
85	-5	1	4	1,16565	100,240	0,3
86	-2	4	1	1,15159	101,929	0,2
87	2	4	0	1,14435	102,828	2,0
88	-4	1	6	1,13436	104,101	0,4
89	-2	4	2	1,13321	104,251	0,7
90	-5	2	2	1,12719	105,041	0,8
91	4	1	3	1,12123	105,839	0,1
92	-5	2	1	1,11669	106,458	0,2
93	0	4	3	1,11247	107,041	0,3
94	5	1	1	1,10919	107,501	0,2
95	-5	1	5	1,10211	108,511	0,1
96	-2	4	3	1,09265	109,901	0,1

## Stick Pattern



**Name and formula**

Reference code: 01-086-2340  
 Mineral name: Calcite  
 ICSD name: Calcium Carbonate  
 Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
 Chemical formula:  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
 Space group: R-3c  
 Space group number: 167

a (Å): 4,9800  
 b (Å): 4,9800  
 c (Å): 17,2240  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,69  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 369,93  
 Z: 6,00

RIR: 2,92

**Status, subfiles and quality**

Status: Diffraction data collected at high or low temperature  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Pharmaceutical  
 ICSD Pattern  
 Quality: Calculated (C)

**Comments**

Sample source: Specimen from Guam (cement infilling in a mollusk shell).  
 ICSD collection code: 040113

**References**

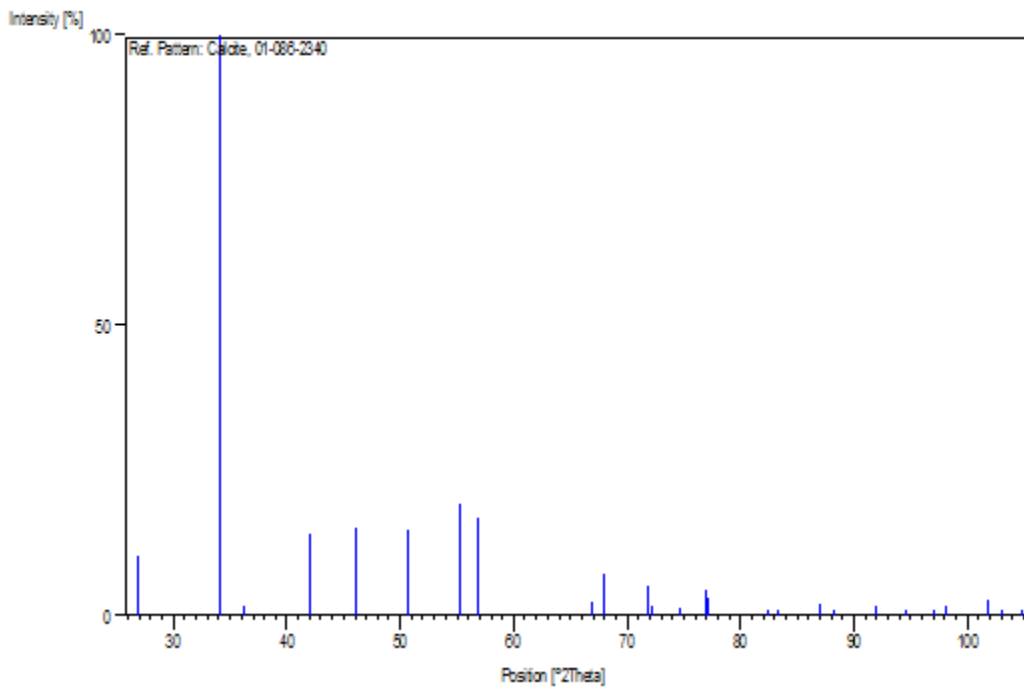
Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
 Structure: Markgraf, S.A., Reeder, R.J., *Am. Mineral.*, **70**, 590, (1985)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,85627	26,825	10,3
2	1	0	4	3,04721	34,141	100,0
3	0	0	6	2,87067	36,312	1,6
4	1	1	0	2,49000	42,107	14,0

5	1	1	3	2,28441	46,104	15,2
6	2	0	2	2,09182	50,633	14,7
7	0	2	4	1,92631	55,338	19,3
8	1	1	6	1,88099	56,790	16,9
9	2	1	1	1,62284	66,898	2,5
10	1	2	2	1,60165	67,903	7,3
11	2	1	4	1,52451	71,853	5,2
12	1	1	9	1,51738	72,244	1,7
13	1	2	5	1,47345	74,758	1,4
14	3	0	0	1,43760	76,957	4,6
15	0	0	12	1,43533	77,101	3,0
16	2	1	7	1,35893	82,332	0,6
17	0	2	10	1,34580	83,313	1,1
18	1	2	8	1,29961	86,989	2,1
19	3	0	6	1,28542	88,196	0,6
20	2	2	0	1,24500	91,858	1,2
21	1	1	12	1,24353	91,998	1,5
22	2	2	3	1,21672	94,644	0,1
23	1	3	1	1,19328	97,115	0,1
24	2	1	10	1,18394	98,144	1,5
25	1	3	4	1,15252	101,815	2,7
26	2	2	6	1,14220	103,098	1,0
27	1	2	11	1,12924	104,770	0,2

## Stick Pattern





**Name and formula**

Reference code: 01-085-1108  
ICSD name: Calcium Carbonate  
Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3c  
Space group number: 167

a (Å): 4,9803  
b (Å): 4,9803  
c (Å): 17,0187  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,73  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 365,57  
Z: 6,00

RIR: 3,39

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Pharmaceutical  
ICSD Pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

Additional pattern: See PDF 72-1214, 72-1652, 81-2027, 83-577, 83-578, 83-1762, 86-174 and 86-2334.  
ICSD collection code: 037241  
ICSD Space group comment: Origin translated by (1/4,1/4,1/4) prior to calculation.  
Test from ICSD: No R value given.  
At least one TF missing.

**References**

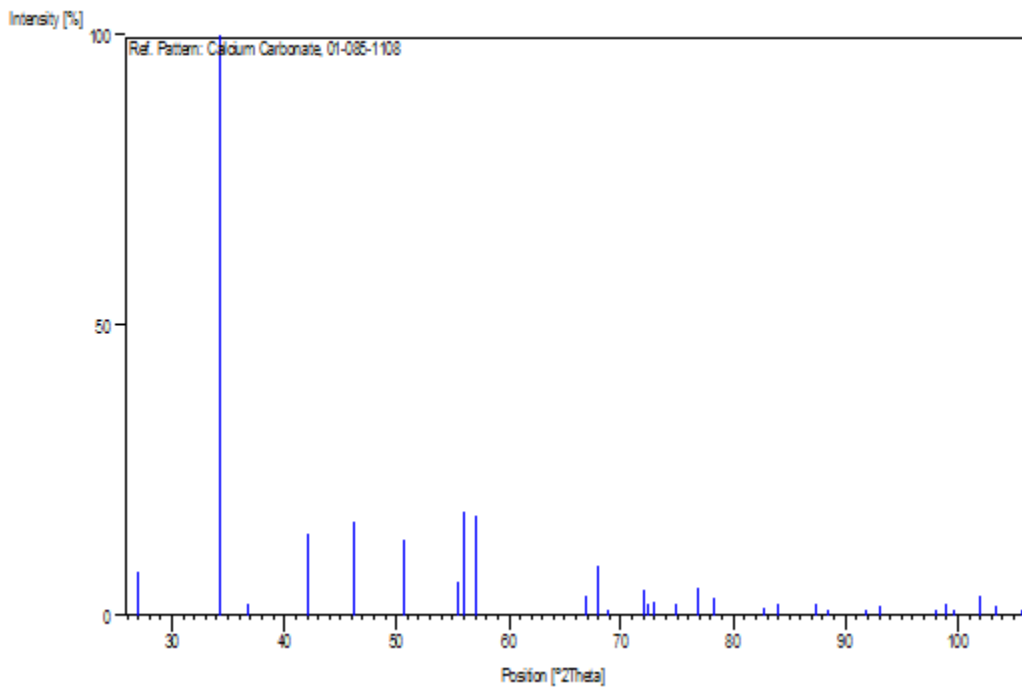
Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Wyckoff, R.W.G., *Am. J. Sci.*, **50**, 317, (1920)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,84712	26,890	7,5
2	1	0	4	3,02895	34,353	100,0
3	0	0	6	2,83645	36,765	2,0
4	1	1	0	2,49016	42,104	14,2

5	1	1	3	2,28015	46,195	16,1
6	2	0	2	2,09045	50,669	13,2
7	0	2	4	1,92356	55,424	5,7
8	0	1	8	1,90789	55,919	17,8
9	1	1	6	1,87133	57,110	17,1
10	2	1	1	1,62276	66,902	3,4
11	1	2	2	1,60107	67,931	8,8
12	1	0	10	1,58309	68,810	0,8
13	2	1	4	1,52228	71,975	4,2
14	2	0	8	1,51447	72,405	2,2
15	1	1	9	1,50597	72,879	2,3
16	1	2	5	1,47026	74,948	2,0
17	3	0	0	1,43769	76,951	4,8
18	0	0	12	1,41822	78,207	3,1
19	2	1	7	1,35399	82,698	1,3
20	0	2	10	1,33597	84,065	1,9
21	1	2	8	1,29396	87,465	2,0
22	0	3	6	1,28237	88,460	0,6
23	2	2	0	1,24508	91,850	0,9
24	1	1	12	1,23237	93,078	1,7
25	3	1	2	1,18459	98,071	0,5
26	2	1	10	1,17724	98,899	2,1
27	0	1	14	1,17004	99,726	0,2
28	1	3	4	1,15158	101,930	3,4
29	2	2	6	1,14008	103,367	1,8
30	1	2	11	1,12221	105,707	0,5

## Stick Pattern



**Name and formula**

Reference code: 01-072-1650  
 Mineral name: Calcite  
 ICSD name: Calcium Carbonate  
 Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
 Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
 Space group: R-3c  
 Space group number: 167

a (Å): 4,9930  
 b (Å): 4,9930  
 c (Å): 16,9170  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,73  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 365,24  
 Z: 6,00

RIR: 3,22

**Status, subfiles and quality**

Status: Diffraction data collected at high or low temperature  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Corrosion  
 Pharmaceutical  
 ICSD Pattern  
 Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 018164  
 Test from ICSD: At least one TF implausible.  
 At least one TF missing.

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)  
 Structure: Chessin, H., Hamilton, W.C., *Acta Crystallogr.*, **18**, 689, (1965)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,85014	26,869	9,5
2	1	0	4	3,02350	34,417	100,0

3	0	0	6	2,81950	36,994	2,2
4	1	1	0	2,49650	41,992	13,2
5	1	1	3	2,28279	46,139	19,4
6	2	0	2	2,09469	50,559	14,9
7	0	2	4	1,92507	55,377	5,8
8	0	1	8	1,89964	56,183	18,0
9	1	1	6	1,86910	57,185	19,6
10	2	1	1	1,62677	66,716	3,6
11	1	2	2	1,60466	67,758	9,1
12	1	0	10	1,57542	69,192	0,9
13	2	1	4	1,52447	71,855	4,5
14	2	0	8	1,51175	72,556	1,9
15	1	1	9	1,50163	73,124	2,8
16	1	2	5	1,47164	74,865	2,3
17	3	0	0	1,44135	76,720	6,0
18	0	0	12	1,40975	78,768	3,2
19	2	1	7	1,35383	82,710	1,3
20	0	2	10	1,33232	84,349	1,9
21	1	2	8	1,29314	87,535	2,3
22	3	0	6	1,28338	88,372	0,4
23	2	2	0	1,24825	91,550	0,9
24	1	1	12	1,22755	93,554	1,5
25	2	2	3	1,21875	94,438	0,1
26	1	3	1	1,19628	96,790	0,1
27	3	1	2	1,18740	97,759	0,4
28	2	1	10	1,17541	99,108	2,2
29	0	1	14	1,16377	100,462	0,2
30	1	3	4	1,15379	101,660	4,0
31	2	2	6	1,14139	103,201	1,9
32	3	1	5	1,13037	104,621	0,1
33	1	2	11	1,12001	106,004	0,6

## Stick Pattern

