

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 DAS FÁCIES SILICICLÁSTICAS DA PARTE SUPERIOR DA FORMAÇÃO SANTANA (BACIA DO ARARIPE): CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS ROCHAS-RESERVATÓRIO

Max Vasconcellos de MOURA¹ & Leonardo BORGHI²

^{1,2} Departamento de Geologia, IGeo, CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
21949-900 Rio de Janeiro, RJ (well@urbi.com.br, lborghi@ufrj.br)

Resumo – A bacia do Araripe apresenta poucos dados estratigráficos, particularmente do seu intervalo Aptiano–Albiano, muito importante no contexto da evolução da margem continental brasileira ao final da fase Rife. Nesta bacia, tal intervalo é representado, em parte, pela Formação Santana. Nesse contexto, a análise faciológica de detalhe do intervalo superior dessa formação, o qual apresenta expressivas camadas de arenito intercaladas com folhelhos, permite sua análise estratigráfica além da avaliação do ponto de vista de potenciais reservatórios. Utilizam-se testemunhos de sondagem de dois poços perfurados na bacia. Assim, foi possível caracterizar nove litofácies (duas lutáceas, uma heterolítica, quatro arenáceas, uma rudácea e uma carbonática), as quais foram relacionadas em três sucessões. Tais sucessões de fácies foram interpretadas como o registro de sistemas deltaico-lacustre, lacustre e fluvial. Em termos estratigráficos, foram reconhecidos cinco tipos de superfícies (discordante, regressão forçada, transgressiva, inundação e inundação máxima). O intervalo possui rochas reservatório potenciais representadas pelas fácies arenáceas das sucessões de fácies deltaico-lacustre e fluvial, as quais apresentam permeabilidades variadas causadas por *coatings* de óxidos e clorita e cimentação carbonática dos arenitos. Os potenciais reservatórios são selados por fácies lutáceas da sucessão lacustre, que também se mostram como barreiras de fluxo para o reservatório.

Palavras-Chave: análise de fácies; Formação Santana; bacia do Araripe; cretáceo; reservatório.

Abstract – The Araripe Basin is an onshore Cretaceous rift basin located in the interior of the Northeast Region of Brazil. Considering the limited stratigraphic data available, particularly of the Aptian–Albian interval, this study represents an important contribution to the understanding of the evolution of the Brazilian continental margin during the Rift to Drift phase transition. The study is focused in the facies analysis and in the stratigraphic and reservoir discussion of the upper part of the Aptian–Albian interval, represented by the upper Santana Formation. The subsurface data (cores and logs) of two wells were analyzed in detail. Nine lithofacies were defined (two lutaceous, one heterolithic, four arenaceous, one rudaceous and one carbonatic), related in three facies successions, interpreted as part of deltaic-lacustrine, lacustrine and fluvial depositional systems. Five stratigraphic surfaces were identified (unconformity, forced regression, transgressive, marine flooding, and maximum flooding). The permeability of the potential reservoir-rocks, represented by the deltaic-lacustrine and fluvial sandstones, is affected by chlorite, oxide coatings and carbonate cementation. These potential reservoirs are sealed by lacustrine lutaceous layer, which also occur as flow barriers within the reservoirs.

Keywords: facies analysis; Santana Formation; Araripe Basin; cretaceous; reservoir.

1. Introdução

A bacia do Araripe, localizada entre os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco (Figura 1), representa a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, com aproximadamente 9.000 km² de área e 1.700 m de espessura. Sua evolução está relacionada à fragmentação do paleocontinente do Gondwana e abertura do oceano Atlântico Sul.

Apesar de bastante investigada do ponto de vista paleontológico, em virtude de seus afamados fósseis, estudos estratigráficos, quando não focados pela litoestratigrafia, são poucos.

Por não ser sequer considerada uma bacia de “fronteira exploratória”, a mesma possui poucos dados exploratórios, representados por apenas dois poços estratigráficos (2AP-1-CE e 4BO-1-PE), dez linhas sísmicas e mapa gravimétrico. Assim mesmo, apesar de a bacia não apresentar nenhum indício de óleo ou gás – até o presente – seu estudo contribui para analogia com outras bacias, petrolíferas (*e.g.*, bacia Potiguar); além de contribuir diretamente para a pesquisa hidrogeológica de aquíferos no semiárido nordestino. Vale lembrar ainda que há uma recente menção de ocorrência de hidrocarbonetos na bacia do Rio do Peixe, uma bacia próxima, mais restrita geograficamente, mas inserida no mesmo contexto geotectônico e com preenchimento estratigráfico análogo ao da bacia do Araripe.

Nesse contexto, a bacia carece de estudos estratigráficos para melhor compreensão de sua evolução tectonossedimentar e para correlação com bacias adjacentes; carece ainda de análises faciológicas para melhor caracterização de seus sistemas deposicionais (em apoio à análise estratigráfica), bem como de possíveis rochas reservatórios, selantes e geradoras.

Nesta bacia, a Formação Santana representa sua fase pós-rifte, durante o Aptiano–Albiano (Eocretáceo). Sua parte superior, siliciclástica, denominada de Membro Romualdo (Beurlen, 1971), trata de um intervalo de arenitos intercalados com siltitos e argilitos, na base, e folhelhos calcíferos esverdeados com concreções carbonáticas, no topo. Tal intervalo possui interpretações paleoambientais divergentes (lacustre *vs.* marinho), em parte pela carência dos estudos de detalhe de fácies e, em parte, pela diversidade fossilífera que conduz a incertezas de interpretações paleoecológicas e paleogeográficas.

Assim, o presente trabalho objetiva contribuir para análise faciológica do intervalo superior da Formação Santana para compreender seus sistemas deposicionais, tendo por fim a caracterização de possíveis rochas-reservatório (*cf.* MOURA, 2005).

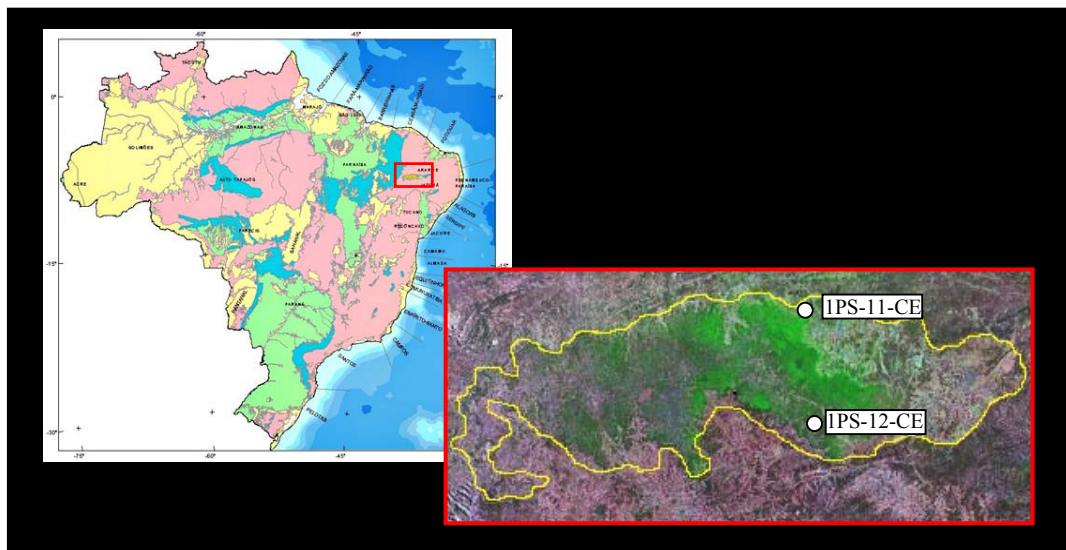


Figura 1. Localização da bacia do Araripe (Imagem de satélite, fonte: Miranda & Coutinho, 2005) e dos poços IPS-11-CE e IPS-12-CE.

2. Material e Método

Foram descritos faciológicamente em detalhe (1:40), fotografados e amostrados dois testemunhos de sondagem dos poços IPS-11-CE e IPS-12-CE, depositados no 4º Distrito do DNPM (Recife, PE). Os poços fazem parte do Projeto Santana II (q.v. Scheid *et al.*, 1978), durante o qual foram realizados quatorze furos de sondagem, com o objetivo de estudar um nível de “marga betuminosa” situada abaixo da Formação Santana. Assim, muitos dos poços foram realizados na região do vale do Cariri (borda leste da bacia), onde não se encontram muitos registros da formação. Os testemunhos descritos possuem alguns intervalos com má recuperação e/ou preservação, fazendo com que os perfis geofísicos de raios-gama, disponíveis, fossem também utilizados na análise do intervalo.

Dentre as amostras de rochas coletadas, quatro foram selecionadas para caracterização petrográfica e ensaios de permeabilidade, estes realizados em permeâmetro de bancada.

Na análise faciológica, utilizou-se a conceituação de Borghi (2000); enquanto que o reconhecimento de superfícies estratigráficas foi feito à luz da prática da moderna Estratigrafia de Sequências (Posamentier & Vail, 1988).

3. Análise Faciológica

3.1. Litofácies

A descrição faciológica permitiu a caracterização de nove litofácies sedimentares (Tabela 1), as quais serão aqui tratadas apenas como “fácies”. Destas, duas são microclásticas, representadas pela letra “F” (finos); uma heterolítica, pela letra “H”; quatro areníticas, pela letra “A”; uma rudítica, pela letra “R”; e uma carbonática, representada pela letra “C”. (Estampa I, figuras 1 a 10)

Tabela 1. Síntese das fácies descritas para a parte superior da Formação Santana (Membro Romualdo).

Código	Diagnose	Interpretação
F1	Folhelho cinza a verde ou marrom	Decantação; paleoambiente redutor
F2	Siltito e argilito cinza a verde ou marrom	Decantação ou tração de baixa energia; paleoambiente redutor
H	Arenito e siltito em acamamentos <i>wavy, flaser e linsen</i>	Alternância de tração e decantação
A1	Arenito com laminação cruzada cavalgante	Tração em regime de fluxo inferior associado com decantação (desaceleração); ondulações
A2	Arenito com estratificação cruzada de porte pequeno	Tração em regime de fluxo inferior; ondulações
A3	Arenito com estratificação plano-paralela	Tração em regime de fluxo superior; leito plano.
A4	Arenito maciço	Fluxo de detritos
R	Paraconglomerado maciço	Fluxo de detritos (coesivo)
C	Calclutito ou calcarenito bioclástico	Decantação de sedimentos carbonáticos finos ou bioclastos

3.2. Sucessões de fácies

Com as fácies caracterizadas e interpretadas, foram identificadas três sucessões de fácies (Tabela 2), que ocorrem em ambos os poços (Figura 2). Destas, uma é interpretada como deltaico-lacustre/marinha (SF1), onde a sucessão de fácies F1–F2–A1 representa depósitos de prodelta, a sucessão A1–A2 representa os depósitos de inundaçãode frente deltaica, enquanto que a sucessão A2–A3, os depósitos de frente deltaica mais canais fluviais distributários. Outra sucessão foi considerada “lacustre/marinha” (SF2) uma vez que os dados de litofácies não permitiram definição entre tais paleoambientes. (Análises geoquímicas e de palinofácies estão em andamento.) Uma última, fluvial (SF3), foi observada com características ora mais rudáceas ora arenáceas. Nas arenáceas, os canais podem ser interpretados como pertencentes a um modelo fluvial de inundação-relâmpago, em lençol (*sheetflood*), ilustrado pelo modelo Bijou Creek (Miall, 1977).

Nos intervalos com má recuperação e/ou preservação, o perfil geofísico de raios-gama permitiu reconhecer a SF3 através do padrão em “caixote” em ambos os poços, enquanto que outro, em “sino”, permitiu reconhecer a SF1 (Figura 2).

Tabela 2. Síntese das sucessões de fácies descritas para a parte superior da Formação Santana.

Código	Diagnose	Interpretação (Sistema Depositional)
SF1	Sucessão de fácies F1–F2–A1–A2–A3	Deltaico–Lacustre/Marinho
SF2	Sucessão de fácies A2–H– F1	Lacustre/Marinho
SF3	Sucessão de fácies R–A4 e A2/A3	Fluvial

4. Superfícies Estratigráficas

Nos dois poços estudados foi possível a identificação de cinco superfícies estratigráficas com base na análise de fácies, apoiada na interpretação de perfis geofísicos, as quais foram reconhecidas como discordante (SD), de regressão forçada (SRF), transgressiva (ST), de inundação (SI) e de inundação máxima (SIM) (Figura 2).

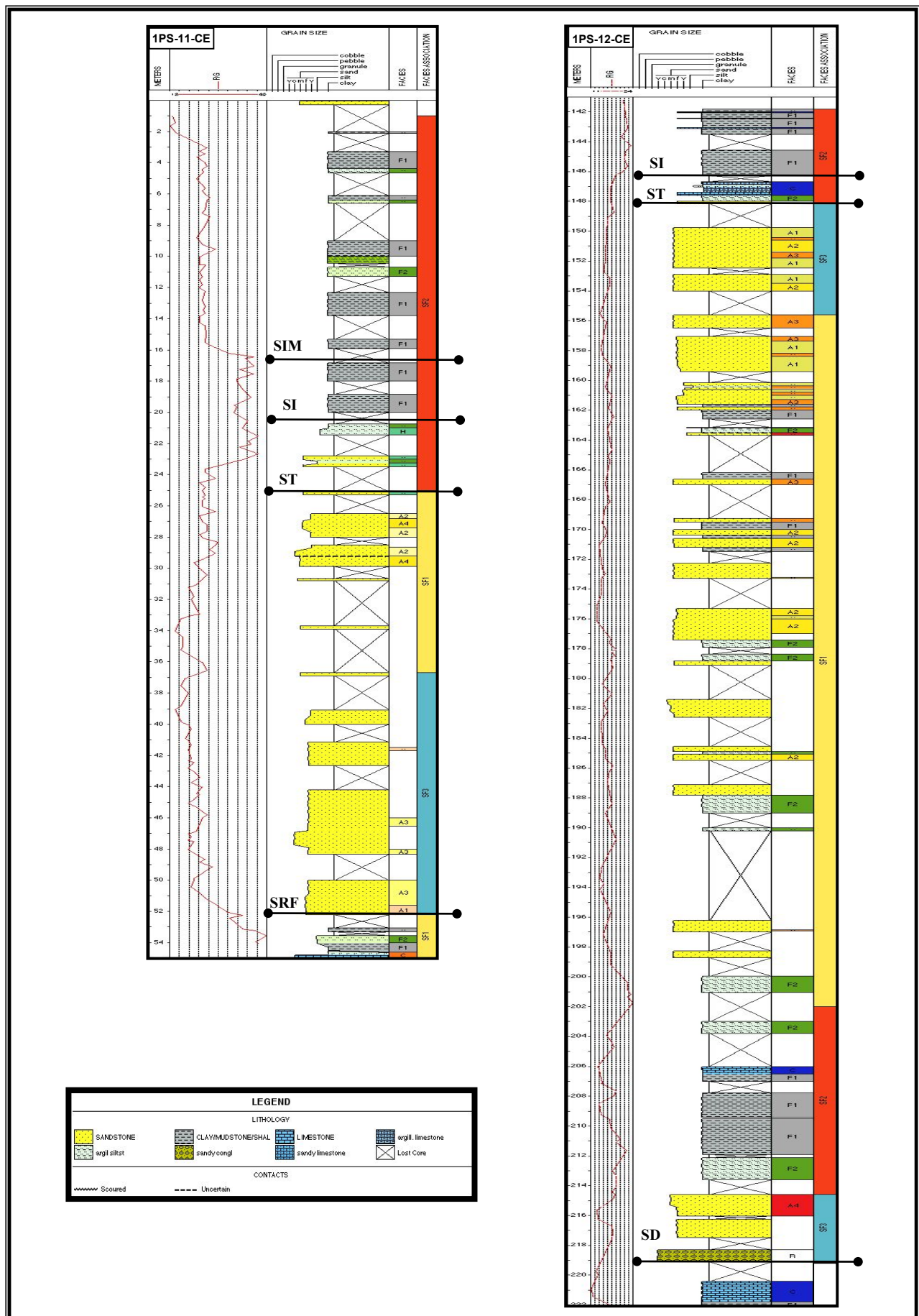


Figura 2. Perfis compostos dos poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE com indicações das superfícies estratigráficas (SD, discordante; SRF, regressão forçada; ST, transgressiva; SI, inundação; e SIM de inundação máxima).

A superfície SD é caracterizada por uma brusca mudança no paleoambiente sedimentar, registrado pela passagem de uma sucessão de fácies lacustre carbonática, típica do Membro Crato da formação (cf. Neumann, 1999), para a sucessão de fácies fluvial (SF3), rudácea (Figura 2). Esta superfície pode ser correlata à de carstificação de Silva (1986).

A superfície SRF registra uma brusca mudança no regime sedimentar, representado pela passagem da sucessão de fácies lacustre/marinha (SF2) para a deltaico-lacustre/marinha (SF1) (Figura 2), representada, em sua maior parte, por fácies atribuíveis à planície deltaica, fluvial (fácies A3). A pouca ou nenhuma expressão de fácies representativas do prodelta/frente deltaica (fácies A1) seria indício da situação.

A superfície ST registra uma mudança no regime sedimentar representado pela passagem da sucessão SF1 para SF2 (Figura 2). Esta última inicia-se por arenitos que se sucedem por folhelhos, em um ciclo de afinamento granulométrico, o que marca a redução da energia em resposta ao incremento de lâmina d'água (lacustre/marinha).

A superfície SI é identificada na sucessão SF2 pelo perfil de raios-gama através de um aumento brusco dos valores (deflexão da curva à direita) (Figura 2). Assim, a superfície SI marca o contato de um conjunto de camadas da fácies H ou C, abaixo, com fácies F1, acima, indicando um rápido afogamento.

A superfície SIM ocorre num conjunto de camadas de fácies F1 e é identificada pelos maiores valores de raios-gama no perfil (deflexão máxima da curva à direita) (Figura 2). É possível observar valores similares deste perfil geofísico em um intervalo de fácies H, logo abaixo. Porém, estes valores são interpretados como sendo resultado de anomalia na concentração de elementos radiogênicos, por percolação de soluções derivadas dos folhelhos, na diagênese.

5. Análises Petrográficas e Petrofísicas

Os intervalos de arenitos com espessuras representativas (maiores que 30m) foram analisados petrografica- e petrofisicamente para caracterizar potenciais reservatórios.

Na profundidade 27,5 m do poço IPS-11-CE, a fácies A4 é representada por um subarcóseo com *coatings* de clorita em grãos de quartzo e de feldspato (Estampa1, figuras 11 e 12), que se desprem dos mesmos. Sua permeabilidade é de 70,6 mD. Um pouco abaixo, na profundidade 50,8 m deste mesmo poço, a fácies A3 é representada por um quartzoarenito micáceo, com alteração das micas para argila (Estampa1, Figuras 13), e permeabilidade de 1.100 mD.

Na profundidade 150,8 m do poço IPS-12-CE, a fácies A2 é representada por um quartzoarenito com permeabilidade de 1.170 mD. Mais abaixo, na profundidade 176,3 m, a mesma fácies, também representada por um quartzoarenito com permeabilidade de 2.800 mD.

6. Conclusões

As fácies descritas, juntamente com as sucessões de fácies interpretadas, permitiram a identificação de um modelo deposicional deltáico-lacustre/marinho para o intervalo estudado.

Foi possível identificar superfície de discordância, correlata à identificada por Silva (1986) e, na Formação Codó (bacia do Parnaíba) por Mendes (2005; este congresso), além de regressão forçada, transgressiva, de inundação e de inundação máxima.

No que se refere a potenciais rochas-reservatórios, o intervalo estudado possui espessos pacotes de arenitos, representados pelas sucessões de fácies deltaico-lacustre/marinho (SF1) e fluvial (SF3). Estes compõem bons reservatórios, porém com porosidade e permeabilidade prejudicada por processos diagênicos.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (conv. PRH-ANP/MCT n°18); do 4º Distrito do DNPM, pelo acesso aos testemunhos; e da GSEP/CENPES/Petrobrás, pelos ensaios petrofísicos (permeabilidade).

8. Referências

- BEURLIN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **43**(Suplemento): 411-415, 1971.
- BORGHI, L. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. Rio de Janeiro, Museu Nacional, 26 p. (Boletim, Nova Série, Geologia, 53), 2000.
- MENDES, M.S. Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano-Albiano) na bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências-UFRJ, B. Sc, Curso de Graduação em Geologia, 2005.

- MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.*, 13: 1-62, 1977.
- MOURA, V.M. Análise das fácies siliciclásticas da parte superior da Formação Santana (bacia do Araripe): caracterização de potenciais rochas-reservatório. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências-UFRJ, B. Sc, Curso de Graduação em Geologia, 2005.
- MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). Brasil Visto do Espaço. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 abr, 2005.
- NEUMANN, V. H. M. L. Estratigrafia, Sedimentología y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albiense de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)- Barcelona, 1999. 250 p. Tese (Doctorado) – Facultat de Geologia – Universitat de Barcelona, 1999.
- 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 approach. Tulsa, SEPM, p. 125-154. (Special Publicatio 42), 1988.
- SCHEID, C.; MUNIS, M. B. & PAULINO, J. Projeto Santana. Relatório Final da Etapa II. Recife, DNPM/ CPRM. 136 p, 1978.
- SILVA, M. A. M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe basin, northeast Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(3): 306-310, 1986.

Estampa I

Figura 1 – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho cinza-esverdeado. Poço IPS-12-CE, profundidade de 145,20 m./ Figura 2 – Aspectos da fácies F2 mostrando argilito cinza-esverdeado. Poço IPS-11-CE, profundidade de 11 m./ Figura 3 – Aspectos da fácies H mostrando uma estrutura *flaser*. Poço IPS-11-CE, profundidade de 21,00 m./ Figura 4 – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino alaranjados com ripples. Poço IPS-12-CE, profundidade de 150,80 m./ Figura 5 – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação cruzada. Poço IPS-12-CE, profundidade de 176,60 m./ Figura 6 – Aspectos da fácies A3 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação plano-paralela. Poço IPS-11-CE, profundidade de 50,20 m./ Figura 7 – Aspectos da fácies A4 mostrando arenito fino cinza com estrutura maciça. Poço IPS-11-CE, profundidade de 29,50 m./ Figura 8 – Aspectos da fácies R mostrando um conglomerado com intraclastos. Poço IPS-12-CE, profundidade de 218,40 m./ Figura 9 – Aspectos da fácies C mostrando calcarenito com lâminação plano-paralela. Poço IPS-12-CE, profundidade de 147,40 m./ Figura 10 – Aspectos da fácies C mostrando calcilito com lâminação plano-paralela. Poço IPS-12-CE, profundidade de 147 m./ Figura 11 – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando detalhes dos *coatings* de clorita em grãos de quartzo. Poço IPS-11-CE, profundidade de 27,5 m./ Figura 12 – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando aglomerados de *coatings* de clorita desprendidos e entupindo os poros. Poço IPS-11-CE, profundidade de 27,5 m. / Figura 13 – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando o esmagamento de um grão de mica e alterações de micas para argilas. Poço IPS-11-CE, profundidade de 50,8m.

