



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTUDO FACIOLÓGICO E GEOQUÍMICO DOS EVAPORITOS DO  
MEMBRO IPUBI (FORMAÇÃO SANTANA) NAS MINAS PEDRA  
BRANCA E CONCEIÇÃO PRETA, MUNICÍPIO DE SANTANA DO  
CARIRI – CEARÁ.**

**MESTRANDO**

**José Gervasio Freire Junior**

**ORIENTADOR**

**Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho**

*Fortaleza, Janeiro de 2013.*



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTUDO FACIOLÓGICO E GEOQUÍMICO DOS EVAPORITOS DO  
MEMBRO IPUBI (FORMAÇÃO SANTANA) NAS MINAS PEDRA  
BRANCA E CONCEIÇÃO PRETA, MUNICÍPIO DE SANTANA DO  
CARIRI – CEARÁ.**

**MESTRANDO**

**José Gervasio Freire Junior**

**ORIENTADOR**

**Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho**

*Fortaleza, Fevereiro de 2012.*

**JOSÉ GERVÁSIO FREIRE JUNIOR**

**ESTUDO FACIOLÓGICO E GEOQUÍMICO DOS EVAPORITOS DO  
MEMBRO IPUBI (FORMAÇÃO SANTANA) NAS MINAS PEDRA  
BRANCA E CONCEIÇÃO PRETA, MUNICÍPIO DE SANTANA DO  
CARIRI – CEARÁ.**

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

Orientador: Prof. Dr. Wellington Ferreira da  
Sila Filho

**Fortaleza, Fevereiro de 2013**

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

- 
- F933e Freire Júnior, José Gervásio.  
Estudo faciológico e geoquímico dos evaporitos do membro ipubi (formação santana) nas minas Pedra Branca e Conceição Preta, município de Santana do Carirí - Ceará / José Gervásio Freire Júnior. – 2013.  
91 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. Wellington Ferreira da Silva Filho.
1. Geoquímica. 2. fácies (Geologia). 3. Minas e recursos minerais - Santana do Carirí. 4. Gipsita.  
I. Título.



**JOSÉ GERVÁSIO FREIRE JUNIOR**

**ESTUDO FACIOLÓGICO E GEOQUÍMICO DOS EVAPORITOS DO  
MEMBRO IPUBI (FORMAÇÃO SANTANA) NAS MINAS PEDRA  
BRANCA E CONCEIÇÃO PRETA, MUNICÍPIO DE SANTANA DO  
CARIRI – CEARÁ.**

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

Aprovado em: 01/02/2013

Banca examinadora:

---

Orientador Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. José Antônio Beltrão Sabadia (UFC)  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Ana Cândida de Almeida Prado (UFC)  
Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri

Ao meu pai, Sr. Gervasio, e minha mãe, Sra.  
Francisca, e a minha esposa Debora.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais a Sra. Francisca e Sr. Gervasio, que sempre acreditaram em mim e nunca me deixaram desistir dos meus sonhos.

A Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pelo apoio financeiro.

A empresa Chaves S/A mineração e Indústria pelo apoio logístico e acompanhamento em campo, sempre presentes deste da graduação.

A minha esposa Debora que sempre me apoiou em todas as decisões difíceis, que sempre está ao meu lado.

Ao Laboratório de Física da UFC, pelo apoio nos ensaios, em especial ao meu amigo Joel Pedrosa e o Prof. Dr. João marcos Sasaki.

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Wellington Ferreira pela paciência e dedicação com que me acompanha deste da graduação.

Aos professores Zeca, Irani e Beltrão que sempre me ajudaram e quando mais precisei sempre estavam lá.

A turma da geologia, em especial a Gloria pela ajuda no trabalho, Agnaldo, Diones, João, Emanuel, Wilson e todos os outros que contribuíram.

“... Um passo a frente e voc n o esta no  
mesmo lugar.”

Chico Science

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da genética e o paleoambiente do membro Ipubi da Formação Santana, nas minas Pedra Branca e Conceição Preta, no município de Santana do Cariri, situado na Chapada do Araripe, porção Sul do estado do Ceará. A metodologia utilizada foi o levantamento de seções estratigráficas nas minas e a descrição faciológica, com o uso de Descrição Petrográfica, Difração de Raios X e Fluorescência de Raios X. No trabalho, foram identificadas nas análises petrográficas que a sequência evaporítica sofre o processos de diagênese de anidrita para gipsita quase que completo, as análise da Difração de Raios X evidenciaram que os argilominerais presentes na unidade são bem formados e constituídos por Nontronita e Saponita, já análise das rochas evaporíticas evidenciaram a predominância de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gipsita). Para os ensaios de Fluorescência de Raios X, os argilominerais são compostos por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{F}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ , preliminarmente. A unidade foi dividida em dois conjuntos faciológicos: de composição pelítico e gipsítico intercalados, onde o fácies pelítico é composto por folhelhos, margas e calcário, o fácies gipsítico por gipsita branca, cinza e marrom, com cristais em roseta, com hábito maciço e fibroso. Foram propostos para a unidade que o Paleambiente formador do depósito seria o de lagunas evaporíticas, com influência ou não de águas marinhas e a gênese para um depósito como sendo do tipo *sabkhas*.

**Palavras chave:** Formação Santana, Gipsita, Anidrita e Fácies.

## ABSTRACT

This work aims to study the genetic and paleo Ipubi member of the Santana Formation, mines Pedra Branca and Preta Conception, in the municipality of Santana do Cariri, situated in the Araripe, the southern portion of the state of Ceará. The methodology used was a survey of stratigraphic sections in mines and facies description, using Petrographic Description, X-ray Diffraction and X-Ray Fluorescence. At work, were identified in petrographic analyzes the evaporite sequence undergoes the processes of diagenesis of anhydrite to gypsum almost complete, the analysis of X-ray diffraction showed that the clay minerals in the unit are well trained and consist of nontronite and saponite, already analysis of evaporitic rocks showed the predominance of  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (gypsum). For tests of X-ray Fluorescence, clay minerals are composed of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{F}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{CaO}$ , preliminarily. The unit was divided and two sets facies analysis: composition of pelitic and gipsitico interspersed, where the pelitic facies is composed of shale, marl and limestone, gypsum facies gipsitico by white, gray and brown, with crystals in rosettes, with mass and fibrous habit. Been proposed to drive the paleoenvironment of the deposit would be the trainer of evaporitic lagoons, with no influence or marine waters and the genesis for a deposit as type sabkhas.

**Keywords:** Santana Formation, Gypsum, Anhydrite and Facies.

<b>LISTA DE FIGURAS</b>
-------------------------

Figura 1.1 - Mapa de localização e Acesso das minas estudadas.....	20
Figura 2.1 - Modelo esquemático de ciclo ideal de deposição de uma sequência evaporítica (modificado de Hite, 1970).....	23
Figura 2.2 - Os três tipos principais de depósitos de evaporitos de acordo com a profundidade da bacia e da lâmina de água, como proposto por Warren (1989).....	29
Figura 2.3 - Mina conceição preta, mostrado as três associações faciológicas estudadas (FREIRE JR, 2010).....	33
Figura 3.1 - Mapa Geológico da Bacia do Araripe. (Assine, 1990).....	37
Figura 3.2. - Quadro comparativo resumido das principais subdivisões estratigráficas propostas para a Bacia do Araripe (modificado de Ponte & Appi (1990).....	38
Figura 3.3 - Carta estratigráfica da Bacia do Araripe (Modificado de Ponte, 1990).....	41
Figura 4.1 - Seções colunares demonstrando a associação Faciológica de cada Mina. <b>A</b> - Seção colunar mostrando os diferentes tipos de fácies encontrados na Mina Conceição Preta (modificada VIANA e CAVALCANTI, 1991); <b>B</b> - Seção colunar mostrando os diferentes tipo do fácies encontrados na Mina Pedra Branca, furo de sondagem MPB-05 (FREIRE JR, 2010).....	49
Figura 4.2 – (a) seção colunar mina Pedra Branca, elaborada por Freire Jr (2010); (b) parte da seção onde foi realizada a amostragem.....	50
Figura 4.3 - (a) seção colunar mina Conceição Preta, elaborada por Freire Jr (2010); (b) parte da seção onde foi realizada a amostragem.....	51
Figura 4.4 – A - Difratômetro de Raios X(Visão externa), B - (visão Interna).....	52

Figura 4.5 - Geometria parafocal Bragg-Brentano (JENKINS e SNYDER, 1996).....	53
Figura 4.6 – Equipamento de Fluorescência de Raios X; A - Equipamento vista externa, B - vista Interna.....	54
Figura 5.1 – Mapa geológico regional, com identificação das áreas das minas Pedra Branca e Conceição Preta (Modificado de CPRM - Cavalcante (2003)).....	56
Figura 5.2 – (a) Espessura da camada de gipsita. (b) Nesta figura a porção argilosa está encoberta por sedimentos de escorregamento do membro Romualdo.....	58
Figura 5.3 – (a) membro Romualdo, mostrando falha normal cortando os dois membros; (b) unidade conglomerática; (c) folhelhos negros do membro Ipubi.....	58
Figura 5.4 – Mina conceição preta, mostrado as três associações faciológicas estudadas.....	59
Figura 5.5 – Fotomicrografia da amostra AM-09, visualizado a matriz de gipsita om forma lenticular substituindo cristais de anidrita, Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (Luz polarizada, ocular de 10x).....	60
Figura 5.6 A e B – Fotomicrografias da amostra AM-10, visualizado a matriz de gipsita com cristais em roseta, Gyp - Gipsita (a-Luz Polarizada, ocular de 20x, e b-Luz natural, ocular de 20x).....	61
Figura 5.7 A e B – Fotomicrografias da amostras AM-06, composta por cristais de gipsita, onde a anidrita já foi quase toda substituída. Os cristais de gipsita apresentam contatos saturados bem definidos, Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (a – Luz Polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular 10x).....	62
Figura 5.8 – Fotomicrografia da amostra AM-05, com matriz gipsita com cristais em roseta, os cristais remanescentes sofrem substituição progressiva por cristais de gipsita. Possível ocorrência de matéria orgânica no centro da amostra preenchendo fraturamentos, Gyp – Gipsita, Anh - Anidrita (Luz Polarizada, ocular 10x).....	63



- Figura 5.9 - Fotomicrografia da amostra AM – 02, matriz gipsitica com forma de “ponta de lança, com fenocristais de anidrita sendo substituídos por gipsita, Gyp – Gipsita, Anh - Anidrita (Luz polarizada, ocular 10x).....63
- Figura 5.10 A e B – Fotomicrografia da amostra AM-01, que apresenta uma matriz de gipsita em forma tabular com cristais de anidrita apresentando substituição por gipsita, os cristais de gipsita apresentam a forma de paliçada, onde Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (a – Luz Polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular de 10x).....64
- Figura 5.11 A e B – Fotomicrografia da amostra AM-11, composta quase em sua totalidade de anidrita, havendo poucos cristais de gipsita. Tanto anidrita como gipsita com cristais em forma de roseta Ocorrem também pseudomorfos de halita, onde Gyp – Gipsita, Anh – Anidrita e Hal - Halita (a- Luz polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular de 20x).....65
- Figura 5.12 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-05, com mineralogia composta somente por gipsita.....67
- Figura 5.13 – Difratoograma de raios - X para a amostra AM-06, com mineralogia composta por gipsita e celestita.....67
- Figura 5.14 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-11, com mineralogia composta por gipsita e anidrita.....68
- Figura 5.15 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-03, com mineralogia composta por caulinita, quartzo e tosudite (Esmectita).....69
- Figura 5.16 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-04, com mineralogia composta por goethita, calcita, quartzo e coríndon.....70
- Figura 5.17 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-07, com mineralogia composta de zeolita e quartzo.....70

Figura 5.18 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-08, com mineralogia composta por nontronita, quartzo e ortoclásio.....	71
Figura 5.19 - Difratoograma de raios – X para amostra AM-01, com mineralogia composta somente por gipsita.....	72
Figura 5.20 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-02, com mineralogia composta somente por gipsita.....	72
Figura 5.21 – Difratoograma de raios – X para amostra AM-09, com mineralogia composta somente por gipsita.....	73
Figura 5.22 – Difratoograma de raios – X para amostra AM-10, com mineralogia composta somente por gipsita.....	73
Figura 5.23 – Modelo de seções colunares para o Membro Ipubi, formação Santana (modificado de Freire Jr (2010).....	77

<b>LISTA DE TABELAS</b>
-------------------------

Tabela 2.1. - Comparação de taxas de deposição de alguns tipos de sedimentos (Warren, 1989).....	23
Tabela 2.2 - Principais constituintes da água do mar (ANDRADE, 1980).....	24
Tabela 5.1 - Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras das gipsitas e anidrita analisados por DRX.....	66
Tabela 5.2 – Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras dos folhelhos analisados por DRX.....	69
Tabela 5.3 – Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras das gipsitas analisados por DRX.....	71
Tabela 5.4 – Composição de elementos maiores (em porcentagem) das amostras de folhelho determinada por FRX.....	75
Tabela 5.5 – Composição de elementos maiores (em porcentagem) das amostras de gipsita e anidrita determinada por FRX.....	75

<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>
--------------------------

Cl – Cloro

Ca – Cálcio

Al - Alumínio

Br – Bromo

Na – Sódio

K – Potássio

Fe – Ferro

Sr – Estrôncio

S – Enxofre

Mg – Magnésio

O – Oxigênio

Fm – Formação

Si – Sílica

<b>LISTA DE ABREVEATURAS</b>
------------------------------

DRX – Difractometria de Raios X

FRX – Fluorescência de Raios X

Anh - Anidrita

Dol – Dolomita

Gyp – Gipsita

UFC – Universidade Federal do Ceará

<b>SUMÁRIO</b>
----------------

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	18
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	19
1.3 OBJETIVO.....	21
1.3.1 <i>Gerais</i> .....	21
1.3.2 <i>Específicos</i> .....	21
 <b>CAPÍTULO II.....</b>	 <b>22</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1 DEFINIÇÃO E GÊNESE DOS EVAPORITOS.....	22
2.2 CLASSIFICAÇÕES DE DEPOSITOS EVAPORITICOS.....	25
2.3 EVAPORITOS E TECTÔNICAS DE PLACAS.....	30
2.4 FÁCIES SEDIMENTARES.....	31
2.4.1 <i>Faciologia do membro Ipubi da Formação Santana</i> .....	32
 <b>CAPÍTULO III.....</b>	 <b>34</b>
<b>ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>34</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	34
3.2 ESTRATIGRAFIA DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE.....	35
3.3 EMBASAMENTO PRÉ-CAMBRIANO DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE....	39
3.4 EMPILHAMENTO SEDIMENTAR DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE.....	40
3.4.1 Tectono-Sequência Beta (Neo-Ordoviciana a Siluriana).....	42
3.4.1.1 <i>Formação Mauriti</i> .....	42
3.4.2 Tectono-Sequência Pré-Rifte (Neo-Jurássica e Eocretacica).....	43

3.4.2.1 <i>Formação Brejo Santo</i> .....	43
3.4.2.2 <i>Formação Missão Velha</i> .....	43
3.4.3 Tectono-Sequência Sin-Rifte (Eocretácica-Neocomiana).....	44
3.4.3.1 <i>Formação Abaiara</i> .....	44
3.4.4 Tectono-Sequência Pós-Rifte (Mesocretácica).....	44
3.4.4.1 <i>Formação Rio Da Batateira</i> .....	44
3.4.4.2 <i>Formação Santana</i> .....	45
a) <i>Membro Crato</i> .....	46
b) <i>Membro Ipubi</i> .....	46
c) <i>Membro Romualdo</i> .....	46
2.4.4.3 <i>Formação Arajara</i> .....	47
2.4.4.4 <i>Formação Exú</i> .....	47
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>48</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>48</b>
4.1 METODOLOGIA.....	48
4.1.1 Etapa Inicial.....	48
4.1.2 Etapa de Campo.....	48
4.1.3 Etapa de Laboratório.....	51
4.1.4 Etapa Final.....	54
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>55</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>55</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	55

5.1.1 Mina Pedra Branca.....	57
5.1.2 Mina Conceição Preta.....	59
5.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA.....	59
5.2.1 Mina Pedra Branca.....	60
5.2.2 Mina Conceição Preta.....	61
5.3 ANÁLISE QUÍMICA.....	66
5.3.1 Difração de Raios X.....	66
5.3.1.1 <i>Fácies Gipsítico-Anidritico</i> .....	66
5.3.1.2 <i>Fácies Argilo-carbonático</i> .....	68
5.3.1.3 <i>Fácies Gipsítico</i> .....	71
5.3.2 Fluorescência de Raios X.....	74
5.4 CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA.....	76
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>

# CAPITULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Introdução

A área estudada neste trabalho de dissertação abrangeu os depósitos evaporíticos cretáceos do Estado do Ceará, sendo localizada no município de Santana do Cariri. Os afloramentos pesquisados ocorrem em bancadas nas Minas Pedra Branca e Conceição Preta, descobertos nos anos de 1930, pelo engenheiro alemão Germano Paul Franck. A área entrou em atividade exploratória no final dos anos de 1930 e segue até os dias atuais pela empresa Chaves S/A Mineração e Indústria.

No que concerne ao conhecimento científico sobre litologia e ambiente deposicional dos evaporitos, os trabalhos mais significativos são de Ponte & Appi (1990) e Assine (1992a e 2007), onde Assine (2007) propõe uma reformulação na classificação litoestratigráfica das camadas evaporíticas (ver Capítulo III).

Segundo a litoestratigrafia formal tradicional, os depósitos evaporíticos da Bacia Sedimentar do Araripe ocorrem no Membro Ipubí da Formação Santana, compostos principalmente por gipsita e anidrita, com leitos de folhelhos pretos ou verdes em intercalações subordinadas. Essas camadas evaporíticas representam o clímax da sequência da deposição sedimentar química em um lago interior, cujas águas se tornaram progressivamente salinas devido às altas taxas de evaporação (SILVA, 1983/ 1988).

Esta unidade é representada por três fácies distintas, mostrando três momentos diferentes de deposição, com duas camadas de folhelhos com uma intercalação de gipsita e anidrita, com espessura máxima de aproximadamente 30 metros, como proposto por Silva (1983). Entretanto esta definição não condiz com a realidade encontrada na região, pois o Membro Ipubí se estende aos Estados do Ceará e Pernambuco, havendo diferença deposicionais e estratigráficas bruscas tais como a espessura dos pacotes litoestratigráficos bem como a sequência faciológica.



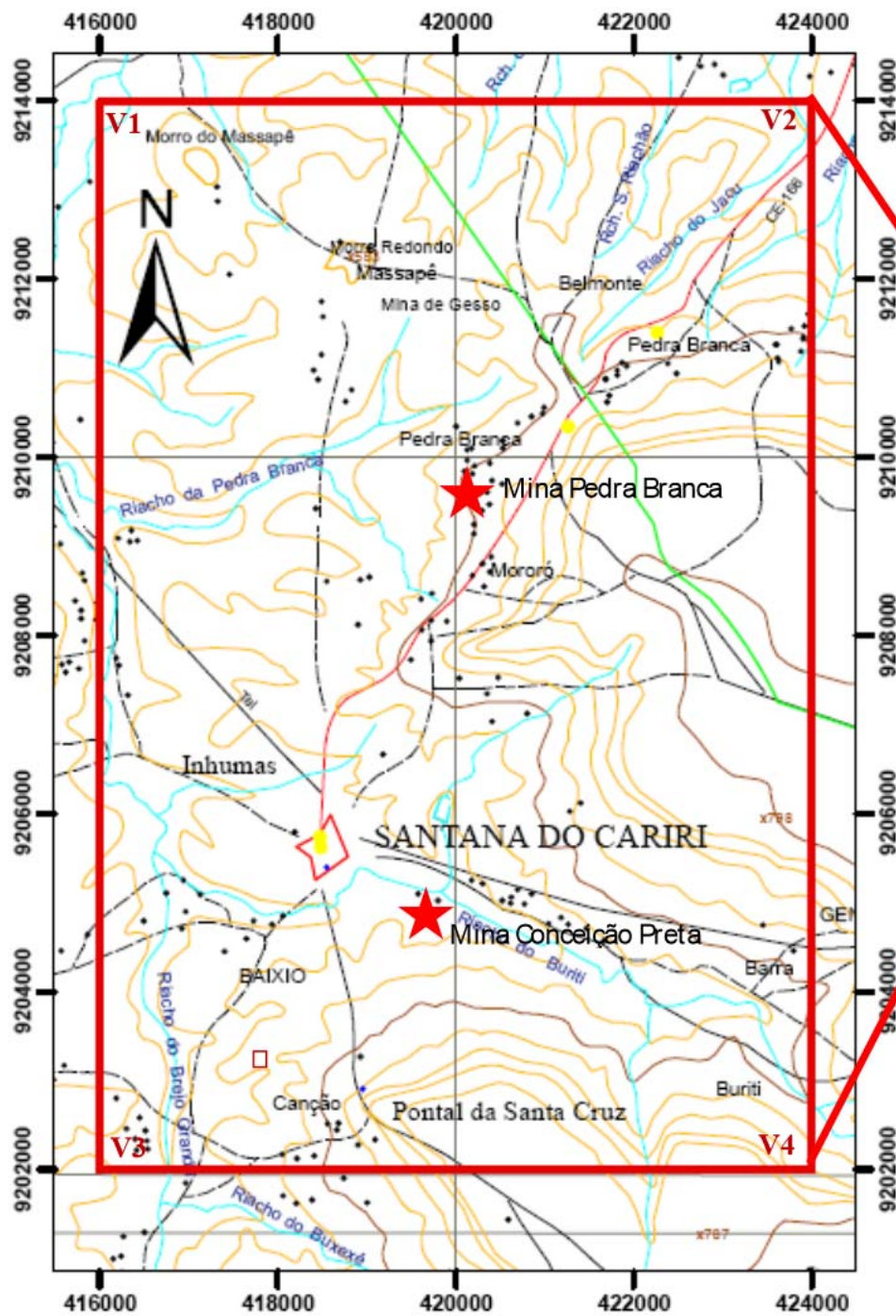
Porém, no Estado do Pernambuco, nos municípios de Ipubi, Araripina, Bodocó e Trindade, somente a espessura do pacote de gipsita chega aos 30 metros, com lentes de folhelhos que variam de alguns metros a dezenas de metros.

Sobre o ponto de vista do paleoambiente em que foram formados os evaporitos, não há um trabalho específico. Ambos os trabalhos de Assine (1992) e Ponte & Appi (1990) concordam que a associação de litofácies evaporítica do membro Ipubí. Depositou-se em bacias restritas, lagunares, evaporíticas, alimentadas periodicamente por águas marinhas e sujeitas á intensa evaporação que propiciava a concentração das salmouras. A camada de folhelhos negros, betuminosos, ricos em matéria orgânica, na base do Membro Ipubi indica que o evento deposicional iniciou-se com um episódio anóxico (BERTHOU *et al.*, 1990). A ocorrência de águas marinhas na Bacia do Araripe durante o evento deposicional em foco, é comprovada pela presença de dinoflagelados nos folhelhos betuminosos da base do membro Ipubí (LIMA, 1978, apud BERTHOU *et al.*, 1990), bem como pela qualidade da matéria orgânica dos mesmos folhelhos no topo do membro Ipubi, indicada por Baudin *et al.*(1990). A sedimentação evaporítica foi interrompida por um pulso transgressivo que inundou as bacias restritas, diluindo suas salmouras hipersalinas e proporcionando a deposição dos folhelhos, margas e carbonatos do Membro Romualdo, sobre as camadas de gipsita do Membro Ipubi (Ponte & Appi 1990).

## 1.2. Localização e acesso

As exposições pesquisadas localizam-se ao sul do Estado do Ceará, na município de Santana do Cariri. Estão situadas na Folha Santana do Cariri (SB-24-W-U-I) (Figura 1.1).

O acesso é feito a partir da cidade de Fortaleza. Seguindo-se pela BR-116 até a cidade de Lavras da Mangabeira, onde opta-se pela BR-230 até a cidade de Farias Brito. Deste local, segue-se pela CE-055 até a cidade do Crato, tomando-se a CE-292 até Nova Olinda. A partir daí, o trajeto é feito pela CE 166 em direção a cidade de Santana do Cariri, por 7,00 km até a localidade de Pedra Branca e cerca de 6,5 km até a localidade de Conceição Preta (Figura 1.1). Em ambas as localidades tomam-se estradas vicinais até as áreas das minas.



### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Gerais

O objetivo principal foi investigar o paleoambiente e gênese dos depósitos evaporíticos do Membro Ipubi (Formação Santana), Bacia Sedimentar do Araripe, localizados nas Minas Pedra Branca e Conceição Preta (Santana do Cariri-CE), e reconstruir o seu ambiente deposicional.

#### 1.3.2. Específicos

- Definir as principais fácies, das minas Pedra Branca e Conceição Preta e agrupando-as em associações faciológicas;
- Comparar os resultados com outros tipos de depósitos evaporíticos existentes e seu sistema deposicional.
- Realizar a caracterização mineralógica de gipsita/anidrita e folhelhos a partir de difração de raios-X (DRX).
- Realizar análises de fluorescência de raios-X (FRX), e comparar quimicamente as rochas estudadas e a água do mar e de rios, para identificação do ambiente deposicional e elementos como:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Br}^-$ , dentre outros.
- Coletar, caracterizar e analisar microscopicamente amostras de gipsita/anidrita em lâminas delgadas, sob luz natural e polarizada, para detalhar suas características mineralógicas e petrográficas.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

#### 2.1. Definições e Gênese de Evaporitos

O Estudo em rochas evaporíticas iniciou-se em meados do século XIX, porém com uma abordagem basicamente química. Um dos primeiros a observar a evaporação da água do mar em laboratório foi o italiano Usiglio em 1849, que demonstrou, pela primeira vez, uma série de minerais se precipitavam numa determinada ordem durante a evaporação de um volume de água salgada (Figura 2.1 e Tabela 2.1).

Gradativamente, os estudos se tornaram mais sedimentológicos até culminarem, na década de 60 do século XX, com uma grande mudança na abordagem, os estudos passando a ter uma visão atualística. Desde então, os ambientes modernos vêm sendo utilizados como modelos para o entendimento dos paleoambientes deposicionais. A razão principal dessa mudança foi a descoberta de faciologias evaporíticas costeiras na Costa Trucial do Golfo da Pérsia (CURTIS *et al.*, 1963), em ambientes de planícies de supramaré denominado de *sabkhas*. Estes estudos forneceram modelos de fácies e sequências deposicionais que passaram a fazer parte dos estudos modernos que levam em consideração os vários aspectos geológicos e sedimentológicos dos depósitos evaporíticos e não somente a sua composição ou natureza química (SILVA *et al.*, 2001).

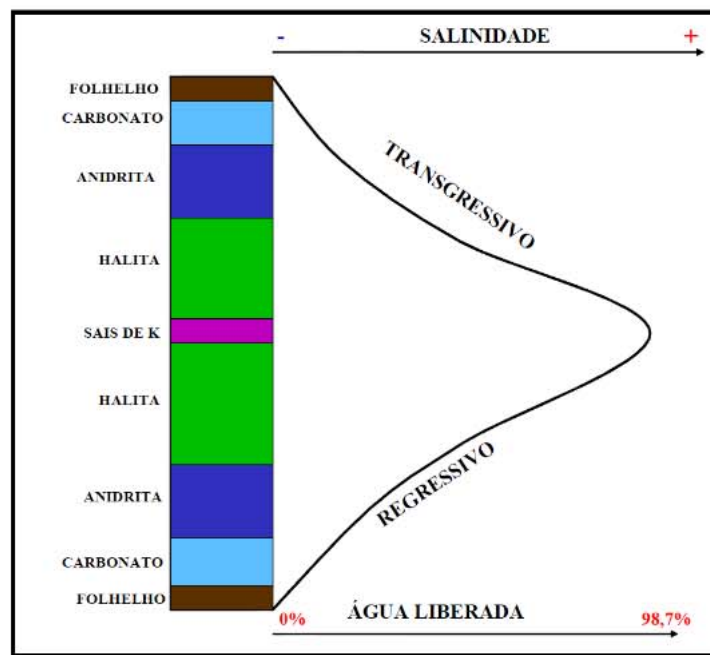


Figura 2. 1 - Modelo esquemático de ciclo ideal de deposição de uma sequência evaporítica (modificado de Hite, 1970).

Tabela 2. 1. - Comparação de taxas de deposição de alguns tipos de sedimentos (Warren, 1989).

SEDIMENTO	TAXA DE DEPOSIÇÃO
Pelitos de mar profundo	0,1 cm / mil anos
Carbonato e lama de plataforma	1 a 3 cm / mil anos
Clásticos de talude	4 cm / mil anos
Turbiditos de mar profundo	10 a 100 cm / mil anos
Gipsita sub-aquosa	10 a 40m / mil anos
Halita sub-aquosa	10 a 100m / mil anos

Segundo Kendall (1988), a sequência de deposição de minerais evaporíticos ocorre pela intensa evaporação de água do mar, em bacias de circulação restrita, resultando na formação de salmouras, que passam a precipitar os sais nelas dissolvidos, gerando assim diversos minerais que compõem os depósitos evaporíticos encontrados nas bacias sedimentares. Para que isso ocorra, é necessário que a taxa de evaporação seja maior que a taxa de precipitação pluviométrica mais o influxo de água doce ou salgada, ou seja, a saída da água do sistema deve suplantar a entrada da chuva, dos mares e dos rios. A existência de um ambiente desértico ou essencialmente árido é uma condição necessária para a formação de

evaporitos, mas, além disso, é importante ocorrer o isolamento da bacia, de modo a permitir uma progressiva concentração e deposição sequencial dos evaporitos.

Em mares isolados, pode ocorrer mais evaporação que influxo de água, o que aumenta a concentração dos íons. Em mares que sofrem grande aporte de águas de rios, ocorre a diluição da salmoura. As águas desses mares continentais possuem concentração e composição variáveis que dependem da natureza das rochas da área de drenagem (Eugster, 1980).

Andrade (1980) explica que o NaCl é o constituinte da água do mar mais abundante dos precipitados, correspondente a 78% em relação ao total de sólidos dissolvidos (tabela 2.2), seguindo-se de compostos de magnésio, sulfato de cálcio e cloreto de potássio.

Tabela 2.2 - Principais constituintes da água do mar (ANDRADE, 1980).

<b>Constituintes</b>	<b>Porcentagem em relação ao total de sólidos dissolvidos</b>
NaCl	78,04
MgCl <sub>2</sub>	9,21
MgSO <sub>4</sub>	6,53
CaSO <sub>4</sub>	3,48
KCl	2,21
CaCO <sub>3</sub>	0,33
MgBr <sub>2</sub>	0,25
SrSO <sub>4</sub>	0,02

Segundo Hardie (1991) a geração de minerais evaporíticos pode ocorrer em ambientes marinhos (como golfos e mares restritos, ligados a um oceano) e não marinhos, como no interior dos continentes, em lagunas, *sabkhas* e lagos salgados isolados. Esses ambientes podem ser localizados em regiões marinhas rasas subtropicais, regiões desérticas, regiões polares, e até mesmo em aquíferos profundos.



## 2.2. Classificações de Depósitos Evaporíticos

A classificação de depósitos evaporíticos é bastante controversa e variada na bibliografia. A principal dificuldade deve-se a não existência de análogos atuais para os grandes depósitos encontrados no Paleozóico e Mesozóico. Na atualidade encontramos apenas depósitos evaporíticos restritos, tanto em área como em espessura, do tipo *sabkhas* e subaquosos de pequenas bacias rasas (WARREN, 1989).

Segundo CURTIS *et al.* (1963), *sabkha* é um termo de origem árabe que significa “planície salgada”. Neste ambiente, é típica a formação de minerais evaporíticos numa matriz carbonática ou siliciclástica, que se precipitam na zona de capilaridade, logo acima do nível freático. Sua mineralogia característica é à base de gipsita e anidrita, sendo raramente preservada a halita. Os depósitos do tipo *sabkhas* tanto podem ser continentais como marinhos costeiros.

No sudoeste do Golfo (Costa Trucial) encontram-se os *sabkhas* mais estudados da atualidade, onde evaporitos precipitam-se numa rampa carbonática (KENDALL & WARREN, 1988). As formações San Andrés na bacia permiana do Texas, e Red River na Bacia de Willinston, EUA são exemplos de depósitos antigos.

Evaporitos subaquosos atuais ocorrem apenas em bacias hipersalinas bastante rasas (cerca de 5 m), tanto em continentes quanto nas margens dos mares Mediterrâneo, Vermelho e Morto, além de em alguns pontos na costa sudoeste da Austrália (KENDALL, 1988). O maior representante continental atual é o *Salar de Uyuni* no altiplano boliviano, a 3.650 m de altitude numa região fria e desértica. Os depósitos subaquosos diferenciam-se dos *sabkhas* por apresentar ciclos mais espessos de camadas evaporíticas que podem ser correlacionadas por dezenas a centenas de quilômetros. Além de apresentarem espessuras bem menores, os *sabkhas* possuem cada ciclo de deposição marcado por uma superfície de erosão subaérea e mostram-se, na maioria das vezes, como interdigitações de camadas evaporíticas, carbonáticas e siliciclásticas (SARG, 2002).

Apesar de existirem evaporitos antigos similares aos depósitos de *sabkhas* atuais, os grandes depósitos antigos (com mais de 50 m de espessura) formaram-se em bacias amplas, tanto em águas rasas como profundas. A classificação destes depósitos, na verdade,

deveria ser entendida mais como uma classificação de prováveis modelos, visto que, além de controvérsias geradas, alguns depósitos gigantes já foram explicados tanto em águas rasas como profundas. Para Warren (1989), as salinas gigantes possuem espessuras de centenas a milhares de metros e são compostas por empilhamento de ciclos de salinização ascendente (*brining upward*) de dezenas a centenas de metros de espessura. Estes depósitos se estendem por toda a bacia e apresentam evidências texturais que indicam desde ambientes de águas profundas até aos de planície de maré. Não existem análogos modernos destes depósitos gigantes de evaporitos.

As bacias salinas amplas mostram feições diferentes de uma simples salina lagunar ou de *sabkhas* (BABEL, 2004). Entre estas se destacam: a – grande rebaixamento por evaporação; b – mudanças do nível da água não dependentes ou muito poucos dependentes, das flutuações do nível global dos mares; c – dinâmica sedimentar controlada principalmente pelo clima, e secundariamente ou somente ocasionalmente por mudanças no nível do mar; d – alta acomodação independente do nível do mar; e – agradação como reflexo de transgressões autocíclicas ou um trato de sistemas transgressivo intrabacinal; f – variabilidade de possíveis tipos de salmoura (marinha, não marinha, ou mista). Conforme será discutido no próximo item, estas são algumas das muitas peculiaridades que tornam mais difícil e complexa a aplicação dos conceitos de estratigrafia de sequências aos grandes depósitos evaporíticos.

Mesmo com a dificuldade de se enquadrar bacias antigas em modelos de deposição, devido às dúvidas quanto à gênese e à existência de vários fatores distintos quanto ao contexto tectônico e história geológica, uma classificação bem prática e bastante citada na bibliografia é a proposta por Warren (1989). Esta classificação consiste em três tipos principais, de acordo com a profundidade da bacia e de sua lâmina de água (Figura 2.2).

#### **a) Bacia Rasa – Água Rasa**

Neste tipo, a fisiografia do fundo da bacia estaria rasa desde o início da deposição, permanecendo assim até seu final. A subsidência da bacia originaria geração de espaço que seria preenchido continuamente pelos evaporitos. Segundo Warren (1989), este tipo de deposição é encontrado em riftes e é marcado por uma sequência continental na base e uma seção marinha sobreposta. Além das bacias marginais do Atlântico, seriam exemplos deste tipo a Bacia do Solimões e as bacias de Michigan e Willinston nos EUA.



A controvérsia maior é a colocação das bacias da margem continental nesta classificação. Como já amplamente discutido por Demercian (1996) e Dias (1998), o grande problema é a geração de espaço para a deposição de até 2.500 m de evaporitos, como ocorre na bacia de Santos. De acordo com datações citadas por Demercian (1996.) o tempo máximo estimado para a deposição e todo o pacote evaporítico seria de seis milhões de anos. Isto resultaria numa subsidência mínima de 410 m por milhão de anos, considerada muita alta para este tipo de bacia.

#### **b) Bacia Profunda – Água Rasa**

Neste modelo a bacia seria restrita e isolada do oceano aberto por algum tipo de barreira fisiográfica. O nível da água na bacia seria sempre relativamente raso e com cota mais baixa que o mar aberto. A entrada de água do mar poderia se dar por variações eustáticas, fazendo com que o nível dos mares ultrapassasse a barreira, por pequenas passagens na barreira ou, mesmo, através da própria barreira por infiltrações, além de prováveis influxos continentais, principalmente subterrâneos.

A precipitação contínua nesta bacia restrita pode preenchê-la com um espesso pacote evaporítico, dependendo da altura da barreira e da própria subsidência da bacia. Os evaporitos messinianos do Mediterrâneo e os depósitos da bacia de Paradox nos EUA teriam se formado desta maneira.

#### **c) Bacia Profunda – Água Profunda**

Kendall, A.C. & Harwood, G.H. (1992) coloca que vários depósitos evaporíticos interpretados atualmente como de águas profundas, anteriormente, já foram interpretados como de águas rasas. Dos três tipos de depósitos da classificação, este é o mais polêmico, e o menos conhecido, não havendo nenhum análogo atual que apresente as mesmas características. O mais similar seria o Mar Morto que, somente no Holoceno, depositou mais de 90 m de sedimentos (WARREN, 1989), embora não existam camadas tão espessas e laminadas, exclusivamente de evaporitos, como as encontradas nos depósitos antigos. Uma das principais justificativas para a ocorrência deste tipo de deposição é a que a evaporação é um processo que ocorre na interface da água-ar, não dependendo da profundidade da lâmina de água onde ocorre. Entretanto, não se tem ideia da profundidade real em que tais depósitos

se formaram, visto que os organismos bentônicos, que são bons indicadores de profundidade, não sobrevivem em águas hipersalinas de fundo.

A ocorrência no registro geológico de grandes depósitos evaporíticos, com alta continuidade lateral e vertical e com ciclos mineralógicos repetitivos e similares, seria a principal evidência deste tipo de deposição. Isto porque o desenvolvimento de camadas evaporíticas homogêneas e contínuas só poderia ser justificado por uma salmoura de grandes proporções, viável apenas numa bacia de água profunda (KENDALL, 1992). A ausência de fácies indicativa de águas mais rasas, indicando um ambiente de energia bem mais baixo, também parece levar a esta interpretação. Entretanto, o próprio Kendall salienta, que a ocorrência de camadas correlacionadas a grandes distâncias também pode ocorrer em depósitos de águas rasas, devido a forte estratificação da massa de água, onde o fundo mais denso impedirá o retrabalhamento por ondas. Turbiditos e depósitos de fluxo de massa, compostos por gipsita e escorregamento de depósitos de anidrita, descritos no Mioceno da Sicília e no Permiano da Alemanha (Zechstein), também corroboram com a interpretação de água profunda para tais depósitos. Exemplos antigos desse tipo de depósito seria a Formação Salado da Bacia de Delaware nos EUA e o depósito de Zechstein na Alemanha.

Estudos mais recentes efetuados por Krijgsman *et al.* (1999), colocam pelo menos boa parte dos evaporitos do Messiniano do Mediterrâneo como de origem em água profunda em uma bacia profunda. Para esses autores, a denominada “crise de salinidade do Messiniano” tem origem predominantemente tectônica. A ciclicidade dos seus depósitos seria regida por mudanças na precessão da Terra, e não em mudanças do nível do mar devido à glacio-eustasia causada pela obliquidade, como boa parte dos pesquisadores defende.

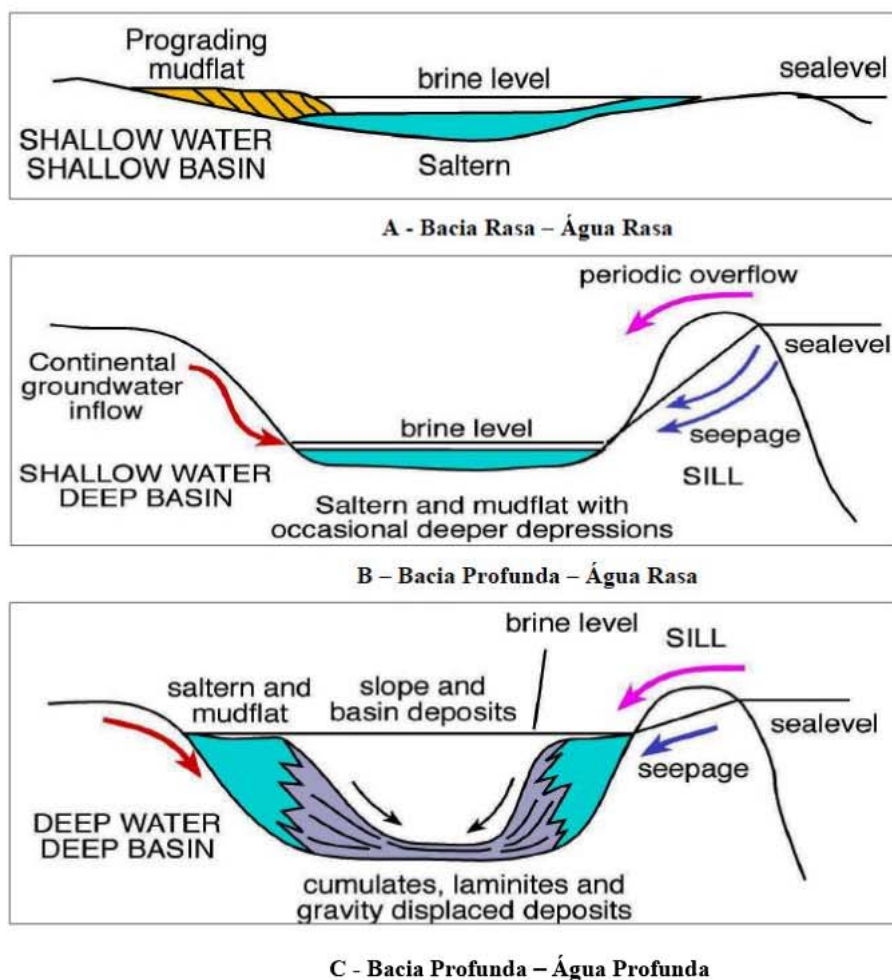


Figura 2.2 – Os três tipos principais de depósitos de evaporitos de acordo com a profundidade da bacia e da lâmina de água, como proposto por Warren (1989).

Outra forma de Classificação dos depósitos evaporíticos gigantes do passado pode ser feita através do seu ambiente tectônico. Sarg (2002) agrupa as salinas gigantes antigas em três grupos tectônicos distintos que estriam relacionados com origem da restrição destas bacias. Depósitos do Paleozóico inferior ocorrem em bacias continentais interiores, do tipo intracrtônica, e seus melhores exemplos são o Cambriano e Ordoviciano da Sibéria, o Siluriano superior da bacia de Michigan e o Devoniano do oeste do Canadá. Já os evaporitos do Paleozóico superior e Mesozóico inferior depositaram-se em bacias distais do tipo *foreland*, em ambiente pós-orogênico. Podem assim ser classificadas, a bacia Pensilvaniana de Paradox, o Permiano da região do mar Cáspio e o Permiano Superior ao longo das regiões altas estiradas do oeste do Texas, Norte da Europa e Rússia central. Por fim, espessos pacotes evaporíticos ocorrem durante o Mesozóico (Triássico Médio, Jurássico Médio e Aptiano) em estágios tardios da fase sin rifte das bacias Atlânticas.

### 2.3. Evaporitos e Tectônica de Placas

Examinando-se a reconstituição das posições das placas tectônicas através do tempo, imediatamente se destaca a alta frequência de climas desérticos através da história da Terra. Climas desérticos são frequentemente relacionados, nos registros geológicos, as espessas seções de evaporitos que se depositaram em ambientes lacustres ou marinhos adjacentes às margens de recentes rupturas de placas continentais, em terrenos compressionais de colisão de margens ou, ainda, atrás de barreiras deposicionais e estruturais em áreas de soerguimento tectônico local (Kendall *et al.*, 2002). Para Kendall, estes cinturões lineares de rochas evaporíticas podem estar diretamente relacionados a épocas de grandes estiagens devido a:

- Larga extensão emersa das placas continentais envolvidas;
- Ocorrência de crosta marginal soerguida à cinturões lineares de crosta deprimida, formando bacias inter-montanhas;
- Ocorrência de cinturões lineares de crosta deprimida com superfícies frequentemente abaixo do nível do mar;
- Ocorrência de drenagem interna e/ou acesso limitado às águas do oceano aberto;
- Localização em um cinturão climático já caracterizado pela baixa precipitação.

Kendall *et al.* (2002), citam vários exemplos de depósitos evaporíticos antigos e atuais relacionados aos três tipos de terrenos tectônicos por eles propostos.

#### 1 – Evaporitos gerados durante a abertura de placas continentais:

Mesozóico do Atlântico Norte, do golfo do México, das Bacias marginais do Atlântico Sul, do Cinturão de riftes do Iêmen; Mesozóico e Terciário da Eritréia; o rifte do leste africano e o atual Mar Morto.

## **2 – Evaporitos gerados durante a colisão de placas continentais:**

O Mesozóico, o Terciário e os atuais depósitos do golfo Arábico; O siluriano da Bacia de Michigan; o Devoniano do Oeste Canadense e Noroeste dos EUA; o Pensilvaniano da Bacia Paradox; o Permiano do Novo México e Oeste do Texas; o Permiano da Bacia de Zechstein; o Jurássico da Bacia de Neuquen na Argentina; o Terciário do Mediterrâneo e o Mesozóico e Terciário das fases finais do mar de Tethys (bacias *foreland* no mar Cáspio e Aral).

## **3 – Evaporitos gerados atrás de barreiras estruturais e sedimentares associadas:**

Permiano da Formação Khuff e o Grupo Mountain Tuwaiq Superior, ambos acumulados na margem leste do Golfo Arábico, então isolados do mar de Tethys.

### **2.4. Fácies Sedimentares**

A definição de todas as fácies sedimentares em um ambiente permite a elaboração de um modelo deposicional através da sucessão temporal, o qual consiste em restituir a paisagem no momento da deposição, apresentando com detalhes, as variações climáticas, hidrodinâmicas e biológicas. Segundo Brown & Fischer (1977) essa interação no espaço formado pela associação de fácies acumuladas pelos diversos processos deposicionais que se desenvolvem em um mesmo ambiente de sedimentação corresponde a um sistema deposicional, o qual seria a expressão sedimentológica das sequências deposicionais da estratigrafia de sequências.

Conforme Borghi, (2000), as associações de fácies, retratam o registro deposicional de uma história coerente de processos sedimentares e geomorfológicos operantes na evolução de componentes de um cenário paleogeográfico (estáticos ou dinâmicos na sedimentação). Assim, este estudo estabelece o princípio operacional de fácies em termos de

arquitetura deposicional, em qualquer escala de análise, ao assumir o modelo proposto por Borghi (1997), o qual postulou que:

“... fácies contidas entre superfícies de acamamento de mesma ordem hierárquica em uma mesma sucessão estratigráfica, sem a intervenção de superfícies de magnitude maior, guardam entre si uma relação genética e podem ser estabelecidas em associação”.

#### **2.4.1. *Fáciologia do Membro Ipubi da Formação Santana***

No Membro Ipubi, foram realizados poucos estudos sobre sua associação faciológica, devido à singularidade desta unidade. Viana (1990) caracterizou o Membro Ipubi petrograficamente, e em 2005 o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM realizou o projeto na região de Pernambuco, com o objetivo de desenvolver os estudos sobre a origem dos episódios evaporíticos da região da Bacia Araripe, através de vários estudos físicos e químicos, porém não definido a sucessão estratigráfica de modo a esclarecer e postular a origem da sedimentação. Freire Jr *et. al.*(2009) realizaram um estudo faciológico preliminar no Membro Ipubi, dividindo o membro Ipubi em três fácies: da base para o topo, são as seguintes: fácies gipsítica-anidritica, fácies argilo-carbonática e fácies gipsítica (Figura 2.3), caracterizado petrograficamente, mostrando as mudanças mineralógicas de todas as fácies.



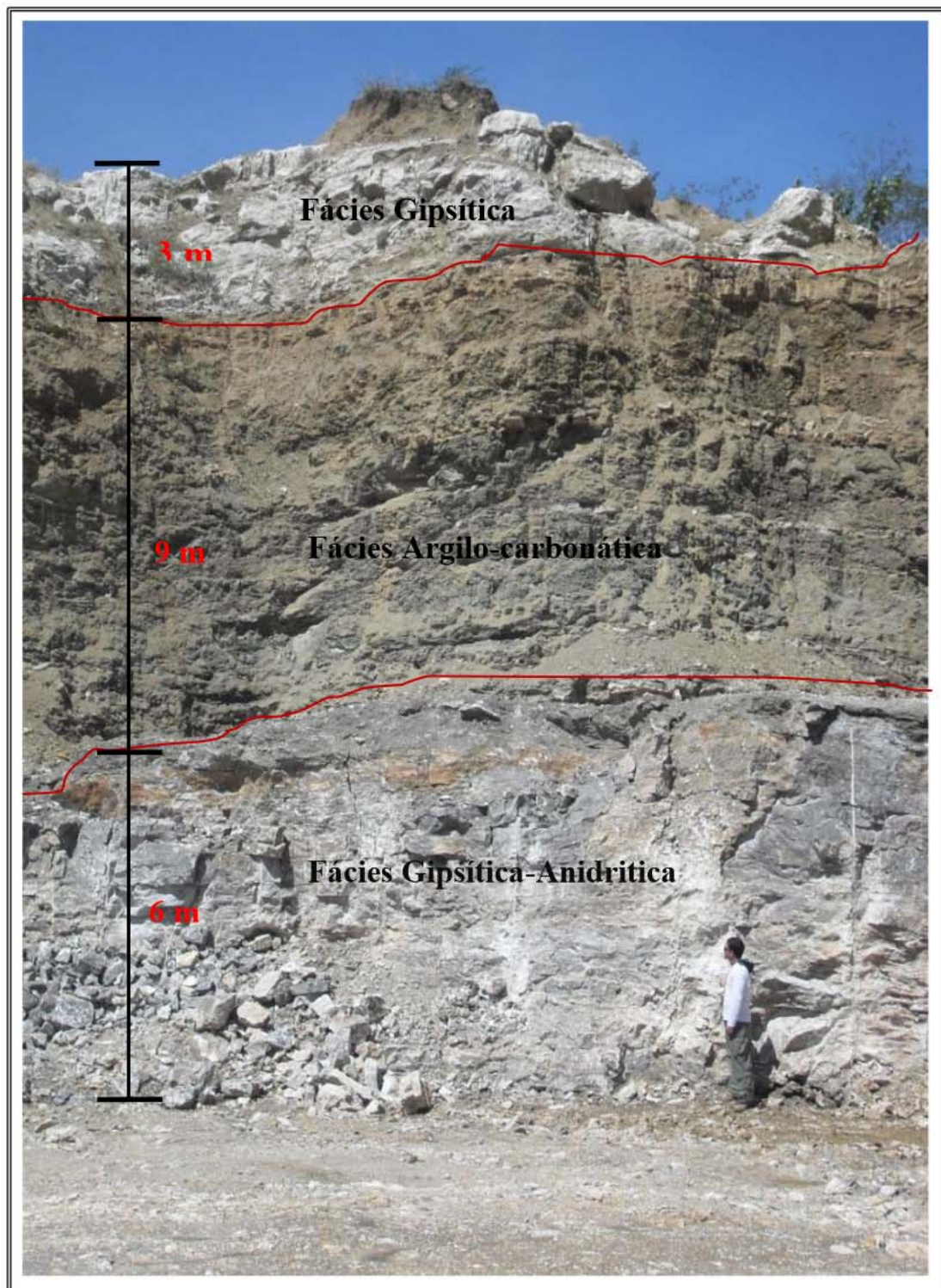


Figura 2.3 - Mina conceição preta, mostrado as três associações faciológicas estudadas. (FREIRE JR, 2010)

## CAPITULO III

### ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 3.1. Considerações Iniciais

A Bacia do Araripe está situada no interior do Nordeste do Brasil, na região limítrofe dos estados do Ceará, Piauí, Paraíba e Pernambuco, entre as coordenadas geográficas 07°00' e 08°00' de latitude sul, e 38°00' e 41°00' de longitude oeste, ocupando uma área de mais de 8.000 Km<sup>2</sup>. As principais cidades localizadas sobre a bacia sedimentar, ou nas imediações, são: Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Missão Velha, Milagres, Brejo Santo, Jardim e Mauriti, no estado do Ceará; Araripina e Exu, em Pernambuco.

Inclui-se no contexto de pequenas Bacias Interiores do Nordeste Brasileiro, as quais são fortemente controladas pelas estruturas do embasamento Pré-Cambriano/Eo Paleozóico, que foram reativadas ao longo do Fanerozóico, em especial durante os eventos tafrogênicos do Eocretáceo, culminando com o rifteamento do Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul (BRITO NEVES, 1990).

Poucos trabalhos sobre a geologia da Bacia do Araripe, quase que exclusivamente de cunho paleontológico, foram desenvolvidos até 1950. Ainda no século passado, nas décadas de 60 e 70, destacam-se os trabalhos da Universidade Federal de Pernambuco, principalmente os de Beurlen (1962, 1963, 1971 a, b), e trabalhos técnicos da SUDENE, com mapeamento de algumas folhas cartografadas na escala de 1:50.000 (ANJOS, 1963; VEIGA, 1966; CALDASSO, 1967).

Na década de 1980, o conhecimento sobre os evaporitos da Formação Santana e os dados gravimétricos obtidos por Rand & Manso (1984), despertaram o interesse para as potencialidades petrolíferas da bacia, levando seis empresas nacionais, lideradas por AZEVEDO & TRAVASSOS PETRÓLEO S/A e ANDRADE GUTIERREZ ENERGIA LTDA., a assinarem contrato com a PETROBRAS, para exploração de petróleo com cláusula de risco. Nessa década foi dada grande ênfase à litoestratigrafia na bacia. Finalmente, na década de 1990 e até os dias de hoje, é crescente o interesse sobre um maior entendimento acerca dos processos sedimentares e de ambientes deposicionais, que atuaram na Bacia do Araripe, em especial à Formação Santana, pela sua variedade faciológica e vasto conteúdo



fossilífero. Diversos trabalhos foram realizados na região que delimita a Bacia do Araripe, tanto em escala regional quanto em escala local nos últimos anos, o que contribuiu muito para uma uniformização de conceitos referentes à sua origem e formação, tornando mais fácil uma compreensão dos aspectos geológicos desta região. Estes trabalhos enriquecem o banco de dados sobre a bacia e, desta forma, contribuem para um aproveitamento econômico de algumas das formações que compõem o pacote sedimentar (PONTE & PONTE FILHO 1996).

### 3.2. Estratigrafia

A primeira proposta de divisão estratigráfica para o preenchimento sedimentar da Bacia do Araripe foi efetuada por Small (1913), que reconheceu três seqüências distintas: a) arenito inferior, com um conglomerado basal; b) calcário Santana; c) arenito superior. Posteriormente, vários autores propuseram uma compartimentação estratigráfica mais detalhada para a bacia (Figura 3.1.), entre os quais, Beurlen (1962, 1971), Braun (1966), Mabesoone & Tinoco (1973), Silva (1976), Lima (1978), Silva (1983, 1988), Ghignone *et al.* (1986), Assine (1990, 1994), Viana (1990), Viana & Cavalcanti (1991), Ponte & Appi (1990), Martill (1993), Neumann (1999), Neumann & Cabrera (1999) e Assine (2007). Até o início da década de 1990, a proposta mais aceita era a de Beurlen (1971b), que fez os maiores avanços no entendimento da seqüência pós-rifte, com a definição de nomes utilizados ainda hoje, com pequenas alterações conceituais.

A proposta de Neumann e Cabrera (1999) reconhece cinco seqüências tectono-sedimentares na Bacia do Araripe, com base no que foi definido por Ponte & Appi (1990): seqüência Beta (Siluro-Devoniana?); seqüência Pré-rifte (Neojurássica); seqüência Sin-rifte (Berriasiana a Valanginiana); seqüência Pós-rifte (Aptiana a Albiana); e seqüência Zeta (Cenozóica).

A seqüência Beta é representada pela Formação Mauriti (ANJOS, 1963). As unidades das demais seqüências foram agrupadas numa unidade maior, chamada Supergrupo Araripe, que reúne os grupos Vale do Cariri e Santana. O primeiro grupo engloba as formações Brejo Santo (Pré-rifte), Missão Velha e Abaiara (Sin-rifte), e o Grupo Santana, as Formações Rio da Batateira, Crato, Ipubi, Romualdo e Arajara (Pós-rifte). Ainda neste grupo, mas separada por uma discordância, tem-se a Formação Exu (Zeta), que dá sustentação à chapada. Entretanto, há controvérsia significativa na proposta de Neumann e Crabreira

(1999), pois, não há consenso na elevação da Formação Santana de formação para grupo como também dos membros Crato, Ipubí e Romualdo para Formação, assim como da proposta de Assine (2007) que rebaixou o Membro Ipubi para apenas uma camada entre os membros Crato e Romualdo. Neste trabalho, será utilizada a coluna estratigráfica de Ponte & Appi (1990) (Figura 3.2.).

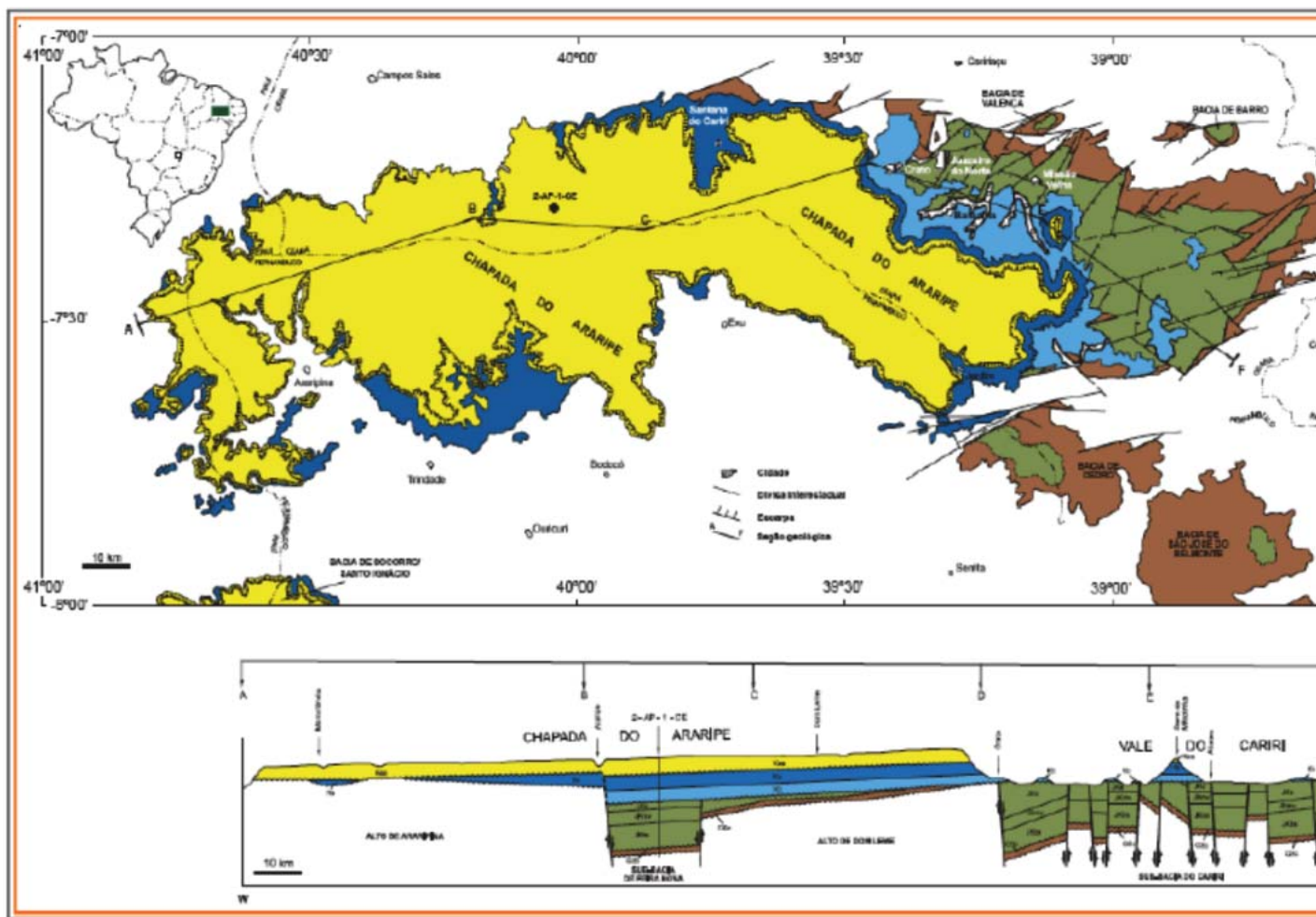


Figura 3.1 - Mapa Geológico da Bacia do Araripe. (Assine, 1990).

	Zeta	Pós-Rifte				Sin-Rifte	Pré-rifte	Beta
Assine (2007)	Fm. Exú Fm. Araripina	Formação Santana Membro Romualdo      Membro Crato      Fm. Barbalha				Formação Abaiara	Fm. Missão velha	Fm. Brejo Santo Formação Cariri
Neumann e Crabreira (1999)	Fm. Exú Fm. Arajara	Supergrupo Araripe Grupo Santana Fm. Romualdo      Fm. Ipubi      Fm. Crato      Fm. Rio da Batateira				Grupo Vale do Cariri Fm. Abaiara      Fm. Missão velha      Fm. Brejo Santo		Formação Mauriti
Martin (1993)	Fm. Exú	Fm. Romualdo	Fm. Ipubi	Fm. Crato	Fm. Rio da Batateira	Formação Missão velha		Formação Cariri
Ponte & Appi (1990)	Fm. Exú Fm. Arajara	Grupo Araripe Formação Santana Membro Romualdo      Membro Ipubi      Membro Crato			Fm. Rio da Batateira	Grupo Vale do Cariri Fm. Abaiara      Fm. Missão velha      Fm. Brejo Santo		Formação Mauriti
Assine (1994)	Fm. Exú Superior Inferior	Formação Santana Membro Romualdo      Membro Ipubi      Membro Crato			Fm. Barbalha	Grupo Juazeiro do Norte Fm. Abaiara      Fm. Missão velha      Fm. Brejo Santo		Formação Cariri
Ghignone et al (1986)	Fm. Exú	Formação Santana				Formação Missão velha		Formação Mauriti
Silva (1983, 1986)	Fm. Exú	Grupo Araripe Formação Santana      Formação Araripina		Grupo Brotas Formação Sergi      Fm. Aliança			Paleozóico	
Lima (1978)	Fm. Exú	Formação Santana Membro Crato			Formação Sergi	Fm. Aliança		Formação Taracatu
Morais et al. (1976)	Fm. Exú	Formação Santana Fácies Argilo - Evaporítica		Fácies Carbonática		Fácies Arenosa	Unidade Inferior	Formação Cariri
Silva (1976)	Fm. Exú	Formação Santana			Formação Sergi	Fm. Aliança		Formação Taracatu
Mabesoone & Tinico (1973)	Fm. Exú	Membro Romualdo	Membro Ipubi	Membro Crato	Formação Sergi	Fm. Aliança		Formação Taracatu
Beurden (1971)	Fm. Exú	Grupo Araripe Formação Santana Membro Romualdo      Membro Ipubi      Membro Crato			Formação Missão velha			Formação Cariri
Braum (1971)	Fm. Exú	Grupo Pós - Tectônico Formação Santana			Grupo Pré-Tectônico Formação Sergi      Fm. Aliança		Formação Taracatu	
Gasparny & Anjos (1964)	Fm. Feira Nova	Formação Santana			Formação Missão velha	Fm. Brejo Santo		Formação Mauriti
Beurden (1962)	Fm. Exú	Formação Santana			Formação Missão velha			Formação Cariri
Small (1913)	Arenito Superior	Calcário Santana			Arenito Inferior			Arenito Conglo-merático

Figura 3.2. - Quadro comparativo resumido das principais subdivisões estratigráficas propostas para a Bacia do Araripe (modificado de Ponte & Appi (1990).

### 3.3. Embasamento Pré-Cambriano

Foram selecionados alguns trabalhos de caráter regional, aqui considerados mais relevantes com relação à área pesquisada, destacando-se Moraes *et al.* (1960), Barros (1981), Dantas (1974) e Brito Neves (1990). Os três primeiros autores atribuem ao Pré-Cambriano indiferenciado uma sequência basal, gnáissica, com exposições na porção norte da Bacia do Araripe, nos municípios de Assaré e Farias Brito. França *et al.* (1970) estabeleceram a sequência de rochas Pré-Cambrianas, tendo como unidade basal os anatexitos da região de Lima Campos e Assaré, seguidos dos migmatitos da região de Dom Quintino e da sequência gnáissica de Trindade. Dantas (1974) denominou de complexo gnáissico-migmatítico do Pré-Cambriano Indiviso a área a norte e a nordeste da Bacia do Araripe, constituído de gnaisses leucocráticos, gnaisses brechóides e gnaisses-migmatíticos, todos de origem granitóide, subordinadamente intrafoliados, e veios aplíticos.

Gomes *et al.* (1981) denomina de Complexo Trindade as rochas circunvizinhas à Bacia do Araripe, constituídas por uma associação polimetamórfica predominantemente gnáissico-granítica-migmatítica. Com relação à petrografia predominam os gnaisses, seguidos dos granitos e migmatitos homogêneos e em menor escala, lentes de quartzitos, mármore, ortoanfibolitos, metabasitos e zonas de rochas cataclásticas. Campos *et al.* (1976) denominam de Complexo Caicó as rochas do embasamento da sequência identificada por Dantas (1974). Tendo estabelecido seu posicionamento no Pré-Cambriano Indiferenciado. Brito Neves (1990), posicionam esta unidade, do ponto de vista geotectônico, como pertencente às faixas de dobramentos Jaguaribana e Piancó – Alto Brígida.

Do ponto de vista estrutural o embasamento cristalino da Bacia do Araripe desenvolve-se tanto no Domínio Cearense (Maciço de Santa Quitéria e Maciço do Rio Piranhas) quanto no Domínio Transnordestino (Subdomínio Seridó, Piancó – Alto Brígida e Riacho do Pontal) aflorando na porção sul da bacia, Brito Neves (1990) e Cordani *et al.* (1984), esquematizaram os principais traços de falhas, relacionando-as às principais bacias interiores do nordeste do Brasil, tendo ao norte da área deste trabalho o ramo principal do Lineamento de Patos (Patos – Aurora) e a Falha Farias Brito como elementos estruturais de destaque. Segundo Sales e Leal Neto (1995) e Sales e Leal Neto (1996) os terrenos gnáissico-migmatíticos, pertencentes a sequência Pré-Cambriana, localizados na borda norte da Bacia do Araripe (Figura 3.1), na região de Nova Olinda e Altaneira, apresentam *trend* estrutural NE-SW, composição granítica *s.l.*, granulação média a grossa, com porfiroclastos, dobras, foliação transposta, estiramento mineral e fraturas.

### **3.4. Empilhamento Sedimentar**

Segundo Ponte e Appi (1990), ocorrem cinco tectono-sequências limitadas por discordâncias regionais ou por descontinuidades deposicionais. São elas: a Tectono-sequência Beta, de idade Neo-ordoviciana a siluriana; Tectono-sequência Pré-rifte, de idade Neojurássica a Eocretácica; a tectono-sequência Sin-rifte, de idade Eocretácica (Neocomiana); a Tectono-sequência Pós-rifte, de idade Mesocretácica (Albo-cenomaniana?) e a Tectono-sequência Zeta, de idade Cenozóica. (figura 3.3.)

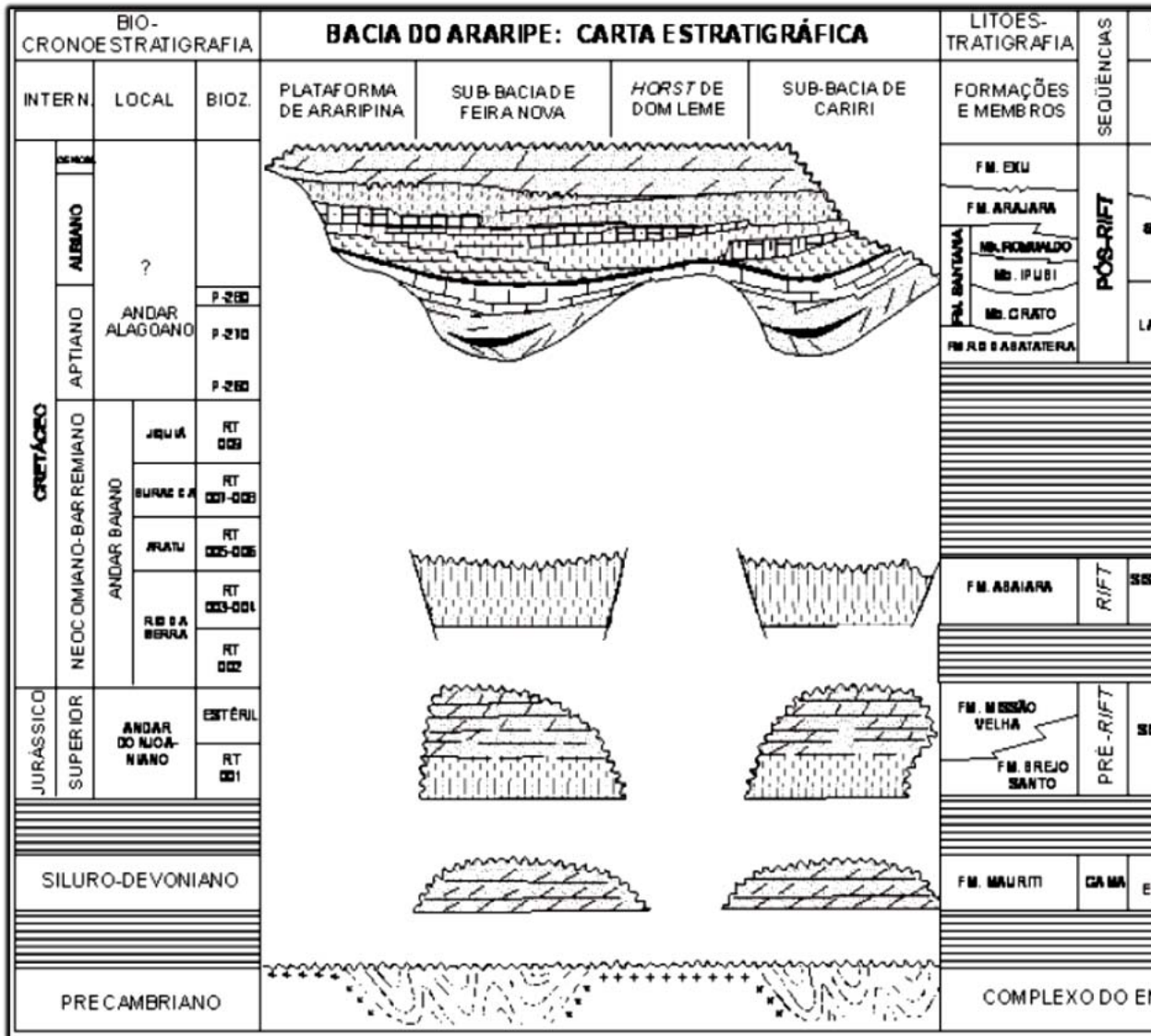


Figura 3.3 - Carta estratigráfica da Bacia do Araripe (Modificado de Ponte, 1990).

### 3.4.1. Tectono - Sequência Beta (Neo-ordoviciana a Siluriana)

#### 3.4.1.1. Formação Mauriti

A Formação Mauriti é a unidade basal da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe. Foi individualizada, pela primeira vez, por Small (1913), sob a designação de “Arenito Conglomerado”. Beurlen (1962; 1963), batizou-a de Formação Cariri. Gaspary e Anjos (1964), a rebatizaram como Formação Mauriti, nome derivado de sua localidade-tipo.

Braun (1966), baseado em correlações estratigráficas regionais e com o objetivo de reduzir o número de denominações litoestratigráficas, propôs duas alternativas de nomenclatura para esta formação: (1) Formação Taracatu, nome transposto das Bacias de Jatobá (PE/BA) e (2) Formação Serra Grande, da Bacia do Parnaíba (PI e MA).

Ponte e Appi (1990) adotaram a designação de Formação Mauriti, em detrimento das demais, pelas seguintes razões: (1) O nome deriva de uma localidade-tipo bem definida, onde ocorrem as mais vastas e típicas áreas de afloramentos da formação; (2) O nome Formação Cariri, embora tenha prioridade, decorrente da precedência na data de publicação, é uma designação “imprópria, pois se refere a uma extensa região, onde afloram outras formações, e não a uma localidade-tipo” (BRAUN, 1966). Neste caso, a simples prioridade de um termo inadequado, não deve inibir a sua substituição por uma designação mais exata e apropriada. (3) Os termos Formação Taracatu, e Formação Serra Grande, por serem termos de outras bacias, são impróprios para designar uma unidade estratigráfica semelhante, na Bacia do Araripe. O argumento de que todas pertencem a uma mesma unidade tectono-sedimentar, com uma continuidade pretérita entre essas bacias, não é suficiente, por se tratar de uma conclusão interpretativa, por melhor que ela seja; (4) Todas essas designações têm sido usadas em publicações relevantes, de tal modo que o critério de prioridade, devido à consagração pelo uso, não é privilégio particular de qualquer delas, isoladamente.

A Formação Mauriti é constituída de quase que exclusivamente de arenitos, feldspáticos ou quartzosos, com níveis descontínuos de siltitos brancos com tonalidades arroxeadas exibindo uma sequência litologicamente monótona, com estratificações cruzadas de médio porte. A Formação Mauriti, repousa sobre o Embasamento Pré-Cambriano e é superposta discordantemente pela Formação Brejo Santo, de idade Neojurássica. A unidade é afossilífera, de modo que sua presumível idade Neosiluriana a Eodevoniana é inferida.



### 3.4.2. Tectono - Sequência Pré-Rifte (Neojurássica e Eocretácica).

#### 3.4.2.1. Formação Brejo Santo

A autoria do termo Formação Brejo Santo é atribuída a Gasparly e Anjos (1964). A designação foi usada para individualizar a parte basal da Formação Missão Velha de Beurlen (1962), constituída de arenitos finos a médios, argilosos, siltitos e argilitos vermelhos, marrons e esverdeados bem estratificados.

O nome deriva da localidade-tipo, situada nos arredores da cidade de Brejo Santo, no Estado do Ceará. A formação assenta-se discordantemente sobre a Formação Mauriti (Siluro-devoniana) e é superposta, em contato concordante e transicional, pela Formação Missão Velha.

De acordo com Braun (1966) o conteúdo paleontológico inclui uma paleofauna de ostracodes, da biozona de *Bissulcoocypris pricei* (RT-001) indicativa do Andar Dom João, atribuído ao Neojurássico; e conchostráceos fósseis: *Bairdestheria mawsoni*, *B. mirandibensis* e *Palaeolimnadiopsis barbosai*.

#### 3.4.2.2. Formação Missão Velha

O termo Formação Missão Velha foi definido por Beurlen (1962), com uma abrangência muito ampla, sendo posteriormente restringida por Gasparly e Anjos (1964), com o desmembramento de sua parte basal. Posteriormente Braun (1966) usou para esta unidade a designação de Formação Sergi, transposta da formação correlata das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. Deste modo, ao substituir a Missão Velha pelas Formações Aliança e Sergi, Braun (1966) restringiu mais ainda a abrangência da unidade litoestratigráfica. Com isso, Braun (1966) excluiu a parte superior da unidade, originalmente definida por Small (1913) e por Beurlen (1962).

De acordo com Ponte & Appi (1990) a litoestratigráfica da Formação Missão Velha apresenta na base os arenitos conglomeráticos, cinza avermelhados, com fragmentos de feldspato e rochas do embasamento cristalino. Na porção intermediária passam a arenitos finos lenticulares, carbonáticos, com estratificação cruzada. O topo da formação exhibe folhelho arenoso fossilífero (truncos silicificados de tamanhos variados), cinza-esverdeado carbonático e friável.

A localidade-tipo da formação situa-se nos arredores da cidade de Missão Velha, no Ceará, com ótimos afloramentos na localidade de Grota Funda e também ao norte da cidade de Abaiara.

A Formação Missão Velha repousa sobre a Formação Brejo Santo, em contato normal e gradacional, sendo superposta pela Formação Abaiara.

### **3.4.3. Tectono – Sequência Sin-Rifte (Eocretácica-Neocomiana)**

#### ***3.4.3.1. Formação Abaiara***

De acordo com Ponte e Appi (1990), esta formação é constituída por intercalações bem estratificadas de arenitos finos, argilosos, micáceos, friáveis, laminados; siltitos e folhelhos, de cores variadas desde amarelos, avermelhados, cinza e esverdeados. O conteúdo paleontológico inclui ostracodes de biozonas indicativas dos andares Rio da Serra /Aratu, (Neocomiana). A litologia e o conteúdo fossilífero desta formação são indicativos de sedimentação em ambiente lacustre raso e fluvial.

O nome deriva da cidade de Abaiara, no Ceará, escolhida como localidade-tipo em virtude dos afloramentos encontrados ao sul da cidade, notadamente nas margens da estrada carroçável Abaiara-Olho d'Água do Milho, a partir do riacho do Camelô.

O contato inferior da Formação Abaiara, sobre a Formação Missão Velha é normal e gradacional. O contato superior é formado por uma discordância de idade Pré-Aptiana, sobre a qual se assenta a Formação Rio da Batateira ou a Formação Santana, ambas do Grupo Araripe (PONTE & APPI, 1990).

### **3.4.4. Tectono - Sequência Pós-Rifte (Mesocretácica)**

#### ***3.4.4.1. Formação Rio da Batateira***

Na localidade tipo, esta formação se inicia por espessas camadas de arenitos brancos e amarelos, médios e grossos, mal selecionados, com estratificações cruzadas, acamamento irregular, exibindo, com frequência, clastos alóctones. Intercalam-se arenitos médios a finos e siltitos argilosos, bem estratificados, amarelos, avermelhados e acinzentados (ASSINE, 1992a).

Ocorrem também, com menor frequência, arenitos finos, brancos, limpos, bem selecionados, laminados, com estratificações cruzadas de grande porte. Os folhelhos escuros, e em particular a camada de folhelho betuminoso, são bastante fossilíferos, contendo fragmentos de peixes, conchostráceos, ostracodes e pólenes de biozonas indicativas da parte superior do Andar Alagoas (PONTE; APPI, 1990).

A Formação Rio da Batateira ocorre apenas nas depressões estruturais, tais como a sub-bacia Cariri e sub-bacia Serrolândia, soterrado sob a Chapada do Araripe, onde foi perfurado o poço 2-AR-1-CE (PONTE & APPI, 1990). Em ambos os locais a espessuras da formação é da ordem de 200 metros.

#### **3.4.4.2. Formação Santana**

O nome desta formação deriva da localidade-tipo localizada nos arredores da cidade de Santana do Cariri, no Ceará, e foi individualizada estratigraficamente sob a denominação de “Calcário de São Anna” por Small (1913). Barros *et al.* (1981), dividiram a Formação Santana em dois membros, designados informalmente de inferior e superior. Beurlen (1963) desmembrou a parte inferior da unidade, sob o nome de Formação Crato. Este procedimento foi contestado por vários autores, como Moraes *et al.* (1963), Braun (1966) e Santos e Valença (1968).

Mais tarde o próprio Beurlen (1971) reconsiderou sua proposta e voltou a admitir a definição original de Formação Santana, subdividindo-a em três membros: Crato, Ipubi e Romualdo.

Do ponto de vista estratigráfico, Assine (1992) conclui, em análise faciológica e de sequências, que o regime de deposição dos sedimentos da Formação Santana ocorreu de forma contínua, sem intervalos ou hiatos deposicionais, evidenciando um ciclo transgressivo-regressivo com ingressão marinha de curta duração. Ponte (1992) no estudo da origem e evolução das bacias cretáceas do interior nordestino considerou a Formação Santana como de origem marinha litorânea e reforça o postulado de Beurlen (1963), de que o mar tenha ingressado através da Bacia do Parnaíba.

No presente trabalho, optou-se pela manutenção do termo Formação Santana, conforme originalmente definido e consagrado pelo uso, compreendendo os três membros: Crato, Ipubi e Romualdo (Beurlen, 1963), em contraposição das propostas de Neumann (1999) e Assine (2007).

### ***a) Membro Crato***

O Membro Crato, na parte inferior da formação, é composto da base para o topo, por folhelhos cinza e castanhos escuros e negros, calcíferos e laminados; calcários micríticos, cinza claro e creme, argilosos e finamente estratificados em lâminas paralelas e uniformes. A espessura média deste membro é da ordem de 50 metros, estimando-se que possa atingir espessuras máximas de até 80 metros.

### ***b) Membro Ipubi***

O Membro Ipubi é formado principalmente por gipsita e anidrita, com leitões de folhelhos pretos ou verdes intercalados subordinadamente. Esta camada evaporítica representa o clímax de uma sequência sedimentar em um lago interior, cujas águas se tornaram progressivamente salinas devido às altas taxas de evaporação (SILVA, 1983, 1988).

Assenta-se sobre o Membro Crato, onde seu contato com este membro é normal e gradacional e sob Membro Romualdo, apresentando contato nítido e brusco (ASSINE, 1992a).

### ***c) Membro Romualdo***

É constituído por intercalações de folhelhos, margas, calcários e lentes de arenitos friáveis esbranquiçados. Os folhelhos e margas são de coloração cinza-esverdeada, destacando-se um horizonte com muitas concreções fossilíferas ou ictiólitos (ASSINE 1992a).

Sua ambientação marinha é revelada pelas concreções carbonáticas com fósseis marinhos, indicativo de deposição em regime calmo e raso. Hospeda grande quantidade e variedade de fósseis nos folhelhos e nas concreções carbonáticas, podendo estes apresentar pirita na parte inferior da unidade, em meio às suas estratificações, e laminação plano paralela. Apresenta também concreções carbonáticas, representadas por bivalves, peixes, gastrópodes, ostracodes, vertebrados, etc.

De acordo com Viana e Cavalcanti (1991) seu limite inferior com o Membro Ipubi é, notavelmente, discordante, tendo sido definido na base da camada e de arenito conglomerático, e em seu limite superior com a Formação Arajara.

#### **3.4.4.3. Formação Arajara**

O termo Formação Arajara é utilizado para designar a sequência de siltitos argilitos e arenitos finos argilosos, bem estratificados e apresentando estruturas sedimentares do tipo de marcas onduladas e laminações cruzadas, podendo apresentar também estruturas de fluidização (PONTE & APPI, 1990).

Sua coloração é variada, mas com a predominância dos tons de vermelho e amarelo.

O nome “Formação Arajara” deriva da localidade-tipo de Arajara, no Ceará, em cujos arredores ocorrem bons afloramentos desta unidade (PONTE: APPI, 1990).

#### **3.4.4.4. Formação Exu**

Small (1913) atribuiu o nome inicial de Arenito Superior do Araripe, denominado, a seguir, de Formação Exu. Posiciona-se no topo de toda a chapada, com espessura de até 300m, e corresponde a um arenito de cor avermelhada, matriz argilosa, textura fina à média com significativa presença de seixos de quartzo de até cinco centímetros (ASSINE, 1992a).

Anjos *et al.*(1963), propuseram a denominação de Formação Feira Nova, justificando que a cidade de Exu está posicionada sobre o embasamento cristalino, não apresentando mudança que justifique o novo nome.

Assine (1990) posicionou-a e definiu uma idade Albiano-Cenoniano para os sedimentos da Formação Exu, atribuindo sua origem ao regime de deposição aluvial com base nas paleocorrentes com mergulho deposicional para oeste.

## CAPITULO IV

### MATERIAS E METODOS

#### 4.1. Metodologia

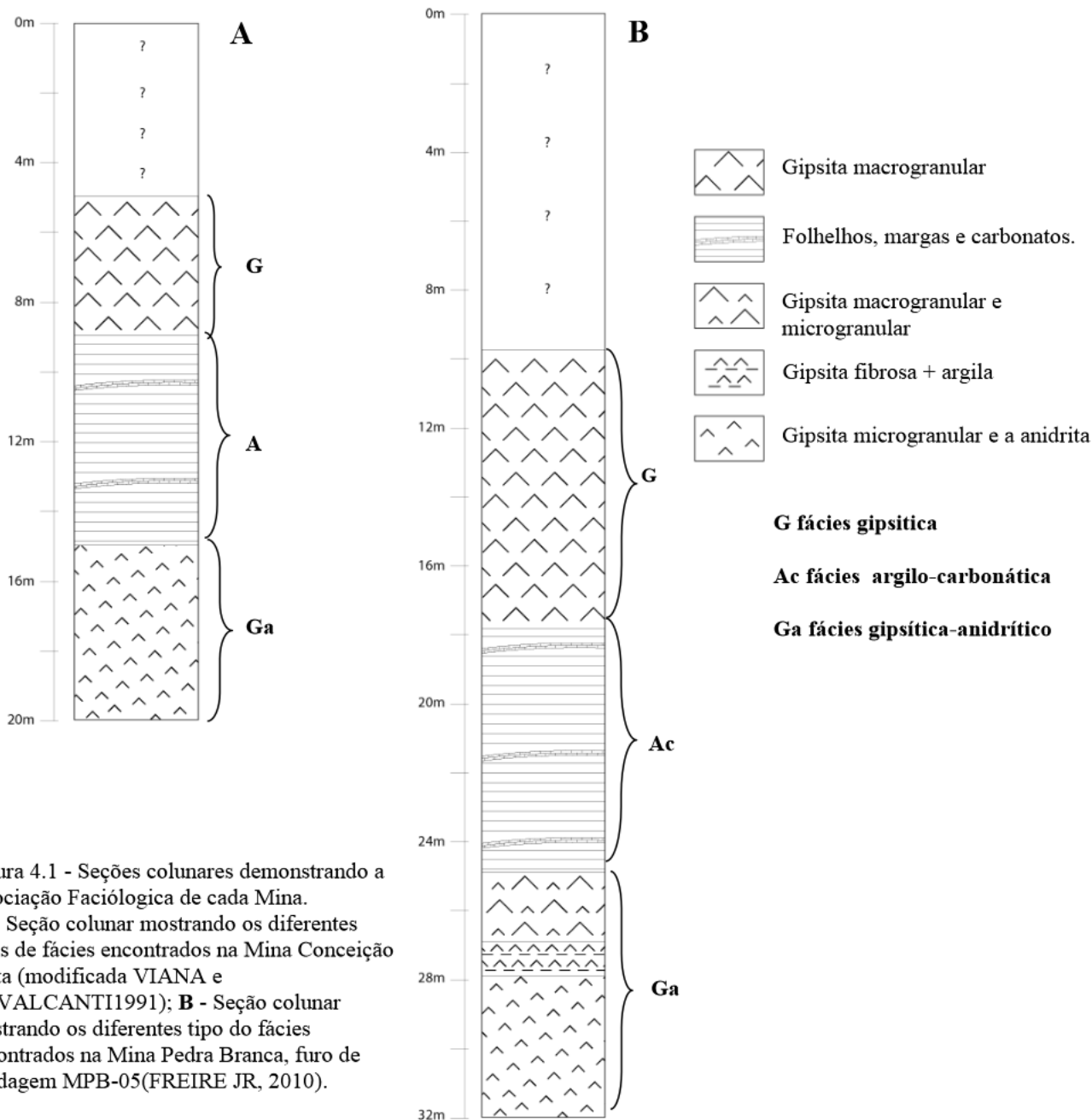
A metodologia e o material utilizado para esta dissertação são descritas em 04 (quatro) etapas distintas.

##### 4.1.1. Etapa Inicial:

O levantamento bibliográfico realizado para a área de pesquisa englobou diversos trabalhos publicados, entre artigos científicos, teses, dissertações, livros e pesquisa na internet, quase todos referentes à região da Bacia Sedimentar do Araripe, Sul do Estado do Ceará, objetivando o entendimento da geologia da região. As referências foram divididas em temas relacionados à evolução espaço-temporal da bacia e à formação dos depósitos evaporíticos, e em temas relacionados à petrologia, faciologia, modelos de sistemas deposicionais e estratigrafia de evaporitos. Foram confeccionados mapas ilustrativos com auxílio de imagens de satélite da região (SRTM, LANDSAT – 7 ETM+), com a utilização de softwares tais com Arcgis 9x e Global Mapper 10. Foi confeccionado um mapa-base topográfico e geológico preliminar ambos com escala de 1:25.000, que serviram para identificação dos corpos evaporíticos, a partir de produtos de sensoriamento remoto.

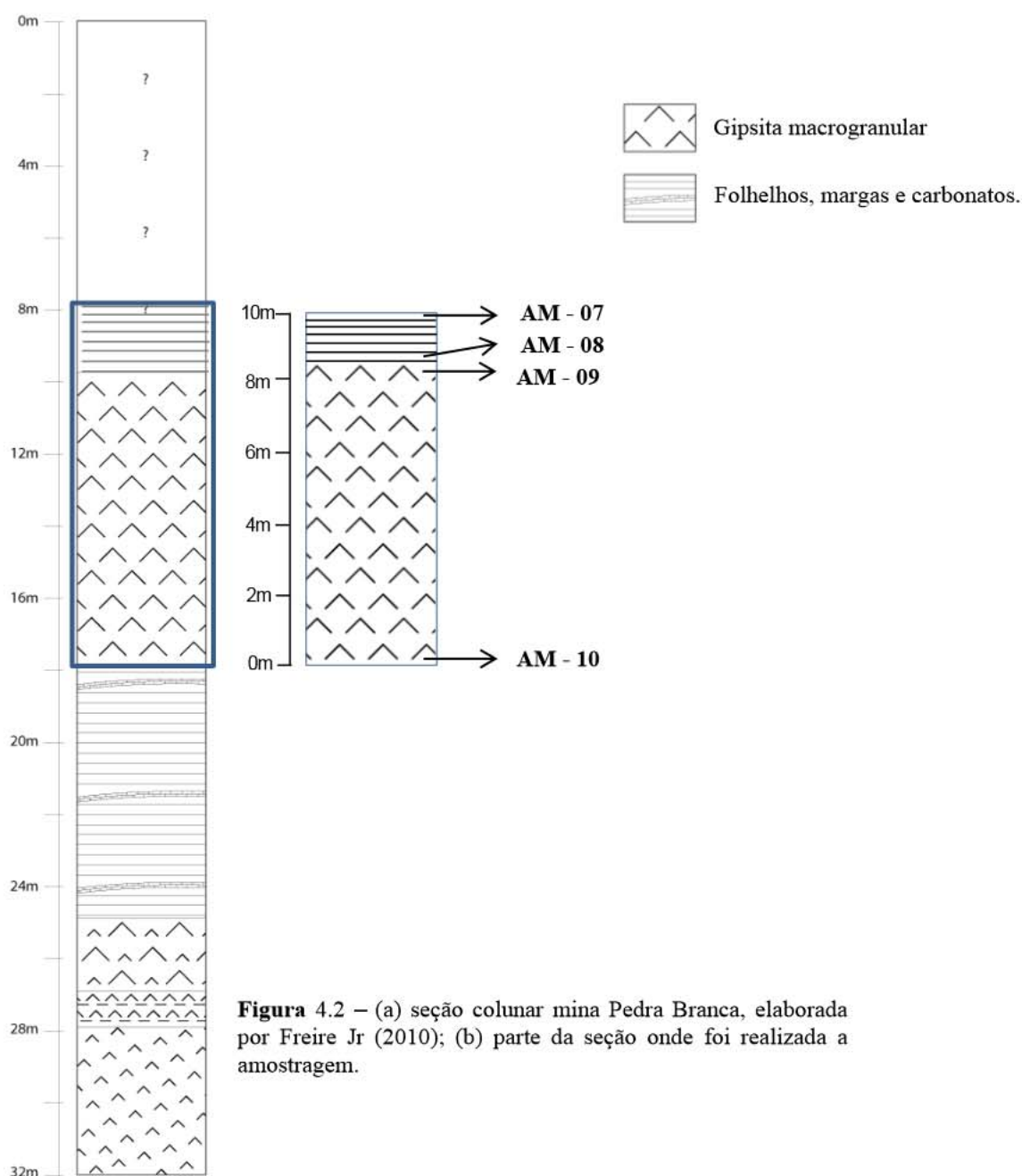
##### 4.1.2. Etapa Campo:

A etapa de campo limitou-se ao estudo das Minas Pedra Branca e Conceição Preta. Os pontos de estudo foram selecionados a partir de seções colunares, tendo como referencia as elaboradas por Freire Jr (2010) (Figura 4.1).



Foi realizado, em campo, um novo levantamento, envolvendo a medição das camadas, descrevendo a composição litológica de cada um das fáceis, além da coleta sistemática na base e no topo de cada camada da seção para análise petrográficas e químicas.

Foram coletadas na Mina Pedra Branca 04 (quatro) amostras, sendo duas na fácies Pelítico-carbonática e duas na fácies Gipsítica, a fácies Gipsítico-Anidrítrico não é visualizada em superfície nesta seção. Na Mina Conceição Preta foi realizada a coleta de 07(sete) amostras, sendo duas na fácies Gipsítico-Anidrítrico, duas na fácies Pelítico-carbonático e duas na fácies Gipsítica. Complementando, foi coletada na fácies Gipsítico-Anidrítrico de forma pontual uma amostra de rocha de anidrita para comparação petrográfica e química (Figura 4.2 e 4.3).



**Figura 4.2** – (a) seção colunar mina Pedra Branca, elaborada por Freire Jr (2010); (b) parte da seção onde foi realizada a amostragem.



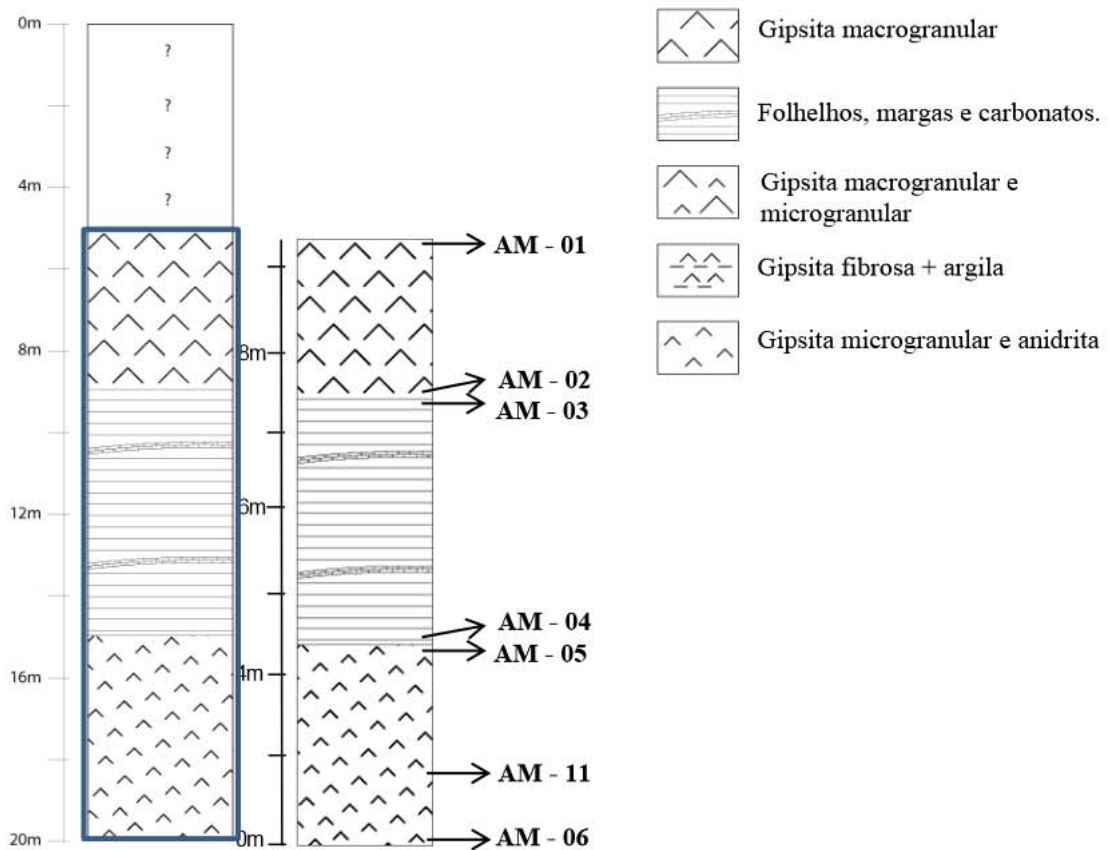


Figura 4.3 - (a) seção colunar mina Conceição Preta, elaborada por Freire Jr (2010); (b) parte da seção onde foi realizada a amostragem.

Foram revistos mapeamentos dos depósitos e regiões contíguas, além dos afloramentos encontrados no mesmo nível estratigráfico, com o intuito de estabelecer a litocorrelação entre elas.

#### 4.1.3. Etapa Laboratório:

As etapas de laboratório consistiram na preparação das amostras para confecção de lâminas delgadas para estudo petrográfico em microscópio, análise mineralógica por Difração de raios X (DRX) e análise químicas por Fluorescência de raios X (FRX).

Todos os ensaios foram realizados nas dependências na Universidade Federal do Ceará – UFC, a petrográfica microscópica foi realizada no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Departamento de Geologia e a Difração de raios X e Fluorescência de raios X,

no Laboratório de raios X do Departamento de Física do Centro de Ciências na Universidade Federal do Ceará.

Foi selecionada a mesma amostra de cada uma das unidades para realização dos ensaios, com o intuito de obter correlação entre os ensaios, e assim obter um resultado mais significativo.

Para as análises petrográficas, foi utilizado um microscópio petrográfico de luz polarizada.

Para a difração de raios X (DRX) foi utilizado o difratômetro para amostras policristalinas modelo DMAXB – Rigaku gerador de raios X de 2kW equipado com tubo de Cu (Figura 4.4).

Nele, a captação do eixo difratado foi feita por meio de um detector, segundo um arranjo geométrico conhecido como a geometria Bragg-Brentano (Figura 4.5) que habilita a obtenção do ângulo  $2\theta$ .

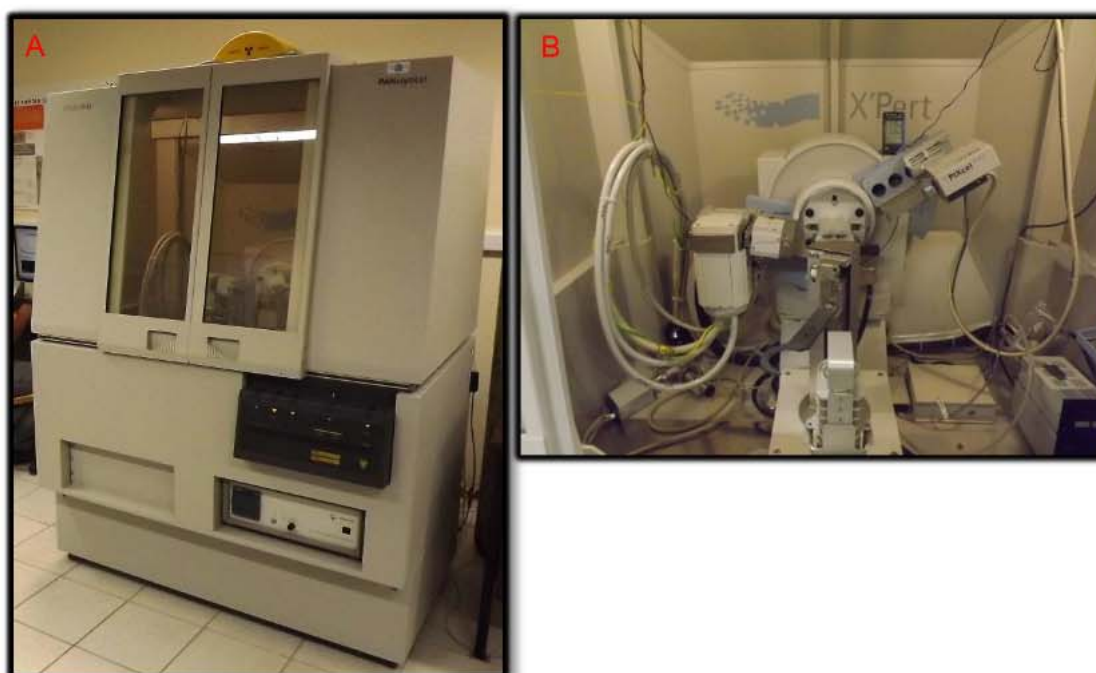


Figura 4.4 – A - Difratômetro de raios X (visão externa), B - (visão Interna),

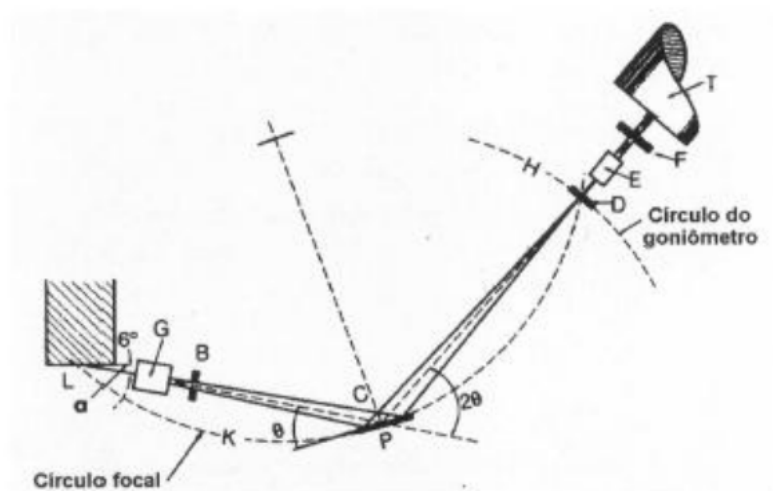


Figura 4.5 - Geometria parafocal Bragg-Brentano (JENKINS/ SNYDER, 1996).

O feixe difratado é normalmente expresso através de picos que se destacam do *background* (ou linha de base), registrados num difratograma de intensidade *versus* o ângulo  $2\theta$  constituindo o padrão de difração ou difratograma. As intensidades obtidas em ângulos  $2\theta$ , representadas através dos picos nos difratogramas, correspondem à difração do feixe incidente por um determinado conjunto de planos do cristal, que possuem mesma distância interplanar, cada qual com índices de Miller  $hkl$  (reflexões  $hkl$ ). O padrão de difração representa uma coleção de perfis de reflexões individuais ou picos difratados. A intensidade integrada é proporcional à intensidade de Bragg,  $I_{hkl}$ . As informações obtidas de cada pico são a intensidade, a posição angular ( $2\theta$ ) ou distância interplanar ( $d$ ) e o perfil. Cada composto cristalino apresenta um padrão difratométrico característico, permitindo sua identificação através das posições angulares e intensidades relativas dos picos difratados.

A caracterização elementar das amostras foi realizada em um equipamento de Fluorescência de raios X, (modelo ZSX miniII, da Rigaku, condições de operação 40KV e 1,2 mA, tubo de Pd) (figura 4.6) que produz análises qualitativas e semiquantitativas dos elementos de massa atômica, maior ou igual à massa atômica do Flúor, cujos resultados foram obtidos como gráficos de excitação por fluorescência em faixas de ângulos específicos para cada elemento e interpretados por software específico do equipamento. Desta maneira, os

resultados são disponibilizados na forma de composição percentual relativa entre os elementos constituintes.



Figura 4.6 – Equipamento de Fluorescência de raios X; A - Equipamento vista externa, B - vista Interna.

#### 4.1.4. Etapa Final:

Esta etapa consistiu da construção da seção colunar modelo, integrando informações do campo, das análises petrográficas, mineralógicas e químicas, e assim permitindo uma interpretação das fácies evaporíticas. A partir do conhecimento faciológico da área estudada foi possível traçar um panorama para a gênese e o paleoambiente deposicional para o Membro Ipubi. Por último, elaborou-se o texto final da dissertação.

## CAPÍTULO V

### RESULTADO E DISCUSSÃO

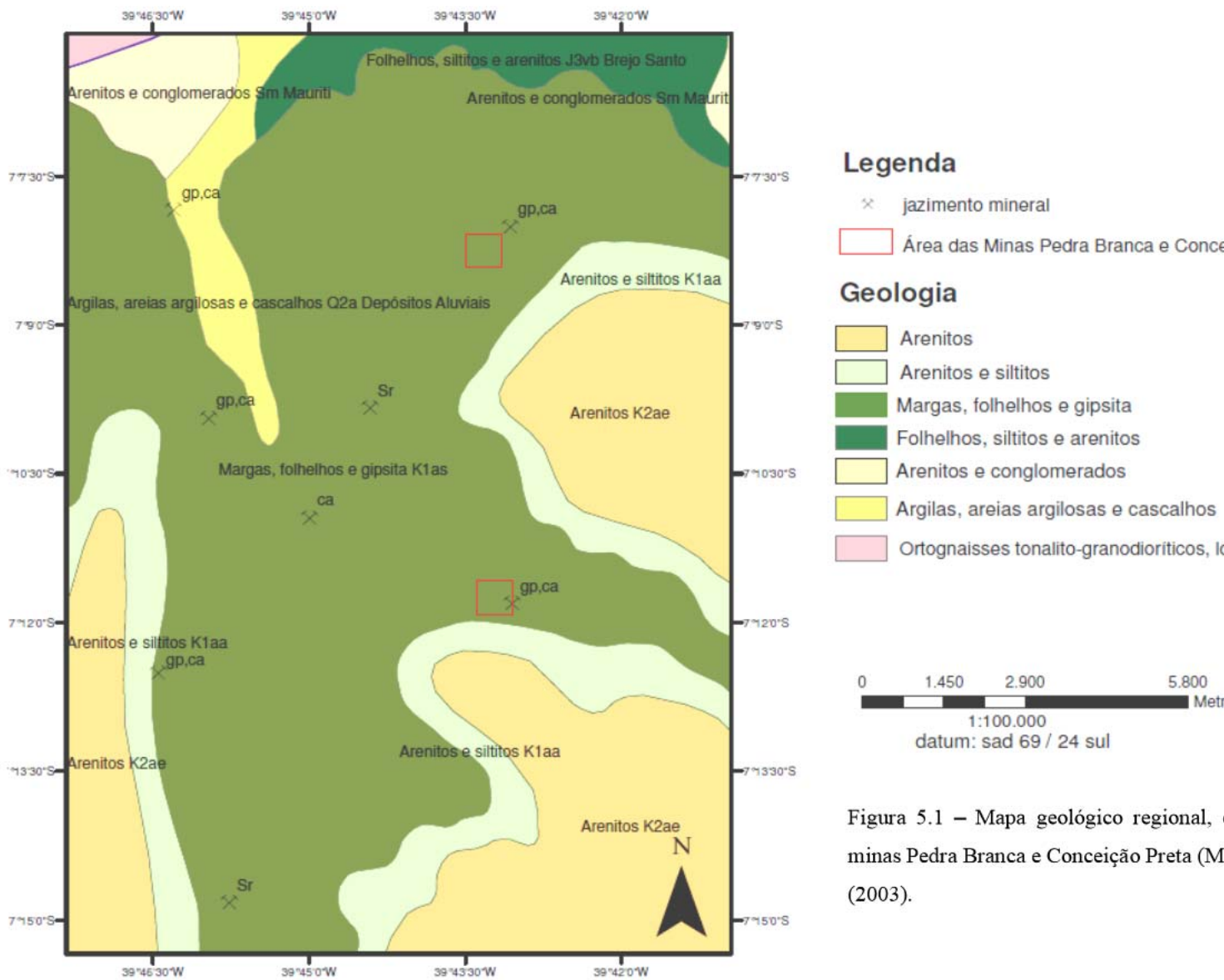
#### 5.1. Introdução

Os estudos de caracterização das associações faciológicas do Membro Ipubi na área de estudo foram realizados através de 11 amostras representativas de toda a unidade da Formação Santana, em análises das bancadas das minas Pedra Branca e Conceição Preta (Figura 5.1), localizadas no município de Santana do Cariri, assim como uma análise da geologia local, afim de melhor caracterizá-las.

Desta forma, foram realizados, além dos citados acima, levantamentos *in situ*, com a descrição características como: tamanho dos cristais, geometria, estruturas, associações mineralógicas, espessura das camadas, etc.

Na literatura já conhecida da região, descrito que o "...Membro Ipubi compreende a sequência intermediária da Formação Santana, e é formado principalmente por gipsita e anidrita, com leitos de folhelhos escuros intercalados subordinadamente." (PONTE & APPI, 1990). Entretanto, as evidências mostram que há varias fases distintas de deposição evaporítica e não somente uma como está descrito. Ao longo deste capítulo serão identificadas cada uma destas fases por meio dos estudos realizados em cada mina.





De acordo Freire Jr (2010), com base em furos de sondagens e estudos das bancadas das minas, foram realizadas análises representativas utilizando seções colunares destacando as fácies da unidade evaporítica, da base para o topo: fácies gipsítica-anidritico, fácies argilo-carbonática e fácies gipsítico, elaboradas nas minas, Pedra Branca e Conceição no município de Santana do Cariri. As coletas de amostras foram realizadas no topo e base de cada fácies.

Foram coletadas amostras representativas de todo o membro Ipubi, sendo 04 da fácies Pelítico-Carbonática, 04 da fácies Gipsítica, 03 da fácies Gipsítica-Anidritico. Na mina Pedra Branca, não foi possível fazer o levantamento da fácies Gipsítica-Anidritico, pois esta não aflora em superfície como na Mina Conceição Preta.

### **5.1.1. Mina Pedra Branca**

A gipsita na mina Pedra Branca se apresenta em uma lente aflorante, com espessura que chega a mais de 12 metros (Figura 5.2). A gipsita, nesta seção, apresenta uma coloração branca e por vezes cinza, uma textura mais grossa, com cristais em roseta suturados, e em paliçadas, além de veios de gipsita fibrosa associada a filmes e camadas argilosas. O afloramento principal é a bancada da mina. Com folhelhos verdes sobrepostos, está estratigraficamente abaixo do membro Romualdo, este último bem caracterizado na mina, uma exposição incompleta com espessura média de 02 (dois) metros.

Nessa mina, devido à tectônica regional, estão presentes falhas, tanto inversas, normais em dominó e listricas, geralmente no contato ente o Membro Romualdo e Ipubi. Estas falhas estão preenchidas por gipsita fibrosa e argilas.

Uma unidade conglomerática ocorre de forma pontual, formando um contato brusco entre os membros Ipubi e Romualdo. Este ocorrência não faz parte da deposição evaporítica da bacia, acreditando ser integrante do membro Romualdo (Figura 5.3).



Figura 5.2 – (a) Espessura de 12 metros da camada de gipsita. (b) Nesta figura a porção argilosa está encoberta por sedimentos de escorregamento do membro Romualdo.

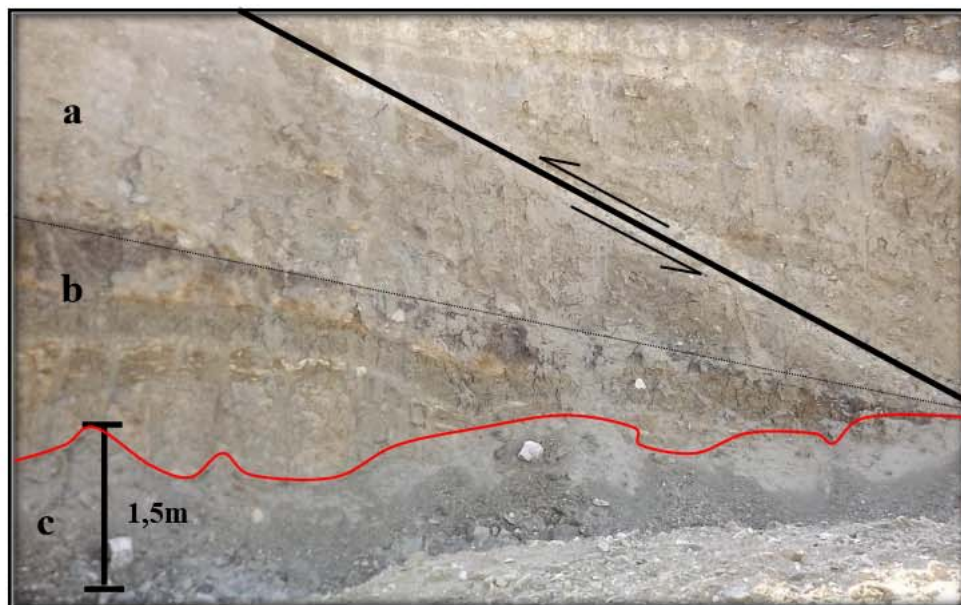


Figura 5.3 – (a) membro Romualdo, mostrando falha normal cortando os dois membros; (b) unidade conglomerática; (c) folhelhos negros do membro Ipupi.



### 5.1.2. Mina Conceição Preta

A Mina Conceição Preta tem a melhor exposição da sequência evaporítica, mostrando-se mais completa que da seção-tipo do Ipubi, com duas lentes de gipsita intercaladas por uma sequência argilo-carbonática (Figura 5.4). Esta associação é formada basicamente por gipsita, folhelhos e carbonatos, onde as lentes gipsita têm cores variadas (branco, cinza, e marrom), de aspecto maciço e fibroso. A camada intermediária desta seção é formada por folhelhos e margas de coloração bastante variável (verde, amarelada, marrom).

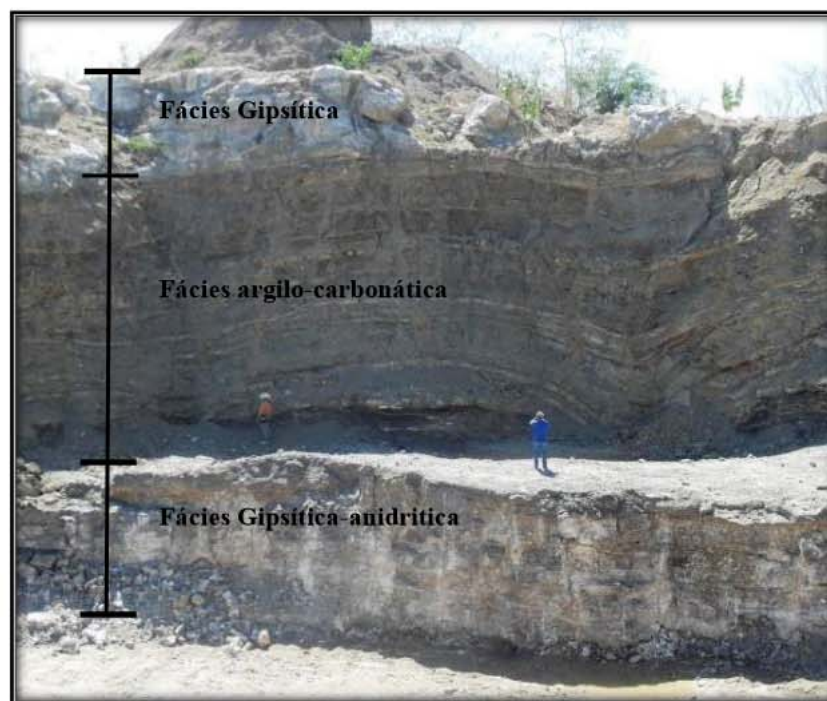


Figura 5.4 – Mina conceição preta, mostrado as três associações faciológicas estudadas.

### 5.2. Caracterização Petrográfica

Na mina Pedra Branca não foi possível fazer o levantamento da fácies Gipsítica-Anidritico, pois este não aflora em superfície e na Mina Conceição Preta.

Na análise petrográfica há a ocorrência de cristais de gipsita como matriz predominante, na porção mais inferior da seção ocorre a anidrita em maior densidade sendo alterada para gipsita. Os cristais de anidrita têm como principal característica birrefringência

alta. O aparecimento de halitas pseudomorfizadas disseminadas nas porções inferiores da seção.

Os cristais de gipsita formam a matriz com contatos suturados, estrutura maciça e clivagens irregulares, geralmente cristais eudrais e subeudriais, de relevo superior aos da anidrita.

As amostras da fácies Argilo-Carbonático são representados por folhelhos verdes e pretos, por vezes intercalados com concreções carbonáticas, como visualizado na mina Conceição Preta.

### 5.2.1. Mina Pedra Branca

As amostras selecionadas de rochas evaporíticas nesta mina estão localizadas no somente na fácies Gipsítica, devido ao fato da fácies Gipsítico-Anidritico não ser visualizada em superfície.

A amostra AM-09 esta no topo da fácies, é composta por uma matriz de 90% gipsita, com nítida substituição dos cristais de anidrita que compõem os cerca de 10% restantes. (Figura 5.5). A amostra AM-10 representa a base da fácies e é composta somente por cristais de gipsita, já que todos os cristais de anidrita foram substituídos, demonstrando o final da diagênese. (Figura 5.6).

Figura 5.5 – Fotomicrografia da amostra AM-09, visualizado a matriz de gipsita com forma lenticular substituindo cristais de anidrita, Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (Luz polarizada, ocular de 10x).

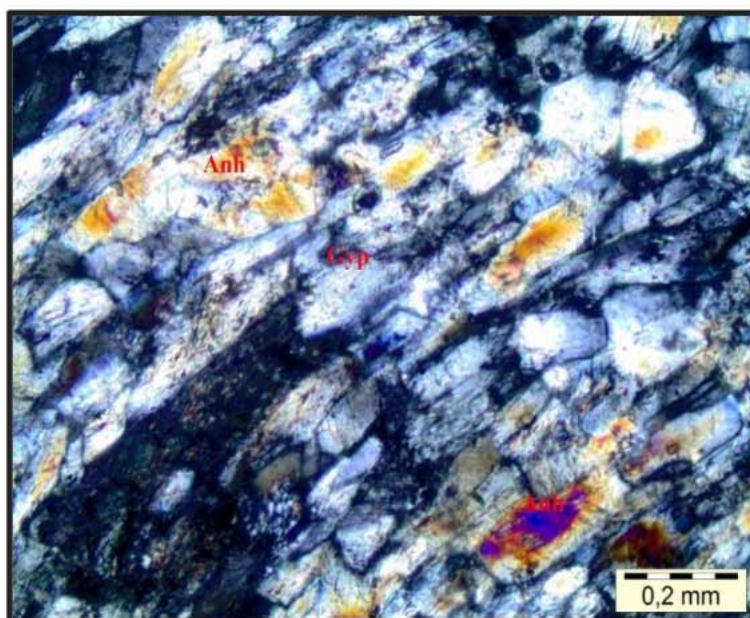
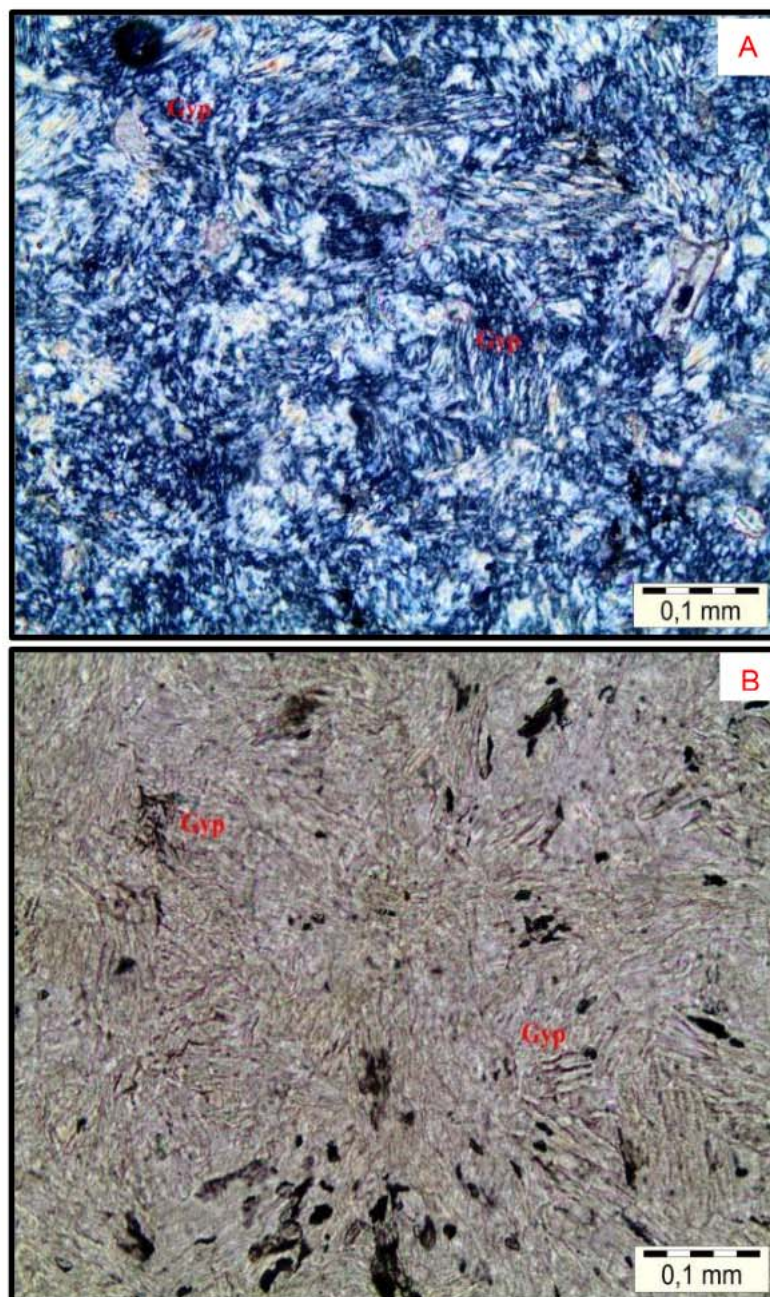




Figura 5.6 A e B – Fotomicrografias da amostra AM-10, visualizado a matriz de gipsita com cristais em roseta, Gyp - Gipsita (a-Luz Polarizada, ocular de 20x, e b-Luz natural, ocular de 20x).



### 5.2.2. Mina Conceição Preta

As amostras da fácies Argilo-Carbonático como no item anterior não serão descritas em formas de laminas delgadas.

A amostra AM-06, da base da unidade, no fácies Gipsítico-Anidritico é composta em quase sua totalidade por cristais de gipsita, onde a anidrita já foi quase toda substituída. Os cristais de gipsita apresentam contatos suturados bem definidos (Figura 5.7). Na amostra AM-05 é composta por uma matriz gipsita, onde os cristais remanescentes sofrem substituição



progressiva por cristais de gipsita. Há a possível ocorrência de matéria orgânica no centro da amostra, preenchendo fraturamentos. A amostra AM-05 está no topo do fácies gipsítica-anidritico (Figura 5.8).

A amostra AM-02, na base da fácies Gipsítica, é composta por uma matriz gipsítica com formas tabular, com fenocristais de anidrita sendo substituídos por gipsita (Figura 5.9). A Amostra AM-01, no topo da unidade, apresenta uma matriz de gipsita com cristais de anidrita apresentando substituição por gipsita. Os cristais de gipsita apresentam orientação na forma de “palhada” (Figura 5.10). A amostra AM – 11 é composta quase em sua totalidade de anidrita, havendo poucos cristais de gipsita. Ocorre também nesta amostra, pseudomorfos de halita (Figura 5.11).

Figura 5.7 A e B– Fotomicrografias da amostras AM-06, composta por cristais de gipsita, onde a anidrita já foi quase toda substituída. Os cristais de gipsita apresentam contatos suturados bem definidos, Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (a – Luz Polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular 10x).

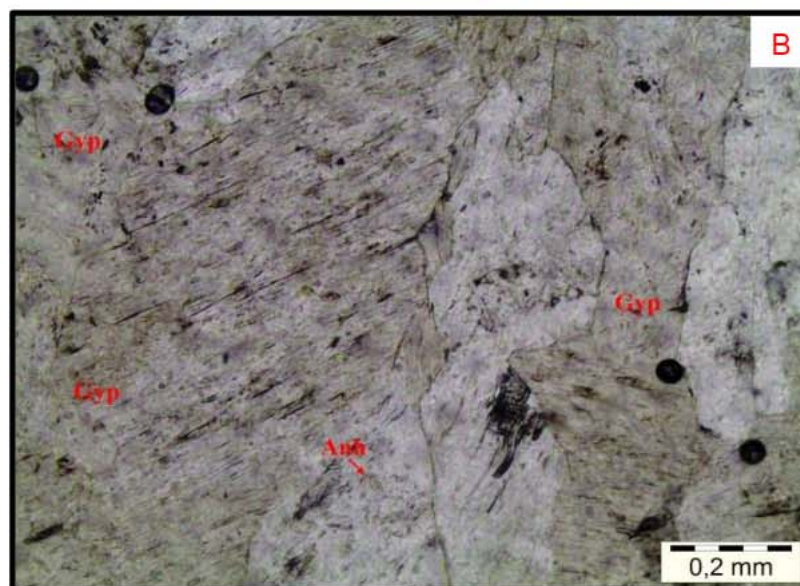
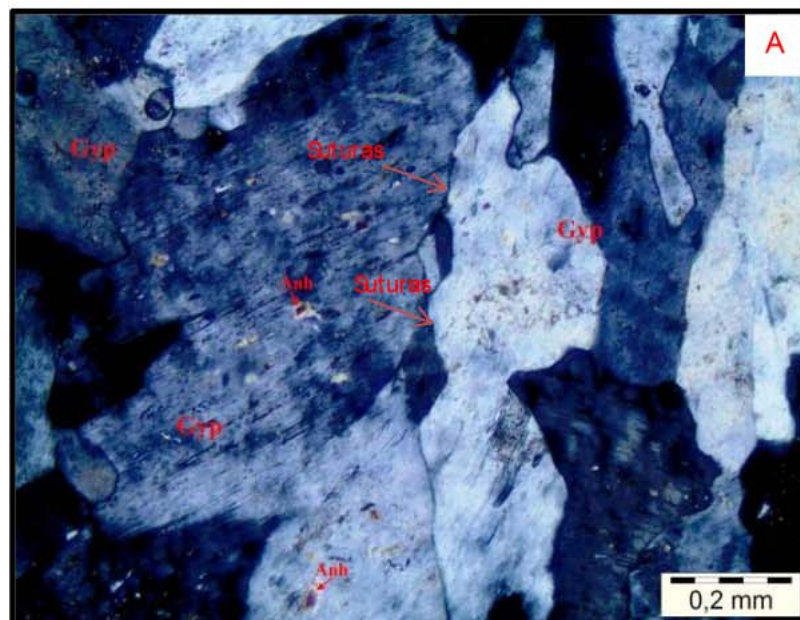




Figura 5.8 – Fotomicrografia da amostra AM-05, com matriz gipsita com cristais em roseta, os cristais remanescentes sofrem substituição progressiva por cristais de gipsita. Possível ocorrência de matéria orgânica no centro da amostra preenchendo fraturamentos, Gyp – Gipsita, Anh - Anidrita (Luz Polarizada, ocular 10x).

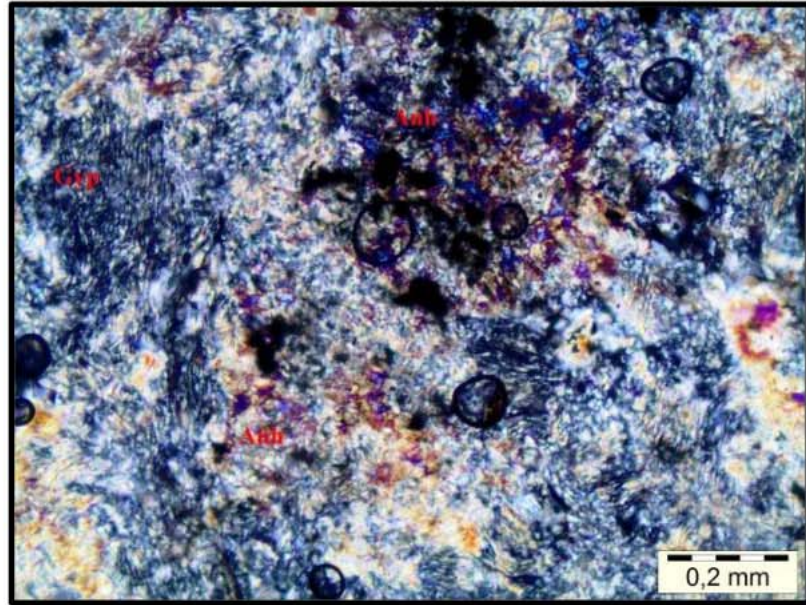


Figura 5.9 - Fotomicrografia da amostra AM - 02, matriz gipsítica com forma de "ponta de lança", com fenocristais de anidrita sendo substituídos por gipsita, Gyp – Gipsita, Anh - Anidrita (Luz polarizada, ocular 10x).

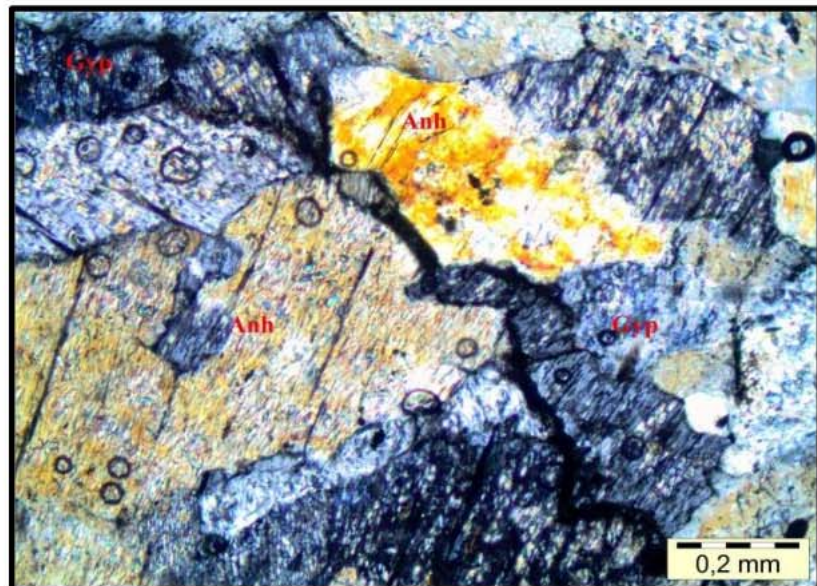




Figura 5.10 A e B– Fotomicrografia da amostra AM-01, que apresenta uma matriz de gipsita em forma tabular com cristais de anidrita apresentando substituição por gipsita, os cristais de gipsita apresentam a forma de paliçada, onde Gyp – Gipsita; Anh - Anidrita (a – Luz Polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular de 10x).

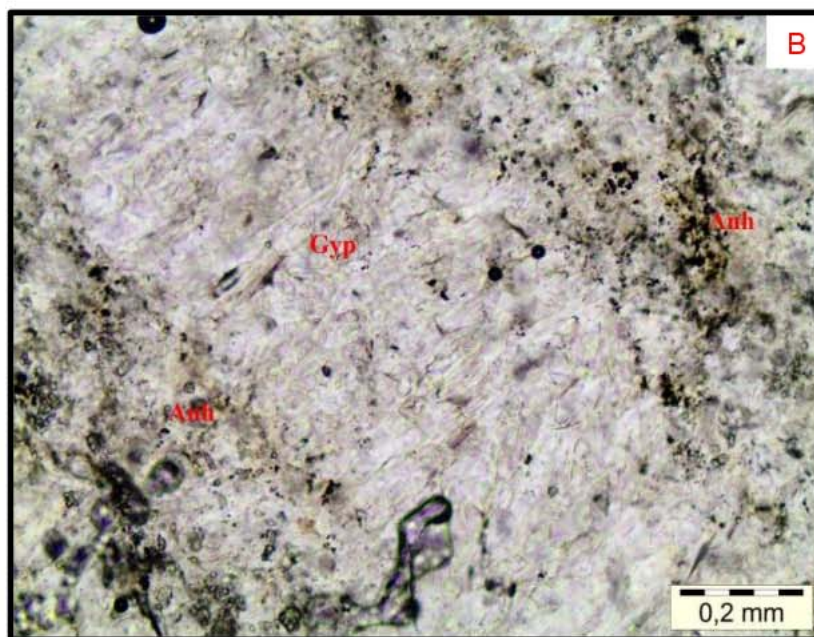
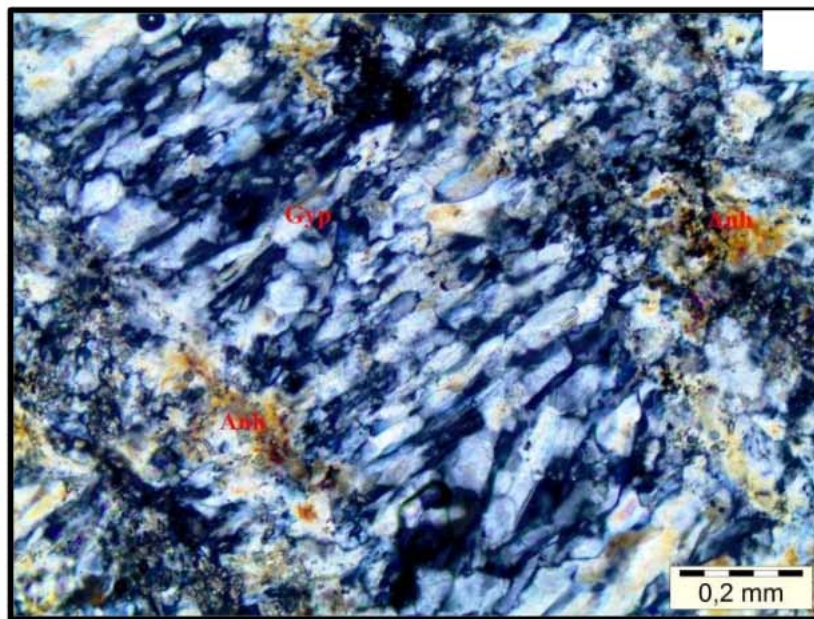
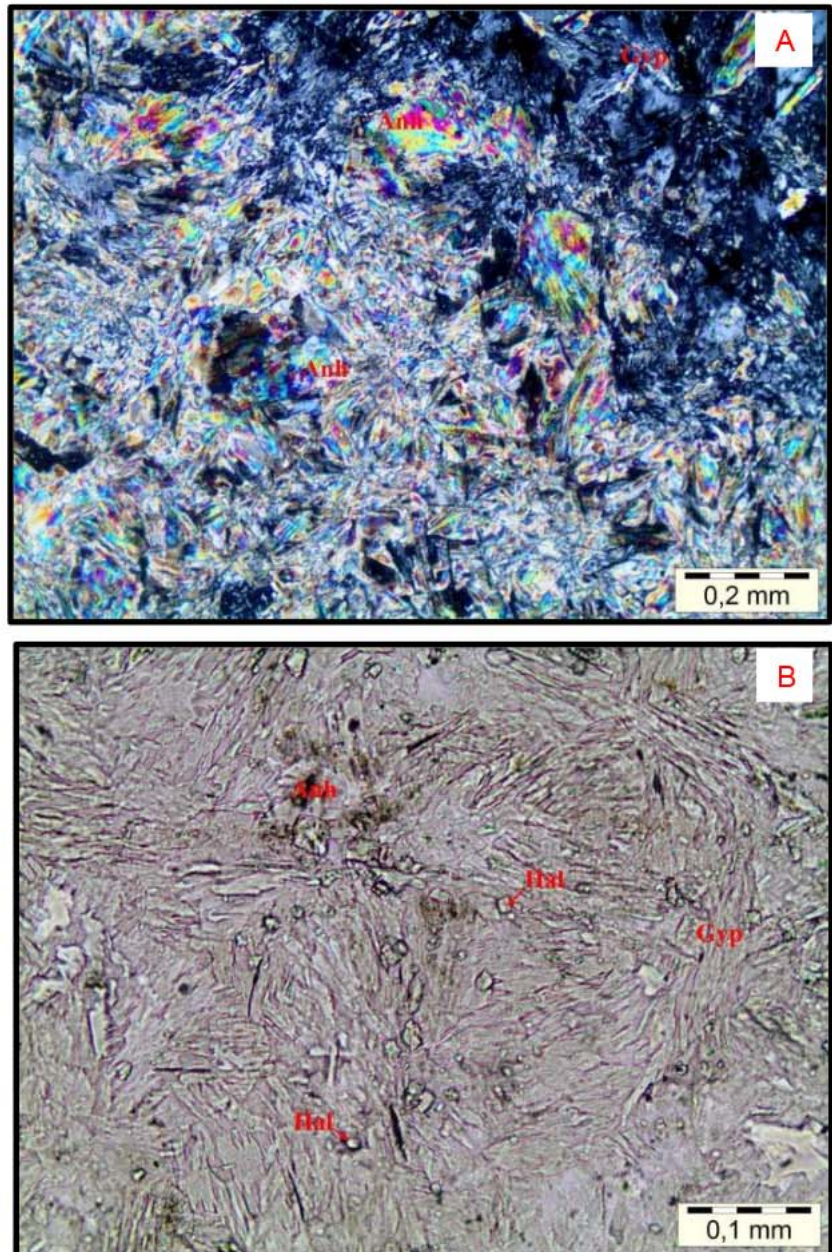




Figura 5.11 A e B– Fotomicrografia da amostra AM-11, composta quase em sua totalidade de anidrita, havendo poucos cristais de gipsita. Tanto anidrita como gipsita com cristais em forma de roseta. Ocorrem também pseudomorfos de halita, onde Gyp – Gipsita, Anh – Anidrita e Hal - Halita (a- Luz polarizada, ocular 10x; b – Luz natural, ocular de 20x).



Na análise petrográfica, fica evidente a diagênese do depósito, onde ocorreu uma hidratação do sistema por soerguimento da bacia seja por águas meteóricas ou por águas subterrâneas.

Esta mudança mostra a evolução da sequência evaporítica, onde se propõe uma deposição inicial de anidrita, em um ambiente extremamente árido, que sofreu influência continental e/ou marinha, hidratando o depósito e formando cristais de gipsita.

A halita para esta sequência é fora formada na borda do depósito, no início da deposição onde não havia diluição da salmoura. Com o aumento da diluição favorecendo a

deposição de  $\text{SO}_4$ , este mineral foi sendo dissolvido, restando apenas evidências como os cristais pseudoformados. Os cristais pseudoformados de halita são bons indicadores de deposição em planície de maré (WARREN, 1989)

Os cristais de gipsita possuem uma baixa birrefringência em relação a anidrita, facilitando o diagnóstico da diagênese de anidrita para gipsita, como visualizada nas análises microscópica. Em todas as amostras exceto a amostra AM-11, mostram uma matriz predominantemente gipsita com a ocorrência de anidrita restrita envolta a cristais de gipsita demonstrando a substituição.

A amostra AM-11, foi selecionada com amostra teste deste ensaio para comparação de anidrita e gipsita, é composta basicamente de anidrita com poucos cristais de anidrita, e são formadas na base da sequência e estão presente na forma de pequenos “bols es”.

### 5.3. Análises Química e Mineralógica

#### 5.3.1. Difração de Raios – X

##### 5.3.1.1. *Fácies Gipsítica-anidritico*

Os dados obtidos nas análises de difração de raios X nas amostras da mina Conceição Preta estão representados por três amostras na fácies Gipsítica-Anidritico nos difratogramas abaixo (Figura 5.12 a 5.14 e Tabela 5.1). Não há amostras para mina Pedra Branca, pois este mina não apresenta esta fácies em superfície. Os resultados evidenciam que, na sua composição mineralógica, todas as amostras da fácies Gipsítica-anidritico são minerais de gipsita, anidrita e há a ocorrência de celestita, não ocorrendo outras variações mineralógicas.

Tabela 5.1 - Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras das gipsitas e anidrita analisados por DRX.

Minas	Amostra	Gipsita	Anidrita	Celestita
Conceição Preta	AM-05	X		
Conceição Preta	AM-06	X		X
Conceição Preta	AM-11	X	X	



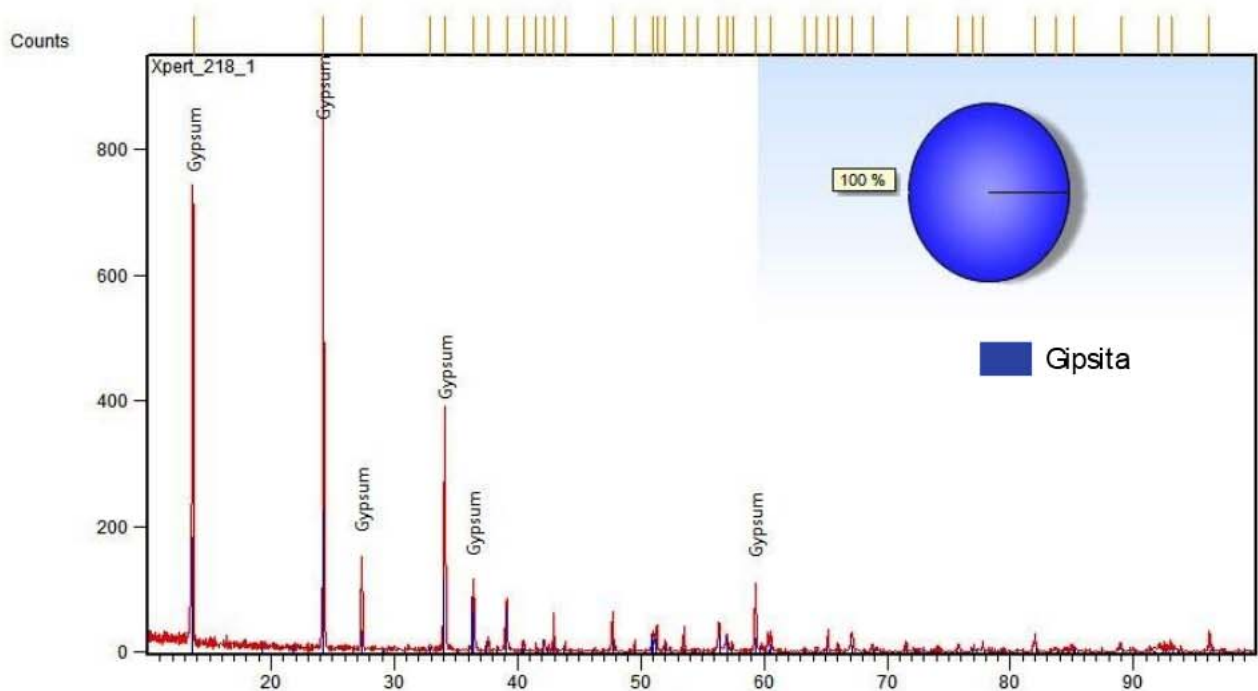


Figura 5.12 – Difratoograma de raios - X para a amostra AM-05, com mineralogia composta somente por gipsita.

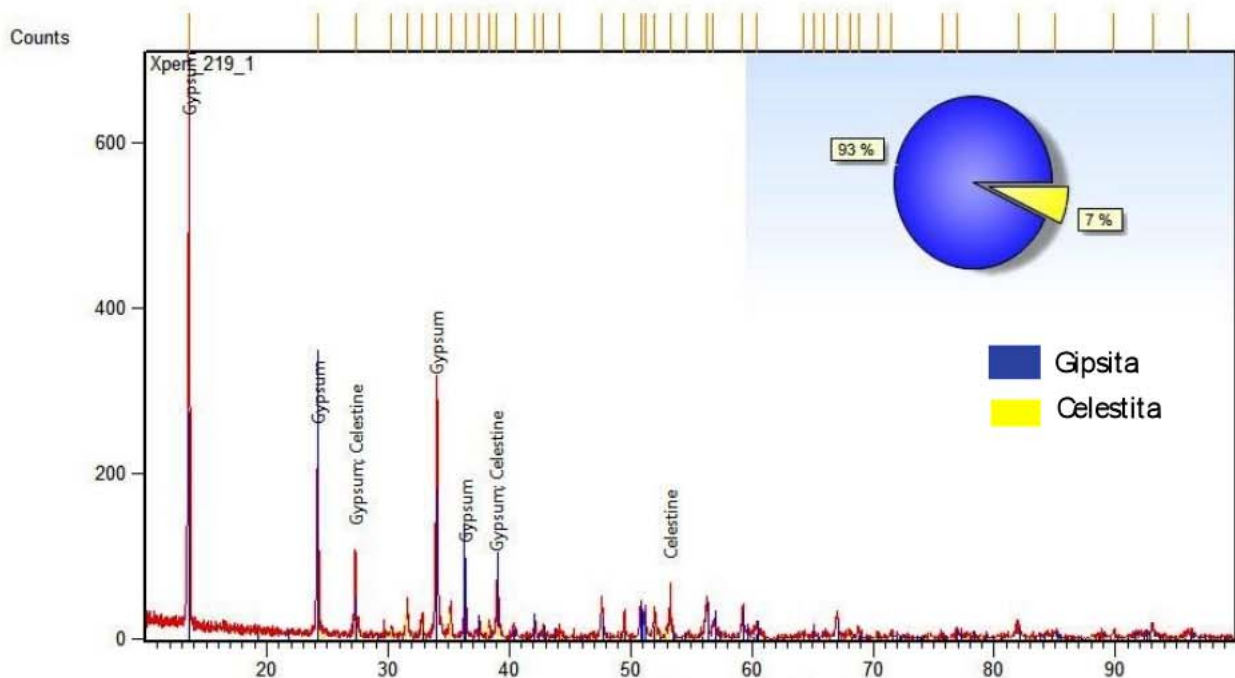


Figura 5.13 – Difratoograma de raios - X para a amostra AM-06, com mineralogia composta por gipsita e celestita.

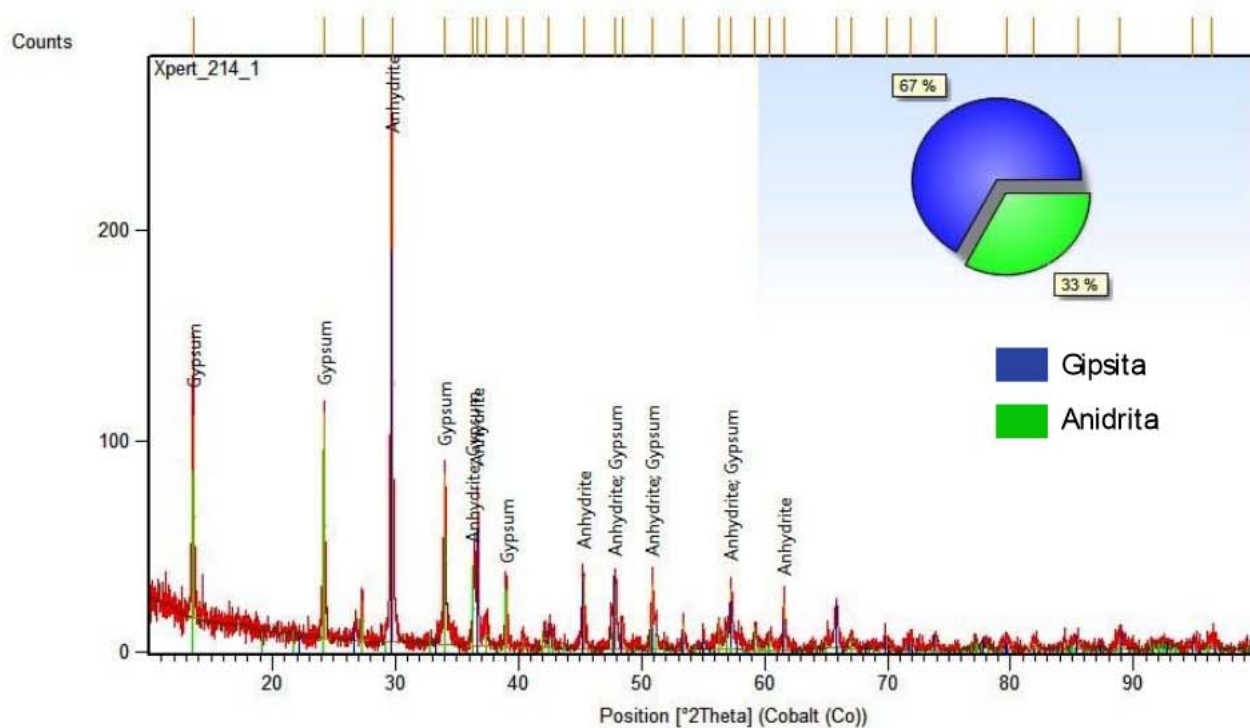


Figura 5.14 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-11, com mineralogia composta por gipsita e anidrita.

### 5.3.1.2. *Fácies Argilo-Carbonático*

Os dados obtidos nas análises de difração de raios X nas amostras da mina Pedra Branca e Conceição Preta estão representados por duas amostras no fácies argilo-carbonático nos difratogramas abaixo. Os resultados evidenciam que na sua composição mineralógica todas as amostras desse fácies contêm minerais tais como, , nontronita, goethita, , saponita além de calcita e quartzo (Figura 5.15 a 5.19 e Tabela 5.2). A ocorrência de ortoclásio demonstraria a imaturidade dos sedimentos argilosos, porem este mineral advêm possivelmente da unidade conglomerática sob os folhelhos do membro Ipubi, provavelmente de uma área fonte próxima granítica ou gnáissica. Foi utilizada a significância mínima de 8% nos valores de intensidade, pois a partir desta intensidade os picos se destacam da linha base.

Tabela 5.2 – Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras dos folhelhos analisados por DRX.

Minas	Amostra	Qtz	Cao	Goe	Non	Ort	Sap
Conceição Preta	AM-03	X					X
Conceição Preta	AM-04	X	X	X			
Pedra Branca	AM-07	X					X
Pedra Branca	AM-08	X			X	X	

Qtz – quartzo; Cao – Calcita; Goe – Goethita; Non – Nontronita; Sap – Saponita.

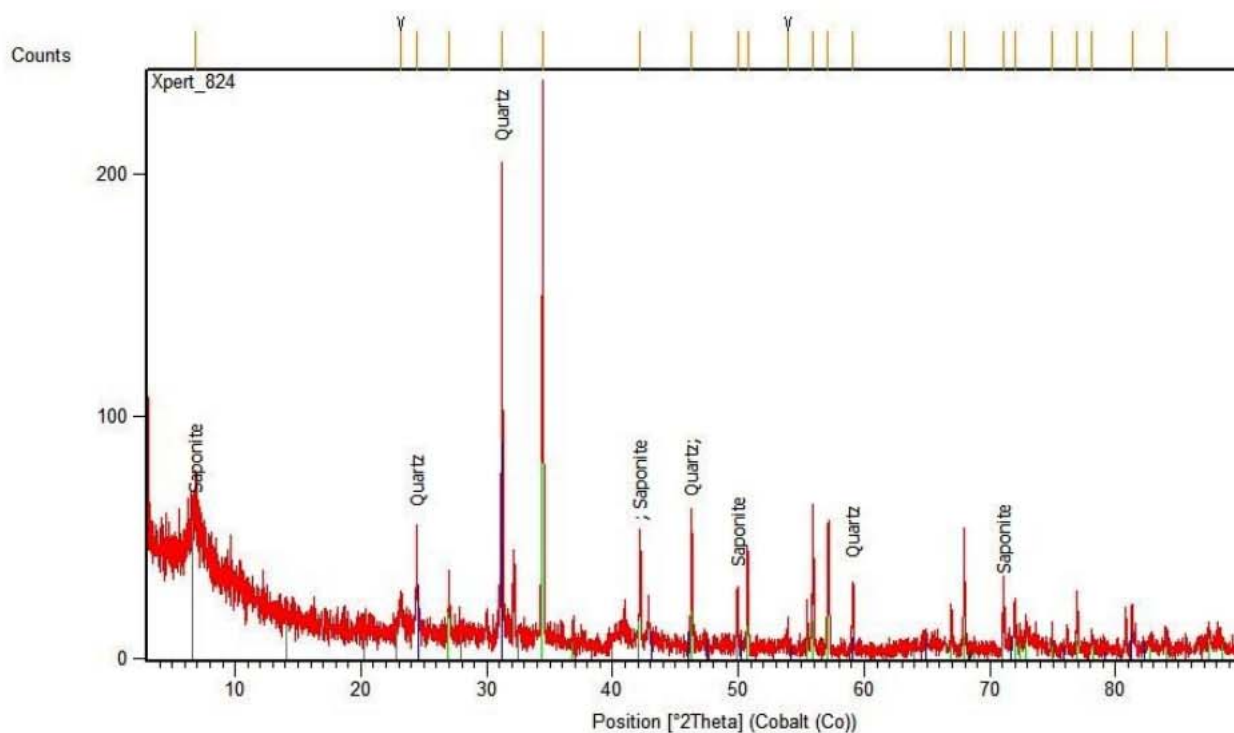


Figura 5.15 – Difratograma de raios – X para a amostra AM-03, com mineralogia composta por quartzo e Saponita.

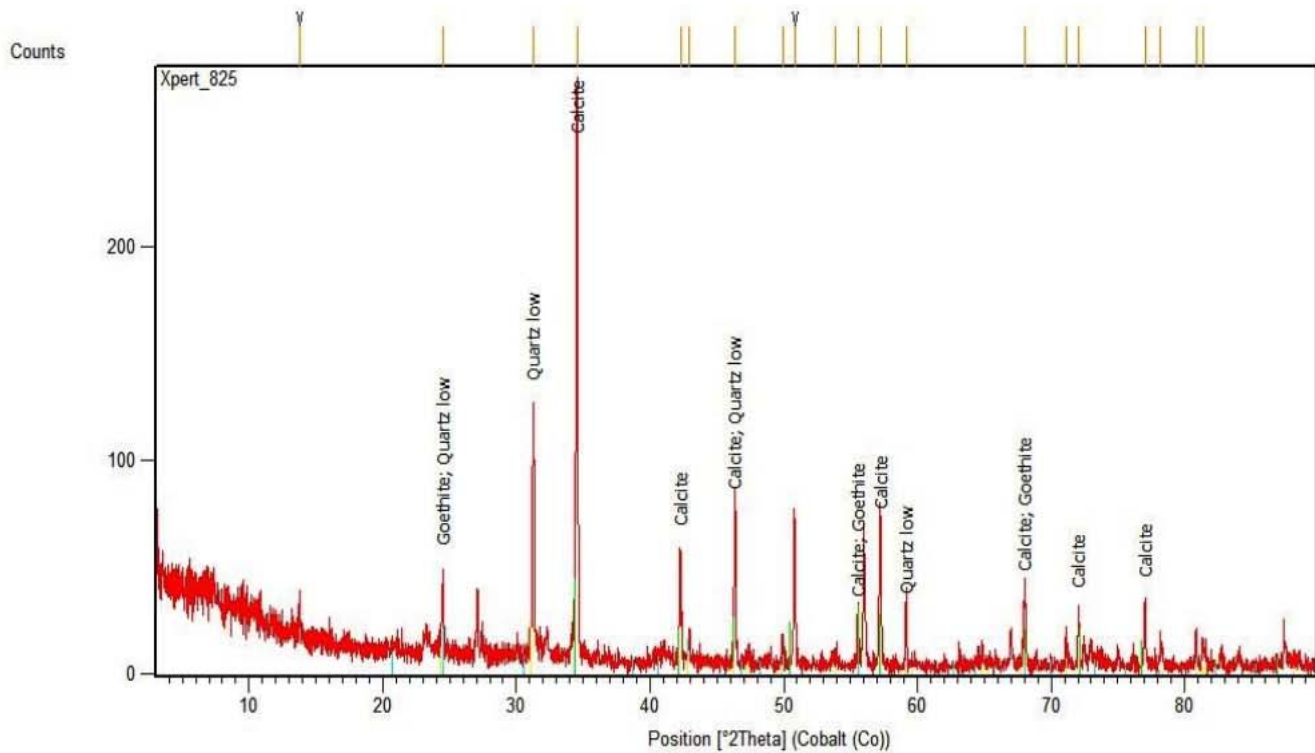


Figura 5.16 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-04, com mineralogia composta por goethita, calcita, quartzo.

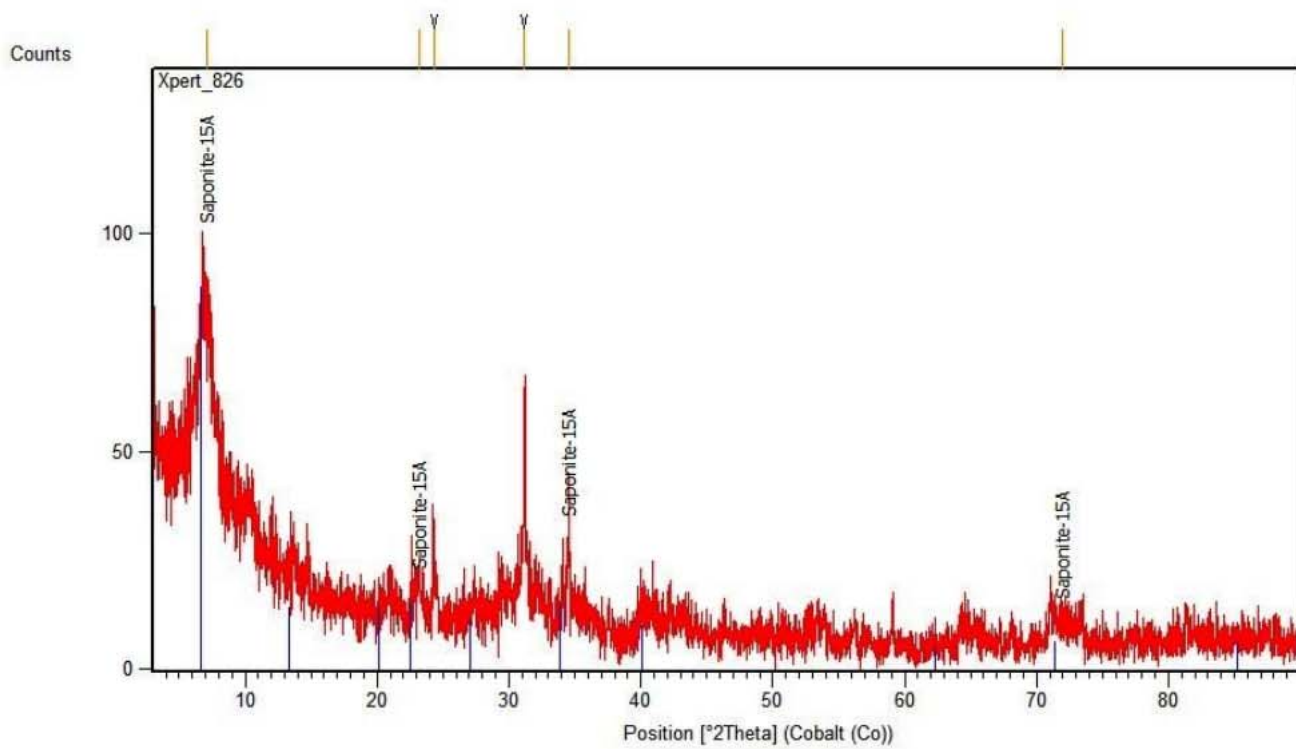


Figura 5.17 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-07, com mineralogia composta de Saponita.

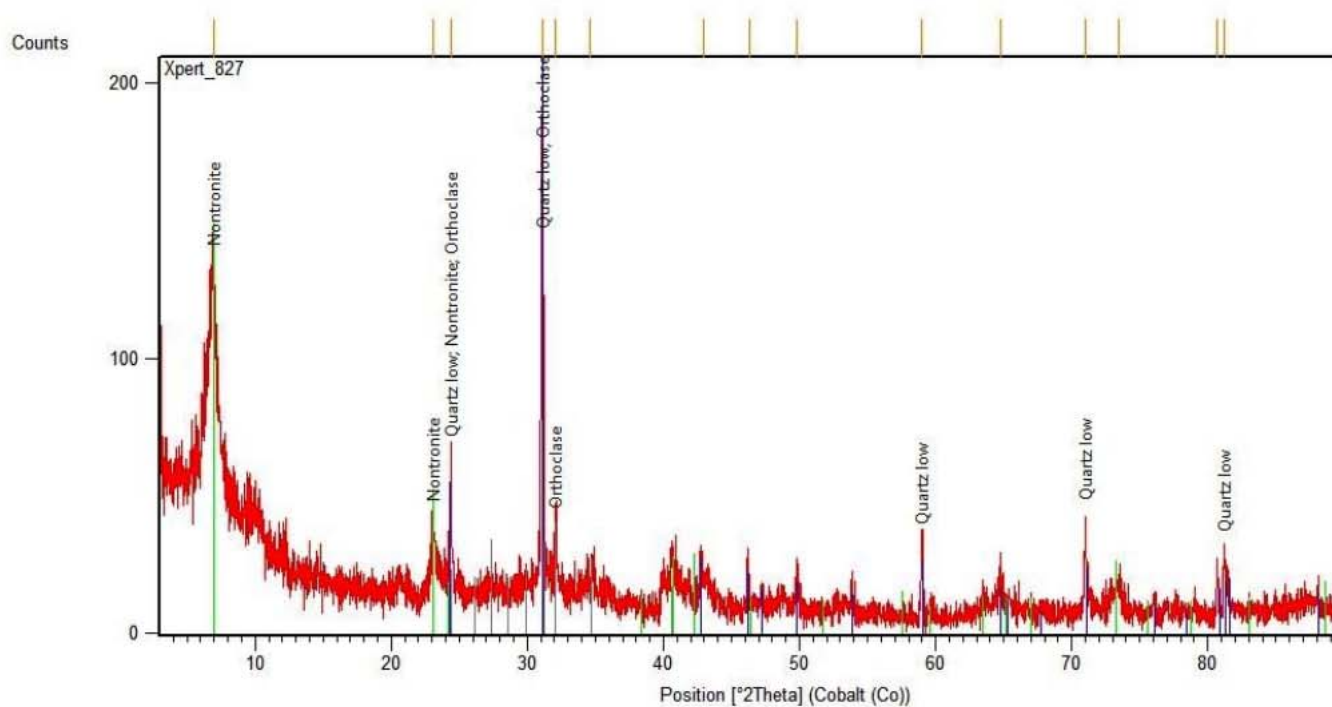


Figura 5.18 – Difratoograma de raios – X da amostra AM-08, com mineralogia composta por nontronita, quartzo e ortoclásio.

### 5.3.1.3. *Fácies Gipsítico*

Os dados obtidos nas análises de difração de raios X nas amostras da mina Pedra Branca e Conceição Preta estão representados por duas amostras na fácies gipsítica, nos difratogramas abaixo (Figura 5.19 a 5.21 e Tabela 5.3). Os resultados evidenciam que na sua composição mineralógica todas as amostras da fácies Gipsítica são minerais de gipsita, não ocorrendo variações mineralógicas.

Tabela 5.3 – Identificação mineralógica semiquantitativas das amostras das gipsitas analisados por DRX.

Minas	Amostra	Gipsita	Anidrita	Celestita
Conceição Preta	AM-01	X		
Conceição Preta	AM-02	X		
Pedra Branca	AM-09	X		
Pedra Branca	AM-010	X		



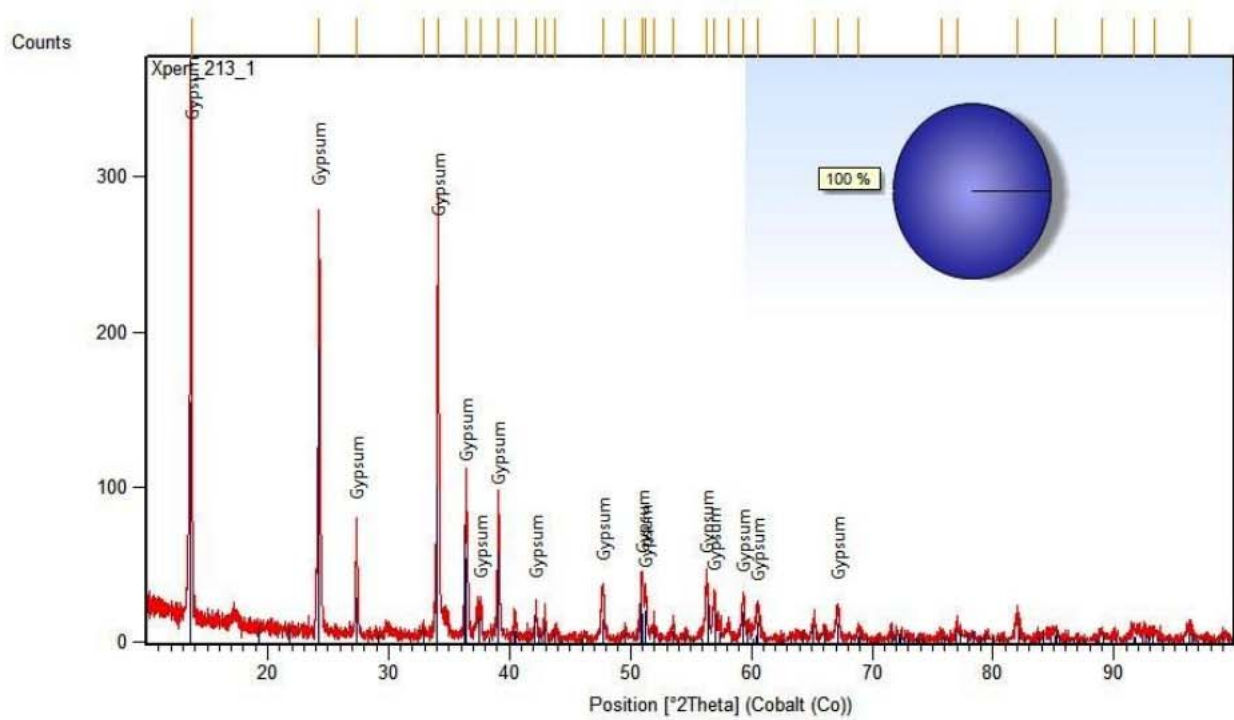


Figura 5.19 - Difratoograma de raios – X para amostra AM-01, com mineralogia composta somente por gipsita.

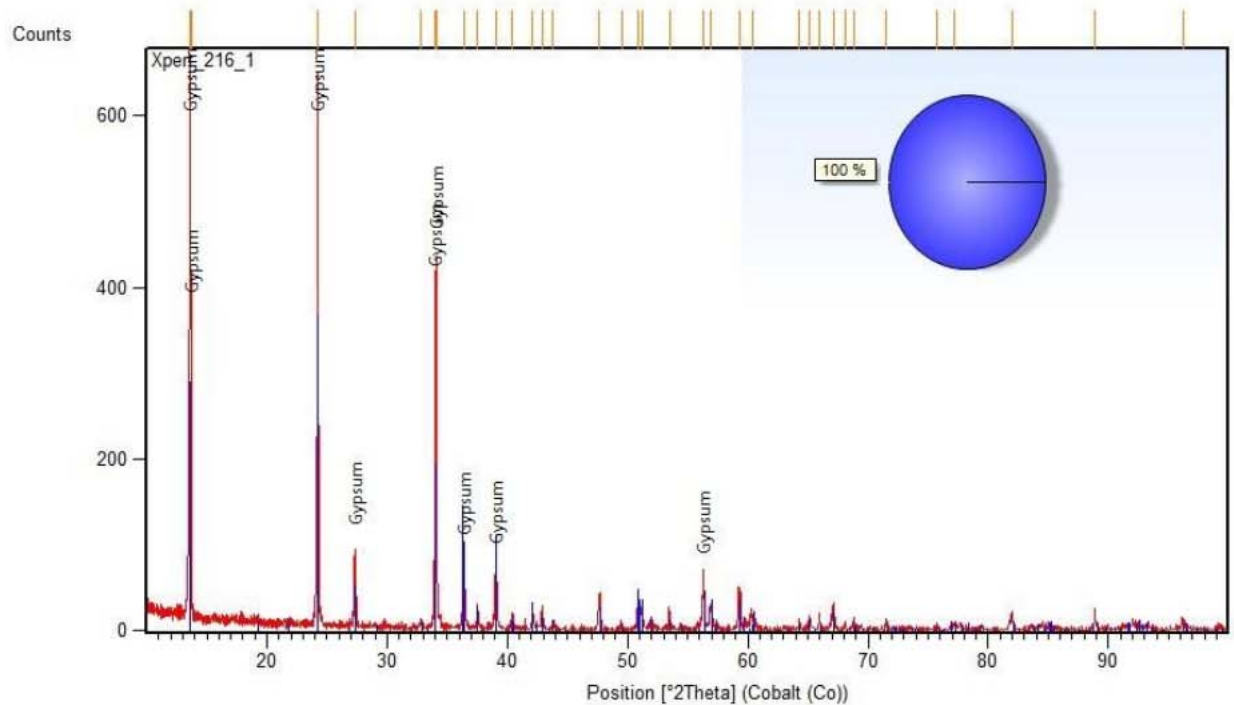


Figura 5.20 – Difratoograma de raios – X para a amostra AM-02, com mineralogia composta somente por gipsita.

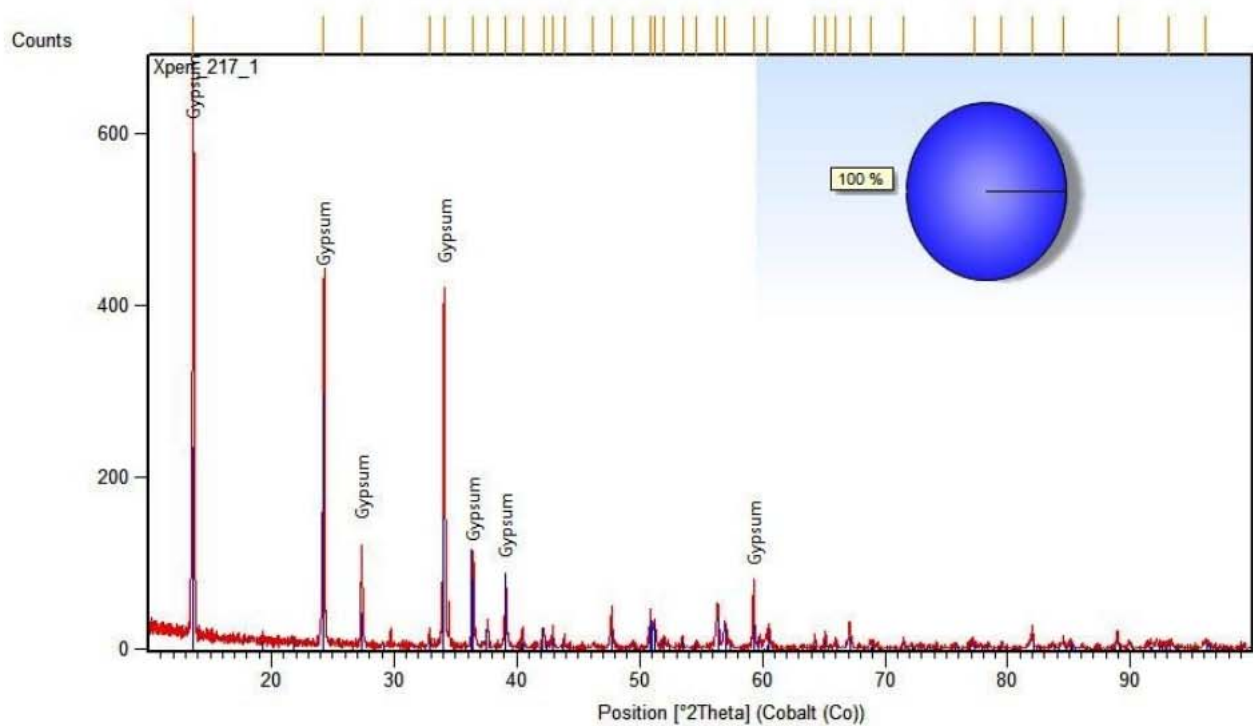


Figura 5.21 – Difratoograma de raios – X para amostra AM-09, com mineralogia composta somente por gipsita.

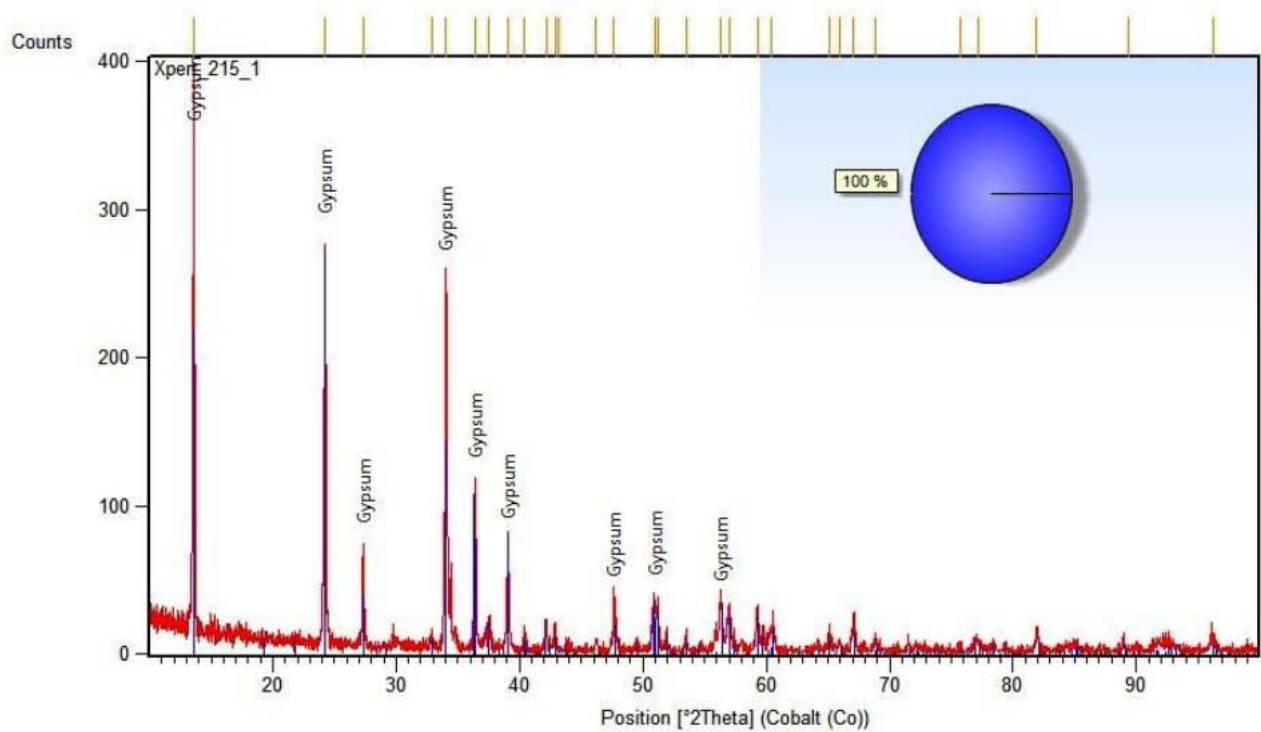


Figura 5.22 – Difratoograma de raios – X para amostra AM-10, com mineralogia composta somente por gipsita.

As análise de difratometria de raios X é a ferramenta ideal para a determinação da fase cristalina majoritária.

Para os minerais de gipsita, Os difratogramas indicam a fase cristalina gipsita muito bem cristalizada e um pequeníssimo pico de celestita.

A mostra AM-11 (amostra-teste) indicou fase cristalina bem acentuada tanto de anidrita como gipsita, sendo grande maioria anidrita.

Os ensaios realizados corroboram com análises petrográficas, demonstrando a predominância de gipsita em relação a outros minerais tais como anidrita e celestita, esta ultima mostrando pequena ocorrência no topo da sequência.

### **5.3.2. Fluorescência de raios X**

A distribuição dos elementos maiores é baseada nas características químicas de cada rocha. Sendo assim, a proporção dos diferentes elementos nas rochas foi calculada e detalhado na Tabela 5.4. Na fácies Argilo-Carbonática, as amostras estudadas apresentaram maiores concentrações de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$ . O alto conteúdo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pode ser relacionado a caulina presente. Já os altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  está relacionado com a goethita e nontronita, encontradas no ensaio da difração de raios X.

Já a distribuição dos elementos maiores baseada nas características da gipsita, tanto na fácies gipsítica como na fácies Gipsítico-Anidritico é detalhada na Tabela 5.5. Os altos teores de  $\text{SO}_4$  e  $\text{CaO}$ , corroboram com a mineralogia das rochas estudadas. O alto teor de  $\text{SrSO}_4$ , em uma das amostras, é provocando pela ocorrência de celestita na amostra 06.



Tabela 5.4 – Composição de elementos (em porcentagem) das amostras de folhelho determinada por FRX.

<b>Mina</b>	<b>Amostras</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 03</b>	<b>0.2886</b>	<b>9.5515</b>	<b>15.2502</b>	<b>42.3476</b>	<b>0.3237</b>	<b>5.1921</b>	<b>3.6530</b>	<b>10.3043</b>	<b>1.20</b>
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 04</b>		<b>3.2427</b>	<b>15.1205</b>	<b>40.8061</b>	<b>0.5055</b>	<b>0.3030</b>	<b>2.8813</b>	<b>28.3818</b>	<b>1.12</b>
<b>Pedra Branca</b>	<b>AM - 07</b>		<b>2.8853</b>	<b>7.0384</b>	<b>23.7683</b>	<b>0.4405</b>	<b>0.4801</b>	<b>1.7204</b>	<b>10.4407</b>	<b>0.79</b>
<b>Pedra Branca</b>	<b>AM - 08</b>	<b>0.1365</b>	<b>5.9479</b>	<b>18.9966</b>	<b>53.0061</b>	<b>0.3840</b>	<b>0.3697</b>	<b>4.3642</b>	<b>3.3153</b>	<b>1.31</b>

Tabela 5.5 – Composição de elementos (em porcentagem) das amostras de gipsita e anidrita determinada por FRX.

<b>Mina</b>	<b>Amostras</b>	<b>CaO</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>SrO<sub>4</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>3</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 01</b>	<b>71,76</b>	<b>27,193</b>	<b>0,5</b>	<b>0,54</b>					
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 02</b>	<b>72,7</b>	<b>26,49</b>	<b>0,49</b>		<b>0,3</b>				
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 05</b>	<b>72,53</b>	<b>26,89</b>	<b>0,27</b>	<b>0,18</b>					<b>0,11</b>
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 06</b>	<b>57,57</b>	<b>27,38</b>	<b>14,44</b>	<b>0,19</b>	<b>0,36</b>	<b>0,02</b>			
<b>Conceição Preta</b>	<b>AM - 11</b>	<b>72,01</b>	<b>27,398</b>	<b>0,306</b>			<b>0,03</b>	<b>0,08</b>	<b>0,15</b>	
<b>Pedra Branca</b>	<b>AM - 09</b>	<b>72,859</b>	<b>26,138</b>		<b>0,27</b>	<b>0,31</b>			<b>0,18</b>	
<b>Pedra Branca</b>	<b>AM - 10</b>	<b>73,53</b>	<b>25,73</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>			<b>0,15</b>	

#### 5.4. Caracterização Faciológicas

Neste estudo, foi utilizado para caracterizar a fácies da unidade o trabalho de Freire Jr (2010), onde o membro Ipubi foi dividido em três fácies diferentes.

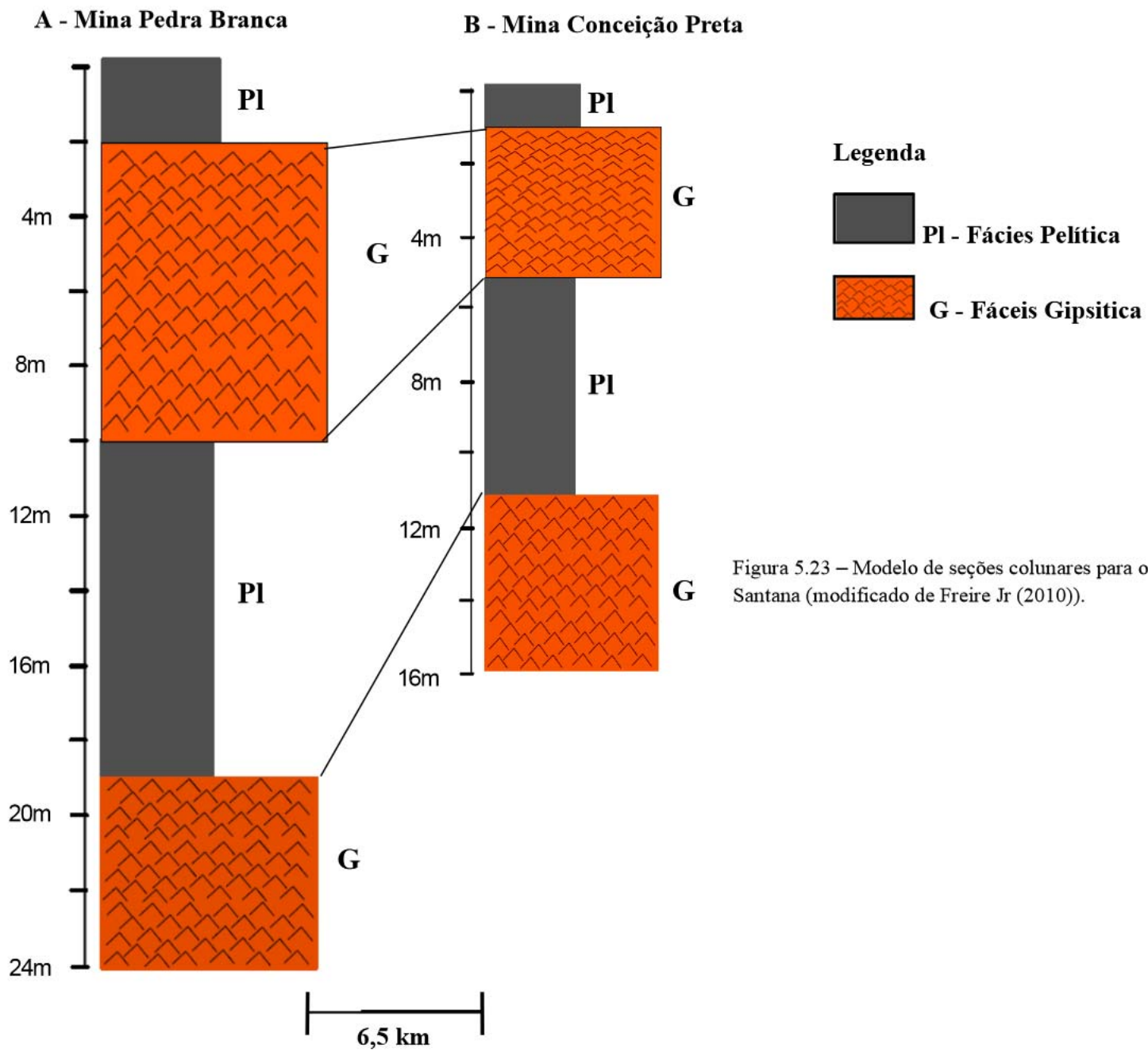
Porém, os resultados combinados das análises petrográficas e química, nessa dissertação, demonstraram pouca variação litológica nas fácies Gipsítica e Gipsítica-Anidritico, demonstrando ser as mesmas fácies evaporíticas em camadas distintas, talvez lentes de um corpo principal não aflorante. A fácies argilo-carbonático demonstrou uma associação não somente de folhelhos, mais de minerais carbonáticos, com a presença significativa de minerais ferrosos e carbonáticos.

Definimos, então, que a nomenclatura para as fácies evaporíticas desta unidade seria fácies Gipsítica e para as fácies Argilo-Carbonática seria de fácies Pelítica que pode ser utilizado para as duas minas estudadas.

Foi confeccionado um novo modelo para a seção baseado em Freire Jr (2010), como demonstrado na Figura 5.23.

Este modelo define juntamente com os ensaios realizados que o depósito evaporítico estudado se divide em duas unidades faciológicas distintas que se intercalam em períodos distintos no tempo geológico.

Modelo proposto leva em consideração as análises petrográficas realizadas em campo e petrográficas realizadas em laboratório, constatando que não há mudança mineralógica significativa entre os definidos por Freire Jr (2010) como sendo fácies Gipsítico e fácies Gipsítico-Anidritico, havendo, portanto apenas uma unidade faciológica, a fácies Gipsítico.



## CAPITULO VI

### CONCLUSÕES

A partir das discussões dos resultados podemos concluir alguns pontos importantes referentes à Fácilogia e Gênese do depósito, assim como seu paleoambiente de formação.

As análises petrográficas concluíram que a gipsita é o mineral predominante na sequência, substituindo a anidrita em quase 100% dos casos, corrobora a estes fatos as análises da difração de raios – X e Fluorescência de raios X.

A difração de raios – X demonstraram que os folhelhos da região da sequência evaporítica foram evidenciados a presença de carbonatos, sílica, alumínio e ferro, mostra uma maturidade dos folhelhos. A ocorrência de ortoclásio AM-08 é proveniente da unidade conglomerática no topo da fácies pelítica na mina Pedra Branca. No caso dos minerais evaporíticos, ficou evidenciada a predominância de gipsita, havendo pequenas ocorrências de anidrita. A ocorrência de celestita ( $\text{SrSO}_4$ ) em ambientes evaporitos ricos em sulfatos é comum, na região estuda há pequenas ocorrências deste mineral.

A Fluorescência de raios – X foi utilizada para caracterização de elementos, nos folhelhos se destacaram o  $\text{CaO}$ ,  $\text{Si}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$ , havendo apenas uma amostra com um elevado teor S devido a presença de gipsita na amostra. Para os minerais evaporíticos a predominância  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CaO}$  eram esperadas, o teor  $\text{SrSO}_4$  é devido a presença de minerais de celestita associada gipsita.

A proposta para classificamos geneticamente a o depósito evaporítico do membro Ipubi da Formação Santana é como sendo um depósito evaporítico do tipo *sabkhas*, devido ao fato:

Atribui-se o aumento de salinidade ao contínuo processo de evaporação na bacia, concentrando gradualmente a salmoura existente. Este processo sofreu interferência com a diluição da salmoura, desenvolvimento uma hpersalinidade, com concentrações crescentes, culminando com a deposição de anidrita e gipsita.

De acordo com Warren (1989), no depósito evaporítico do tipo *sabkhas*, as halitas são raras, a ocorrência de halita pseudoformadas são características de

ambiente hipersalino que não sofreu no início da deposição interferência de diluição;

Nas análises petrográficas fica em evidência o fato da substituição da anidrita por gipsita, demonstrando que houve interferência de água continental (rios, chuva), diluindo a salmoura, formando os folhelhos da unidade.

Os processos evaporíticos em uma bacia de circulação restrita são muito sensíveis às mudanças das condições ambientais, especialmente alterações no regime influxo-refluxo entre o mar aberto e a bacia evaporítica. Assim, um processo de evaporação progressiva pode ser revertido, independentemente do grau de concentração alcançado. Essa reversão no grau de concentração da salmoura foi denominada por Richter e Bernburg (1972) de evaporação recessiva., sendo aplicada aos casos onde um processo de evaporação progressiva, com concentrações crescentes, é revertido para uma situação onde as concentrações decrescem gradualmente.

A proposta para paleoambiente deposicional para membro seria lagunar com aporte marinho por ingresso e regressão marinha, ocorrida em episódios distintos e específicos na Bacia do Araripe, durante o Eo Aptiano, mais árido da bacia.

A análise faciológica proposta nesta dissertação foi modificada de Freire Jr (2010), definido em duas fácies distintos: a Fácies Pelítica e a Fácies Gipsítica.

Fácies Pelítica é composta por folhelhos verdes e negros, concreções carbonáticas e por vezes margas, tem espessura variadas.

Na mina Pedra branca, acontece em dois intervalos, o intervalo superior varia de três a um metro e o intervalo inferior varia de sete a nove metros.

Na mina Conceição Preta, que é a seção mais completa da unidade, ocorre em dois intervalos, o intervalo inferior que varia de sete a dez metros e o intervalo superior que varia de três a um metro.

Fácies Gipsítica é composta por gipsita branca, cinza e marrom, com ocorrência de minerais de anidrita principalmente no intervalo inferior do fácies.

Na mina pedra Branca, ocorre em dois intervalos: inferior de acordo com Freire Jr (2010) varia de quatro a seis metros, e o intervalo superior varia de oito a doze metros.

Na mina Conceição Preta, ocorre em dois intervalos, o inferior variando de quatro a seis metros e, o superior, de quatro a seis metros.

**CAPÍTULO VII****REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ADAMS, A. E., MACKENZIE, W. S. & GUILFORD, C.** (1991): Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Ed. Longman Scientific & Technical.

**ALBERS, A. P. F. et al.** Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. São Carlos, SP.

[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132002000100008&script=sci\\_arttex](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132002000100008&script=sci_arttex)

**ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B. & FUCK, R.A.** 1977. Províncias estruturais brasileiras. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8, Campina Grande, *Anais*, SBG: 363-391.

**ANDRADE, L. L.** – 1980. Os Evaporitos de Sergipe (geologia, Exploração e Industrialização). Seminário apresentado ao departamento de química da PUC/RJ.

**ANJOS, N. da F. R.** dos. 1963. Novos elementos sobre hidrogeologia do Alto Jaguaribe. Ceará. Recife, SUDENE-*Serie Hidrogeologia*, N° 1. 19p.

**ASSINE, M. L.**, 1990. *Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Rio Claro. 124 p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).

**ASSINE, M. L.**, 1992a. Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 22 (3): 298 - 300.

**ASSINE, M. L.**, 1992b. Paleocorrentes na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: 2 *Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras*. Rio Claro, 1992. *Resumos Expandidos...* Rio Claro, UNESP/IGCE. p. 59 - 60.

**ASSINE, M. L.**, 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 24(4): 223-232.

**ASSINE, M. L. B.** 2007. Bacia do Araripe. Boletim Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, maio/nov.

**BABEL, M.** 2004, Badenian evaporite basin of the northern Carpathian Foredeep as a drawdown salina basin. *Acta Geologica Polonica*, v. 54, p. 313-337.

**BEURLEN, K.,** 1962. A Geologia da Chapada do Araripe. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v. 34, nº 3, p. 365 - 370.

**BEURLEN, K.,** 1963. Geologia e Estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Cong. Bras.Geol., 17, Recife, *Anais*. Recife, SBG/SUDENE, suplemento, 47 p.

**BEURLEN, K.,** 1971 a. As Condições Ecológicas e Faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v. 43. Suplemento, p. 411 - 415.

**BEURLEN, K.,** 1971 b. A Paleontologia na Geologia do Cretáceo no Nordeste do Brasil. Na Acad. Brasil. Ciênc., , 43, DNPM, RJ. p. 89- 101.

**BORCHERT, H. & MUIR, R. O.** 1964. Salt deposits – The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites. London, D. Van Nostrand (The University Series in Geology), 338p.

**BORGHI, L.** Postulado de Relação de Fácies. Resumo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 69, p. 435.1997.

**BORGHI, L.** Visão Geral da Análise de Fácies Sedimentares do Ponto de Vista da Arquitetura Depositional. *Boletim do Museu Nacional* , N.S., Geol., Rio de Janeiro, nº. 53, p. 1-26. 2000.

**BRAUN, O. P. G.,** 1966. *Estratigrafia dos Sedimentos da Parte Inferior da Região Nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe)*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 75p. (Bol. 236).



**BRITO, I. M.**, 1990. Breve Histórico Sobre a Estratigrafia da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: 1º Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. Crato, *Atas*, DNPM/PICG/CPGA/SBP-NF, p. 01 - 18.

**BRITO-NEVES, B. B.**, 1990. A Bacia do Araripe no Contexto Geotectônico Regional. In: 1º Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. Crato, *Atas*, DNPM/PICG/CPGA/SBP-NF, p. 21 - 33.

**BROWN, L.F., FISCHER, W.L.** Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: C.E. Payton (ed.). *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26*, p.213-248, 1977.

**CALDASSO, A. L. S.**, 1967. Geologia da Quadrícula 094 - E - Folha de Crato. Recife. SUDENE. (*Série Geologia Regional nº 4*). 35p.

**CALLISTER, WILLIAM D.**. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais. Rio de Janeiro: Ltc, 2006.

**CAMPOS, M. de; BRAGA, A. de P. G.; SOUZA, E. M. de; SILVA, F. A. F. da & FRANÇA, J. B. de.** 1976. *Projeto Rio Jaguaribe: Relatório Final*. Recife, DNPM/CPRM.

**CAVALCANTE J. C., VASCONCELOS A. M., MEDEIROS M. F., PAIVA I.P., GOMES F. E. M., CAVALCANTE S. N., CAVALCANTE J. E., MELO A. C. R. DUARTE NETO V. C., BENEVIDES H. C.** 2003, Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. MME/CPRM.

**CHAGAS, D.B.** 2004. Geologia e Estratigrafia da Poção Norte da Bacia do Araripe-CE. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 97p.

**CHAGAS, B. D.; ASSINE. M. L.; FREITAS, F. I.** 2007. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais da Formação Barbalha do Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v.26, n. 4, p. 313-322.

**CORDANI, U. G.; BRITO-NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B.,** 1984. *Estudo Preliminar da Integração do Pré-cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras*. Rio de Janeiro. Petrobrás/Cenpes, 70 p. (Série Ciência-Técnica-Petróleo, Serv. Explor. Petróleo nº 15).

**CURTIS, R.; EVANS, G.; KINSMAN, D.J.J. & SHEARMAN, D.J.** 1963. Association of dolomite and anhydrite in the recent sediments of the Persian Gulf. *Nature*, v.197, p 6779-6800.

**DANTAS, J. R. A.** Texto explicativo. In BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo; Folha Jaguaribe. (SB-24), Folha Fortaleza (SA-24) Brasília, 1977. 95p.

**DEMERCIAN, L. S.** 1996. A halocinese na evolução do sul da Bacia de Santos do Aptiano ao Cretáceo Superior. 201 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**DIAS, Jeferson L.** 1998. Análise sedimentológica e estratigráfica do Andar Aptiano em parte da margem Leste do Brasil e no platô das Malvinas – considerações sobre as primeiras incursões e ingressões marinhas do oceano Atlântico Sul meridional. Porto Alegre. 208 p. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul.

**EUGSTER, H. P.** 1980 - Geochemistry of Evaporitic Lacustrine Deposits, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1980.8: 35-63.

**FERREIRA, C. L.** 2008, Notas de aula do curso de técnicas experimentais do programa de pós-graduação em ciência dos materiais do IME,

**FLORENCIO, C.P. & RIBEIRO, E.F.**,1998 – Geoquímica do Bromo em halitas da sub-bacia evaporítica de Maceió. *Revista de Geologia, Universidade Federal do Ceará*, Vol. 11. 5 – 14.

**FOLK, R. L.** 1962. Spectral subdivision of limestone types. In: classification of carbonate rocks. Ed. By W.E. Ham, pp. 62-84. *Mem. Am. Petrol. Geol.* 1.

**FREITAS, F. I.** 2008. Contexto Geológico da Distribuição de Madeiras Fósseis da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado, 105p.

**FREIRE JR. J.G.** 2010. Análise Faciológica dos Evaporitos do Membro Ipubi (Formação Santana) nas Minas Pedra Branca e Conceição Preta, Município de Santana do Cariri, Ceará. Relatório de Graduação, Geologia-UFC.

**GASPARY, J. & ANJOS, N. da F. R. dos.** 1964. Estudo hidrológico de Juazeiro do Norte, Ceará. Recife, SUDENE/DRN. 25p. (*Série hidrogeologia 3*).

**GHIGNONE, J.I., COUTO, E.A. & ASSINE, M.L.** 1986. Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe. *Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais*, SBG: 271-285.

**GOMES, J. R. C.; GATTO, C. M. P. P.; SOUZA, G. M. C.; LUZ, D. S.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.** 1981. Mapeamento Regional: Geologia. In: *Projeto RADAMBRASIL*. Folhas SB. 24/25, Jaguaribe/Natal. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Brasília, MME/SG, (Lev. Rec. Nat. 23).

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ.** 2009. Perfil Básico Municipal, Santana do Cariri. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE).

**HARDIE, L . A.** 1991, On the significance of Evaporites, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1991. 19:131-fJ8

**HERZOG, A.;** The Unesco Araripe Geopark: a short history of evolution of life, rocks and continents. André Herzog, Alexandre Sales e Gero Hillmer, Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, 2008.

**HITE, R. J.** 1970. Shelf carbonate sedimentation controles by salinity in the Paradox Basin, southeast Utah, In: 3<sup>rd</sup> Symposium on Salt, Ohio, Northern Ohio Geological Society, v.1, p. 48-66.

**JENKINS, R.;** **SNYDER, R.L.** Introduction to X-ray Powder Diffractometry. Wiley-Interscience, 1996.

**LIMA, M.R.** 1978. Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe. *Boletim do Instituto de Geociências [USP]*, São Paulo, 9: 136-139.

**KENDALL, A.C.** 1988. Aspects of evaporite basin stratigraphy. SCHREIBER, B.C.(ed). *Evaporites and Hydrocarbons*, p. 259-296.

**KENDALL, A.C. & WARREN, J. K.** 1988. Peritidal evaporites and their sedimentary assemblages. In: SCHREIBER, B.C.(ed). *Evaporites and Hydrocarbons*, p. 66-138.

**KENDALL, A.C. & HARWOOD, G.H.** 1992. Sequence stratigraph in evaporitic Systems. AAPG Annual Convention (Calgary). Abstracts, p.64.

**KENDALL, A.C.;** **LAKE, P.;** **WEATHERS III, H. D.;** **VENKAT, L.** 2002 – Evidence of rain shadow in the geologic record: repeated evaporate accumulation at extensional and compressional plate margins. International conference on Desertification. Dubai.

**KRIJGSMAN, W.;** **HILGEN, F.J.;** **SIERROS, F.J. & WILSON, D.S.** 1999. Chronology, causes and regression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, v. 400, o. 652-655.

- KYLE, J.R. 1991.** Evaporites, Evaporitic Processes And Mineral Resources. In: Melvin, J.L. (ed.), Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. Developments in Sedimentology 50, Cap. 6, p. 477-533.
- MORAES, L. J.; BARROS, F. C.; RAMOS, E., 1964.** *Reconhecimento fotogeológico da região Nordeste do Brasil - DNPM/DGM, Escala 1:250.000.*
- MABESOONE, J. M., TINOCO, I. M. 1973.** Paleocology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil ). *Palaeogeogr. Paleoclim, Palaeocol,* v. 14, n. 2, p. 87-118.
- MARTILL, D.M., 1990.** The significance of the Santana Biota. In: Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1, p. 253 – 265.
- NELSON R. A.;PATTON, T.L.&MORLEY, C. K. 1992.** Rife segment interaction and its relation to hydrocarbon exploration in rife systems. *The Am.Assoc.Petrol. Geologist Bull.* 76 (8): 1153-1169.
- NEUMANN, V.H.M.L. 1999.** Sistemas lacustres aptiense-albienses de la Cuenca de Araripe, NE, Brasil. Barcelona, Universidad de Barcelona, Tese de Doutorado, 250p.
- NEUMANN, V.H.M.L. & CABRERA, L. 1999.** Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-riftee de la Cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Serra Negra, Boletim, UNESP:* 279-285.
- PAZ, J.D.S AND ROSSETTI, D.F. 2006.** Petrography of gypsum-bearing facies of the Codó Formation (Late Aptian), Northern Brazil, *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2006) 78(3): 557-572
- PEEL, M. C. AND FINLAYSON, B. L. AND MCMAHON, T. A. (2007).** "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification". *'Hydrol. Earth Syst. Sci.'* 11: 1633–1644. ISSN 1027-5606.

**PONTE, F. C.**, 1992a. Sistemas Depositionais da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: 2 Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. *Resumos Expandidos...* Rio Claro, UNESP/IGCE. p. 81 - 84.

**PONTE, F. C.**, 1992b. Origem e Evolução das Pequenas Bacias Cretácicas do Interior do Nordeste do Brasil. In: 2 Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. *Resumos Expandidos...* Rio Claro, UNESP/IGCE. p. 55 - 58.

**PONTE, F. C. & APPI, C. J.**, 1990. Proposta de Revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: Congr. Bras. Geol., 36. Natal, 1990, *Anais...* Natal, SBG. v.1, p.211 - 226.

**PONTE, F. C & PONTE FILHO, F. C.**, 1996. Evolução tectônica e classificação da Bacia do Araripe. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4. Águas de São Pedro, 1996. *Boletim...* Rio Claro, UNESP / IGCE. p.123 - 133.

**PONTE FILHO, F. C.**, 1992. Análise Geohistórica do poço 2Ap-1-CE. Bacia do Araripe. In: 2 Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. *Resumos Expandidos...* Rio Claro, UNESP/IGCE. p. 85 - 89.

**PONTE FILHO, F. C. & PONTE, F. C.**, 1992. Caracterização Estratigráfica da Formação Abaiara, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe. In: 2 Simpósio Sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro, 1992. *Resumos Expandidos...* Rio Claro, UNESP/IGCE. p 61 - 64.

**RAND, H. M. & MANSO, V. A. V.**, 1984. Levantamento Gravimétrico e Magnetométrico da Bacia do Araripe. In: Cong. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, *Anais...*, SBG, v. 4, p. 2011 - 2016.

**SALES, A. M. F. & LEAL NETO, A.**, 1995. Petrografia das Rochas do Embasamento Adjacente à Bacia do Araripe. In: XIV Encontro Universitário de Iniciação Científica. *Boletim de Resumos...* UFC, Fortaleza. Res. 33. p. 17.



**SALES A. M. F. & LEAL NETO, A.**, 1996. *Mapeamento Geológico da Porção Centro Norte da Bacia do Araripe e Embasamento Cristalino Adjacente (Área 01)*. Relatório de Graduação. UFC, CC, DEGEO. I. 155p.

**SARG, RI. 2002.** The Saline Giants – Sedimentary Extremes that are part of the Earth's Rhythms. Sepm: carbonate and Evaporite sequence Stratigraph: Recent Advances and Controversies.

**SILVA, M. A. M.**, 1988. Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe; Ambientes de Deposição e História Diagenética. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. 2(1), 311 - 319.

**SILVA, M.A.M.** 1983. The Araripe Basin, northeastern Brazil: Regional geology and facies analysis of a Lower Cretaceous evaporitic depositional complex. New York, Columbia University, Tese de Doutorado, 290p.

**SILVA, M.D.** 1976. Ostracodes não-marinhos da Formação Santana (Cretáceo Inferior) do Grupo Araripe, nordeste do Brasil. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Livre Docência, 326p.

**SILVA, M. A. M.; SHREIBER, B.C & SANTOS, Carla L.** 2011. Evaporitos como Recursos Minerais. *Revista Brasileira de Geofísica*, V.18(3), p.337-350.

**SMALL, A. L.**, 1913. *Geologia e suprimento de água subterrânea no Ceará e parte do Piauí*. Insp. Obras Contra Secas, 80p. (Publicação n 25).

**RICHTER, BERNBURG, G.** 1972. Sedimentological problems of saline deposits. In: *Geology of Saline deposits*. Proc. Hanover Symp., 1968, Earth Sciences, 7:33.39.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ.** Biblioteca de Ciências da Saúde. Normalização de trabalhos acadêmicos. [Fortaleza], 2007. Slides

**VEIGA, P. M.**, 1966. Geologia da Quadricula de Juazeiro do Norte (E-082) Folha Crato - CE. (*Série Geologia Regional n 1*). Recife, SUDENE, 57p.

**VIANA, M.S.S.** 1990. Estratigrafia e paleontologia da Formação Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 107p.

**VIANA, M.S.S. & CAVALCANTI, V.M.M.** 1991. Distribuição estratigráfica dos fósseis da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe. *Revista de Geologia*, Fortaleza, vol. 4: 81-87.

**VIANA, M.S.S. & CAVALCANTI, V.M.M.**1991. Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. *Revista de Geologia*, Fortaleza, vol. 4: 51 – 60.

**YOUNG R.A.**, The Rietveld Method, International Union of Crystallography Monographys on Crystallography, ed. Oxford Science Publications. 1995 n.5, p.5-38.

**WARREN, J. K.** 1989. Evaporite Sedimentology: importance in hydrocarbon accumulation. New Jersey, Englewood Cliffs: Hall. 258 p.

**WARREN, J. K.** 2006. Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. ED. Springer. Germany.

**WORTMANN, U. G. & CHERNYAVSKY, B.** 2007. Effect of evaporite deposition on Early Cretaceous carbon and sulphur cycling. Nature PublishingGroup, Vol . 446, April 2007.