

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ANÁLISE FACIOLÓGICA DA FORMAÇÃO CODÓ (CRETÁCEO, BACIA DO PARNAÍBA) EM TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

Marcelo da Silva MENDES¹ & Leonardo BORGHI²

^{1,2} UFRJ, IGeo, DGel, Laboratório de Geologia Sedimentar, 21949-900 Rio de Janeiro, RJ.

E-mails: smarcelomendes@yahoo.com.br , lborghi@ufrj.br

Resumo – A bacia do Parnaíba é considerada uma bacia de “fronteira exploratória” devido ao seu pequeno conhecimento geológico, face à sua extensão areal, e a aos insucessos exploratórios. Como contribuição ao conhecimento exploratório da bacia, propõe-se uma análise de fácies da Formação Codó (Aptiano–Albiano) com base em testemunhos de sondagem de dois poços, envolvendo a caracterização faciológica, interpretação de sistemas deposicionais e identificação de superfícies estratigráficas para correlação. A finalidade é a de avaliar o contexto estratigráfico e parâmetros geológicos de potenciais rochas geradoras e reservatório, tendo em vista os possíveis sistemas petrolíferos Codó–Grajaú(?) ou Codó–Itapecuru(?). Doze litofácies foram descritas e organizadas em seis sucessões de fácies, interpretadas como pertencentes a sistemas lacustres e de *sabkha* continental. Três superfícies estratigráficas genéticas foram identificadas com base nas sucessões de fácies, as quais foram associadas a superfícies discordante (limitando duas seqüências, provavelmente tectonoseqüências), transgressiva (lacustre) e de inundação máxima (lacustre?). Duas outras superfícies, litoestratigráficas formais, definiram o limite com as formações Grajaú (abaixo) e Itapecuru (acima). Do ponto de vista das fácies, as melhores rochas geradoras ocorrem abaixo da discordância (seqüência inferior), assim como as rochas reservatório (arenitos), a despeito das pequenas permo-porosidades e espessuras.

Palavras-Chave: análise de fácies; Formação Codó; bacia do Parnaíba; Cretáceo; rocha geradora.

Abstract – The Parnaíba Basin is considered an exploratory frontier basin due to the lack of exploratory success, and its scarce geologic knowledge face to its large extension. As a contribution to the exploratory geologic knowledge of the basin, we propose a facies analysis of the Codó Formation (Aptian–Albian) based on cores of two wells, involving facies characterization, the interpretation of depositional systems, and identification of stratigraphic surfaces for correlation. The aim is to evaluate the stratigraphic context and geological parameters of potential source and reservoir rocks of the formation, having in mind a possible Codó–Grajaú(?) or Codó–Itapecuru(?) petroleum systems. Twelve lithofacies were described and organized into six facies successions, interpreted as belonging to lacustrine and continental *sabkha* depositional systems. Three kinds of genetic stratigraphic surfaces were identified, based on the interpretation of facies succession, which were associated with an unconformity (sequence boundary, probably tectonosequences), transgressive (lacustrine) and maximum flooding (lacustrine?) surfaces. Two other surfaces, of formal lithostratigraphic nature, were defined as boundary between the Grajaú (below) and Itapecuru (above) formations. From the facies standpoint, the best source rocks occur below the unconformity (lower sequence), as well as the reservoir rocks (sandstones), despite its low permo-porosity and thickness.

Keywords: facies analysis; Codó Formation; Parnaíba Basin; Cretaceous; source rock.

1. Introdução

A bacia do Parnaíba é uma bacia interior cratônica localizada na região Nordeste do Brasil, que ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km² e cuja sucessão sedimentar, em seu depocentro, chega a mais de 3 km de espessura (Figura 1). Está limitada geologicamente a norte pelo arco Ferrer–Urbano Santos, que a separa das bacias de São Luís e Barreirinhas, na margem continental; ao sul pelo arco do Médio São Francisco, separando-a da bacia Sanfranciscana; e a nordeste, pelo arco de Tocantins, que a separa da bacia de Marajó.

Esforços exploratórios pretéritos na bacia geraram grande parte do conhecimento geológico atual, porém sem sucesso na descoberta comercial de hidrocarbonetos; o que, todavia, não elimina definitivamente o potencial econômico da bacia, considerada de fronteira exploratória. Com a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) em 1997, a ela foi passada a incumbência de fomento da exploração petrolífera no país. Assim, em junho de 2002, a ANP ofereceu um bloco exploratório na bacia do Parnaíba em sua IV Rodada de Licitações, sem qualquer sucesso de investimento. Tal insucesso deve-se, pelo menos em parte, à pouca quantidade de informações geológicas exploratórias disponíveis.

Frente a essa necessidade de estudos na bacia, o trabalho vem oferecer uma contribuição ao conhecimento geológico do seu Cretáceo, mais especificamente do intervalo Aptiano–Albiano representado pela Formação Codó. O intervalo contém folhelhos betuminosos (considerados potenciais geradores), gipsita (explorada economicamente), calcário e arenitos; sotopõe-se concordantemente aos arenitos da Formação Itapecuru e sobrepõe-se, também concordantemente, aos arenitos da Formação Grajaú. Por seu contexto de evolução geológica (tectônica) distinta, relacionada à desagregação do paleocontinente Gondwana, alguns autores inserem regionalmente as rochas mesozóicas – entre as quais se encontra a Formação Codó – além das cenozóicas, em outra bacia (bacia do Grajaú).

Objetiva-se aqui a caracterização de litofácies e suas associações, a interpretação de sistemas deposicionais e a identificação de superfícies estratigráficas para correlação; com a finalidade de avaliar, em termos exploratórios, potenciais rochas geradoras e reservatório na formação, tendo em vista a possibilidade de um sistema petrolífero Codó–Itapecuru(?) ou Codó–Grajaú(?) na bacia.

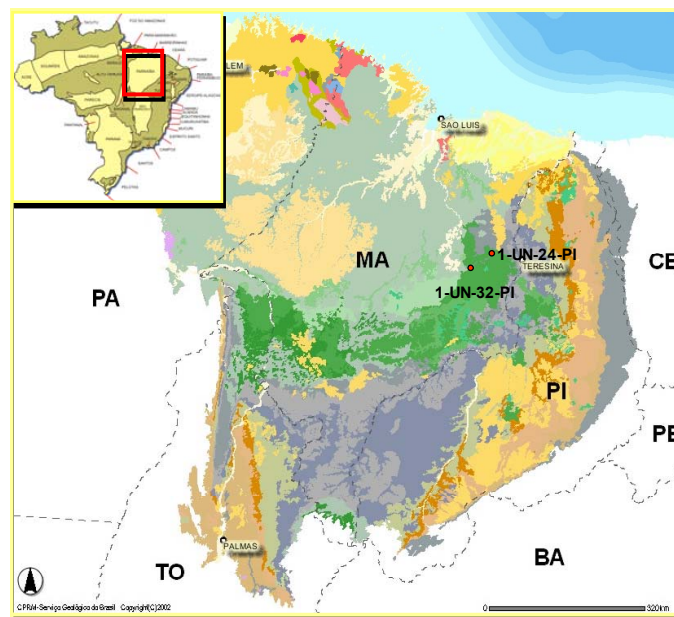


Figura 1. Mapa geológico da bacia do Parnaíba com a localização geográfica dos poços 1-UN-24- PI (3°54'37"S/42°56'47"W) e 1-UN-32- PI (4°04'55"S/43°03'15"W) utilizados neste estudo. (Mapa geológico, fonte: CPRM, 2005).

2. Material e Método de Estudo

Como material de estudo, foram utilizados testemunhos de dois poços (1-UN24-PI e 1-UN32-PI) dos vinte executados pelo *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba* (DNPM/CPRM, 1975), além da perfilagem geofísica disponível nesses poços (raios-gama, resistividade e potencial espontâneo). Tais testemunhos foram descritos faciologicamente em escala 1:40. Amostras de rocha foram coletadas para caracterização petrográfica em apoio à descrição das fácies e avaliação da qualidade de arenitos como reservatório. Paralelamente, foram feitos ensaios de permeabilidade nesses arenitos.

Na análise de fácies e suas associações foram utilizados os conceitos gerais de Borghi (2000) e informações faciológicas sobre a formação, disponíveis na literatura (Batista, 1992; Rossetti *et al.*, 2004); para o reconhecimento de superfícies estratigráficas foram utilizados conceitos de Posamentier & Vail (1988).

3. Análise Faciológica

3.1. Fácies

Neste trabalho foram reconhecidas doze litofácies (referidas como fácies por simplicidade), ilustradas na Estampa I. Dentre essas fácies, sete são terrígenas, quatro químicas e, uma, biogênica. Entre as terrígenas, três são pelíticas (Fe, Fp e Sc), três psamíticas (Ao, Ac, Ac(c)) e, uma, psefítica (C); entre as químicas, duas são de textura fina (cL e cS), enquanto que duas outras, grossas (B e G); já entre as biogênicas, uma apenas, é arenítica (cA).

3.2. Sucessões de Fácies

Foram descritas seis sucessões de fácies, sumarizadas na Tabela 1, das quais quatro terrígenas (SF1, SF4, SF5 e SF6), uma terrígeno-evaporítica (SF2) e, uma, evaporítica (SF3), as quais se inserem em sistemas deposicionais lacustre, lacustre hipersalino e de *sabkha* continental (Figura 2).

Tabela 1. Resumo das sucessões de fácies utilizadas no presente trabalho.

Código	Diagnose	Interpretação
SF1	Sucessão das fácies Ac–Ao–Sc–Fe em ciclos de afinamento granulométrico	Sistema flúvio-lacustre (com passagem de um lago marginal, de pequena lâmina d'água a subexposto, para lago mais fundo, hipersalino e anóxico)
SF2	Sucessões cíclicas das fácies Fe–cL/cS–G/Sc	Sistema lacustre hipersalino, cujas fácies passam de um paleoambiente fundo para raso.
SF3	Sucessão de fácies cA–G–cL/Fe	Sistema de <i>sabkha</i> continental.
SF4	Sucessão autorreflexiva de camadas das fácies Ac ou C	Sistema fluvial (psefíticos ou psamíticos)
SF5	Sucessão autorreflexiva de camadas da fácies Fp	Sistema lacustre (com variação de salinidade)
SF6	Sucessão das fácies Ac–Ac(c)–Ao–Sc–Fp, em ciclos de afinamento granulométrico	Sistema flúvio-lacustre (resultante de eventos de regressão forçada seguida de afogamento lacustre)

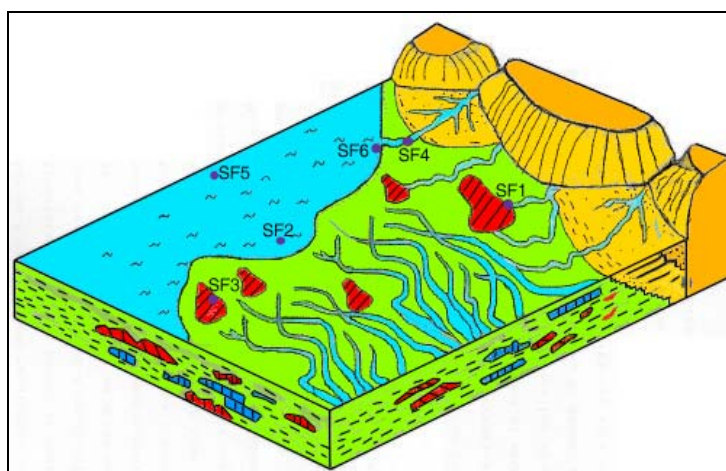


Figura 2. Bloco-diagrama representativo do paleoambiente deposicional da Formação Codó (modificado de Batista, 1992), mostrando a contextualização dos poços descritos neste trabalho em relação às sucessões de fácies (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5 e SF6).

4. Análise Geológica

4.1. Superfícies Estratigráficas

Na correlação dos poços 1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI foram reconhecidas três superfícies estratigráficas de natureza genética, interpretadas como discordante, transgressiva e de inundação, ilustradas na figura 3. Duas outras superfícies, de natureza litoestratigráfica formal, não são ilustrados na figura 3, delimitam o contato da Formação Codó com as formações Itapecuru (sobreposta) e Grajaú (sotoposta).

Superfície Discordante (SD) – Esta superfície foi observada nas profundidades de 141,1 m do poço 1-UN-24-PI e de 117 m do poço 1-UN-32-PI. Caracteriza-se por um contato brusco na base da SF4, sobre a SF3. A SD é correlacionada entre os poços e interpretada como um limite de seqüência (LS), provavelmente de origem tectônica. A seqüência inferior (Seq1) envolve as sucessões de fácies SF1, SF2 e SF3, enquanto que, a superior (Seq2), as sucessões SF4, SF5 e SF6.

Superfície Transgressiva (ST) – Esta superfície é observada nas profundidades de 139,0 m do poço 1-UN-24-PI (Anexo A) e de 112,0 m do poço 1-UN-32-PI. Esta superfície é registrada pela passagem brusca da SF4 para SF5, evidenciando o súbito afofamento lacustre de um sistema fluvial.

Superfície de Inundação Máxima (SIM) – Esta superfície foi identificada em dois horizontes de ambos os poços estudados, nas sucessões de fácies SF5 e SF2. Todavia sua ocorrência foi identificada com segurança apenas na SF5, pelo aumento da radioatividade nas profundidades de 135,0 m do poço 1-UN-24-PI e 107,0 m do poço 1-UN-32-PI. Apesar de própria de um contexto paleodeposicional marinho, o conceito de SIM foi aplicada aqui de forma operacional. Carece de melhor avaliação genética.

Superfícies de contato litoestratigráfico – Estes limites foram posicionados nos dois poços descritos, estando o limite entre as formações Codó e Itapecuru na profundidade de 100,5 m no poço 1-UN-24-PI e de 64,8 m no poço 1-UN-32-PI. Já o limite entre as formações Codó e Grajaú foi posicionado na profundidade 167,0 m do poço 1-UN-24-PI e 169,0 m do poço 1-UN-32-PI. Ambos os contatos foram inferidos (contatos “gradacionais”) pelo critério operacional em uso – porém pouco adequado do ponto de vista formal – de mudança de cor das rochas, de cinza (Formação Codó) para vermelho (formações Grajaú e Itapecuru).

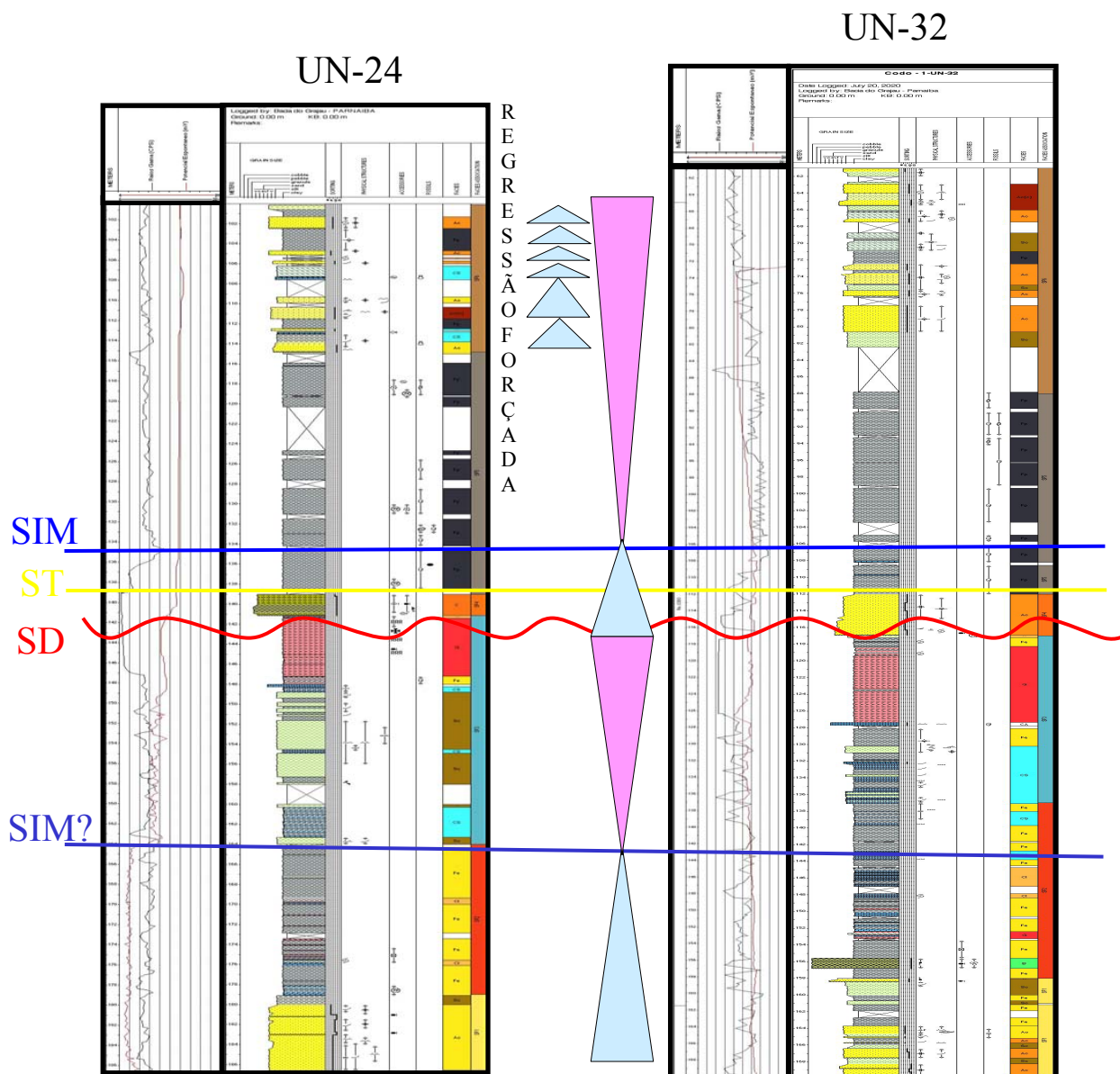


Figura 3. Correlação entre os poços 1-UN-24-PI e 1-UN-32-PI com as respectivas superfícies identificadas SIM, ST e SD.

4.2. Aspectos exploratórios

Geradores Potenciais – Buscou-se identificar, do ponto de vista estratigráfico, a sucessão que melhor se adequaria às condições esperadas de um intervalo potencialmente gerador. A SF2 apresenta um caráter mais orgânico, revelado por cor mais escura, resultante do alto grau de preservação da matéria orgânica em função de condições de anoxia existente na deposição dos sedimentos. Embora este intervalo deva possuir matéria orgânica em quantidade e composição adequada para geração de hidrocarbonetos, como já foi relatada na literatura em situação análoga (Rodrigues, 1995), a baixa evolução térmica é apontada como fator desfavorável a que Formação Codó possa ter gerado de hidrocarbonatos na bacia do Parnaíba. A SF5, apesar de ser uma sucessão exclusivamente pelítica, apresenta um caráter mais oxidante, revelado por cores mais claras, onde o desenvolvimento biológico foi favorecido pelas características de baixa salinidade; o que corroboraria com a menor preservação da matéria orgânica depositada. A contextualização das duas sucessões de fácies envolvidas (SF2 e SF5) em seqüências deposicionais distintas (Seq1 e Seq2) provavelmente explica a diferença de paleoambientes lacustres em termos geoquímicos.

Reservatórios Potenciais – Intervalos representados pelas sucessões de fácies macroclásticas (SF1, SF4 e SF6) podem ser analisados como potenciais reservatórios. A SF1 e a SF4 estão aparentemente seladas por rochas microclásticas (SF2 e SF5). Dessas, a SF1 é a que guarda melhores características de rocha reservatório (menor cimentação carbonática), apesar de valores de permeabilidade baixos, na ordem de 65 mD, e da pequena espessura. A SF4, além da pequena espessura, tem porosidade extremamente reduzida pela cimentação carbonática e desagregação de grãos líticos. Já SF6 não apresenta selante, passando gradacionalmente para os arenitos da Formação Itapecuru.

5. Conclusões

É provável que a atividade tectônica seja responsável pela discordância erosiva que separa as sucessões sedimentares em duas seqüências deposicionais distintas (Seq1 e Seq2) na bacia, durante a deposição dos sedimentos da Formação Codó. A interpretação de tal atividade é suportada com base na identificação de estruturas deformacionais de origem sísmica na formação, identificadas por Góes & Rossetti (2001). São tectonosseqüências.

O intervalo analisado abaixo da discordância (Seq1) apresentou melhores características faciológicas para a contextualização das rochas geradoras da formação. Na base desse intervalo, uma sucessão de rochas macroclásticas (SF1) apresentou as melhores características de rochas reservatório (permeabilidade e porosidade mais altas), o que aponta para a necessidade de análise da Formação Grajaú, sotoposta.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo, pelo apoio ao estudo através de bolsa do Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (conv. PRH-ANP/MCT N° 18); ao 4º Distrito do DNPM (Recife, PE), pela disponibilização dos dados; e, por fim, ao GSEP/CENPES/Petrobras pelas análises petrofísicas de permeabilidade realizadas no Laboratório de Testemunhos.

8. Referências

- BATISTA, A. M. Caracterização paleoambiental dos sedimentos Codó-Grajaú, Bacia de São Luís (MA). Dissertação de Mestrado, UFPa, Belém, 102p. 1992.
- BORGHI, L. Visão geral da Análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. *Bol. Nus. Nac., N.S.*, Geologia, Rio de Janeiro, n.53, p.1-26, 2000.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: http://www.geoambiente.com.br/website/cprm_geologico/viewer.htm, (Acessado em 20.abr.2005).
- DNPM/CPRM. *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba*. DNPM–CPRM, 5v. 1975. (Relatório Interno).
- GOÉS, A. M., ROSSETTI, D.F. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: Rossetti, D.F., Goés, A.M., Truckenbrodt, W. (eds.) *O Cretáceo na bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p. 15-29. 2001. (Coleção Friedrich Katzer.)
- LISBOA, M.A.R. The Permian geology of Northern Brazil. *Am. Jour. Sci.*, New Haven, ser. 4, v. 37, n. 221, 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, Tulsa, p. 125-154, 1988. (Spec. Publ. 42)
- RODRIGUES, R. *A Geoquímica Orgânica na bacia do Parnaíba*. Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 225 p. 1995.
- ROSSETTI, D.F., TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para depósitos do Albiano–Terciário Inferior(?) na bacia de São Luís, Maranhão. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Ciênc. Terra*, Belém, n. 9, p. 29-41, 1997.

ESTAMPA I

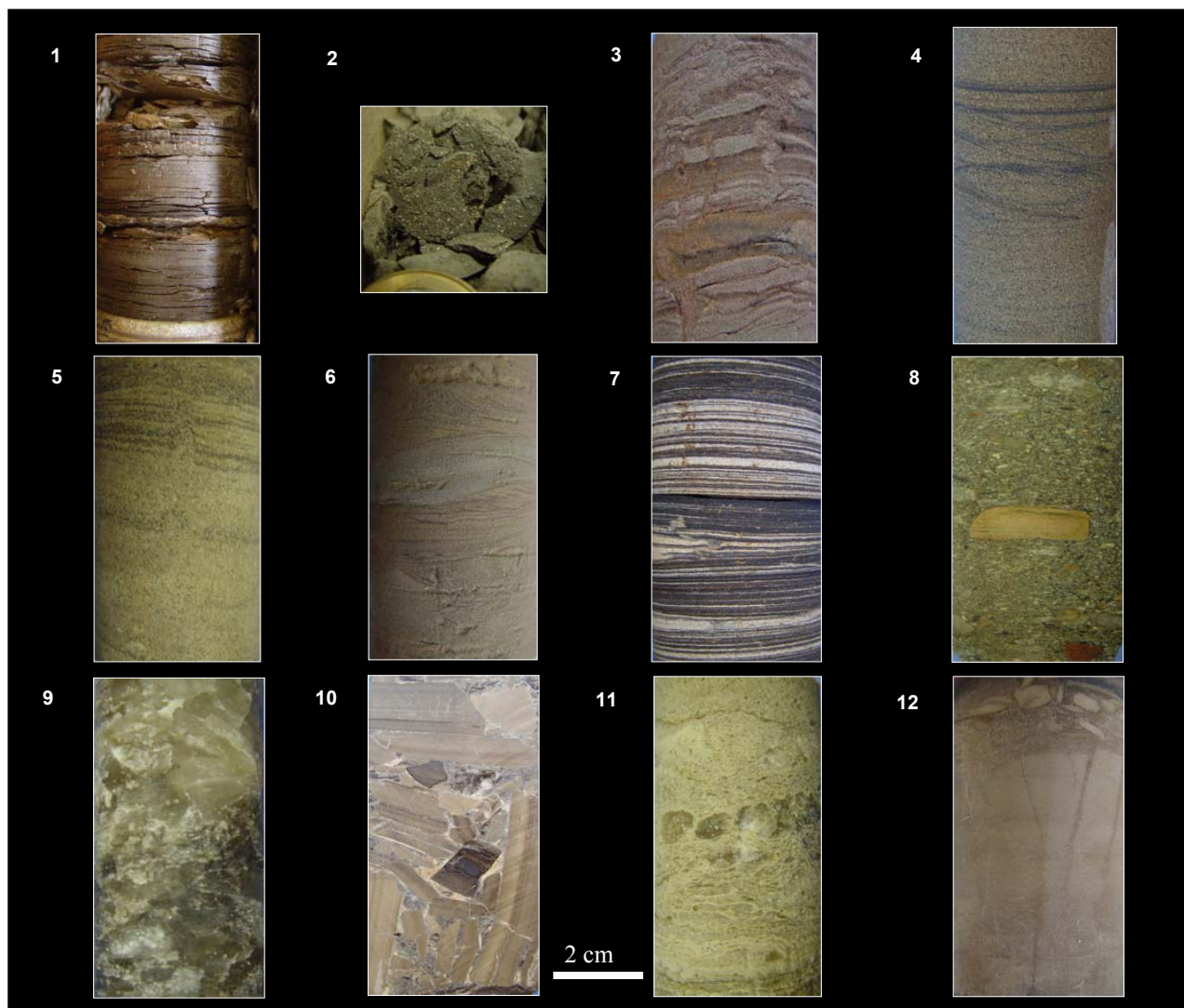


Figura 1. Fácies Fe, exibindo folhelho betuminoso com interlaminação de carbonato. Poço 1-UN-32-PI, prof. 151,90m. **Figura 2.** Fácies Fp, exibindo concentração de conchas de ostracodes. Poço 1-UN-24-PI, prof. 125,40m. **Figura 3.** Fácies Sc, exibindo interlaminação de siltito e arenito fino com gretas de ressecamento. Poço 1-UN-24-PI, prof. 157,80 m. **Figura 4.** Fácies Ao, exibindo laminação cruzada por onda e acamamento flaser. Poço 1-UN-24-PI, prof. 186,60 m. **Figura 5.** Fácies Ac, exibindo laminação cruzada deformada pela fluidização. Poço 1-UN-24-PI, prof. 105,70 m. **Figura 6.** Fácies Ac(c), exibindo laminação cruzada cavalgante. Poço 1-UN-32-PI, prof. 130,60 m. **Figura 7.** Fácies cA, exibindo variação das cores claras (ostracodito) e escuras (pelito), dando a f'cies um caráter rítmico. Poço 1-UN-24-PI, prof. 147,55 m. **Figura 8.** Fácies C, exibindo um paraconglomerado. Notar um fragmento subarredondado de calcilita no centro da foto e um lítico na base. Poço 1-UN-24-PI, prof. 140,10m. **Figura 9.** Fácies G, exibindo gipsita recristalizada com estrutura de roseta. Poço 1-UN-24-PI, prof. 143,00 m. **Figura 10.** Fácies B, exibindo brecha intraformacional composta por fragmentos de pelitos verticalizados. Poço 1-UN-32-PI, prof. 156,00 m. **Figura 11.** Fácies cL, exibindo calcilituto com "vugs" preenchidos por anidrita. Poço 1-UN-24-PI, prof. 141,30 m. **Figura 12.** Fácies cS, exibindo calcissiltito interlaminação com pelitos e estrutura de greta de ressecamento. Poço 1-UN-32-PI, prof. 134,30 m.