



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JAMES RATIS TERRA DA TRINDADE

FÁCIES, PETROGRAFIA E ASPECTOS PALINOLÓGICOS DA
FORMAÇÃO CODÓ, CRETÁCEO DA BACIA DO PARNAÍBA, NA
REGIÃO DE GRAJAÚ (MA)

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PA

ABRIL – 2012

JAMES RATIS TERRA DA TRINDADE

FÁCIES, PETROGRAFIA E ASPECTOS PALINOLÓGICOS DA
FORMAÇÃO CODÓ, CRETÁCEO DA BACIA DO PARNAÍBA, NA
REGIÃO DE GRAJAÚ (MA).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito de cumprimento às exigências para obtenção do grau de Geólogo - Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira.

Coorientador: Dr. José Tasso Felix Guimarães

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

T832f Trindade, James Ratis Terra da
Fácies, petrografia e aspectos palinológicos da formação
Codó, Cretáceo da Bacia do Parnaíba, na região de Grajaú
(MA) / James Ratis Terra da Trindade; Orientador: Afonso
César Rodrigues Nogueira; Coorientador: José Tasso Felix
Guimarães – 2012

67 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em
geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Palinologia – Codó (MA). 2. Análise de fácies. 3.
Análise paleoambiental. 4. Microfácies evaporíticas. I.
Nogueira, Afonso César Rodrigues, *orient.* II. Guimarães,
José Tasso Felix, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará.
IV. Título.

CDD 22^a ed.: 561.13098121

JAMES RATIS TERRA DA TRINDADE

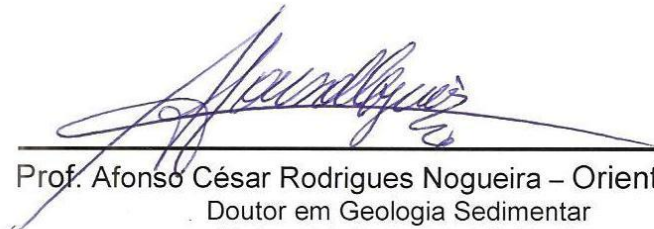
FÁCIES, PETROGRAFIA E ASPECTOS PALINOLÓGICOS DA
FORMAÇÃO CODÓ, CRETÁCEO DA BACIA DO PARNAÍBA, NA
REGIÃO DE GRAJAÚ (MA).

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará (UFPA), como requisito de
cumprimento às exigências para obtenção do
grau de Geólogo - Bacharel em Geologia.

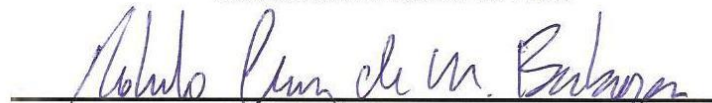
Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:



Prof. Afonso César Rodrigues Nogueira – Orientador
Doutor em Geologia Sedimentar
Universidade Federal do Pará



Roberto César de Mendonça Barbosa
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Renata Lourenço Lopes Hidalgo
Doutora em Geologia Sedimentar
Universidade Federal do Pará

*Aos meus familiares e amigos,
por todos os bons momentos compartilhados.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e toda bondade, por ter me proporcionado crescer com todas as experiências vividas e por sempre estar do meu lado.

Ao meu orientador prof. Dr. Afonso Nogueira pelas preciosas orientações, oportunidades, ensinamentos e paciência na realização deste trabalho. Ao meu co-orientador Dr. Tasso Guimarães pelo valioso auxílio e atenção nas atividades de laboratório, nas conversas e na confecção deste trabalho.

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo (PRH / ANP - 06) pela concessão da bolsa e do financiamento deste trabalho, em especial à Renata Hidalgo. Ao Grupo PET – Geologia, por ter me proporcionado bons momentos durante minha graduação, sob a coordenação do prof. Vladimir de Araújo Távora.

Aos amigos do GSED José Bandeira, Cleber Rabelo e Francisco Abrantes pela força inestimável durante a nossa atividade de campo.

Aos meus pais Jacirene e João pelo amor e carinho durante toda minha criação. Aos meus avós, Dona Maria e seu Trindade, pelas valiosas lições ensinadas e por serem meus espelhos de vitória. À mamãe Ieda pelo amor incondicional e todos os bons momentos vividos. Aos meus tios, que são meus pais nas horas vagas, Tio Ildo, Tio Dário (*in memorian*), Tio Zeca, Tio Naldo, Tia Jane, Tia Nena, Tia Luzia e aos meus padrinhos Tia Tuca e Tio Mário.

Aos meus irmãos Jeniffer e Júnior Terra, por sempre estarem do meu lado e cuidarem de mim. Aos meus primos Jéssica, Dani, Letícia, Aline, Simone, Paula, Rafael, Cláudia, Zé Reinaldo e em especial ao meu irmão Marlon Anderson.

Aos meus amigos Bob, Bruno, Danglar, Paulinho, Vinícius (Gordo), Ryanom, Wsherllys, Vavá, Thiago, Fernanda, Bruna, Luh, Valerinha (Pompom) por todos os momentos mais que especiais que nós sempre passamos juntos.

Aos amigos da geologia, em especial à turma de 2007. Léo (doido), Valber Gaia, Igor Henrique, Nayan Cezar, Rodrigo Santana, Andersê Freitas, Rubens Neto, Nathan Diniz, Igor Pacheco, Danii Lima, Marcela Maracaípe, Susêê Machado, Camila Marques, Indyhaia Narayanne. Flora.

Aos colegas do grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) em especial Joelson Lima, Isaac Rudnitsky, Raphael Neto, Pedro Augusto, Maurinha.

RESUMO

A Formação Codó, de idade cretácea, exposta na porção central da Bacia do Parnaíba, foi estudada em afloramentos e frentes de lavra na Pedreira Gesso Integral, região de Grajaú, Estado do Maranhão. A integração das análises de fácies/microfácies e palinológica permitiu corroborar com as interpretações prévias para esta unidade e fornecer algumas considerações paleoclimáticas. Foram identificadas seis fácies sedimentares, agrupadas em 2 associações representativas de um sistema lacustre: 1) lago central com influências de ondas, formada por folhelho negro, gipso nodular, folhelho verde e arenito com laminação truncada por ondas, com as microfácies gipsita nodular e gipsita em rosetas; e 2) painéis salinas e *sabkha*, constituída por gipso fibroso/laminar, gipso arenito e as microfácies de gipsita em chevron, gipsita acicular, gipsita em mosaico e gipsita pseudo nodular. A análise de palinófitos indicou a ausência de gimnospermas e abundância de palinófitos de angiospermas dos gêneros *Monoporopollenites*, *Retitricolporites* e *Stephanocolporites*, *Psilamonocolpites*, *Echitriporites*, *Retiperiporites* além de pteridófitas como *Retitriletes*. Esta assembleia sugere um ambiente úmido com florestas bem desenvolvidas possivelmente relacionadas com zonas marginais de lago ou planície de inundação, ao contrário das interpretações prévias de clima árido para a Formação Codó. O desenvolvimento desta pesquisa pode proporcionar o treinamento em rochas evaporíticas, contribuindo também para o desenvolvimento de modelos análogos sedimentares de rochas geradoras e selantes da Bacia do Parnaíba.

Palavras-chave: Palinologia – Codó (MA). Análise de fácies. Análise paleoambiental. Microfácies evaporíticas.

ABSTRACT

The Cretaceous Codó Formation exposed in the Central Parnaíba Basin was studied in outcrops and mines in the Pedreira Grossa Integral, Grajaú region, Estate of Maranhão. The integration of facies/microfacies and palynological analysis allowed to corroborate with previous interpretation to this unit and it also provide some paleoclimatic insights. Six sedimentary facies were identified and grouped into 2 facies associations of a lacustrine system: 1) wave-influenced central lake, formed by black shale, nodular gypsum, green shale and sandstone with wave-cross lamination, with nodular gypsite and rosete of gypsite; and 2) salt pans and sabkha, composed by fibrous/laminar gypsum, gypsum arenite, and chevron gypsite, acicular gypsite, mosaic gypsite, pseudonodular gypsite. Palynomorphs analysis indicated the absence of gymnosperms and abundance of angiosperm palynomorphs from *Monoporopollenites*, *Retitricolporites* and *Stephanocolporites*, *Psilamonocolpites*, *Echitriporites*, *Retiperiporites* genus, as well as *Retitriletes fern*. This assemblage suggests a wet environment with well-developed forests likely related to marginal zones of lakes or floodplain, unlike previous interpretation of arid climate to Codó Formation. The development of these research provided training in evaporitic rocks, also contributing to the development of similar sedimentary models of source and selant rock of Parnaíba Basin.

Keywords: Palynology. Facies analysis. Paleoenvironmental analysis. Evaporitic microfacies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Distribuição espacial das principais sequências sedimentares que constituem o arcabouço litoestratigráfico da Bacia do Parnaíba.....	13
Figura 02 – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba.....	17
Figura 03 – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba.....	18
Figura 04 – Perfis estratigráficos da Formação Codó nos municípios de Codó (A) e Grajaú (B, C e D).....	21
Figura 05 – Reconstituição paleobiológica do Albiano da Formação Codó, Bacia do Grajaú.....	24
Figura 06 – Processos de cristalização e classificação de sais.....	27
Figura 07 – Formação dos minerais e texturas evaporíticas no ambiente diagenético, e evolução pós deposicional.....	28
Figura 08 – Morfologia do grão de pólen a) Camadas da exina e; b) terminologia das camadas da exina.....	30
Figura 09 – Relevo cárstico representado pela formação de dolinas desenvolvidas nos evaporitos da Formação Codó. Mina Gesso Integral, Grajaú, MA.....	32
Figura 10 – A Formação Codó na cidade de Grajaú. A) Aspecto geral da frente de lavra da Mina Gesso Integral. B) Porção inferior com bolsões de folhelho (Fn) e Gipso Nodular (Gn). C) Porção superior com camadas tabulares de Gipso Arenito (Ga) e Gipso Fibroso (Gf) (Branco).....	34
Figura 11 – Perfil estratigráfico da Formação Codó mostrando as litologias evaporíticas e pelíticas, locais das coletas para análise petrográfica e palinológica. Litofácies: Gipso Nodular (Gn), Folhelho Negro (Fn), Gipso Fibroso (Gf), Gipso Arenito (Ga) e Folhelho Verde (F).....	35
Figura 12 – Detalhe das litologias. A) Gipso Nodular; B) Folhelho Negro inserido nos pacotes de Gipso Nodular; C) Detalhe dos bolsões de Folhelho Negro; D) Detalhes das laminações entre as camadas de Gipso Fibroso; E) Gipso Arenito, pseudo nodular; e F) Pacotes de Folhelho Verde.....	36
Figura 13 – Detalhes dos nódulos de gipsita cobertos por filmes de argilito. A) amostra de mão mostrando os nódulos dispostos no planos de laminação; B) fotomicrografia em detalhes dos nódulos microcristalinos de gipsita, envolvidos por carbonatos (seta amarela).....	38
Figura 14 – Feições de Gipsita em Roseta encontradas superimpostas nas litologias de Gipso Nodular (A) e Gipso Fibroso (B).....	39

Figura 15 – Camadas laminadas de Gipso Fibroso mostrando os pares compostos de lâminas claras e escuras.....	40
Figura 16 – Detalhes da lâminas de Gipso Fibroso separadas por filmes de folhelho negro.....	41
Figura 17 – Fotomicrografia em detalhe cristais de Gipsita em <i>Chevron</i> alinhados verticalmente.....	42
Figura 18 – Fotomicrografia em detalhe cristais de Gipsita Acicular similares a agulhas e texturas reliquias de Gipsita em <i>Chevron</i>	43
Figura 19 – Amostra em detalhe da textura fibrosa acicular encontrada nas lâminas claras do Gipso Fibroso / Laminar.....	44
Figura 20 – Detalhe do Gipso Fibroso com alternâncias das lâminas claras e escuras.....	45
Figura 21 – Fotomicrografia mostrando em detalhe a passagem da textura fibrosa para o aspecto inequigranular da microfácies Gipsita em Mosaico.....	46
Figura 22 – Amostra de mão com detalhe da textuta brechada do Gipso Arenito, com pseudo nódulos retrabalhados e feição semelhante a rochas siliciclásticas psamíticas.....	47
Figura 23 – Fotomicrografia da textura Gipsita Pseudo Nodular / Brechada com detalhes para os fragmentos angulosos de gipsita em tamanhos variados. A) nicóis // e; B) nicóis X.....	48
Figura 24 – Pacote de Folhelho Verde laminado que recobre as rochas evaporíticas da Formação Codó.....	49
Figura 25 – Intercalações entre as fácies Folhelho Verde (F) e Arenito com Laminação truncada por ondas (Alo) (camadas rosas).....	50
Figura 26 – Estampa de palinomorfos.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	APRESENTAÇÃO	11
2	A BACIA DO PARNAÍBA	14
3	FORMAÇÃO CODÓ	19
3.1	FÁCIES, ESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE	19
3.2	PALEONTOLOGIA	22
4	MATERIAS E MÉTODOS	25
4.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	25
4.2	ANÁLISE DE FÁCIES	26
4.3	PETROGRAFIA DE EVAPORITOS	29
4.4	ANÁLISE PALINOLÓGICA	29
5	A FORMAÇÃO CODÓ NA REGIÃO DE GRAJAÚ	32
5.1	ANÁLISE DE FÁCIES E MICROFÁCIES	37
5.1.1	Descrição das Litofácies	37
5.1.1.1	Gipso Nodular (Gn)	37
5.1.1.1.1	<i>Gipsita em Roseta (Gr)</i>	39
5.1.1.2	Gipso Fibroso / Laminar (Gf)	39
5.1.1.2.1	<i>Gipsita em Chevron (Gc)</i>	41
5.1.1.2.2	<i>Gipsita Acicular (Gac)</i>	43
5.1.1.2.3	<i>Gipsita em Mosaico (Gm)</i>	44
5.1.1.3	Gipso Arenito (Ga)	46
5.1.1.3.1	<i>Gipsita Pseudo Nodular / Brechada (Gpn)</i>	47
5.1.1.4	Folhelho (F)	49
5.1.1.5	Arenitos com Laminação truncada por ondas (Alo)	50
5.1.2	Associação de Fácies e Modelo Depositional	50
5.1.2.1	Associação de fácies 1 (AF1): Lago Central com Influência de ondas .	52
5.1.2.2	Associação de fácies 2 (AF2): Panelas Salinas / Sabkha	52
6	ANÁLISE PALINOLÓGICA	53
6.1	ESPOROS	54
6.2	PÓLEN	54
7	DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÕES	62
	REFERENCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Bacia do Parnaíba ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km² na região nordeste do Brasil, é uma bacia interior cratônica com sucessão sedimentar que alcança mais de 3 km de espessura (figura 1). Apesar do extenso reconhecimento geológico, principalmente de cunho litoestratigráfico, realizados pela PETROBRÁS (cf. GÓES et al 1990; GÓES; FEIJÓ, 1994), o insucesso na descoberta comercial de hidrocarbonetos tem relegado a Bacia do Parnaíba das campanhas exploratórias, embora, todavia, o seu potencial econômico não pode ser totalmente descartado.

Uma das problemáticas mais controversas da Bacia do Parnaíba refere-se à estratigrafia do Neojurássico ao Eocretáceo, onde as unidades Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru têm sido posicionadas em intervalos distintos ou com limites diacrônicos (GÓES; FEIJÓ, op.cit; VAZ et al., 2007). Assim, o possível sistema petrolífero – Corda-Codó-Grajaú (?), Codó-Grajaú (?) ou Codó-Itapecuru (?) – ainda precisa ser melhor definido. Em geral, as propostas estratigráficas consideram que a Formação Codó sobrepõe-se aos arenitos das Formações Corda e Grajaú, sendo recoberta concordantemente pelos arenitos da Formação Itapecuru (GÓES; FEIJÓ, op.cit; VAZ et al., op.cit). Devido o contexto tectônico diferenciado, relacionado à desagregação do supercontinente Gondwana, as unidades mesozoicas têm sido inseridas na porção norte da Bacia do Parnaíba, denominada de Bacia de Grajaú (GÓES; FEIJÓ, 1994).

A pesquisa deste trabalho de conclusão de curso (TCC) visa o entendimento do intervalo Mesozoico, o maior produtor do mundo de hidrocarbonetos, sendo a Formação Codó, o objeto deste estudo. A Formação Codó é constituída por folhelhos betuminosos, com valores de carbono orgânico total (COT) de até 13% (REIS; CAPUTO, 2007) além de evaporitos e carbonatos de que são explorados comercialmente e possuem características de rocha selante. Apesar da grande quantidade de publicações sobre a Formação Codó, detalhando os litotipos, paleoambientes e paleontologia (CARNEIRO, 1974; ARANHA et al., 1990; PAZ, 2000;

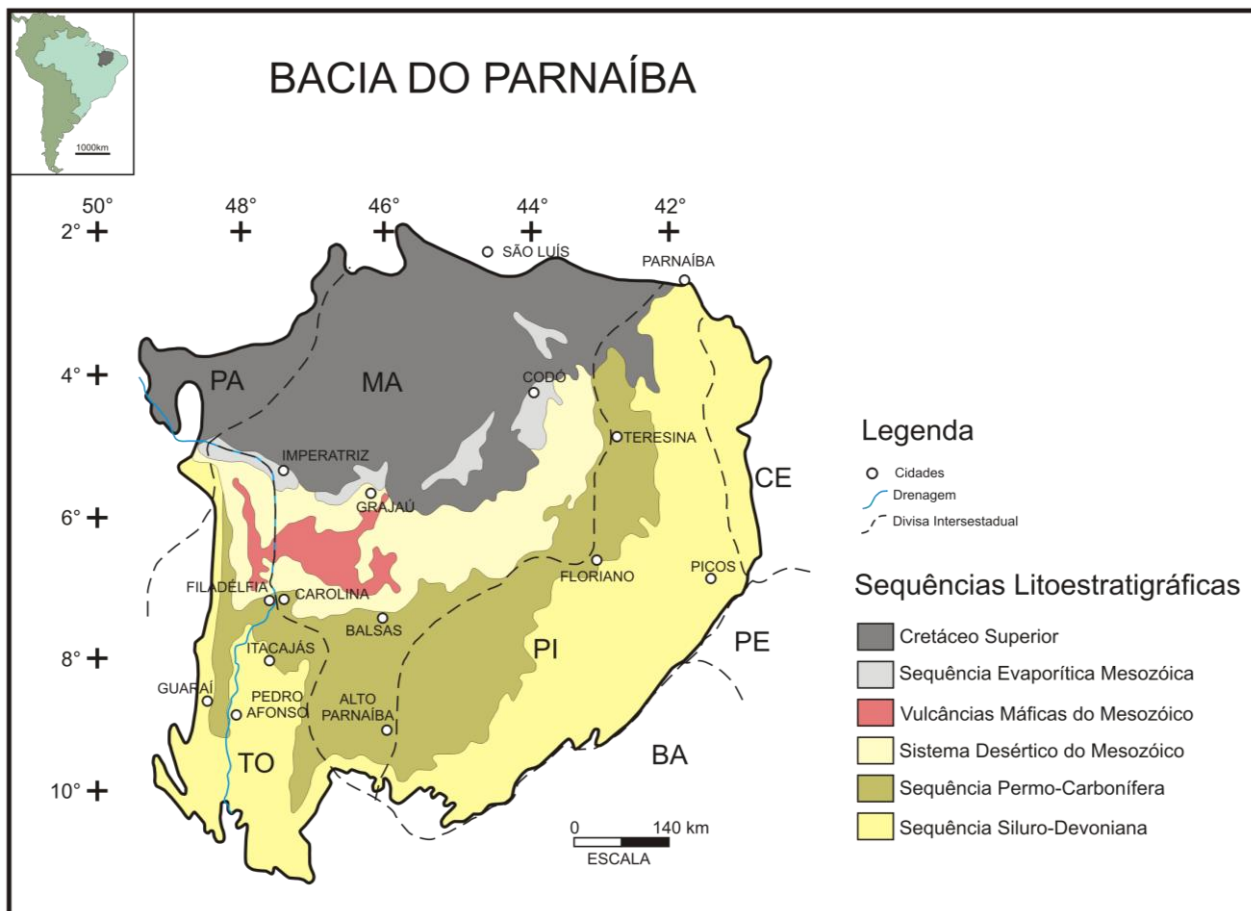
ROSSETTI et al.; 2004 PAZ, 2005), ainda existem interpretações contraditórias sobre o paleoambiente e discussões limitadas sobre o paleoclima, principalmente com base em palinomorfos. Assim, esta pesquisa pretende analisar as fácies/microfácies e palinomorfos da Formação Codó, exposta na região de Grajaú, Estado do Maranhão, contribuindo para ampliar o conhecimento geológico desta importante unidade considerada como uma possível rocha geradora do sistema petrolífero do Aptiano-Albiano da Bacia do Parnaíba.

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A área estudada encontra-se no município de Grajaú, porção centro sul do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. O acesso por via terrestre, partindo de Belém, dá-se pela rodovia BR-316 até a cidade de Santa Maria do Pará (PA), segue-se na rodovia BR-010 até o município de Porto Franco (MA), onde por fim, o acesso continua na rodovia BR-226 até o município de Grajaú (MA). A cidade de Grajaú possui cerca de 56.000 habitantes, uma área em torno de 7.400 quilômetros quadrados e fica distante 550 quilômetros da capital São Luis (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2009).

O município de Grajaú é conhecido por possuir diversas pedreiras de extração de gesso, e nestas pedreiras encontram-se bons afloramentos para o estudo das rochas pertencentes da Formação Codó. Os pontos estudados para este trabalho se encontram em duas cavas da Mineradora Gesso Integral.

Figura 1 – Distribuição espacial dos principais depósitos sedimentares que constituem o arcabouço litoestratigráfico da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Modificado de Santos e Carvalho (2004)

2 A BACIA DO PARNAÍBA

A Bacia do Parnaíba tem sido dividida por Góes e Rossetti (2001), que propõem que a partir do Mesozoico houve o desenvolvimento da Bacia de São Luís-Grajaú sobre a Bacia do Parnaíba. A Bacia de São Luis-Grajaú teria sido originada por esforços de cisalhamento e transcorrência durante a separação dos continentes da América do Sul e África no Jurássico Superior/Cretáceo Inferior, sendo assim composta unicamente por rochas cretáceas e cenozoicas e tendo como embasamento as rochas da Bacia do Parnaíba e alguns corpos cristalinos pré-cambrianos. Segundo Vaz et al. (2007) estes depósitos cretáceos, que Góes e Rossetti (2001) sugerem como pertencentes à Bacia de São Luís-Grajaú, fazem parte do registro litológico da Bacia do Parnaíba. O depocentro desta bacia teria sido deslocado pra noroeste no período cretáceo, como resultado dos movimentos tectônicos ligados à abertura do Oceano Atlântico. Para fins de entendimento da geologia regional, neste trabalho foi preferencialmente adotado o modelo proposto por Vaz et al. (2007).

A Bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica paleozoica, com registros desde o Siluriano, que ocupa uma área de cerca de 600.000 km² e possui no seu depocentro uma espessura de rochas que atinge cerca de 3.500 metros. Está localizada no nordeste brasileiro e abrange os estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Piauí e Ceará. A Bacia do Parnaíba desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o Estádio de Estabilização da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA; CARNEIRO, 2004 apud VAZ et al, 2007). É limitada pelos seguintes elementos estruturais: Arco Ferrer-Urbano Santos a norte, Falha de Tauá a leste, lineamento Senador Pompeu a sudeste, lineamento Tocantins-Araguaia a oeste e Arco Tocantins a noroeste. Seu embasamento é constituído de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, que datam desde o Arqueano ao Ordoviciano.

2.1 LITOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARNAÍBA

O registro sedimentar da Bacia da Parnaíba consiste de uma sucessão de rochas sedimentares e ígneas, que pode ser disposta em cinco supersequências Segundo Vaz et al. (2007): Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Corda, Codó, Grajaú e Itapecuru). Estas supersequências são delimitadas por discordâncias regionais, que se estendem por toda a bacia (Figuras 2 e 3).

A sequência Siluriana, representada pelo grupo Serra Grande e compreende as Formações Ipu, Tianguá e Jaicós, e representa um ciclo transgressivo-regressivo completo. É bem definida em subsuperfície e ocorre, praticamente, em toda extensão da bacia. Esta sequência, contudo, não está perfeitamente individualizada em trabalhos de cartografia geológica, devido possuir poucos afloramentos que se restringem à extremidade leste da bacia.

A segunda sucessão sedimentar é representada pela sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), que é composta pelas Formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Suas camadas afloram nas porções leste e sudoeste da bacia, e subsuperficialmente estão presentes em quase toda a extensão da bacia, assim como a sequência subjacente.

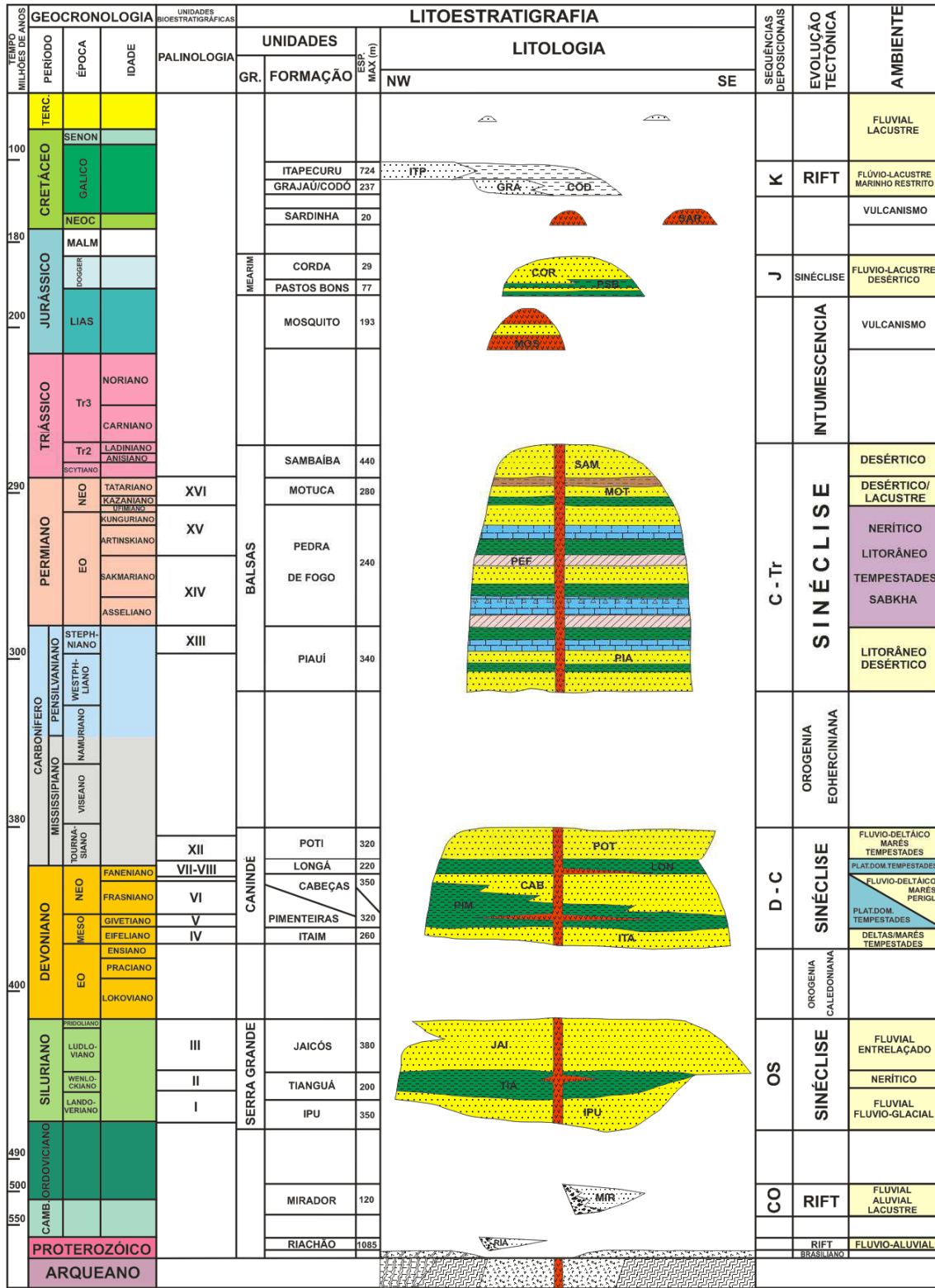
As Formações Piauí, Pedra-de-Fogo, Motuca e Sambaíba compõem o Grupo Balsas, que representa a sequência Carbonífero-Triássica da Bacia do Parnaíba. A deposição dessa sequência coincidiu com as mudanças ambientais e tectônicas profundas na região da bacia. Mares abertos de ampla circulação e clima temperado passaram a ser mares restritos, rasos e clima quente e árido.

A sequência Jurássica é representada unicamente pela Formação Pastos Bons. O peso das rochas básicas da Formação Mosquito e das rochas sedimentares pré-existentes na bacia originou a subsidência necessária para deposição desta sequência. O final desta fase sedimentar teria sido consequência do tectonismo referente à abertura do Atlântico Equatorial.

O registro cretáceo dessa bacia é constituído pelas Formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru. Durante o período Cretáceo, o depocentro da bacia deslocou-se da região central para porções mais localizadas do extremo norte e noroeste da bacia, como resultado da separação dos continentes e formação do Oceano Atlântico. Num contexto mais amplo, a gênese dos depósitos das Formações Grajaú, Codó e Itapecuru estaria associada à movimentação tectônica ou ao processo de separação dos continentes sul-americano e africano no Cretáceo (ROSSETTI et al., 2001).

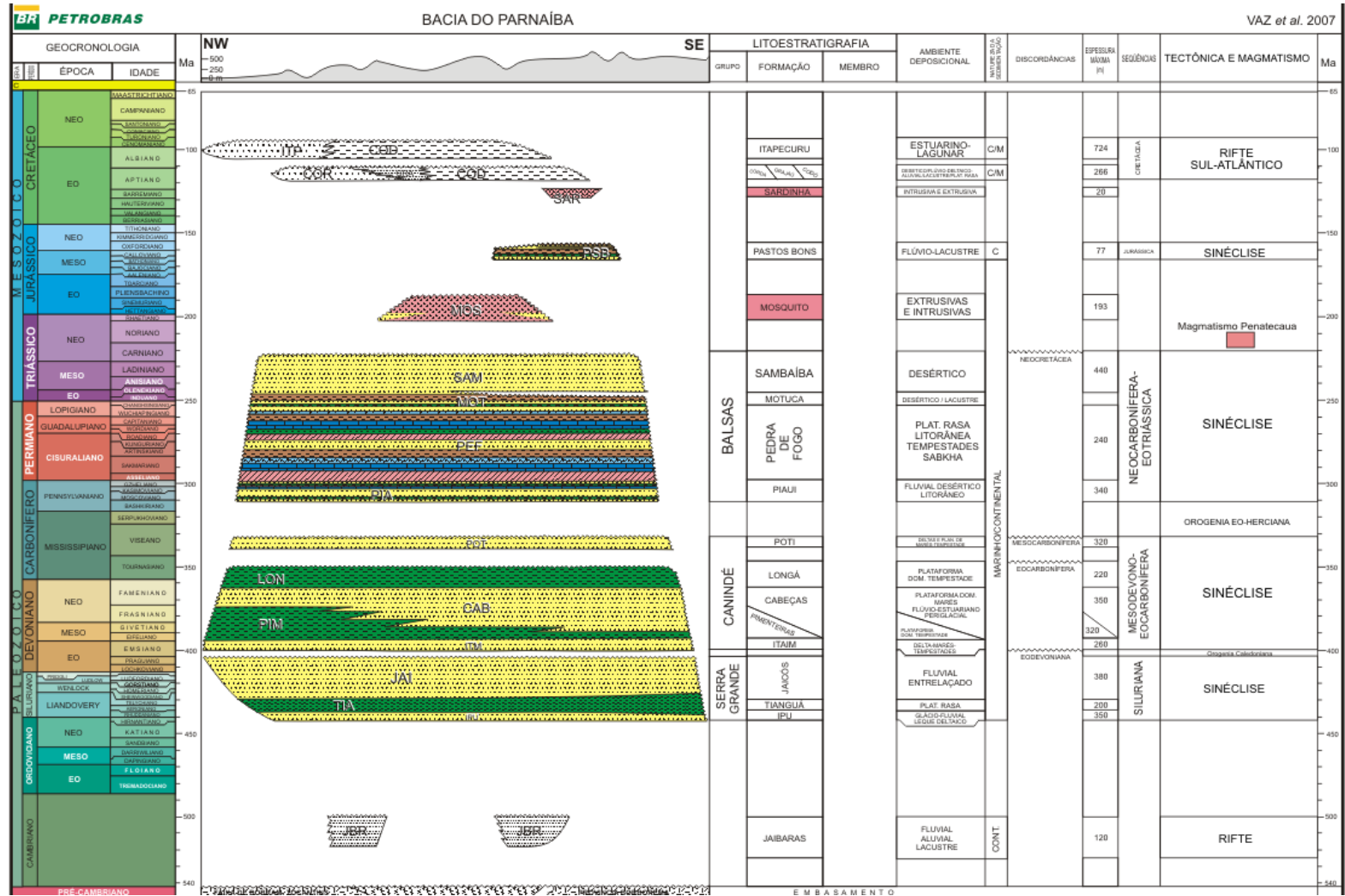
As rochas magmáticas encontradas na Bacia do Parnaíba são resultados da ruptura do megacontinente Pangeia, que levaria à abertura do Oceano Atlântico. Eventos distensionais, reativação de falhas antigas, surgimento de fraturas e intenso magmatismo básico caracterizaram essa fase mesozoica, com registro em todo território brasileiro (ALMEIDA ; CARNEIRO, 2004; ZALÁN, 2004). O registro magmático é composto por rochas intrusivas (diques e soleiras) e extrusivas, de composição básica, as quais foram divididas por características geocronológicas em: Formação Mosquito (Jurássico) e Formação Sardinha (Eocretáceo).

Figura 2 – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Góes e Feijó (1994).

Figura 3 – Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Vaz et al. (2007).

3 FORMAÇÃO CODÓ

3.1 FÁCIES, ESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE

A Formação Codó foi inicialmente descrita por Lisboa (1914) e Campbell et al. (1949) como uma unidade composta de folhelhos betuminosos intercalados com evaporitos e carbonatos aflorantes no vale do Rio Itapecuru, município de Codó, Estado do Maranhão. Estes depósitos foram formados em ambiente lacustre, desenvolvido durante o Aptiano (CAMPBELL et al., 1949). Trabalhos de Mesner e Wooldridge (1962), Lima e Leite (1978) e Batista (1992) propõe que a Formação Codó como dividida em três subunidades, diferenciadas por características faciológicas. A seção inferior corresponde ao início de uma transgressão marinha que terminou com ciclos evaporíticos e é constituída de conglomerados basais sobrepostos por folhelhos negros betuminosos, níveis de carbonatos e camadas de evaporitos. A subunidade intermediária registra uma nova transgressão, e é composta por um conglomerado polimítico basal, que grada para folhelhos esverdeados. A seção superior mostra provavelmente um ambiente de planície de maré, onde ocorreu a deposição de arenitos e siltitos cinza, carbonáticos e piritosos, com restos de vegetais.

Carneiro (1974) apresentou uma equivalência cronoestratigráfica por interdigitação entre os folhelhos da Formação Codó e os arenitos da Formação Grajaú. Aranha et al. (1990) interpretaram os sedimentos Codó-Grajaú como um sistema deposicional lacustre, incluindo um ambiente flúvio-deltaico. Batista (1992) sugere presença de depósitos fluviais, deltaicos e lacustres com breves incursões marinhas na Formação Codó, a partir da análise faciológica de testemunhos de furos de sondagem.

Os trabalhos de Batista (1992), Mendes (2004) Rosseti et al. (2004) e Paz (2000; 2005) descrevem as litofácies encontradas na Formação Codó, expostas em afloramentos ou coletadas em testemunhos de sondagem. As principais litologias são evaporitos, folhelhos e carbonatos, e estas auxiliam na interpretação paleoambiental da

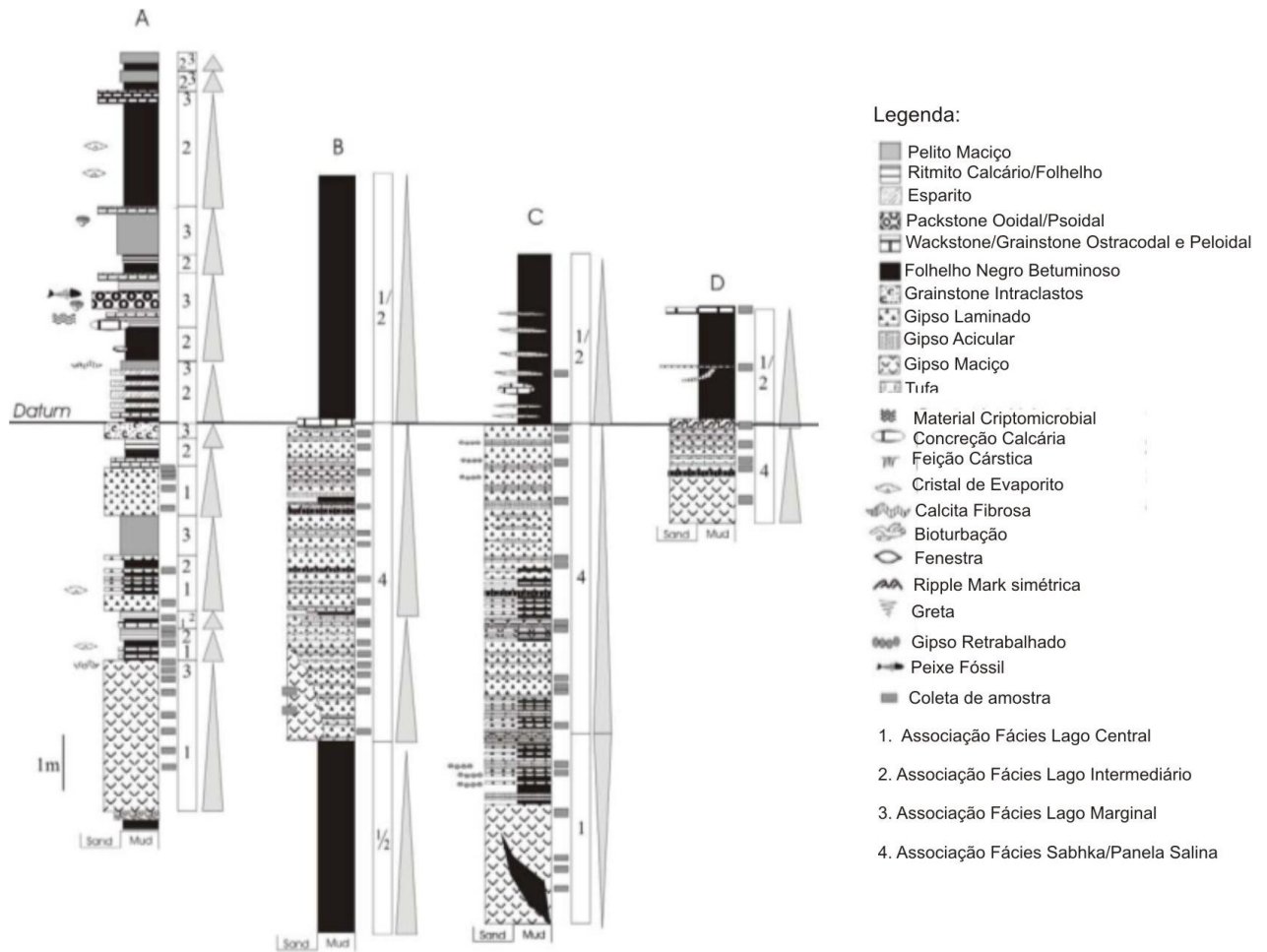
Formação Codó e também para intervalo Albiano-Aptiano da Bacia do Parnaíba e sua paleogeografia.

Os evaporitos descritos na Formação Codó ocorrem geralmente em depósitos contínuos lateralmente e que chegam a atingir espessuras superiores a 15 metros. Por vezes, finas camadas de folhelhos e carbonatos ocorrem com os evaporitos, compondo ciclos de até 3 metros de espessura. Nas diversas litofácies evaporíticas descritas na Formação Codó, as principais são: Gipso Laminar, Gipso Nodular e Gipso Arenito (PAZ, 2000).

Os argilitos da Formação Codó são lateralmente contínuos em escala de afloramento, e ocorrem em pacotes espessos ou intercamadados com carbonatos e evaporitos. Este grupo litológico é representado pelas fácies argilito laminado, argilito maciço e folhelhos negros (Figura 4).

Os carbonatos presentes na Formação Codó possuem menor expressão que os evaporitos acima citados. Ocorrem geralmente em camadas com espessuras não superiores a 20 centímetros, intercamadados com evaporitos e folhelhos. As principais litofácies carbonáticas são: *mudstone* maciço, *mudstone-packstone* laminado, tufa, estromatólito e brecha carbonática (PAZ, op.cit.).

Figura 4 – Perfis estratigráficos da Formação Codó nos municípios de Codó (A) e Grajaú (B, C e D).



Fonte: Paz (2005).

De acordo com os dados obtidos nas descrições faciológicas da Formação Codó na área de Grajaú e Codó, Rosseti et al. (2004) definem o contexto paleoambiental para esta formação. Os depósitos estudados incluem evaporitos, calcários e argilitos contendo feições sedimentares indicativas de ambiente raso, salino, subaquoso, de baixa energia, e exposto a condições meteóricas e/ou capilares. Ciclos de inundação-concentração evaporítica-dissecação sugerem complexo salino rodeado por planícies evaporíticas de lama. A localização do sistema, se costeiro ou continental, é aberto a debate. Entretanto, a última hipótese é favorecida considerando-se dados isotópicos de Sr com valores mais elevados que aqueles esperados para águas marinhas do

Neoaptiano: composição calcítica dos calcários (ao invés de dolomítica e/ou magnésiana, como esperado em ambientes costeiros) e presença de ostracodes continentais e ausência de fauna marinha.

Essa interpretação é consistente com aquela proposta para os depósitos Aptiano superior da área de Codó, onde o sistema deposicional caracterizou-se por águas anóxicas, bem estratificadas e mais estáveis, com precipitação evaporítica em áreas lacustres centrais. Já na área de Grajaú as depressões salinas foram mais oxigenadas e temporárias, com precipitação de sais em áreas marginais ou ao longo de planícies de lama adjacentes.

3.2 PALEONTOLOGIA

A Formação Codó é bastante fossilífera. Entre os fósseis presentes, destacam-se foraminíferos, ostracodes, conchostráceos, bivalves, gastrópodes e peixes, e entre os restos vegetais, algas, esporos e pólenes diversos, troncos de coníferas e dicotiledôneas. De todos esses grupos, o único que propiciou a criação de zonas bioestratigráficas foi o dos esporos e pólen.

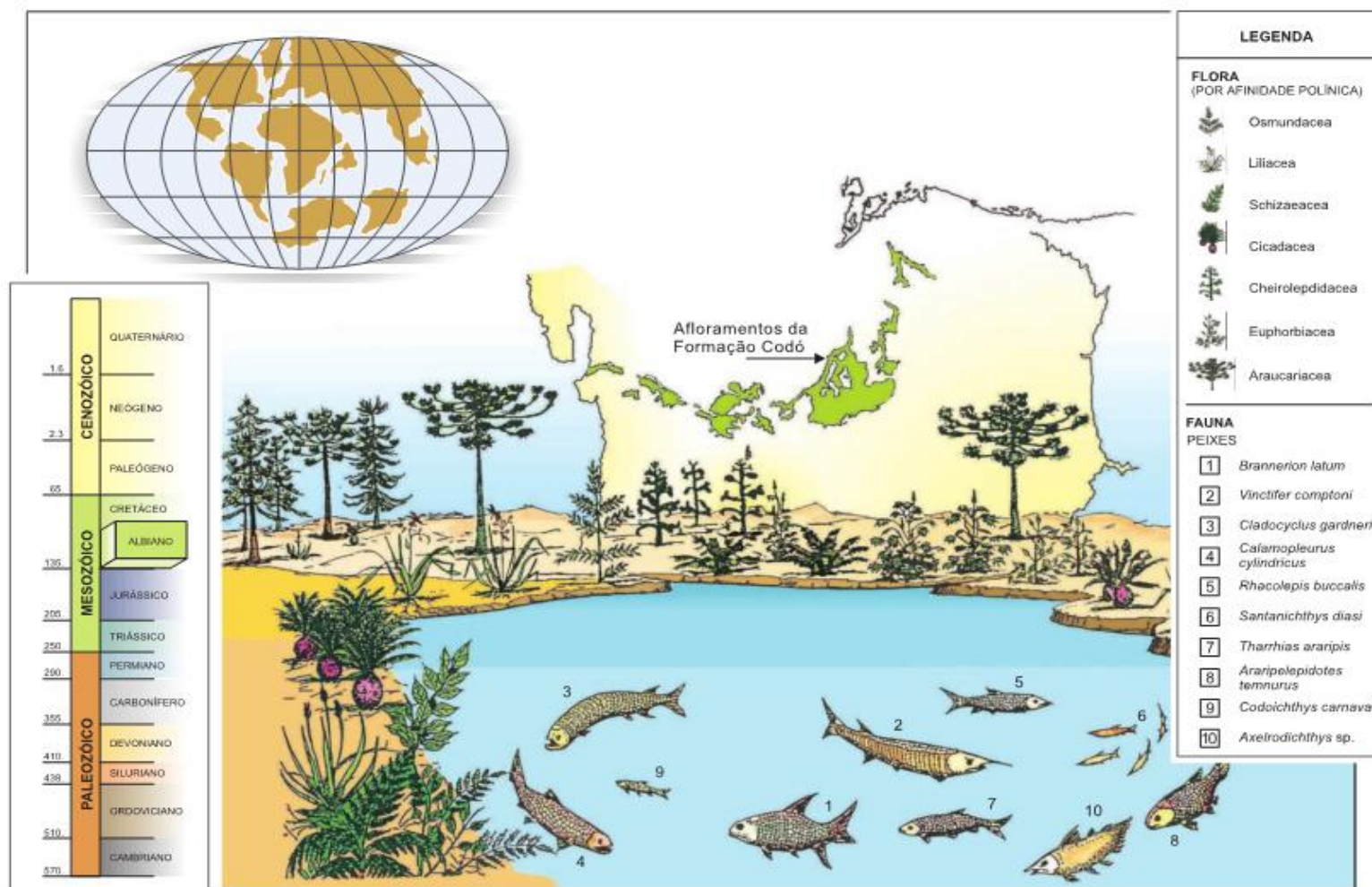
A fauna existente nos depósitos da Formação Codó é representada principalmente por ostracodes, conchostráceos, insetos e peixes. Os ostracodes encontrados são seguintes: *Hourcqia angulata symmetrica*, *Bisulcocypris silvai*, *Bisulcocypris pricei*, *Bisulcocypris quadrinodosa*, *Bisulcocypris praetuberculata*, *Bisulcocypris* sp.1, *Bisulcocypris* sp.2, *Darwinula oblonga*, *Pattersonocypris micropapilosa*, *Paracypridea obovata*, *Clinocypris* sp., *Petrobrasia* sp. e *Salvadoriela* (LEITE et al., 1975; KROMMEINBEIN; WEBER, 1985; SILVA et al., 1985; 1989). Os conchostráceos são representados por *Cyzicus codoensis*, e os insetos por *Pricecoris beckeræ* e *Latiscutella santosi* (PINTO; ORNELLAS, 1974). Os peixes que ocorrem são: *Calamopleurus cylindricus*, *Brannerion latum*, *Araripelepidotes temnurus*, *Tharrhias araripis*, *Vinctifer comptoni*, *Santanichthys diasii*, *Cladocyclus gardneri*, *Codoichthys carnavali* e *Rhacolepis buccalis* (SANTOS; CARVALHO, 2004).

Os registros de ocorrência de restos vegetais são numerosos e antigos, porém ainda são pouco estudados. Algumas destas citações são de troncos de árvores dicotiledôneas (LISBOA, 1914), madeiras, restos vegetais (MORAES REGO, 1923) e tronco indeterminadas (BORGES, 1937; DUARTE, 1958). Milanez (1935) descreveu a madeira fóssil denominada *Lecythioxylon brasiliense*, estudada por Japiassu (1971). As ocorrências de flora na Bacia foram listadas Duarte e Japiassu (1971), porém são de difícil definição estratigráfica.

Duarte descreveu exemplares referidos a folhas de *Nymphaeites choffati* (in DUARTE; SANTOS, 1993). A planta *Nymphaeites*, a fauna de invertebrados e os sedimentos carbonáticos são indicadores de um clima tropical. Possivelmente havia diferenciação de estações úmidas durante a elevação do nível das massas de água e períodos de aridez, quando se originaram os evaporitos.

Lima (1972), através da análise palinológica, identificou grãos de pólen rimulados do gênero *Classopollis* sp., *Ephedripites*, *Araucariacites*, *Eucommidites*, típicos de ambientes continentais sem influência marinha. Entretanto, conforme Pedrão (1996), a abundância de pólen e de esporos dos gêneros *Perotriletes*, *Psilatrilletes*, *Gleicheniidites*, *Verrutrilletes*, *Cingulatisporites*, *Aequitriradites*, *Rugutrilletes*, *Pilosisporites*, *Matonisporites*, *Raistrickia*, *Foveotrilletes* e *Leptopidites*, em quase toda coluna estratigráfica da Bacia São Luis indica ambiente deposicional continental/transicional com planície flúvio-deltaica. Além disso, a presença de palinoforaminíferos e cistos de dinoflagelados (gênero *Subtisphaera*) em alguns níveis das sequências deposicionais Codó e Itapecuru, sugere uma influência marinha durante a sedimentação, sob condições de clima árido e quente. Segundo Batista (1992) a análise palinológica revelou que a Formação Codó é de idade neoptiana, o que é indicado pela presença de *Sergipea variverrucata*.

Figura 5 – Reconstituição paleobiológica do Albiano da Formação Codó, Bacia do Grajaú.



Fonte: Santos e Carvalho (2004).

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa do trabalho consistiu no levantamento bibliográfico de publicações nacionais e internacionais, acerca da Bacia do Parnaíba e, mais especificamente, da sua sequência cretácea, com ênfase na Formação Codó. Pesquisou-se também sobre ocorrência, gênese e principais características de sítios lacustres de clima árido, petrografia de evaporitos e palinologia.

4.2 ANÁLISE DE FÁCIES

A fácies é um corpo rochoso com todas suas características a respeito de cor, estruturas sedimentares, tamanho dos grãos, conteúdo fóssil, composição mineralógica, etc. As informações contidas na fácies sedimentar servem como prognóstico, que permite ao geólogo fazer correlações, considerações acerca do ambiente onde estas rochas foram formadas (WALKER; JAMES, 1992).

O modelo de fácies é definido como sendo a distribuição padrão ou o arranjo das unidades litológicas dentro de uma associação sedimentar, tendo como objetivo identificar as feições que podem ser combinadas e passadas para modelos tridimensionais que caracterizem um ambiente em particular (WALKER; JAMES, op.cit.).

Nos estudos geológicos, cada variação faciológica é bem descrita e diferenciada, utilizando-se detalhes na escala de observação. As diversas variações faciológicas, que possuem características genéticas em comum, são agrupadas em um conjunto de fácies conhecido como associação de fácies. Associação de fácies é um grupo de fácies geneticamente relacionadas que indicam um ambiente sedimentar particular.

Durante a etapa de campo, foram visitados afloramentos em pedreiras de gesso aos arredores da cidade de Grajaú. O estudo de fácies foi realizado em duas frentes de lavra da Mineradora Gesso Integral. As características faciológicas foram determinadas em campo com a confecção de perfis verticais. Com a separação de fácies e o entendimento dos processos sedimentares, foi possível associá-las em fácies geneticamente relacionadas e, assim, tecer considerações a respeito do paleoambiente deposicional da Formação Codó, na região de Grajaú.

4.3 PETROGRAFIA DE EVAPORITOS

Evaporitos são rochas sedimentares que foram originalmente precipitadas de uma solução salina em ambientes de sedimentação de baixo aporte de terrígenos. As taxas de evaporação e cristalização são principalmente controladas pela atividade solar, mistura de águas e dissolução de minerais (Figura 6).

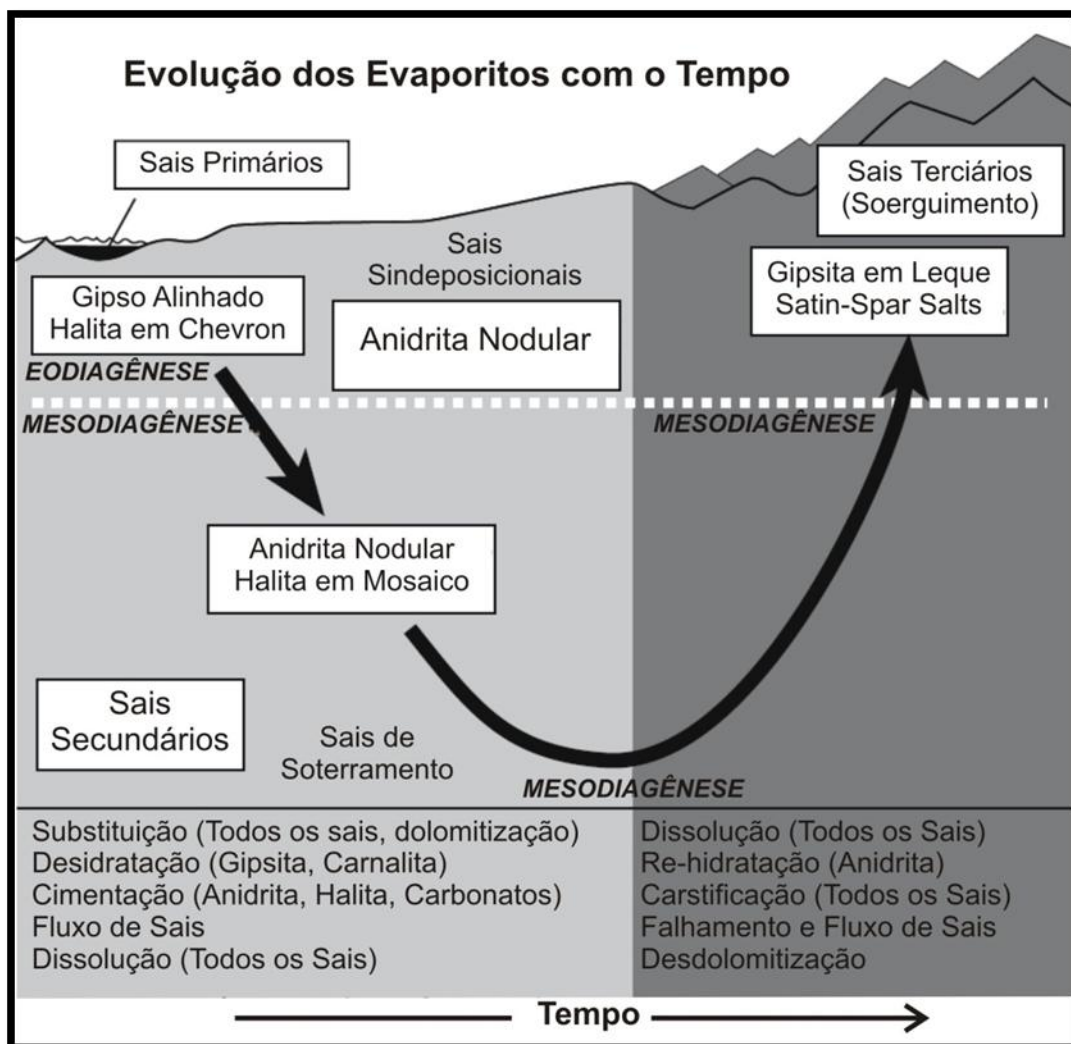
Figura 6 – Processos de cristalização e classificação de sais.

		Tipo	Processo de Precipitação	Temp (°C)	Processo Hidrológico
Evaporito é uma rocha formada a partir da precipitação de minerais de águas salinas ou salmouras. O processo de precipitação é resultado principalmente da atividade Solar.	↑ Domínio de Texturas Primárias	Evaporitos Primários	Os minerais evaporíticos são precipitados a partir da evaporação via solar de uma lagoa salina ou salmoura.	0 - 60 °C	Ação da Gravidade e densidade na superfície e na zona de atividade freática. Refluxo Salino.
		“Evaporitos Secundários”	Os minerais evaporíticos são precipitados em subsuperfície rasa na zona de atividade freática. A salinidade da água é controlada pela atividade solar. Pode formar texturas de substituição ou cimentos. Diagenese de soterramento substitui camadas antigas de evaporitos. A precipitação dos sais é controlada por processos de mistura e saturação dos fluidos, originando formas de substituição e cimentos.		
	Sem Texturas Primárias	Sais de Soterramento	Precipitação em subsuperfície de evaporitos (cimento) e substituição da matriz não evaporítica a partir da dissolução de camada evaporíticas adjacentes	60 - 200 °C	Efeitos térmicos, de soterramento e compactação
	“Evaporitos Terciários”	Evaporitos formados pela saturação das águas salinas e salmouras, resultado da dissolução parcial de camadas adjacentes na zona de atividade freática. Relacionado a soerguimento	0 - 60 °C	Fluxo freático estável à ativo.	
	??	Sais Hidrotermais	Sais precipitados a partir do aquecimento da água do mar ou conata ou mistura com águas hidrotermais.	>150 °C	Circulação Hidrotermal
					Saturação da água salobra resultado não direto da Atividade Solar

Fonte: Modificado de Warren (2006).

Os dois principais modelos de formação de depósitos evaporíticos são reconhecidos como: precipitação subaquosa em ambientes de águas rasas e profundas (lagos, lagunas, bacias intracratônicas, rifts); e precipitação subaérea ocorrendo dentro de sedimentos (sabkhas) ou em painéis (pans) salinas rasas e dissecadas (WARREN, 2006) (Figura 7).

Figura 7 – Formação dos minerais e texturas evaporíticas no ambiente diagenético, e evolução pós deposicional.



Fonte: Modificado de Warren (2006).

As fácies evaporíticas da Formação Codó foram caracterizadas petrograficamente com base na análise de 10 seções delgadas, no Laboratório de Petrografia Sedimentar do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia – GSED – da Universidade Federal do Pará (UFPA). As seções delgadas correspondem as 10 amostras no perfil representativo do afloramento localizado na Mina Gesso Integral.

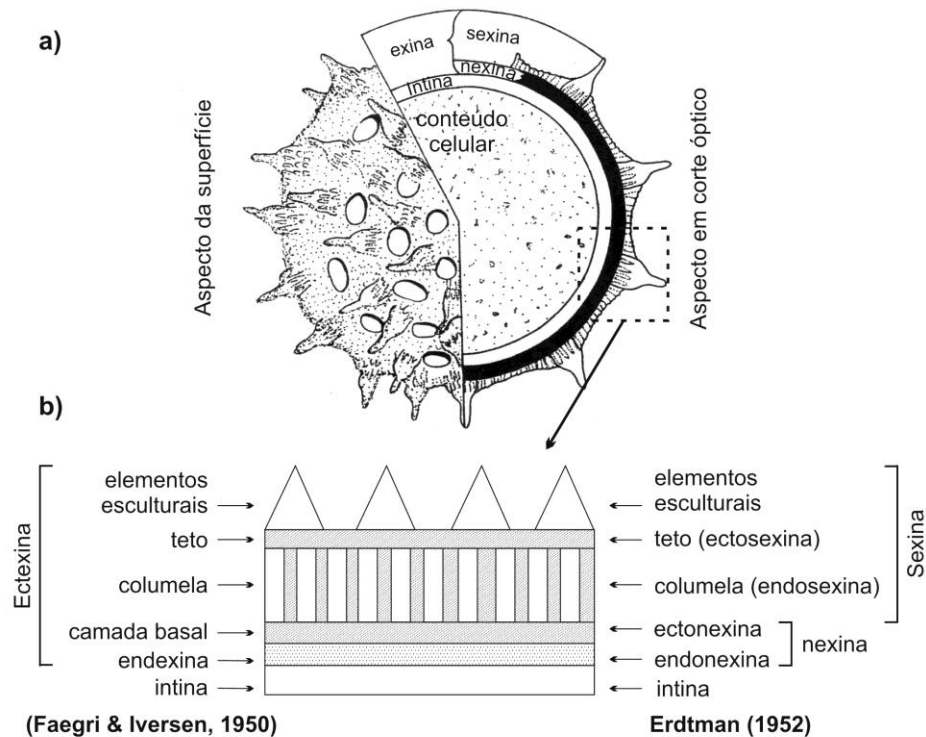
Para a classificação das microfácies foram utilizados os modelos descritivos de Melvin (1991) e Warren (2006), os quais são baseados nas feições texturais, que correspondem a diversas fases de formações dos minerais. Estes modelos são bem empregados nos trabalhos de Paz (2000; 2005). A caracterização petrográfica das lâminas foi avaliada sob Microscópio Petrográfico da marca ZEISS AxiosKop 40 com câmera acoplada AxioCam HRc pertencente ao Grupo de Geologia Sedimentar (GSED).

4.4 ANÁLISE PALINOLÓGICA

A palinologia atualmente está designada a análise dos materiais biológicos (palinormorfos), compostos de quitina e esporopolenina. Todo espécime microscópico orgânico resistente ao tratamento químico corrosivo (HF, HCL, H₂NO₃, etc.) aplicado sobre a rocha ou sedimento é considerado um palinomorfo. Estes podem ser grãos de pólen e esporos, fragmentos do aparelho bucal de anelídeos, esporos de fungo, restos de tecido vegetal, cistos de algas, revestimento orgânico de foraminíferos, entre outros (JANSONIUS; MCGREGOR, 1996). Entretanto, os grãos de pólen e esporos são dominantes nos espectros palinomórficos.

A exina é uma espécie de envoltório externo do grão de pólen e esporo com grande resistência química, ornamentações variadas, estruturas complexas e vários tipos de abertura que permitem sua identificação (HESLOP-HARRISON, 1971) (figura 8).

Figura 8 – Morfologia do grão de pólen a) Camadas da exina e; b) terminologia das camadas da exina.



Modificado de Salgado-Labouriau, (1962).

Os esporos, devido à cicatriz (lasura) no pólo proximal são denominados triletes, monoletes ou aletes. Os grãos de pólen podem apresentar formas variadas, elipsoides ou esféricas. Devido à propriedade elástica da exina a forma do pólen pode se mostrar variável. Poros, colpos e cólporos são os três tipos de aberturas dos grãos. O colpo é uma invaginação germinal (ERDTMAN, 1947) ou uma área delgada da exina (FAEGRI; IVERSEN, 1950). O poro é uma abertura, de forma arredondada a elíptica, ou simplesmente seções delgadas da exina, enquanto que a abertura composta denominada cólporo é constituída de um ou mais poros (PUNT et al., 1994).

A metodologia para confecção das lâminas dos palinomorfs foi baseada em modificações na metodologia proposta por Uesugui (1979). Assim, 3 g de folhelho betuminoso foram utilizados no tratamento químico, que consiste em uma reação com ácido clorídrico concentrado (HCl) por 2 h, para eliminação dos carbonatos. Após esta

etapa, as amostras foram centrifugadas por 5 min a 2500 rpm, e lavadas com água destilada. Para uma eliminação eficaz, essa etapa foi repetida por algumas vezes até a verificação da ausência de efervescência. Logo após, para dissolver os silicatos, as amostras foram tratadas com ácido fluorídrico concentrado (HF) por 24 h, centrifugadas e lavadas com HCl a 10%. Em seguida, as amostras foram lavadas com água destilada por duas vezes, e assim iniciada a etapa de eliminação da matéria orgânica com o uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). As amostras permaneceram em reação com peróxido de hidrogênio por aproximadamente 10 h. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas, lavadas com água destilada e tratadas novamente com peróxido de hidrogênio. Ao fim do processo, as amostras foram lavadas com água destilada, centrifugadas, e o sobrenadante foi descartado. O resíduo foi conservado com álcool e usado para montar a lâmina. Quatro gotas de resíduo foram homogeneizadas sobre a lâmina, e aquecidas sob 30-40° C até a formação de uma película. Para confecção da lâmina foi utilizado Entellan.

Na análise qualitativa foi utilizado um microscópio petrográfico da marca ZEISS AxiosKop 40, com câmera acoplada AxioCam. O estudo sistemático foi realizado com base em palinofloras descritas para o Cretáceo (p.e. LIMA, 1981; ARAI, 2005), classificação de Iversen e Troels-Smith (1950) e glossário de termos em palinologia de Punt et al. (2006).

5. A FORMAÇÃO CODÓ NA REGIÃO DE GRAJAÚ

No município de Grajaú afloram diversos depósitos do Mesozoico da Bacia do Parnaíba representados pelas Formações Mosquito (Jurássico), Corda (Cretáceo), Grajaú (Cretáceo) e Codó (Cretáceo), geralmente encontrados em cortes de estrada, próximos a drenagens e pedreiras. A Formação Codó foi estudada na mina Gesso Integral dentro da cidade de Grajaú, é composta por rochas evaporíticas, folhelhos e carbonatos, geralmente desenvolve feições cársticas (figura 9) e exposta principalmente em frente de lavras.

Figura 9 – Relevo cárstico representado pela formação de dolinas desenvolvidas nos evaporitos da Formação Codó. Mina Gesso Integral, Grajaú, MA.



Foi confeccionado um perfil estratigráfico de 20 m de rochas evaporíticas e pelíticas, e se apresenta com a seguinte sucessão (figura 11): A porção inferior da sucessão é representada por uma camada com espessura em torno de 7 metros de gipso nodular, o qual apresenta bolsões, de aproximadamente 2 metros, de folhelhos negros. A porção intermediária do perfil com 5 m de espessura é composta

por uma alternância de camadas de gipso arenito com camadas de gipso fibroso/laminar. O topo do perfil corresponde a um espesso pacote de folhelho verde, com até 7 m de espessura. A passagem dos evaporitos para o folhelho se dá em um contato abrupto não erosivo (figura 10).

Figura 10 – A Formação Codó na cidade de Grajaú. A) Aspecto geral da frente de lavra da Mina Gesso Integral. B) Porção inferior com bolsões de folhelho (Fn) e Gipso Nodular (Gn). C) Porção superior com camadas tabulares de Gipso Arenito (Ga) e Gipso Fibroso (Gf) (Branco).

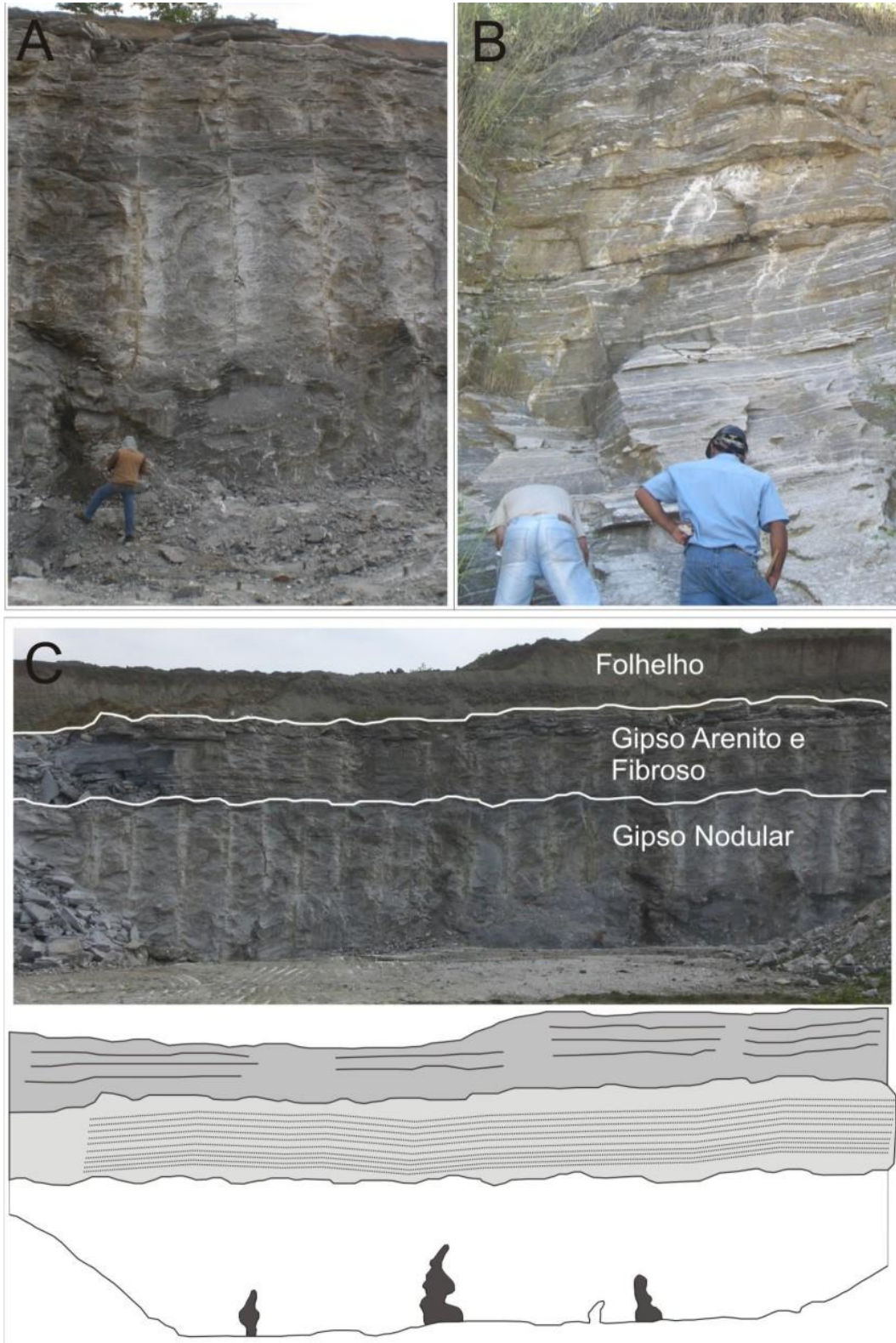


Figura 11 – Perfil estratigráfico da Formação Codó mostrando as litologias evaporíticas e pelíticas, locais das coletas para análise petrográfica e palinológica. Litofácies: Gipso Nodular (Gn), Folhelho Negro (Fn), Gipso Fibroso (Gf), Gipso Arenito (Ga) e Folhelho Verde (F). As pontos pretos representam as amostras utilizadas para confecção de lâminas petrográficas, os pontos vermelhos representam as amostras utilizadas para confecção de lâminas de palinomorfos.

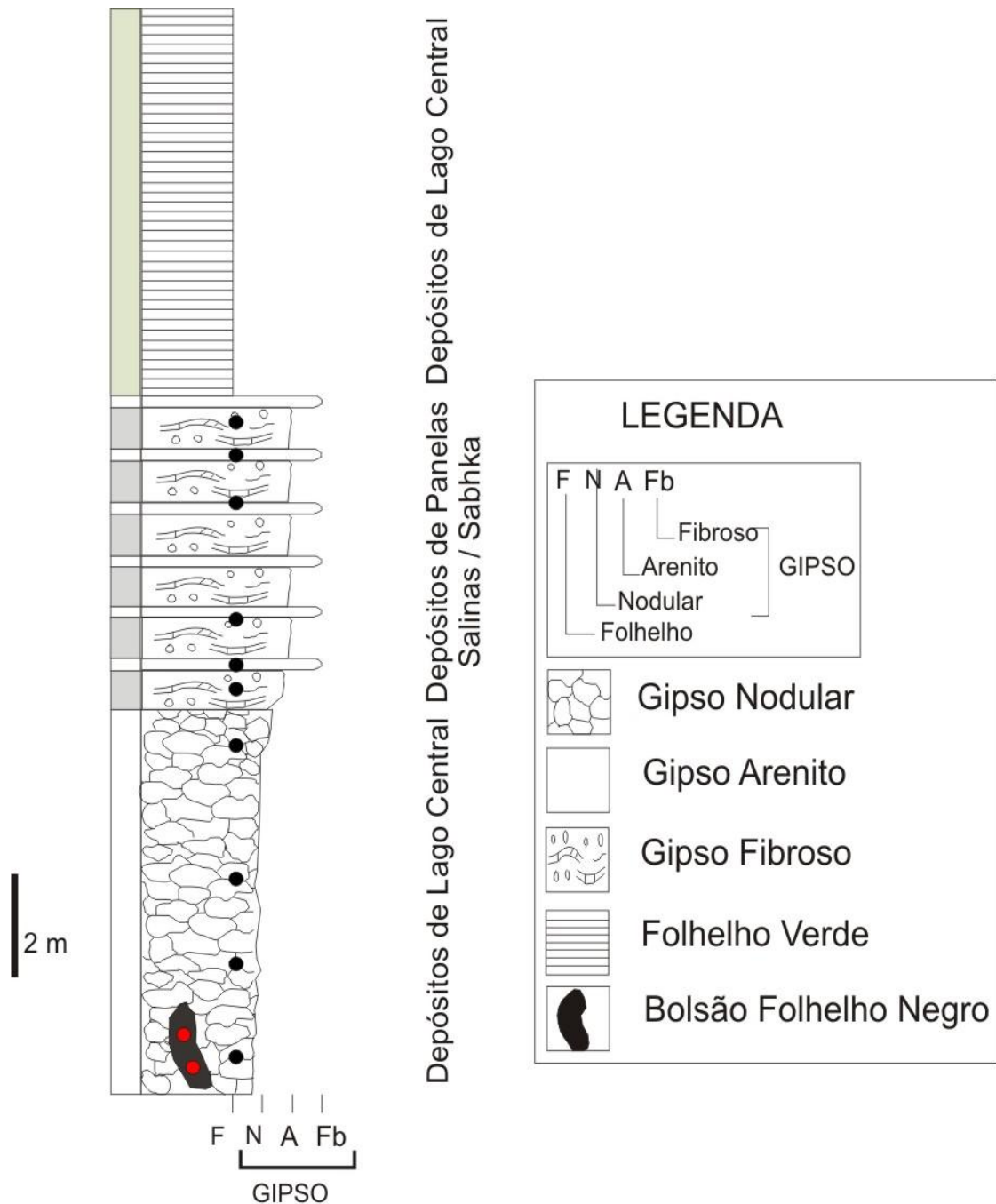
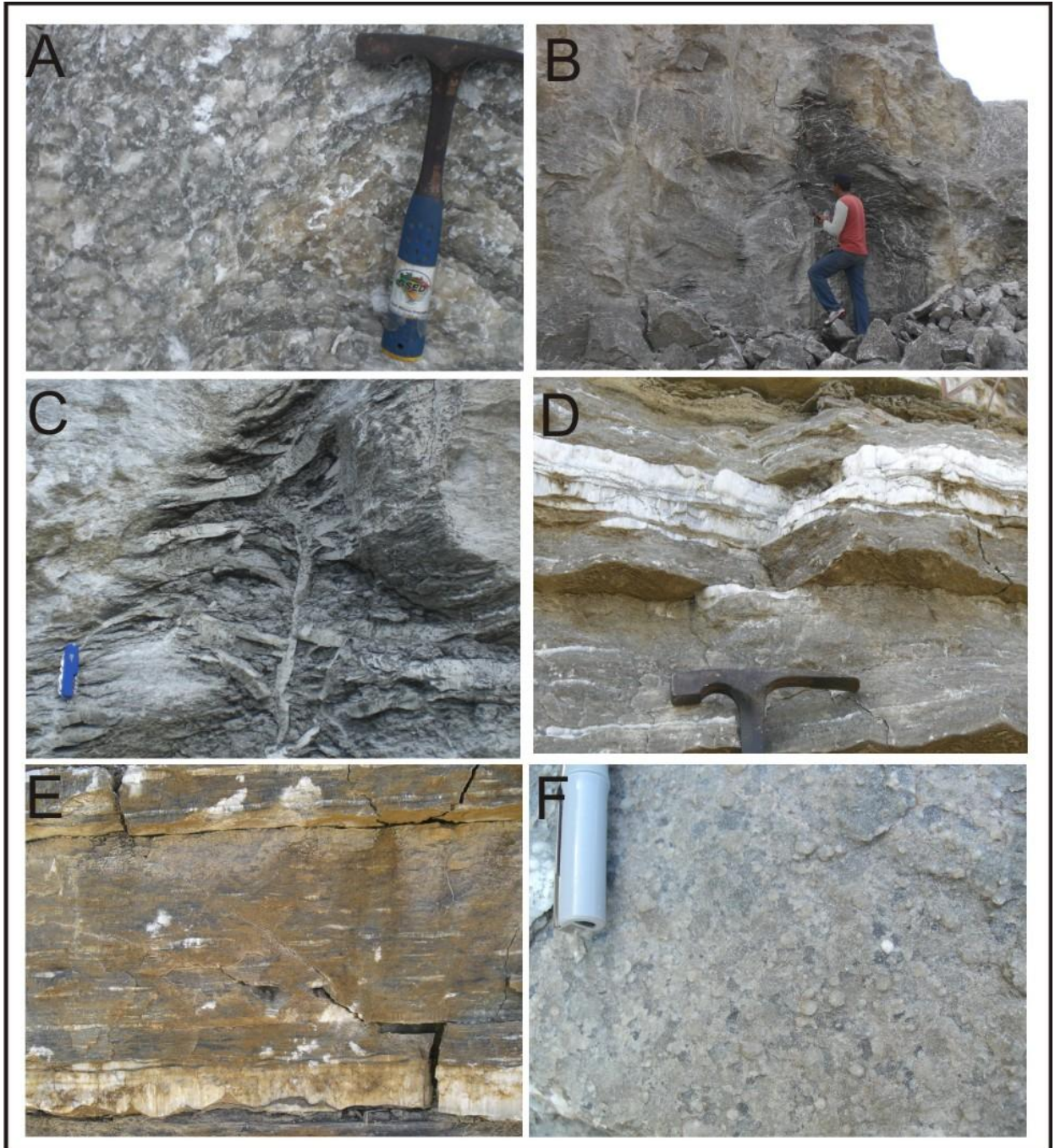


Figura 12 – Detalhe das litologias. A) Gipso Nodular; B) Folhelho Negro inserido nos pacotes de Gipso Nodular; C) Detalhe dos bolsões de Folhelho Negro; D) Detalhes das laminações entre as camadas de Gipso Fibroso; E) Gipso Arenito, pseudo nodular; e F) Pacotes de Folhelho Verde.



5.1 ANÁLISE DE FÁCIES E MICROFÁCIES

A Formação Codó foi subdividida em seis fácies sedimentares, das quais três fácies são evaporíticas, e três são siliciclásticas. A designação destas levou em consideração o código de Miall (1977), utilizando letras maiúsculas para identificar a litologia principal, ao lado de letras minúsculas para indicar a estrutura principal da fácies.

A descrição das litofácies foi complementada com base na análise de 10 lâminas petrográficas de evaporitos. Foram identificadas seis fases texturais de formação dos evaporitos: 1) Gipsita Nodular / Lenticular; 2) Gipsita em Roseta; 3) Gipsita em *Chevron*; 4) Gipsita Acicular; 5) Gipsita em Mosaico e; 6) Gipsita Pseudo Nodular / Brecha.

5.1.1. Descrição das Litofácies

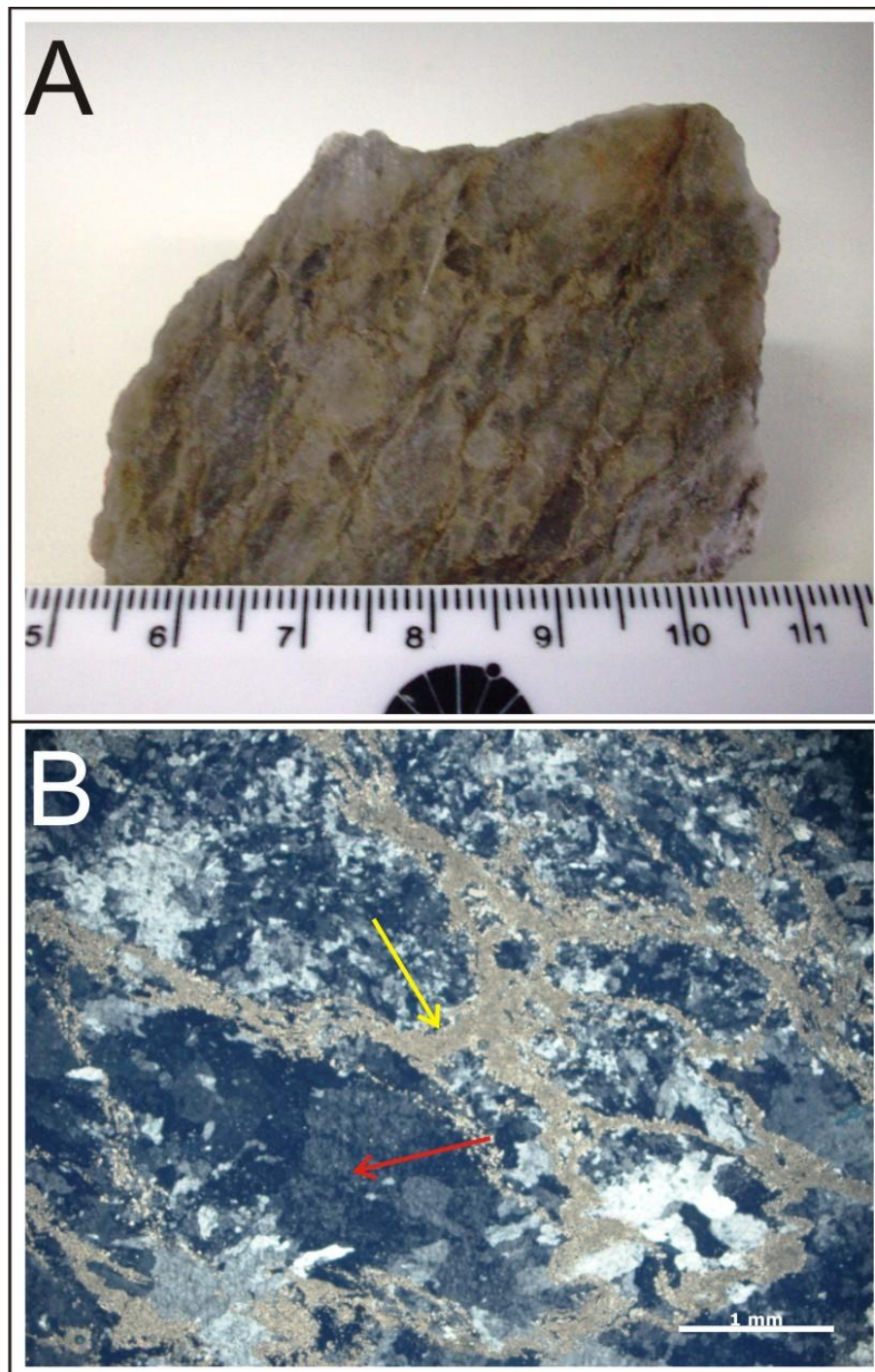
5.1.1.1 Gipso Nodular (Gn)

Esta fácies possui espessura de até 8 m e é a fácies com maior expressão na Formação Codó (figuras 11 e 12A). O mineral dominante é a gipsita, que ocorre exclusivamente nas seguintes formas texturais: gipsita nodular e gipsita em rosetas. Apresenta diversos bolsões lenticulares de folhelho negro. O folhelho negro betuminoso (Fn), apresenta-se em bolsões métricos descontínuos lateralmente, inseridos em camadas maciças nos níveis basais dos evaporitos. Estes depósitos foram formados por decantação de sedimentos finos em suspensão e precipitação de sais de sulfeto (WARREN, 2006).

As feições desta microfácies consistem de nódulos lenticulares de cristais de gipsita que são paralelos aos planos de acamamento. Estes nódulos são inequigranulares, e chegam a atingir até 5 mm de comprimento, apresentam-se frequentemente envolvidos por filmes de argilito e carbonatos, e são composto por gipsita mono ou microcristalina. A formação destas texturas ocorre por cristalização

simples de sais em ambientes de águas salinas. A cristalização dos minerais pode ser observada nos níveis superficiais da lâmina d'água, a partir da atividade solar de evaporação (WARREN, 2006).

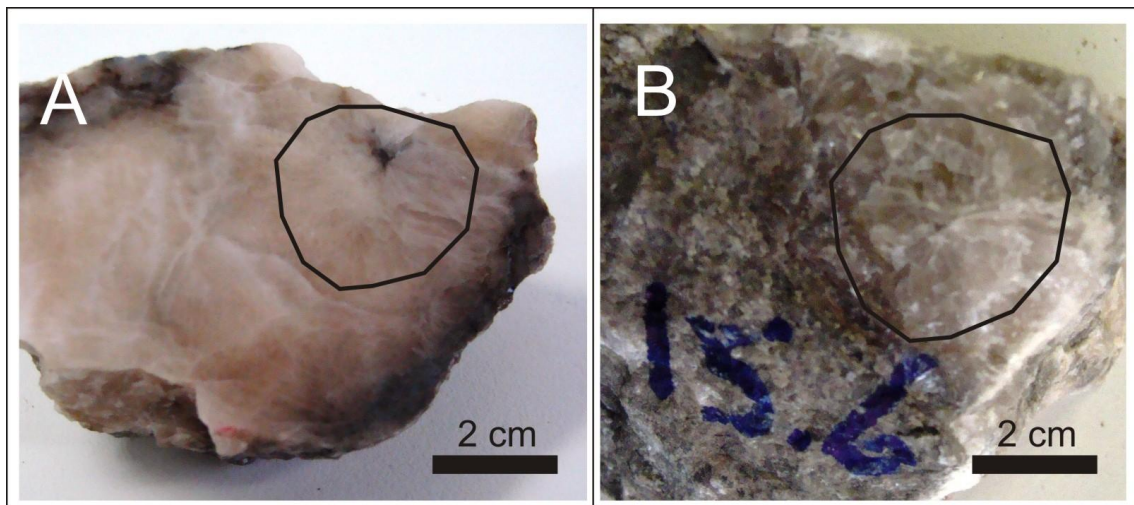
Figura 13 – Detalhes dos nódulos de gipsita cobertos por filmes de argilito. A) amostra de mão com nódulos dispostos no planos de laminação; B) fotomicrografia dos nódulos microcristalinos de gipsita (seta vermelha) envolvidos por carbonatos (seta amarela).



5.1.1.1.1 *Gipsita em Roseta (Gr)*

Apesar de esta microfácies representar uma cristalização posterior que ocorre indefinidamente em todo o perfil, é na litologia de Gipso Nodular que as feições de Gipsita em Roseta possuem maior expressividade. As rosetas são compostas de cristais fibrosos e são encontradas dispersas nas camadas de Gipso Nodular, possuem coloração esbranquiçada e atingem até 3 cm de diâmetro (Figura 14). Estas feições apresentam-se impostas de forma discordante sobre as demais texturas, e consistem de minerais fibrosos dispostos em arranjo radial. Esta feição é formada a partir da cristalização de sais em soluções contidas no espaço intersticial das camadas previamente formadas (WARREN, 2006).

Figura 14 – Feições de Gipsita em Roseta encontradas superimpostas nas litologias de Gipso Nodular (A) e Gipso Fibroso (B).



5.1.1.2 Gipso Fibroso / Laminar (Gf)

Esta fácies é representada por camadas fibrosas de coloração cinza, com pares de cores claras e escuras (Figuras 15 e 20). Estas camadas encontram-se em alternância com os níveis de Gipso Arenito, possuem aproximadamente 1 metro de

espessura e por vezes apresentam filmes de folhelho negro entre as laminações (Figura 16). As microfácies encontradas neste litotipo são caracterizadas pelas seguintes feições texturais: gipsita em *chevron*, gipsita acicular e gipsita em mosaico.

Figura 15 – Camadas laminadas de Gipso Fibroso mostrando os pares compostos de lâminas claras e escuras.



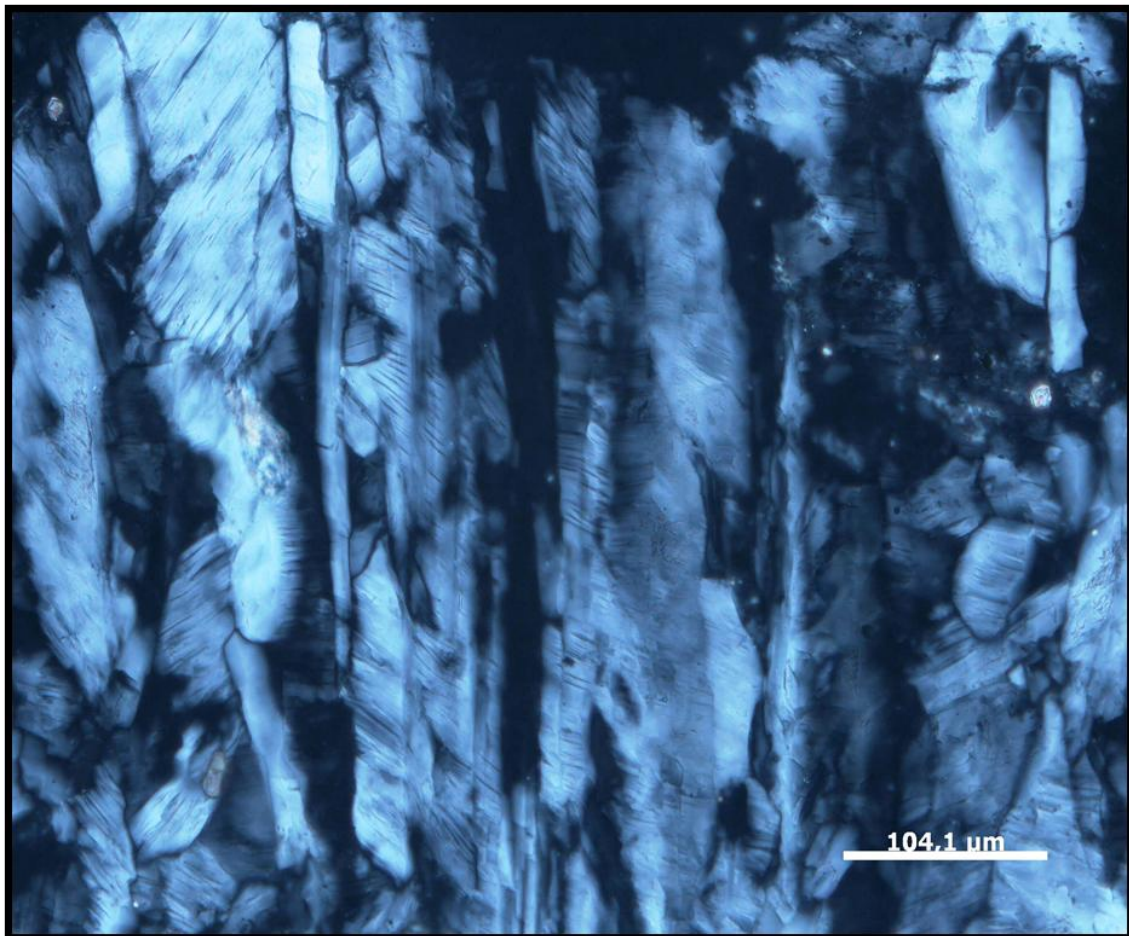
Figura 16 – Detalhes da lâminas de Gipso Fibroso (porções claras) separadas por filmes de folhelho negro (porções escuras).



5.1.1.2.1 *Gipsita em Chevron (Gc)*

Este tipo de microfácies é encontrado nas porções claras das camadas de Gipso Laminar e forma níveis horizontais, suavemente ondulados, caracterizados por minerais fibrosos verticalmente alinhados (figura 17). Estes cristais estão arranjados em planos simétricos de até 2 mm e por vezes os contatos entre os cristais ocorrem com padrão zig-zag. Cristais em *chevron* são formados pelo crescimento ascendente de sais no fundo de bacias hipersalinas rasas (usualmente menores de 2 metros de profundidade) (WARREN, 2006).

Figura 17 – Fotomicrografia em detalhe cristais de Gipsita em *Chevron* alinhados verticalmente.



5.1.1.2.2 Gipsita Acicular (*Gac*)

A feição de Gipsita Acicular é reconhecida pelos minerais com formas similares a agulhas, verticalmente alinhados e com dimensões que atingem até 0.4 mm (Figura 18). Esta microfácies ocorre constantemente em associação com Gipsita em *Chevron* nas porções claras do Gipso Laminar, e é formada pela substituição das feições de Gipsita em *Chevron*.

Figura 18 – Fotomicrografia de cristais de gipsita acicular similares a agulhas e texturas reliquiares de gipsita em *chevron*.

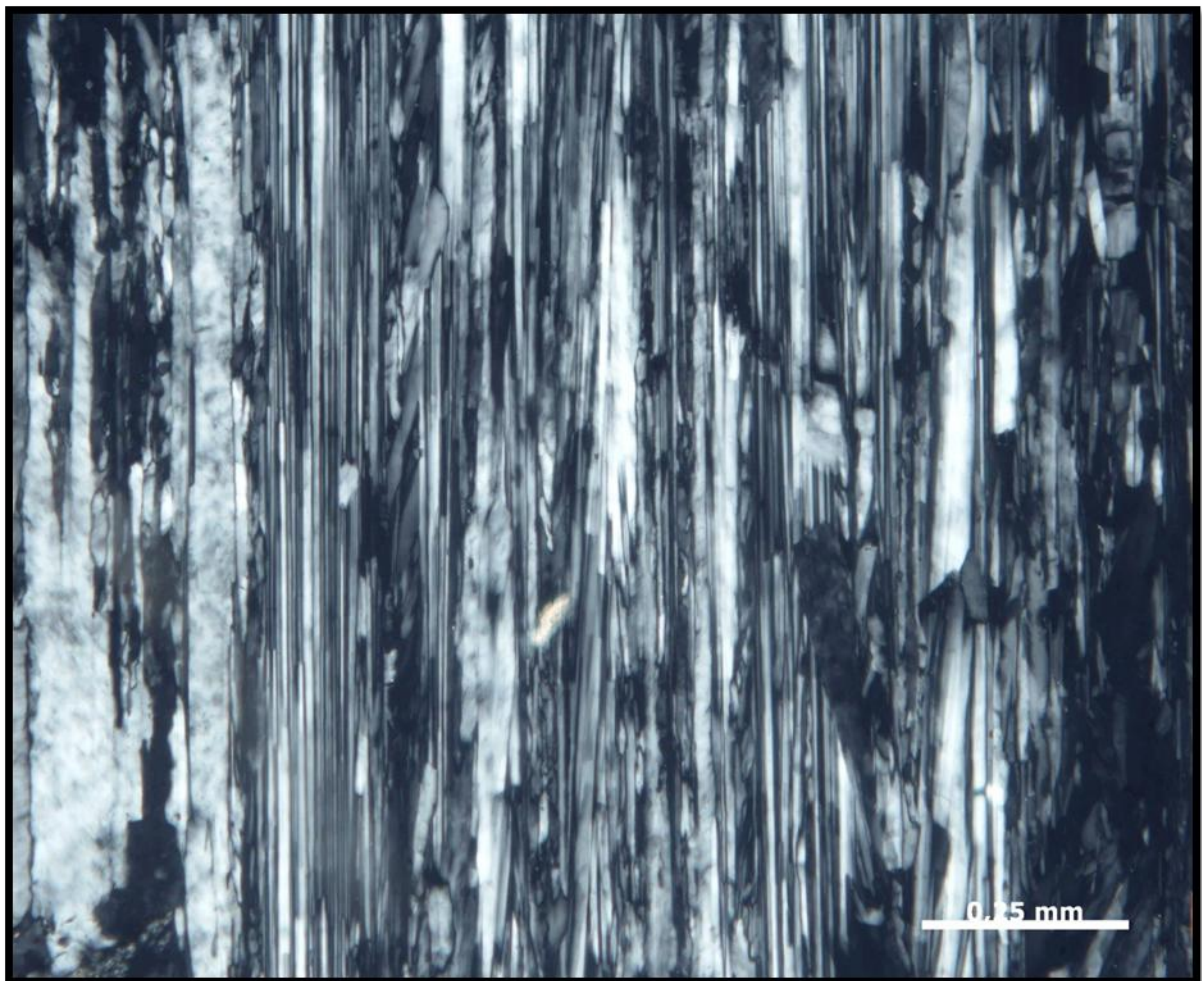


Figura 19 – Amostra em detalhe da textura fibrosa acicular encontrada nas lâminas claras do Gipso Fibroso / Laminar.



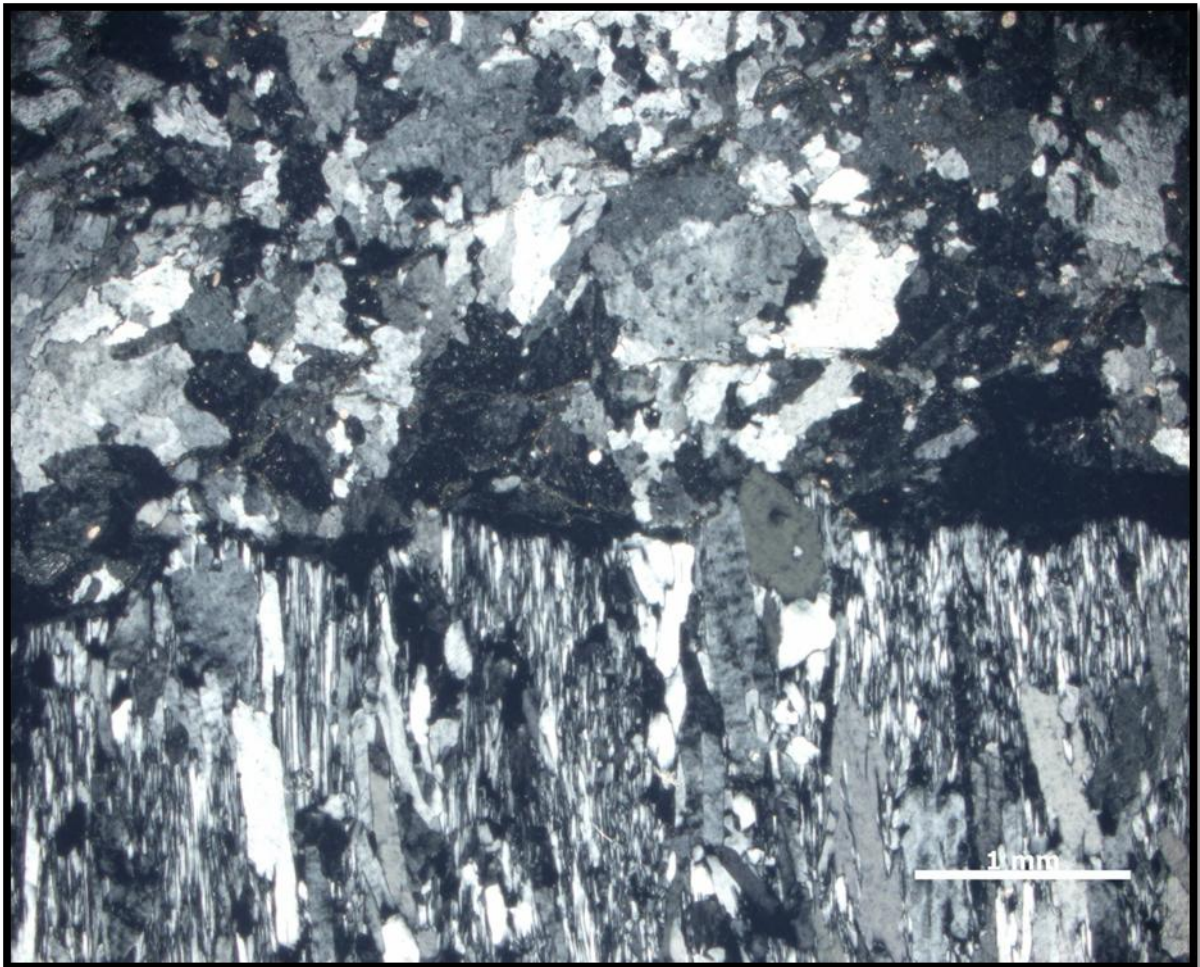
5.1.1.2.3 *Gipsita em Mosaico (Gm)*

Este tipo de feição evaporítica ocorre particularmente nas bandas escuras do Gipso Laminar e consiste de cristais inequidimensionais de gipsita, que variam de 100 μm a 300 μm (Figura 21). O contato entre os minerais é geralmente suturado ou irregular. Os contatos suturados encontrados nas feições de Gipsita em Mosaico sugerem cristalização em condições de desequilíbrio químico possivelmente em condições de baixas temperaturas (WARREN, 2006).

Figura 20 – Detalhe do Gipso Fibroso com alternâncias das lâminas claras e escuras.



Figura 21 – Fotomicrografia mostrando em detalhe a passagem da textura fibrosa para o aspecto inequigranular da microfácies Gipsita em Mosaico.



5.1.1.3 Gipso Arenito (Ga)

As camadas desta litofácies possuem espessura de até 20 cm e ocorrem subordinadamente intercaladas com as camadas de Gipso Fibroso. Esta litologia apresenta grãos de gipsita e textura pseudo nodular reconhecida pelo aspecto similar a arenitos siliciclásticos. A microfácies característica deste litotipo é representada unicamente por Gipsita Pseudo Nodular / Brecha

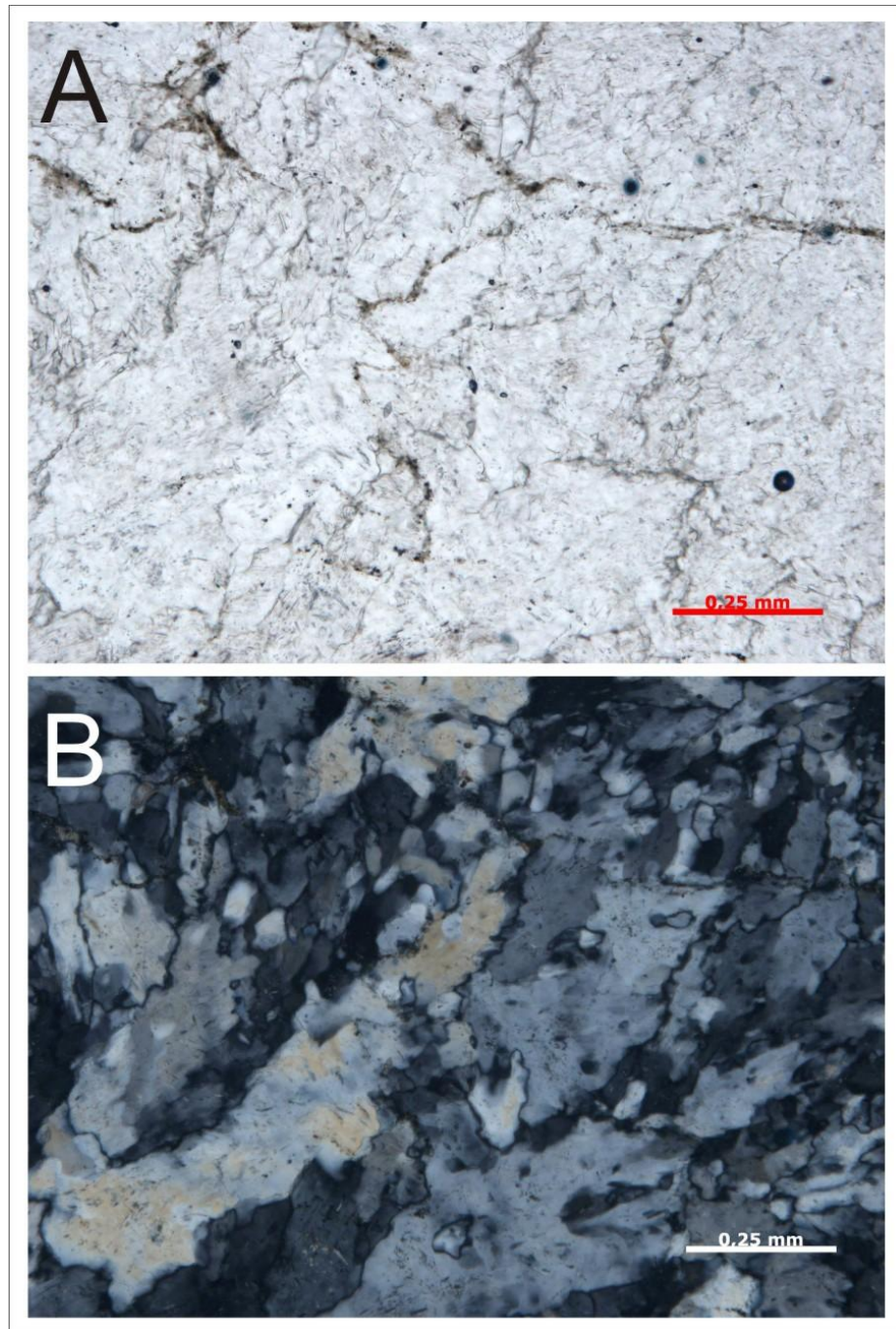
Figura 22 – Amostra de mão com detalhe da textura brechada do Gipso Arenito, com pseudo nódulos retrabalhados e feição semelhante a rochas siliciclásticas psamíticas.



5.1.1.3.1 *Gipsita Pseudo Nodular / Brechada (Gpn)*

Estes tipos de feições ocorrem principalmente nas camadas de Gipso Arenito e subordinadamente entre as camadas de Gipso Fibroso, associados com as feições de Gipso em Mosaico. Consistem de fragmentos esféricos de minerais evaporíticos, similares as feições nodulares encontradas na base do perfil. Estes fragmentos são formados principalmente por gipsita, possuem dimensões que atingem 1 cm e comumente se apresentam dispostos paralelamente aos planos de laminação envolvidos por cutículas de lama (Figura 23). Nesta microfácies, é comum encontrar grãos de Gipsita em Mosaico e até alguns níveis com Gipsita Fibrosa. Esta microfácies é formada a partir da exposição subaérea e retrabalhamento das camadas mais antigas de evaporitos.

Figura 23 – Fotomicrografia da textura Gipsita Pseudo Nodular / Brechada com detalhes para os fragmentos angulosos de gipsita em tamanhos variados. A) nicóis // e; B) nicóis X.



5.1.1.4 Folhelho (F)

Esta litofácies é representada pelo espesso pacote de folhelho verde com 7 metros de espessura que cobre o perfil (figuras 12F e 24). Ocorre em camadas laminadas paralelamente, sendo lateralmente contínuas e, localmente, deformadas. Este folhelho, pobre em matéria orgânica, apresenta-se com coloração que varia de cinza-esverdeado a verde-oliva e verde amarronzada, e contém lentes carbonáticas e cristais de gipsita acicular entre os planos de acamamento. A passagem dos evaporitos para estes depósitos pelíticos é concordante, porém se dá de forma abrupta. Estas camadas são formadas por decantação de sedimentos finos em suspensão (WALKER & JAMES, 1992).

Figura 24: Pacote de Folhelho Verde laminado que recobre as rochas evaporíticas da Formação Codó.



5.1.1.5 Arenitos com Laminação truncada por ondas (Alo)

Esta fácies consiste por arenitos de granulometria fina, coloração rosada, exibindo laminação truncada por ondas (figura 25). Esta fácies forma intercalações de 10 cm de espessura com a fácies folhelho verde. Esta fácies foi gerada por fluxos oscilatórios esporádicos dentro de um ambiente de baixa energia (WALKER & JAMES, 1992).

Figura 25: Intercalações entre as fácies Folhelho Verde (F) e Arenito com Laminação truncada por ondas (Alo) (camadas rosas).



5.1.2 Associação de Fácies e Modelo Depositional

As fácies sedimentares da Formação Codó, acima descritas, foram agrupadas em duas associações de fácies, de acordo com suas características genéticas

(Tabela 1). Estas associações faciológicas possibilitam o reconhecimento dos paleoambientes de formação destes litotipos, e conseqüentemente, confirmam as observações de Paz (2005). A associação de fácies 1 (AF1) correspondente a um ambiente de lago central com influência de ondas, e a associação de fácies 2 (AF2) correspondente a um ambiente de painéis salinos / sabkha, dentro de um Sistema Lacustre (Paz, op.cit).

Tabela 1: Sumário das características das associações de fácies da Formação Codó na região de Grajaú (MA)

Fm	Associação de Fácies	Fácies	Microfácies	Processos	Interpretação	
FORMAÇÃO CODÓ	AF 1	Fn - Folhelho Negro	-----	Depósitos de suspensão em condições anóxicas	Depósitos de Lago Central com influência de ondas	
		Gn - Gipso Nodular	Gn - Gipsita Nodular			Precipitação química de sais
			Gr - Gipsita em Rosetas			Cristalização tardia em salmouras interestrais
		F - Folhelho Verde	-----	Depósitos a partir de suspensão		
		Alo - Arenito com laminação truncada por ondas	-----	Retrabalhamento por fluxo oscilatório		
	AF 2	Gf - Gipso Fibroso / Laminar	Gc - Gipsita em Chevron		Precipitação de sais em corpos salinos rasos	Depósitos de Painel Salino / Sabkha
			Gac - Gipsita Acicular		Substituição das feições de Gipsita em Chevron	
			Gm - Gipsita em Mosaico		Cristalização de sais em desequilíbrio químico (baixas temperaturas)	
		Ga - Gipso Arenito	Gpc - Gipsita Pseudo Nodular		Exposição subaérea e retrabalhamento de camadas anteriores	

SISTEMA LACUSTRE

5.1.2.1 Associação de fácies 1 (AF1): Lago Central com Influência de ondas

Esta associação é constituída pelas litofácies de Folhelho Negro betuminoso, Gipsita Nodular, Folhelho Verde e Arenito com laminação truncada por ondas e está organizada em dois pacotes sedimentares que atingem até 8 metros de espessura. O primeiro pacote desta associação de fácies ocorre na base do perfil e a formação dos seus depósitos está relacionada a um ambiente lacustre de baixa energia, com águas salinas, disponibilidade de sedimentos finos e elevadas taxas de evaporação, conforme Paz (2005). Os depósitos evaporíticos desta associação faciológica sugerem presença de salmouras sob intensa atividade solar, promovendo as taxas de evaporação necessárias para o crescimento dos cristais de sais. A presença de folhelhos negros betuminosos, intercalados com pacotes evaporíticos sugere que a decantação dos sedimentos finos ocorria concomitante com a cristalização dos sais, e elevada quantidade de matéria orgânica sugere ambiente anóxico para a formação destes depósitos.

O segundo pacote está localizado na parte superior do perfil, cobrindo abruptamente os evaporitos da AF 2 e é composto por um espesso pacote de folhelho verde que atinge 7 metros de espessura, com camadas finas de arenito com laminação truncada por ondas. A formação deste depósito está relacionada com decantação de argilo-minerais em suspensão em ambiente de baixa energia, com retrabalhamento por fluxos oscilatórios esporádicos. A grande espessura deste pacote de folhelho mostra que o aporte de sedimentos terrígenos foi sendo elevado, e a passagem abrupta dos evaporitos para o folhelho sugere um aumento rápido da lâmina d'água e diminuição da hipersalinidade.

5.1.2.2 Associação de fácies 2 (AF2): Painéis Salinas / Sabkha

Esta associação é constituída pelas litofácies de Gipso Fibroso e Gipso Arenito, e apresenta as microfácies de: Gc, Gac, Gm e Gpn. A presença de gipsita em *chevron* sugere que estes depósitos foram formados em águas salinas a hipersalinidade rasas, com profundidades não superiores a 2 m (WARREN, 2006). Os

contatos suturados encontrados na gipsita em mosaico estão relacionados a cristalização em desequilíbrio químico, o que pode indicar variações na salinidade das águas de formação. As diversas feições encontradas no Gipso Arenito estão ligadas principalmente processos de dissecamento, exposição subaérea, erosão e retrabalhamento. A intercalação das camadas de Gipso Fibroso e Gipso Arenito sugere constantes variações no nível d'água nestas Painéis Salinas, a lâmina d'água possivelmente se comportava entre momentos de ressecamento e exposição e momentos de águas rasas, em torno de 2 m de espessura.

6 ANÁLISE PALINOLÓGICA

Os palinóforos identificados na fácies Folhelho negro (Fn) são principalmente representados por esporos do gênero *Retitriletes* e grãos de pólen dos gêneros, *Retitricolporites*, e *Stephanocolporites*. Esta assembleia sugere um ambiente úmido com florestas bem desenvolvidas (e.g. TRAVERSE et al., 2007), Além disso, a contribuição de pólen do gênero *Psilamoncolpites* indica que palmeiras poderiam colonizar zonas marginais de lagos ou planícies de inundação. Assim, mesmo considerando a análise qualitativa dos dados, uma interpretação climática árida para estes depósitos deve ser reavaliada. Adicionalmente, a assembléia polínica identificada com formas columeladas, monocolpadas (colporadas) e tricolpadas (colporadas) típicas de angiospermas (HUGHES et al., 1979), aliada à possível ausência de formas gimnospérmicas (e.g. sacadas) pode ser um forte registro da explosão das angiospermas durante o Cretáceo na Bacia do Parnaíba, uma vez que o início da diversificação das angiospermas ainda é incerto (e.g. HUGHES, 1984; SUN et al., 1998; REN, 1998).

6.1 ESPOROS

Classe Triletes Reinsch emend. Dettmann 1963

Gênero *Retitriletes* Pierce 1961

Retitriletes sp. 01

Figura 26 (1)

Descrição: Trilete, simetria radial, provavelmente elíptica; laesura distinta, fechada à levemente aberta; raddi com 18 μm de comprimento, ornamentação reticulada, muri com 1,5 μm , lumina 5,7 μm de largura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 52 μm de comprimento e 40 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Pteridófita.

Ecologia: Ambiente úmido.

6.2 PÓLEN

Classe Monocolpatae Iversen e Troels-Smith 1950

Gênero *Psilamoncolpites* (Van der Hammen 1954) Van der Hammen e García 1966

Psilamoncolpites sp. 01

Figura 26 (2)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico, monocolpado, colpo 72 μm de comprimento, ornamentação psilada, exina 2,4 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 82 μm de comprimento e 31 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Arecaceae.

Ecologia: Palmeiras (planície de inundação, margem de lago).

Classe Monoporatae Iversen e Troels-Smith (1950)

Monoporopollenites sp. 01

Figura 26 (3)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, circular a elíptico, triporado, poro distinto, diâmetro do poro 9,4 μm , anulado, ânulo com 3,3 μm de espessura, ornamentação micropitada, exina 2,2 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 57 μm de comprimento e 54 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Poaceae.

Ecologia: Em conjunto com espécies arbóreas pode indicar plantas herbáceas de ambientes úmidos.

Monoporopollenites sp. 02

Figura 26(4)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico, monoporado, poro distinto com diâmetro de 2,3 μm , anulado, ânulo com 2,2 μm de largura, ornamentação psilada, exina com 1,5 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 35 μm de comprimento e 25 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Poaceae.

Ecologia: Em conjunto com espécies arbóreas pode indicar plantas herbáceas de ambientes úmidos.

Classe Tricolporatae Iversen e Troels-Smith 1950

Gênero *Retitricolporites* Van der Hammen e Wijmstra emend. Hekel 1972

Retitricolporites sp. 01

Figura (5)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico em visão equatorial, tricolporado, colpo e poro distintos, colpo com 23,5 μm de comprimento e 3,9 μm de largura, diâmetro do poro 3,9 μm , costado, costa com 2,5 μm de espessura, ornamentação reticulada, muri 0,7 μm de altura, lumina 1,3 μm de largura, exina com 2,4 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 35 μm de comprimento e 26 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Retitricolporites sp. 02

Figura 26 (6)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico em visão equatorial, tricolporado, poro distinto com diâmetro de 3,5 μm , ornamentação reticulada, muri de 1,3 μm , lumina de 2 μm , exine com 2,5 de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 35 μm de comprimento e 26 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Retitricolporites sp. 03

Figura 26 (7)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico em visão equatorial, tricolporado, colpo e poro distintos, colpo com 24 μm comprimento, diâmetro do poro 2,5-3 μm , ornamentação reticulada, muri 0,8 μm , lumina 1 μm de largura, exina com 2,5 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 33 μm de comprimento e 23 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Retitricolporites sp. 03

Figura 26 (8 e 9)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico em visão equatorial, tricolporado, colpo e poro distintos, colpo com 27 μm de comprimento e 8 μm de largura, diâmetro do poro com 3,5-4 μm , ornamentação reticulada, muri 1 μm , lumina 1,6 μm de largura, nexina 1 μm de espessura, sexina 1 μm de espessura, exina com aproximadamente 2 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 37 μm de comprimento e 25 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Retitricolporites sp. 03

Figura 26 (10)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico em visão equatorial, tricolporado, colpo e poro distintos, colpo com 23 μm de comprimento e 11 μm de largura, diâmetro do poro 2,5 μm , ornamentação reticulada, muri 0,9 μm , lumina com 1 μm de largura, exina com 2,4 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 33 μm de comprimento e 27 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Classe Triporatae Iversen e Troels-Smith 1950

Gênero *Echitriporites* Van Der Hammen 1956b ex Van Hoeken-Klinkenberg 1964

Echitriporites sp. 01

Foto 26 (11 e 12)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, triangular-obtuso-convexo, triporado, poro distinto com diâmetro de 3,8 μm , anulado, ânulo com 2,5 μm de largura, columelado, ornamentação equinada, espinhos com 2,5 μm de altura e 1,2 μm de largura, exina com 3,3 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 70 μm de comprimento e 50,4 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Desconhecido.

Ecologia: Desconhecido.

Classe Pantoporatae Iversen e Troels-Smith (1950)

Retiperiporites sp. 01

Figura 26, (13)

Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico, pantoporado (aproximadamente 5 poros), poro distinto com diâmetro de 2,2 μm , anulado, ânulo com 1,5 μm de largura, ornamentação reticulada, muri com 0,9 μm de espessura e 1,2 μm de largura, lumina com 2,4 μm de espessura, exina com 1,5 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 35 μm de comprimento e 30 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Desconhecido.

Ecologia: Desconhecido.

Classe Sthephanocolporatae Iversen e Troels-Smith 1950

Stephanocolporites sp. 01

Figura 26, Foto 14

Description: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico, estephanocolporado (aproximadamente 10 colpos), poro e colpo distintos, colpo com 18 μm de comprimento, diâmetro do poro com 1,8 μm , ornamentação reticulada, muri com 0,7 μm de largura, lumina com 1,3 μm de espessura, exina com 1,4 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 24 μm de comprimento e 15 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Stephanocolporites sp. 02

Figura 26, (15)

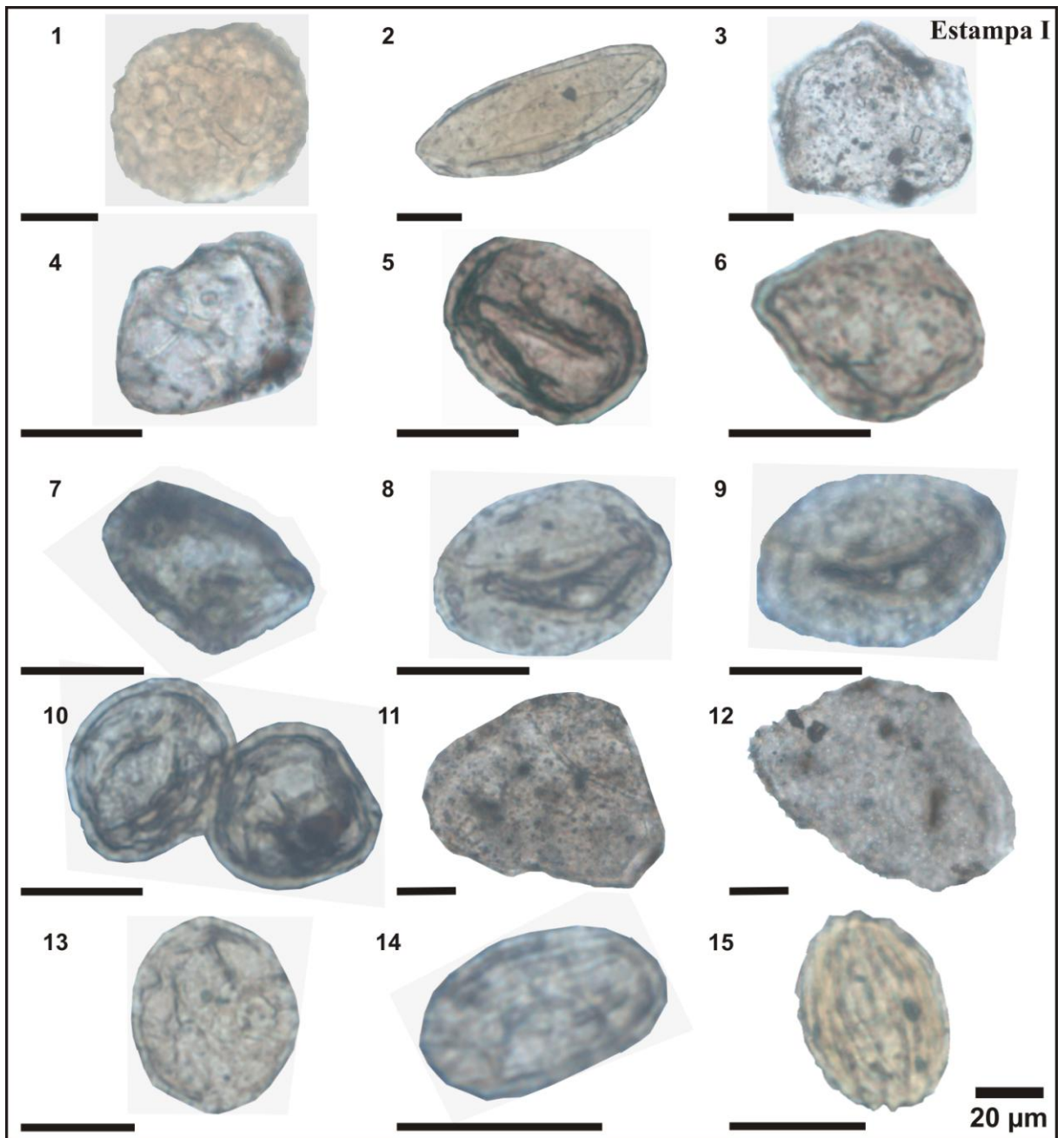
Descrição: Monado, simetria radial, isopolar, elíptico, stephanocolporado (aproximadamente 16-18 colpos), poro e colpo distintos, colpo com 26 μm de comprimento e 3,83 de largura, diâmetro do poro com 3,1 μm , provavelmente ornamentação reticulada, muri 1,7 com μm de largura, lumina com 1,5-2 μm de espessura, exina com 1,5-2 μm de espessura.

Dimensões: Diâmetro equatorial 32 μm de comprimento e 22 μm de largura.

Afinidade Taxonômica: Angiospermas.

Ecologia: Desconhecido.

Figura 26 – Estampa de palinomorfos



7 DISCUSSÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A integração das análises de fácies/microfácies e palinológica permitiu ampliar o conhecimento paleoambiental da Formação Codó de idade neoptiana, pertencente à sucessão mesozóica da Bacia do Parnaíba.

A análise de fácies realizada na Formação Codó permitiu a individualização de 5 fácies sedimentares que foram englobadas em 2 associações representativas de um sistema lacustre, coadunando com o modelo de Paz (2000, 2005): 1) lago central com influências de ondas, formada por folhelho negro, gipso nodular, folhelho verde e arenito com laminação truncada por ondas, com as microfácies gipsita nodular e gipsita em rosetas; e 2) painéis salinos e *sabkha*, constituída por gipso fibroso/laminar, gipso arenito e as microfácies de gipsita em chevron, gipsita acicular, gipsita em mosaico e gipsita pseudo nodular.

Embora as interpretações corroborem o modelo lacustre restrito de Paz (2000, 2005), o contexto paleoclimático da Formação Codó ainda não está totalmente estabelecido. A análise de palinófitas indicou a ausência de gimnospermas na área estudada, por outro lado são abundantes os palinófitos de angiospermas dos gêneros *Monoporopollenites*, *Retitricolporites* e *Stephanocolporites*, *Psilamonocolpites*, *Echitriporites*, *Retiperiporites* além de pteridófitas como *Retitriletes* que sugerem um ambiente úmido com florestas bem desenvolvidas possivelmente relacionadas com zonas marginais de lago ou planície de inundação. Essa informação vai de encontro com as interpretações de clima árido para a Formação Codó sugerida por informações palinológicas anteriormente descritas na região de Codó por Rossetti et al. (2001). Estes autores utilizaram o trabalho de Lima et al. (1987) que descreve a abundância de coníferas e gimnospermas. Porém, estas classes indicam na verdade muito mais um clima temperado (por. Exe. Traverse et al. 2007) do que clima árido ou semi-árido, uma vez que é esperado observar abundância relativa de espécies adaptadas ao estresse hídrico como fenestradas e psilamonocolporadas. Além disso, Gonçalves et al. (2006) encontraram quantidades elevadas de caulinita na sucessão Codó expostas na área de Grajaú e Codó, mineral típico de clima úmido. A formação da caulinita necessita de intensa lixiviação para mobilizar a sílica, o que não é

condizente com o ambiente árido interpretado para a Formação Codó (PAZ, 2005). Gonçalves et al. (2006) admitem que seria necessários mais estudos para entender a ocorrência simultânea de caulinita e esmectita, argilomineral de clima mais seco, naquela unidade. Estes autores acharam esta ocorrência como intrigante dentro do contexto paleoambiental proposto para a Formação Codó de lago hipersalino/complexo de *sabkha*-panela salina.

Os minerais evaporíticos possuem resposta rápida as mudanças pós-deposicionais, pois os processos deposicionais e pós-deposicionais apresentam texturas minerais e estruturas sedimentares similares, e interpretação do processo genético deve ser avaliado com cautela. Nem sempre evaporitos significam deposição em clima árido. Lagos salinos com intensa precipitação evaporítica em bacias continentais podem ocorrer em regiões áridas e semi-áridas e também em ambientes temperados a tropicais alimentados por drenagem efêmera são encontrados em diversas regiões do planeta, como por exemplo os lagos do Deserto de Simpson, na região central da Austrália, e o *Great Salt Lake* em Utah, Estados Unidos, cuja característica principal é uma salinidade elevada, maior do que a dos oceanos (SPENCER et al. 1985). Assim, lagos salinos não fornecem informações sobre latitude, temperatura, precipitação e outros parâmetros climáticos, mas são mais propícios a indicar localidades onde a evaporação excede a precipitação ou influxo.

Os dados levantados nesse trabalho de conclusão de curso permitiram confirmar as interpretações paleoambientais prévias para a Formação Codó. Além disso, os dados palinológicos, apesar de preliminares, parecem indicar um contexto paleoclimático mais úmido do que aquele estabelecido para a Formação Codó e cogita perguntas sobre a tipologia lacustre instalada no final do EoCretáceo da Bacia do Parnaíba. O desenvolvimento desta pesquisa pode proporcionar o treinamento em rochas evaporíticas, contribuindo também para o desenvolvimento de modelos análogos sedimentares de rochas geradoras e selantes da Bacia do Parnaíba.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p.43-58.
- ARANHA, L. G. F.; LIMA, H. P.; SOUZA, J. M. P.; MAKINO, R. K.; FIGUEIRAS, A. J. M. Origem e evolução das Bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Eds.), *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: Petrobras, 1990. p. 221-233.
- BATISTA, A. M. N. *Caracterização paleoambiental dos sedimentos Codó-Grajaú, Bacia de São Luís (MA)*. 1992. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.
- CARNEIRO, R. G. *Mapeamento estrutural da área de Grajaú-Imperatriz*. Belém: Petrobras, 1974, 45 p. (Relatório Técnico, 385).
- ERDTMAN, G. Suggestions for the classification of fossil and recent pollen grains and spores. *Svensk Botan. Tidskr.*, v. 41, p. 104–114. 1947.
- ERDTMAN, G. *Pollen morphology and plant taxonomy*. Angiosperms. Stockholm, Sweden: Almqvist & Wiksell, 1952. 539 p.
- FAEGRI, K.; IVERSEN, J. *Textbook of modern pollen analysis*. Copenhagen, Denmark: Munksgaard, 1950. 168 p.
- GÓES, A. M.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 8, p. 57-67, mar. 1994.
- GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Eds.) *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: MPEG, 2001. p. 15-29.
- GÓES, A. M.; SOUZA, J. M. P.; TEIXEIRA, L. B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 4, n. 1, p. 55-56, mar. 1990.
- GONÇALVES, D. F.; ROSSETI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; MENDES, A. C. Argilominerais da Formação Codó (Aptiano Superior), Bacia de Grajaú, Nordeste do Brasil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, La Plata, v. 13, n. 1, p. 59-75, jan./jul. 2006.
- HUGHES, N. F. *Palaeobiology of angiosperm origins: problems of Mesozoic seed-plant evolution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 242 p.
- HUGHES, N. F. Earliest fossil pollen with angiospermid characters. In: INTERNATIONAL PALYNOLOGICAL CONFERENCE, 6., 1984, Calgary. *6th Int. Palynol. Conf. Abstracts*. Calgary, 1984, p. 67.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Relatório anual, 2009*.

IVERSEN, J.; TROELS-SMITH, J. Pollenmorphologische definitionen typen. *Danm. Geol. Unders. Ser.*, v. 4, n. 3, p. 1-54. 1950.

JANSONIUS, J.; MCGREGOR, D. C. (Eds.). *Palynology: principles and applications*. Dallas: Amer. Assoc. Strat. Palynol. Foundation, 1996. v. 1–3, 1330 p.

LIMA, M. I. C.; BEZERRA, P. E.; ARAÚJO H. J. T. Sistematização da geologia do estado do Amapá. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1991. v. 3, p. 322-335.

LIMA, M. R. Palinologia da Formação Codó na região de Codó, Maranhão. *Boletim do Instituto de Geociências, USP*, v. 13, p. 116-128. 1982.

LISBOA, M. A. R. The Permian geology of Northern Brazil. *Am. Jour. Sci.*, New Haven, ser. 4, v. 37, n. 221, p. 425-443. 1914.

POSAMENTIER, H. W.; VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition II – sequence and systems tract models. In: WILGUS, C. K.; ROSS, C.A.; VAN WOGENER, J.C. (Eds.) *Sea level changes – an integrated approach (SEPM Spec. Publ. 42)*. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 125-154.

MELVIN, J. L. *Evaporites, petroleum and mineral resources*. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc., 1991. 556 p.

MENDES, M. S.; BORGHI, L. Análise faciológica da Formação Codó (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador. *Anais...* Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0417_05.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2012.

MESNER, J. C.; WOOLDRIGDE, L. C. P. Maranhão paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, North Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 48, p. 1475-1512. 1964.

PESSOA, V. C. O.; BORGHI, L. Análise faciológica da Formação Itapecuru (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador. *Anais...* Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0391_05.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2012.

PAZ, J. D. S. *Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano Superior) na região de Codó (MA), Leste da Bacia do Grajaú*. 2000. 117 f. Dissertação (mestrado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2000.

PAZ, J. D. S. *Fácies, petrografia e geoquímica da Formação Codó, Neo-Aptiano, Bacia de São Luís-Grajaú*. 2005. 148 f. Tese (doutorado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2005.

- PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo: T. A. Queiroz; EDUSP, 1983. p.1-76.
- PUNT, W.; BLACKMORE, S.; LE THOMAS, A.; NILSSON, S. *Glossary of pollen and spore terminology*. Utrecht: LPP Foundation, 1994. 71 p. (LPP Contribution Ser. 1).
- REIS, D. E. S.; CAPUTO, M. V. Potencial industrial e energético do folhelho pirobetuminoso Formação Codó, Bacia do Parnaíba. In: PDPETRO, 4., 2007, Campinas. *Anais...* Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0375-1.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2012.
- REN, D. Flower-associated *Brachycera* flies as fossil evidence for Jurassic angiosperm origins, *Science*, v. 280, n. 5360, p. 85-88, abr. 1998.
- REZENDE, N. G. A. M. *A Zona zeolítica da Formação Corda. Bacia do Parnaíba*. 2002. 142 f. Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002.
- ROSSETTI, D. F. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Eds) *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: MPEG, 2001. p. 31-46.
- ROSSETTI, D. F.; PAZ, J. D. S.; GÓES, A. M. Facies analysis of the Codó Formation (Late Aptian) in the Grajaú Area, Southern São Luís-Grajaú Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 76, n. 4, p. 791-806, fev. 2004.
- SALGADO-LABORIAU, M. I. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (vell) Toledo I: comportamento na estação chuvosa, nas condições de caeté, Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.33, n. 2, p. 237-252. 1962.
- SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO M. S. S. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil – PLGB; Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. In: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. DIEDIG. DEPAT, Rio de Janeiro, 2004. 211 p.
- SPENCER, R. J.; EUGSTER, H. P.; JONES, B. F.; RETTIG, S. L. Geochemistry of Great Salt Lake, Utah I: hydrochemistry since 1850. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 49, n. 3, p. 727–737, mar. 1985.
- SUN, G; DILCHER, D. L.; ZHENG, S.; ZHOU, Z. In search of the first flower: a Jurassic angiosperm, *Archaeofructus*, from northeast China. *Science*, v. 282, p. 1692–1695. 1988.
- TRAVERSE, A. *Paleopalynology*. 2. ed. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007.
- UESUGUI, N. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico Petrobrás*, v. 22, p. 229-240. 1979.
- VASCONCELOS, A. M. (Coord.). *Folha Teresina SB.23. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília, DF: CPRM, 2004. (Programa Geologia do Brasil).

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.

WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (Eds.). *Facies models: response to sea level change*. Ontario: Geological Association of Canada, 1992. 409p.

WARREN, J. K. *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. 2006

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. R.; BRITO NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 595-612.