



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

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

MAX VASCONCELLOS DE MOURA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA ESTÁGIO DE CAMPO IV.

*TEMA VINCULADO AO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM
GEOLOGIA DO PETRÓLEO (CONVÊNIO PRH-ANP/MCT Nº 18)*

RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL
MARÇO DE 2005

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

MAX VASCONCELLOS DE MOURA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO REQUISITO
OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA ESTÁGIO DE CAMPO IV.

SETOR: PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

APROVADA POR:

PROF. LEONARDO BORGHI (UFRJ)

PROF. ISMAR DE SOUZA CARVALHO (UFRJ)

GEÓL. FRANCISCO CELSO PONTE FILHO
(QUEIROZ GALVÃO PERFURAÇÕES)

MOURA, Max

Análise das fácies siliciclásticas do intervalo superior da Formação Santana (bacia do Araripe): caracterização de rochas reservatório .[Rio de Janeiro] 2005.

xiv, 57p. 30 cm (Instituto de Geociências - UFRJ, B.Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2005.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro realizada no Instituto de Geociências.

1. Formação Santana 2. Bacia do Araripe 3. Cretáceo

I– IGEO/UFRJ II- Título (série)

Dedico este trabalho a minha mãe, Ângela, e ao meu irmão, Jun. E aos meus grandes amigos que por ventura entraram na minha vida e, hoje, fazem parte da minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha mãe, Ângela de Vasconcellos, pelo constante incentivo e apoio ao longo destes anos ao qual eu estive realizando este trabalho, pois sem isto eu talvez não o concluísse.

Aos meus irmãos de sangue, Jun Shimada e Raoni Moura que sempre me respeitaram e apoiaram no que eu faço.

A minha namorada e amiga, Marcela Willi que sempre esteve do meu lado para me lembrar que eu sempre vou conseguir o que eu quero na vida.

Ao meu amigo e orientador Leonardo Borghi que, ao longo dos meus dois últimos anos de Universidade, sempre me apoiou e me mostrou o caminho certo para o sucesso.

Aos meus grandes amigos de faculdade, que sempre estiveram do meu lado nos momentos tristes e difíceis ao qual eu passei nestes últimos anos. Amigos-irmãos como Vivian, Fabiano, Marcelo, Anselmo, Potó, Cícero, Cauê, Murisoca, Fredy, Afobado, Gordo, Hatushushika, Stutz, Dani, Pri, Matoso, Régis, Rafinha, Carol, Henrique, Tchutchuca, Zé Lelé, Érick, Ana Paula, Margareth, Merenda, Mosquito, entre outros fizeram destes anos, anos inesquecíveis.

Aos meus irmãos de coração, Vergete, Kibe, Bruno, Fred, Dudu e Pedro os quais me ensinaram o quanto vale uma amizade.

Ao pessoal do Laboratório de Geologia Sedimentar, ao qual eu faço parte, que sempre me ajudou no que fosse necessário.

Ao Programa de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (PRH-ANP-18), representado pelo professor Leonardo Borghi, pela bolsa de estudos e pelo apoio a esta pesquisa.

A Walgenor Reis e o pessoal da secretaria que sempre estavam dispostos a resolver qualquer problema que eu pudesse ter.

Aos professores do Departamento de Geologia que colocaram as “barreiras certas” para que eu me tornasse um bom profissional.

Ao 4º Distrito do DNPM, Recife/PE pelo acesso aos testemunhos e descrição dos mesmos.

RESUMO DA MONOGRAFIA APRESENTADA AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM
GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO
REQUISITO OBRIGATÓRIO DA DISCIPLINA ESTÁGIO DE CAMPO IV

ANÁLISE DAS FÁCIES SILICICLÁSTICAS DO INTERVALO SUPERIOR DA FM.
SANTANA (BACIA DO ARARIPE): CARACTERIZAÇÃO DE POTENCIAIS ROCHAS
RESERVATÓRIO

MAX VASCONCELLOS DE MOURA

RIO DE JANEIRO, MARÇO DE 2005

ORIENTADOR: LEONARDO BORGHI

SETOR: PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA

A bacia do Araripe, a maior das bacias cretáceas do interior do Nordeste brasileiro, ainda apresenta poucos dados geológicos do ponto de vista exploratório, particularmente do intervalo Aptiano–Albiano, muito importante para a compreensão da evolução da margem continental do país ao final da fase Rife. Nesta bacia, o intervalo é representado, em parte pela Formação Santana, mais conhecida na literatura geológica por seu rico e afamado conteúdo de microfósseis. Nesse contexto, procura-se executar uma análise faciológica de detalhe (em escala 1:40) do intervalo superior da formação (Membro Romualdo), o qual apresenta expressivas camadas de arenito intercaladas a de folhelhos, as quais são avaliadas do ponto de vista de reservatórios. Utilizam-se testemunhos de sondagem dos poços 1-PS-11-CE e 1-PS-12-CE (DNPM/CPRM, *Projeto Santana*, 1978). Assim, foi possível caracterizar duas fácies lutáceas (F1 e F2), uma heterolítica (H), quatro arenáceas (A1 a A4), uma rudácea (R) e uma carbonática (C), as quais foram relacionadas em três sucessões de fácies (SF1 a SF3). Tais sucessões foram associadas a sistemas deltaico-lacustre (SF1), lacustre (SF2) e fluvial (SF3). Em termos estratigráficos, foram reconhecidas superfícies discordante, de regressão forçada, transgressiva, de inundação e inundação máxima. Em termos de sistemas petrolíferos, o intervalo estudado possui geradores potenciais, representados pelos sedimentos microclásticos das sucessões de fácies lacustre (SF2), reservatórios potenciais, representados pelos sedimentos macroclásticos das sucessões de fácies deltáico-lacustre (A1) e sucessões de fácies fluvial (SF3). Estes potenciais reservatórios, são selados por sucessões de fácies lacustre (SF2) e possuem permeabilidades variadas, devido a barreiras formadas por *coatings* de óxidos e clorita e uma cimentação elevada.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – *Localização dos poços 1PS-11-CE (UTM – 9206760 N; 446610 S), em vermelho e 1PS-12-CE (UTM – 9171780 N; 459780 E), em azul na bacia do Araripe (<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>).*
- Figura 2** – *Localização da bacia do Araripe (Neumann, 2004).*
- Figura 3** – *Coluna estratigráfica da bacia do Araripe (modificado de Assine, 1992 a).*
- Figura 4** – *Interpretações litoestratigráficas da bacia do Araripe (Neumann, 2004).*
- Figura 5** – *Seção geológica da bacia do Araripe ilustrando a seqüência rifte com a cobertura tabular sub-horizontal (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).*
- Figura 6** – *Mapa gravimétrico Bouguer da bacia do Araripe, em intervalos de 5 miligals (modificado de Oliveira, 1983).*
- Figura 7** – *Mapa estrutural do embasamento da bacia do Araripe (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).*
- Figura 8** – *Quadro sinótico da evolução tectonossedimentar do intervalo mesozóico da bacia do Araripe (Ponte & Ponte Filho, 1996).*
- Figura 9** – *Mapa de localização das linhas sísmicas e poços feito pela Petrobras na bacia do Araripe (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).*
- Figura 10** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 1.*
- Figura 11** – *Ilustração mostrando modelos de perfis estratigráficos em diferentes posições de um sistema deltaico (Selley, 1996).*
- Figura 12** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 2.*
- Figura 13** – *Intervalo do poço 1PS-12-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 3 rudácea.*
- Figura 14** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando em vermelho o padrão “caixote” no perfil de raios-gama (SF3).*
- Figura 15** – *Ilustração mostrando o modelo fluvial de inundação-relâmpago em lençol (sheetflood) que caracteriza um elemento arquitetural do tipo LS (Laminated Sands, Areias Laminadas) (Miall, 1985).*
- Figura 16** – *Intervalo do poço 1PS-12-CE mostrando a superfície discordante (D) em azul, com o paraconglomerado (fácies R) acima e calcário (fácies C) abaixo.*
- Figura 17** – *Figura mostrando a superfície de carstificação, interpretada por Silva (1986 b).*
- Figura 18** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de regressão forçada em azul, um engrossamento granulométrico em verde e um padrão “caixote” mostrado em vermelho.*

- Figura 19** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície trasgressiva em azul, com arenitos com acamamento heterolítico (fácies H) acima e arenitos com estratificação cruzada abaixo.*
- Figura 20** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de inundação em azul e a mudança brusca de raios-gama em vermelho.*
- Figura 21** – *Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de inundação máxima em azul e o pico de raios-gama em vermelho.*
- Figura 22** – *Imagem de satélite do ambiente deltaico-lacustre no lago Turkana, no continente africano, com as sucessões de fácies deltáico lacustre (SF1), lacustre (SF2) e fluvial (SF3). (<https-zulu.ssc.nasa.gov-mrsid->).*

LISTA DE ESTAMPAS

ESTAMPA I – Fácies F1 e F2

- Figura A** – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho cinza-esverdeado. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 145,20 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho marrom .Poço 1PS-12-CE, profundidade de 211 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies F2 mostrando argilito cinza-esverdeado. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 11 m.
- Figura D** – Aspectos da fácies F2 mostrando fragmentos de vegetais. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 11,20 m.

ESTAMPA II – Fácies H e A1

- Figura A** – Aspectos da fácies H mostrando uma estrutura *flaser*. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 21,00 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies H mostrando arenito fino com bioturbação. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 25,20 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino cinza com *ripples*. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 154,00 m.
- Figura D** – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino alaranjados com *ripples*. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 150,80 m.

ESTAMPA III – Fácies A2 e A3

- Figura A** – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação cruzada. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,60 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino cinza com fragmentos de vegetais. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,70 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com intraclastos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 151,10 m.
- Figura D** – Aspectos da fácies A3 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação plano-paralela. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,20 m.

ESTAMPA IV – Fácies A4, R e C

- Figura A** – Aspectos da fácies A4 mostrando arenito fino cinza com estrutura maciça. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 29,50 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies R mostrando um conglomerado com intraclastos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 218,40 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies C mostrando calcarenito com laminação plano-paralela. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 147,40 m.
- Figura D** – Aspectos da fácies C mostrando calcilito com laminação plano-paralela. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 147 m.

ESTAMPA V – Superfície discordante e superfície de regressão forçada

Figura A – Caixa nº 14 com testemunhos de um intervalo do poço 1PS-12-CE. A seta azul indica a superfície discordante na profundidade de 220,40 m, separando o calcário abaixo e o conglomerado acima.

Figura B – Caixa nº 5 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de regressão forçada. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 53,05 m, separando arenitos acima e o folhelhos abaixo.

ESTAMPA VI – Superfície transgressiva

Figura A – Caixa nº 3 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície transgressiva. A seta azul indica a superfície na profundidade de 25,1 m, separando siltitos com acamamento heterolítico (fácies H) acima e arenitos abaixo.

Figura B – Caixa nº 7 do poço 1PS-12-CE com testemunhos que mostram a superfície transgressiva. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 147,5 m aproximadamente, separando siltitos acima e arenitos abaixo.

ESTAMPA VII – Superfície de inundação

Figura A – Caixa nº 2 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 22,5 m aproximadamente, onde se observa a passagem de fácies mais arenáceas abaixo para fácies mais lutáceas acima, corroborando com o que foi visto no perfil de raios-gama.

Figura B – Caixa nº 7 do poço 1PS-12-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta azul indica a superfície na profundidade de 146 m aproximadamente, separando folhelhos acima e calcilutitos abaixo.

ESTAMPA VIII – Superfície de inundação máxima

Figura A – Caixa nº 2 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 22,5 m aproximadamente, onde se observa a passagem de fácies mais arenáceas abaixo para fácies mais lutáceas acima. Corroborando com o que foi visto no perfil de raios-gama.

Figura B – Caixa nº 7 do poço 1PS-12-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta azul indica a superfície na profundidade de 146 m aproximadamente, separando folhelhos acima e calcilutitos abaixo.

ESTAMPA IX – Aspectos petrográficos da fácies A4

Figura A – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando *coatings* de clorita em grãos de quartzo e feldspato alterado. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

Figura B – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando detalhes dos *coatings* de clorita em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

Figura C – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando a porosidade intragranular e por dissolução. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

- Figura D** – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando um litoclasto sedimentar. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5m.
- Figura E** – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando grãos de microclina que compõem o arenito sub-arcoseano. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.
- Figura F** – Aspectos da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando aglomerados de *coatings* de clorita desprendidos e entupindo os poros. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

ESTAMPA X – Aspectos petrográficos da fácies A3

- Figura A** – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando matriz argilosa em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando uma visão geral da matriz argilosa em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando o esmagamento de um grão de mica e alterações de micas para argilas. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8m.
- Figura D** – Aspectos da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma visão geral da porosidade. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.

ESTAMPA XI – Aspectos petrográficos da fácies A2

- Figura A** – Aspectos da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma intensa cimentação e ruim porosidade. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 151,3 m.
- Figura B** – Aspectos da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma visão geral da porosidade. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3 m.
- Figura C** – Aspectos da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando um litoclasto sedimentar e *coatings* de óxidos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3m.
- Figura D** – Aspectos da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando, em detalhe, um litoclasto sedimentar e *coatings* de óxidos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3m.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – *Síntese das fácies (litofácies) descritas para a parte superior da Formação Santana.*

Quadro 2 – *Síntese das sucessões de fácies descritas para a parte superior da Formação Santana.*

Quadro 3 – *Ciclos da sucessão de fácies 1 (deltáico-lacustre).*

Quadro 4 – *Ciclos da sucessão de fácies 2 (lacustre).*

Quadro 5 – *Ciclos da sucessão de fácies 3 (fluvial).*

Quadro 6 – *Permeabilidades dos possíveis potenciais reservatórios.*

SÍMBOLOS

CPRM	Serviço Geológico Nacional (antiga Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
Fm.	Formação
Gr.	Grupo
Mb.	Membro
UTM	Universal Trasversa de Mercator

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS, iv	
RESUMO, v	
LISTA DE FIGURAS, vi	
LISTA DE ESTAMPAS, viii	
LISTA DE QUADROS, xi	
SÍMBOLOS, xii	
1 INTRODUÇÃO, 1	
1.1 Apresentação -----	1
1.2 Objetivo e finalidade -----	2
1.3 Material e método -----	2
2 CONTEXTO GEOLÓGICO, 6	
2.1 Aspectos gerais -----	6
2.2 Embasamento da bacia do Araripe -----	7
2.3 Estratigrafia da bacia do Araripe -----	7
2.4 A Formação Santana -----	11
2.5 Arcabouço estrutural -----	13
2.6 Tectônica e sedimentação -----	14
2.6.1 Seqüência Paleozóica -----	15
2.6.2 Tectonosseqüência Pré-rifte -----	15
2.6.3 Tectonosseqüência Rifte -----	16
2.6.4 Tectonosseqüência Pós-rifte -----	16
2.7 Geologia do petróleo -----	16
3 ANÁLISE FACIOLÓGICA, 18	
3.1 Fácies -----	18
3.1.1 Fácies F1 -----	18
3.1.2 Fácies F2 -----	19
3.1.3 Fácies H -----	20
3.1.4 Fácies A1 -----	22
3.1.5 Fácies A2 -----	23
3.1.6 Fácies A3 -----	25

3.1.7 Fácies A4 -----	25
3.1.8 Fácies R -----	27
3.1.9 Fácies C -----	28
3.2 Sucessões de fácies -----	30
3.2.1 SF1 – sucessão de fácies 1 -----	30
3.2.2 SF2 – sucessão de fácies 2 -----	33
3.2.3 SF3 – sucessão de fácies 3 -----	34
4 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA, 37	
4.1 Superfícies estratigráficas -----	37
4.1.1 Superfície discordante -----	37
4.1.2 Superfície de regressão forçada -----	37
4.1.3 Superfície transgressiva -----	41
4.1.4 Superfície de inundação -----	43
4.1.5 Superfície de inundação máxima -----	45
4.2 Análises petrográficas e petrofísicas -----	47
4.3 Sistemas petrolíferos -----	51
4.3.1 Geradores potenciais -----	51
4.3.2 Reservatórios potenciais -----	51
4.4 Análogo recente -----	52
5 CONCLUSÕES, 53	
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 54	
ANEXO A – Perfil estratigráfico do poço 1PS-11-CE	
ANEXO B – Perfil estratigráfico do poço 1PS-12-CE	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O presente trabalho envolve o estudo de testemunhos de sondagem, através da análise faciológica de dois poços realizados pelo Projeto Santana – Etapa II, executado por um convênio entre o DNPM e a CPRM (Scheid *et al.*, 1978), na bacia do Araripe. O método é o usualmente empregado por geólogos em estudos de subsuperfície na etapa de exploração de hidrocarbonetos e, particularmente pela escala utilizada, na etapa de desenvolvimento. Isto constitui uma das motivações do trabalho. Outra motivação, e relevância do trabalho, trata-se do fato de o intervalo estratigráfico da Fm. Santana inserir-se no contexto da fase Rifte da margem continental brasileira, a qual apresenta problemas de correlação e compreensão de sua evolução geológica. Apesar de a bacia não apresentar nenhum indício de óleo, o estudo de sistemas petrolíferos pode contribuir com conhecimentos para a pesquisa hidrogeológica de aquíferos. Muito embora até o presente momento não haja tais indícios na bacia, houve recente menção de ocorrência de hidrocarbonetos na bacia do Rio do Peixe, uma bacia próxima e mais restrita, geograficamente, e inserida no mesmo contexto geotectônico e com preenchimento estratigráfico análogo ao da bacia do Araripe. Assim, não se pode dizer que uma bacia é completamente conhecida e estudada.

Um grande volume de trabalhos de paleontologia foram realizados na bacia desde o século XIX, com Spix & Martius (1823), tendo em vista seu rico e mundialmente conhecido acervo fossilífero. Porém, o trabalho pioneiro sobre a geologia desta bacia foi o de Small (1913), que subdividiu o registro sedimentar em quatro unidades (“conglomerado basal”, “arenito inferior”, “calcário Santana” e “arenito superior”). Foi somente na década de 1960 que outros estudos geológicos foram realizados por Beurlen (1962, 1963), os quais seguem até os dias atuais, (e.g Ponte & Ponte Filho, 1996). Mesmo com o incremento desses trabalhos, a bacia apresenta muitas lacunas de conhecimento geológico e controvérsias no que se refere a sua estratigrafia.

A bacia do Araripe apresenta uma importância econômica fundamental para a região, uma vez que contém diversas minas de gipsita e calcário, que são explotadas para indústrias de gesso, cimento e pedra ornamental. Outra grande

importância refere-se ao potencial hidrológico da bacia que abastece grande parte da população da região, onde merecem destaques os trabalhos pioneiros de Anjos (1963), Gasparly & Anjos (1964) e Barros (1963).

1.2 Objetivo e finalidade

Este trabalho tem como objetivos a análise faciológica, a qual conduz à interpretação de sistemas deposicionais, e a identificação de superfícies estratigráficas para correlação do intervalo superior da Fm. Santana, usualmente reconhecido como Mb. Romualdo.

A finalidade do estudo é avaliar, do ponto de vista exploratório, parâmetros geológicos de possíveis rochas reservatório no intervalo (e.g., geometrias, heterogeneidades, faciologia e permo-porosidade).

1.3 Material e método

O presente trabalho desenvolveu-se em três etapas.

1. Análise bibliográfica e seleção dos poços através dos compostos do projeto Santana II (1978), para o trabalho de descrição faciológica que foi feita em seguida. Nessa avaliação dos poços procurou-se aqueles que contivessem o intervalo de interesse (Fm. Santana). Como resultado, foram selecionados os poços 1PS-11-CE e 1PS-12-CE dentre quatorze, pois atravessam 280 m da formação, com boa recuperação dos testemunhos e perfilagem geofísica quase contínua de potencial espontâneo (SP) e raios-gama (RG).
2. Foi realizada uma visita técnica ao 4º Distrito do DNPM, em Recife (PE), onde estão estocados os testemunhos de sondagem do projeto Santana II. Os testemunhos foram descritos, na escala de 1:40, os quais ainda foram fotografados e amostrados; sendo 134 m do furo 1PS-11-CE e 226 m do furo 1PS-12-CE (360 m totais), em um intervalo de cinco dias. Obtiveram-se 29 amostras de rocha para análise petrográfica/petrofísica e 27 para análise palinológica. Porém, para o presente estudo, não foi utilizado todo o intervalo descrito, pois focou-se o intervalo que contém melhores características em termos de rochas reservatório (e.g., litologia e heterogeneidade), mais precisamente, o intervalo superior dos poços.
3. Após a aquisição dos dados de testemunhos, estes foram carregados no programa AppleCore[®] juntamente com os dados de perfis geofísicos, para a produção de perfis estratigráficos compostos dos poços (anexos 1 e 2). Foram editadas as fotografias feitas na visita técnica e selecionadas 8 amostras para confecção de lâminas petrográficas, das quais 4 foram analisadas. Com base nesses perfis, foi feita a caracterização de fácies

sedimentares, com interpretação das mesmas (processos). Após essa etapa, foi feita a caracterização de sucessões de fácies, as quais foram interpretadas no contexto de sistemas deposicionais, juntamente com caracterização de superfícies estratigráficas. No Laboratório de testemunhos do CENPES foram feitas análises de permeabilidade em 4 amostras de arenitos utilizando o permeâmetro de bancada PDPK-300tm.

O projeto SANTANA II (1978), o qual produziu o material de estudo, tinha como objetivo mapear, em sub-superfície, um horizonte de folhelhos pretos que se encontravam em um nível abaixo do intervalo que este trabalho se propõe a estudar (Fm. Rio da Batateira). O grande problema é que os furos foram realizados, em sua grande maioria, na parte oriental da bacia, onde os sedimentos do intervalo estudado não foram depositados e/ou preservados. Somente um furo, 1PS-11-CE (UTM – 9206760 N; 446610 S), foi furado na escarpa da Chapada do Araripe e outro, 1PS-12-CE (UTM – 9171780 N; 459780 E), foi furado na Chapada, ou seja, os aqui trabalhados e que possuem o intervalo de interesse (Figura 1). Juntamente com a testemunhagem foram realizados perfis geofísicos de raios-gama, eletrorresistividade e potencial-espontâneo.

Os perfis geofísicos do poço 1PS-11-CE possibilitaram uma extrapolação litológica em intervalos perdidos na perfuração e auxiliaram na compreensão genética do empilhamento sedimentar, pois estes possuem um maior detalhamento, ou seja, uma melhor escala. Já os perfis geofísicos do poço 1PS-12-CE não possuem um detalhamento ao qual se pudesse fazer extrapolações e nem implicações, no que se refere à gênese do empilhamento sedimentar.

Uma fácies, abordagem principal do trabalho, é aqui entendida como uma “massa de sedimentos ou de rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, geometria estratal, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis e atributos direcionais” (cf. Borghi, 2000). Dentre esses atributos foram utilizados a cor, litologia e estruturas sedimentares como critérios diagnósticos. Atributos como fósseis foram utilizados apenas como caráter descritivo e não diagnóstico, enquanto que a geometria estratal e atributos direcionais (paleocorrentes) não foram abordados no estudo, tendo em vista que se trabalhou com poços, que não permitem tais descrições. A descrição de cores foi feita com base na tabela de cores de Munselltm.

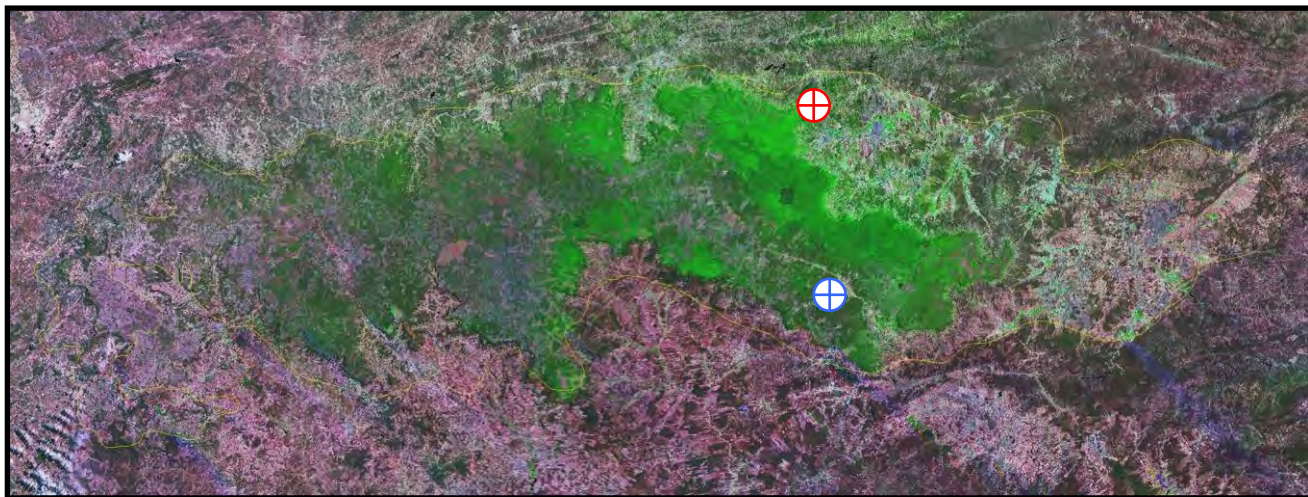


Figura 1 – Localização dos poços 1PS-11-CE (UTM – 9206760 N; 446610 S), em vermelho e 1PS-12-CE (UTM – 9171780 N; 459780 E), em azul na bacia do Araripe (<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>).

As sucessões de fácies são compreendidas como relações unidimensionais entre fácies, ou seja, uma relação específica de seqüenciamento linear no espaço, usualmente elaborada e expressa por um perfil sedimentológico vertical (*cf.* Borghi, 2000). Tais sucessões foram reconhecidas nos perfis estratigráficos realizados a partir do Princípio de Walther.

O reconhecimento de superfícies estratigráficas está relacionado à prática da moderna Estratigrafia de Seqüências (Posamentier & Vail, 1988). Assim, foram identificadas superfícies discordante, de regressão forçada, transgressiva, de inundação e inundação máxima.

Uma superfície discordante é caracterizada por uma superfície que separa estratos mais novos de mais velhos, ao longo da qual existe um truncamento erosional sub-aéreo ou exposição sub-aérea, com um significado indicativo de hiatos (Posamentier & Vail, 1988).

Uma superfície de regressão forçada é caracterizada por uma queda do nível de base, a qual registra uma brusca migração de fácies costeiras e de águas rasas em direção ao centro da bacia e uma regressão da linha de costa (Posamentier *et al.*, 1992).

Uma superfície transgressiva é caracterizada por uma rápida subida do nível de base, a qual registra uma superfície que separa um trato de sistema de mar baixo (abaixo) de um trato de sistema transgressivo (acima) (Van Wagoner *et al.*, 1990).

Uma superfície de inundação é caracterizada por uma superfície que separa

estratos mais novos de mais velhos, através do qual exista evidências de uma abrupta ingressão de águas profundas (Van Wagoner *et al.*, 1990).

E por fim, uma superfície de inundação máxima é caracterizada por uma superfície que separa um trato de sistema transgressivo (abaixo) de um trato de sistema de mar alto (acima) (Van Wagoner *et al.*, 1990).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Aspectos gerais

A bacia do Araripe está localizada entre os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, e representa a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, com aproximadamente 9.000 km² de área e 1.700 m de espessura (Figura 2). Na classificação de Klemme (1980), trata-se de uma bacia tipo 2 A.

Geomorfologicamente divide-se em Chapada do Araripe e Vale do Cariri e sua evolução está relacionada com a fragmentação do paleocontinente do Gondvana e a abertura do oceano Atlântico Sul.

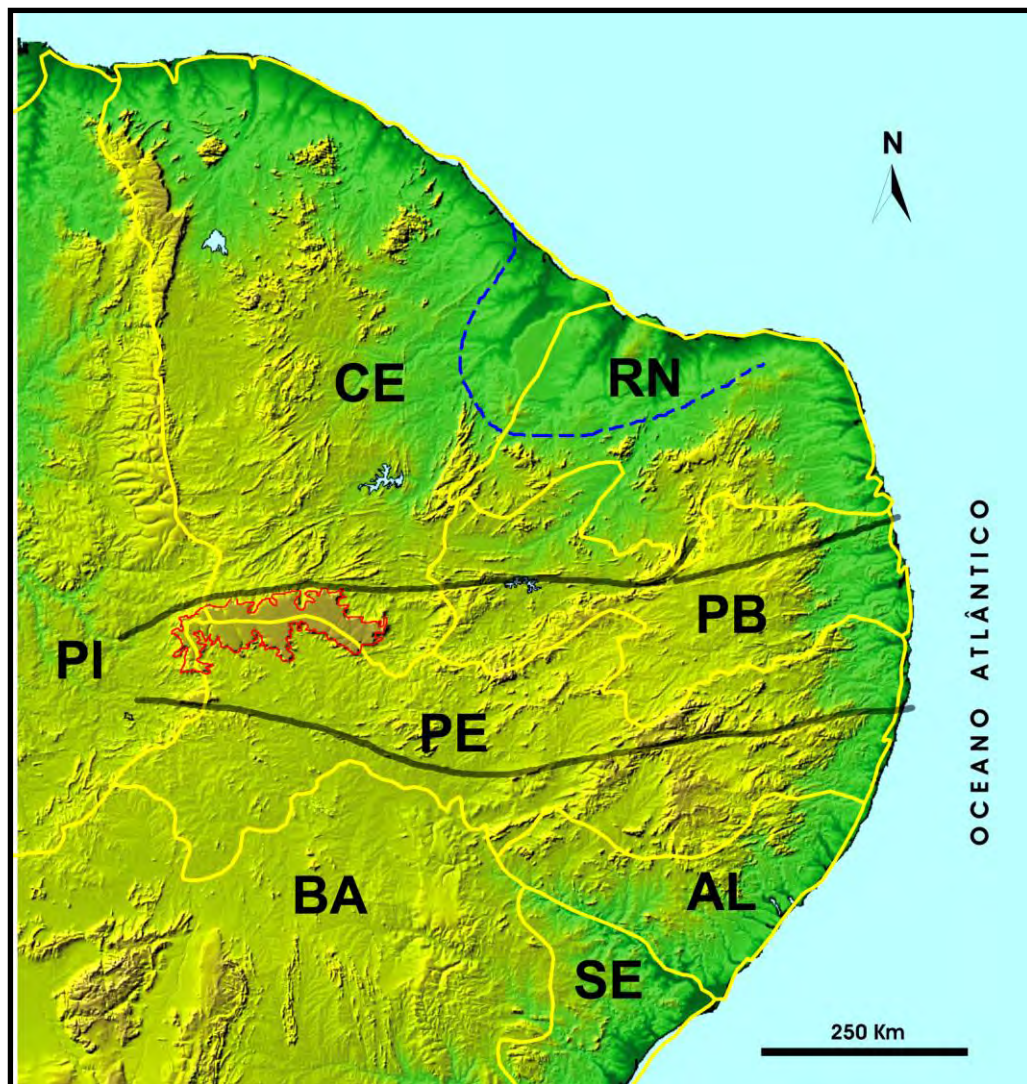


Figura 2 – Localização da bacia do Araripe (Neumann, 2004).

2.2 Embasamento da bacia do Araripe

A bacia do Araripe está sobre o embasamento Pré-cambriano, representado pela Região de Dobramentos do Nordeste, ou, mais conhecidamente, Província Borborema. Esta Província possui uma estrutura muito complexa, onde se observam expressivos conjuntos de fraturas e falhas que atravessam uma região de intensos dobramentos e com intrusões de batólitos ígneos.

A Província Borborema se divide em dois domínios predominantemente litológicos: os terrenos metassedimentares e metavulcanossedimentares e os terrenos gnáissico–migmatíticos–graníticos (Santos & Brito Neves, 1984).

2.3 Estratigrafia da bacia do Araripe

A bacia do Araripe é constituída de quatro seqüências estratigráficas, geneticamente distintas, limitadas por discordâncias, segundo Assine (1992a) (Figura 3). Em termos litoestratigráficos, a bacia possui diversas propostas de subdivisão (Figura 4).

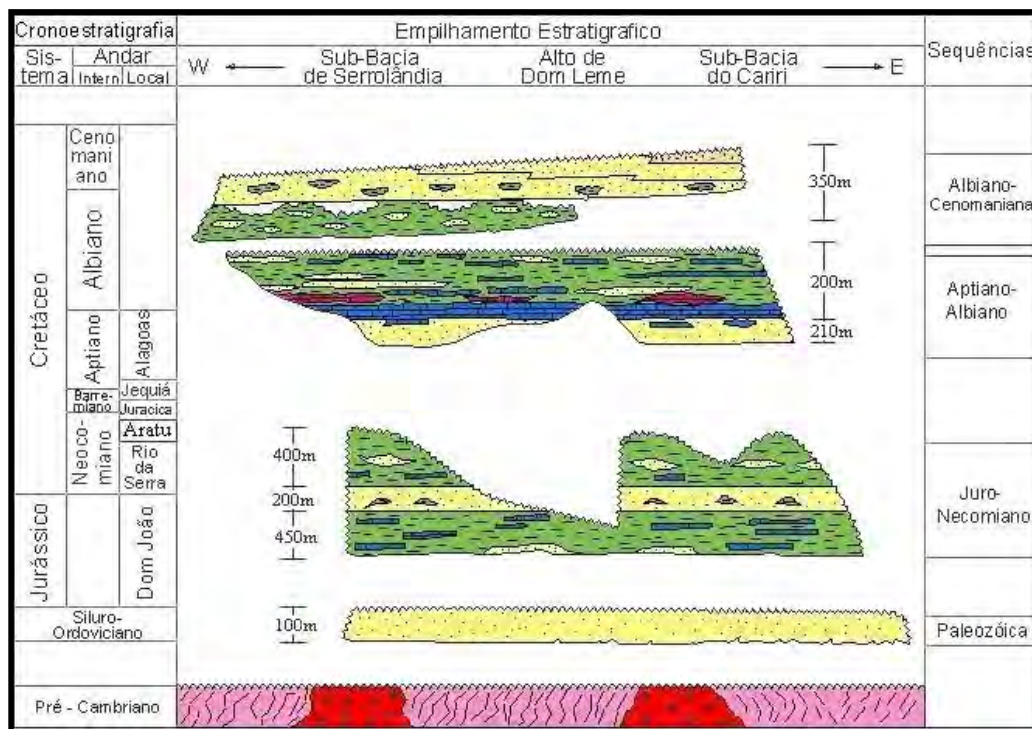


Figura 3 – Coluna estratigráfica da bacia do Araripe (modificado de Assine, 1992 a).

Small (1913)	Beurlen (1962)	Gaspary & Anjos (1964)	Braum (1966)	Beurlen (1971)	Mabesoone & Tinoco (1973)	Silva (1976)	Moraes <i>et al.</i> , (1976)	Lima (1978)	Silva (1983, 1986)	Ghignone <i>et al.</i> , (1986)	Assine (1994)	Ponte & Appi (1990)	Martill (1993)	Neumann (1999) e Neuman & Cabrera (1999)
Arenito Superior	Formação Eui	Formação Feia Nova	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui Superior	Formação Eui	Formação Eui	Formação Eui
Calcário Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana	Formação Santana
Arenito Inferior	Formação Missão Velha	Formação Missão Velha	Formação Sergi	Formação Missão Velha	Formação Sergi	Formação Sergi	Fácies Arenosa	Formação Sergi	Formação Sergi	Formação Missão Velha	Formação Abaiara	Formação Missão Velha	Formação Missão Velha	Formação Missão Velha
Arenito Conglomerático	Formação Cariri	Formação Mauriti	Formação Tacaratu	Formação Cariri	Formação Tacaratu	Formação Tacaratu	Formação Cariri	Formação Tacaratu	Paleozóico	Formação Mauriti	Formação Cariri	Formação Mauriti	Formação Cariri	Formação Mauriti

Figura 4 – Interpretações litoestratigráficas da bacia do Araripe (Neumann, 2004).

Esta bacia pode ser descrita, de maneira genérica, como sendo formada por dois compartimentos sobrepostos com estilos estruturais muito diversos. Na parte inferior, encontra-se uma zona de riftes, encravada no embasamento precambriano, e na parte superior, uma cobertura tabular sub-horizontal, encobrindo discordantemente, as bacias do tipo rifte, e as áreas adjacentes do embasamento cristalino (Ponte & Ponte Filho, 1996) (Figura 5).

A zona de rifte é composta pela Fm. Mauriti e pelo Gr. Vale do Cariri, estando neste grupo as formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara. Estas unidades afloram, de uma maneira geral, na Sub-bacia Leste. Pois na Sub-bacia Oeste elas estão recobertas pelas unidades mesocretáceas, que formam a Chapada do Araripe.

A primeira unidade, que está sobre o embasamento é a Fm. Mauriti, que apresenta grandes controvérsias quando se fala de sua idade. Tendo em vista que é uma formação composta basicamente por arenitos brancos, por vezes quartzosos e por vezes feldspáticos, com espessura que não chegam a uma dezena de metros e que são afossilíferos. Fazendo assim com que sua idade siluro-ordoviciano seja estimada utilizando correlações com as bacias vizinhas (bacias do Recôncavo, Tucano, Parnaíba entre outras). São interpretadas como originadas em sistemas

fluviais entrelaçados, com paleocorrentes para norte-noroeste e com escassez acentuada da fração pelítica de planície de inundação (Assine, 1992a).

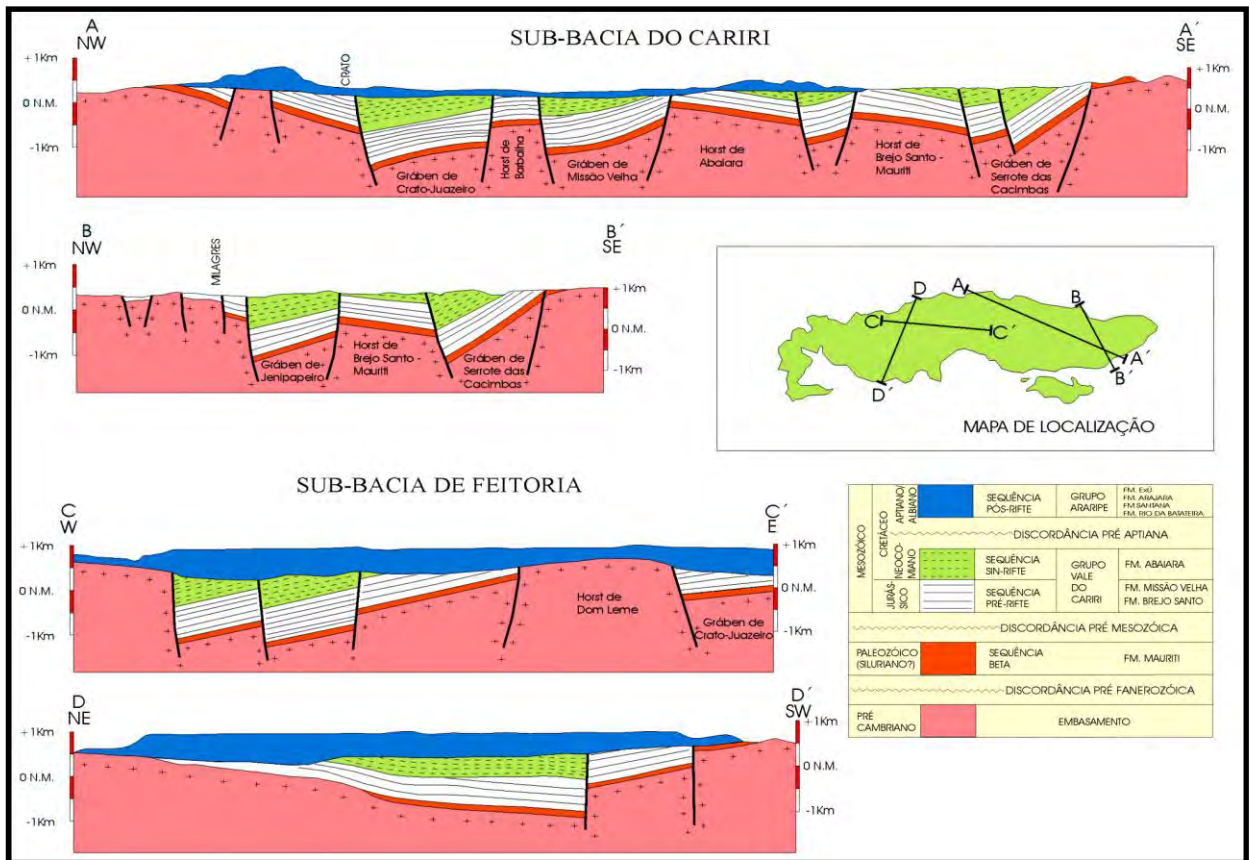


Figura 5 – Seção geológica da bacia do Araripe ilustrando a seqüência rifte com a cobertura tabular sub-horizontal (Modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).

Discordante a unidade anterior se encontra a Fm. Brejo Santo, que é correlata a Fm. Aliança (bacia do Recôncavo) e é composta por folhelhos e argilitos vermelhos, silticos, calcíferos, com camadas decimétricas de arenitos finos. Esta unidade é rica em ostracodes e conchostráceos, e por vezes é possível a identificação de carapaças de crustáceos típicos do andar Dom João. Como esta formação não possui afloramentos extensos, se estima sua espessura de aproximadamente 430 m pelo intervalo identificado no poço 2-AP-1-CE. Como se encontram registros não-marinhos, se atribui este intervalo como sendo de origem continental e em ambientes caracterizados por condições oxidantes, tendo em vista a formação de camadas vermelhas.

A unidade seguinte, a Fm. Missão Velha, é correlata à Fm. Sergi (bacia do Recôncavo) e é composta basicamente por arenitos, com lentes conglomeráticas e

os famosos troncos silicificados. Esta unidade, que possui cerca de 200 m, se encontra concordante aos folhelhos da Fm. Brejo Santo e apresentam um empilhamento sedimentar progradante, o que os faz ser interpretados como sendo formados por ciclos fluviais.

Subindo na estratigrafia se observa a Fm. Abaiara, que é composta por folhelhos sílticos e siltitos vermelhos na base e por intercalações laterais descontínuas de camadas decimétricas de arenitos finos com lâminas de carbonatos argilosos. Esta unidade possui ostracodes e, mais precisamente possui ostracodes típicos (*Cypridea sellata e candeimensis*) do andar Rio da Serra. Ela apresenta uma espessura de aproximadamente 130 m e se encontra concordante a unidade anterior. Sua interpretação é de que foi formada em sistemas de lagos rasos com sistemas fluviais (Assine, 1992b).

A cobertura tabular sub-horizontal do meso-cretáceo é composta pelo Gr. Araripe, estando contidas neste grupo as formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. Estas unidades afloram nas escarpas da Chapada do Araripe e em alguns pequenos pontos da Sub-bacia Leste.

A primeira unidade da seqüência aptiana–albiana com espessura aproximada de 200 m é a Fm. Rio da Batateira, que é constituída predominantemente por arenitos finos a médios, com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e níveis delgados de conglomerados. Esta unidade, que é considerada discordante à anterior, é de idade aptiana final, obtida a partir da análise de palinórfos (Farina, 1974; Lima & Perinotto, 1984; Hashimoto *et al.*, 1987). Esta unidade é interpretada como sendo formada por sistemas flúvio-lacustre com paleocorrente para leste-sudeste (Assine, 1992 b), não só pela litologia e estruturas sedimentares, mas por conterem fósseis continentais. E sua seção tipo é representada pela seção do rio da batateira.

Continuando na estratigrafia tem-se a Fm. Santana, que é o foco do presente estudo e que será mais detalhada no subitem posterior. Ela é dividida em três membros, sendo eles Crato, Ipubí e Romualdo. O primeiro é caracterizado por ser formado por calcários, folhelhos cinza-escuros a pretos e ritmitos folhelho–calcário, com um abundante acervo fóssilífero. Este membro é interpretado como sendo formado por uma ampliação do sistema lacustre. Logo acima se encontram os evaporitos do Mb. Ipubí, que são encontrados em lentes, com aproximadamente 30

m de espessura, e são interpretados como sendo formados por um sistema costeiro subaquoso. Por fim se tem o Mb. Romualdo, que é formado por uma sucessão representativa de arenitos conglomeráticos, com uma grande quantidade de nódulos calcários fossilíferos na base e um afinamento para o topo, encerrando em um folhelho preto.

Gradacionalmente a unidade anterior se observa a Fm. Arajara, que composta por avermelhados arenitos, siltitos e argilitos com marcas de ondulação. Esta formação, que é datada do Albiano por estudos palinológicos (Lima, 1978), possui uma espessura aproximada de 100 m e é interpretada como sendo formada por sistemas lacustres rasos assoreados.

Com uma superfície erosional e uma discordância de baixo ângulo a Fm. Exú encerra a estratigrafia da bacia. Esta é formada por um grande pacote, com espessura média de 200 m, de arenitos vermelhos friáveis intercalados com lentes de arenitos muito grossos a conglomerados. Interpretada como sendo formada por sistemas fluviais este pacote de sedimentos vem se mostrando afossilífero, sendo feita uma tentativa de os posicionar no Albiano–Cenomaniano.

2.4 A Formação Santana

A Fm. Santana é o intervalo mais complexo desta bacia, tendo em vista que ela representa a fase drifte da mesma, ou seja, ela compreende uma grande variedade faciológica proveniente da abertura do Atlântico Sul. É vasta a quantidade de trabalhos sobre esta formação, principalmente no que se refere a litoestratigrafia. O presente estudo tratará, inicialmente, esta unidade como sendo dividida em três membros, como Beurlen (1971). A parte basal desta formação é representada pelo Mb. Crato, que é composto por folhelhos papiráceos calcíferos, interestratificados com arenitos, calcários laminados e ritmítos argilo-carbonáticos, sendo estes bem detalhados por Neumann (1999). Estes folhelhos são freqüentemente calcíferos devido à abundância de carapaças de ostracodes e possuem uma grande variedade fossilífera, contendo conchostráceos, fragmentos vegetais lenhosos carbonizados e pequenos peixes e insetos. Esta unidade possui, para alguns autores, uma continuidade lateral com os arenitos da Fm. Rio da Batateira. Os mesmos a

interpretam como sendo formada por uma ampliação do sistema lacustre, porém com sedimentos terrígenos chegando ao “lago Araripe”.

Sobre esta unidade anterior se encontram evaporitos, sendo estes muito bem detalhados por Silva (1986a), que são denominados como Mb. Ipubí. Em sua maioria estes evaporitos possuem sua química se restringindo a sulfatos de cálcio, principalmente sob a forma de gipsitas laminadas primárias. Estas camadas de gipsita, que alcançam espessura máxima de 30 m, são dispostas em lentes e possuem um contato lateral com folhelhos cinza-esverdeados, carbonatos e arenitos. Com estas características e com a existência de ostracodes não-marinhos em folhelhos pirobetuminosos pretos, acredita-se em uma não existência de uma bacia evaporítica marinha ampla e contínua. Porém não se pode restringir a bacia a continental, tendo em vista que foram encontradas associações paleontológicas marinhas (Lima, 1978). Existem algumas descontinuidades nesta unidade, que são interpretadas, por alguns autores como Assine (1992a), como sendo apenas resultados de exposições subaéreas locais. Porém possuem evidências, relatadas por Silva (1986b), de que tenha ocorrido uma superfície de carstificação no topo deste membro. A mesma teve como evidências cunhas de argilitos entalhados na gipsita, em uma pedreira na porção oeste da bacia e um nível de calcrétes, em um afloramento na porção leste da mesma.

O último membro desta formação denomina-se Romualdo, que é representado por um pacote de arenitos intercalados com siltitos e argilitos na base e folhelhos calcíferos esverdeados, com concreções carbonáticas, para o topo. Esta unidade possui fósseis de moluscos marinhos (Beurlen, 1963), dinoflagelados e foraminíferos (Lima 1978, Arai & Coimbra 1990) e, principalmente, equinóides (Beurlen 1966), o que faz com que seja inquestionável quanto ao registro de uma ingressão marinha. Mais para o topo desta unidade, encontram-se fósseis de água doce, como conchostráceos e moluscos (Beurlen, 1971), fazendo com que se interprete como episódica a ingressão marinha.

Contudo, o intervalo estudado tem sido motivo de inúmeras divergências no que se refere ao seu limite superior, uma vez que alguns autores posicionam o intervalo superior da Fm. Santana como pertencente ao Mb. Romualdo e, outros, consideram-no, como uma formação independente, denominada Arajara (Ponte & Appi, 1990). O presente trabalho não segue esta proposta, incluindo o intervalo

como pertencente ao Mb. Romualdo, como o fizeram Scheid *et al* (1978) e Silva (1983).

A reconstrução paleogeográfica desta formação possui grandes controvérsias, tendo sido já proposto três sentidos para a ingressão marinha: a partir da bacia de Sergipe-Alagoas (Beurlen, 1971; Mablesone & Tinoco, 1975), a partir da bacia Potiguar (Beurlen, 1962; Lima, 1978; Petri, 1987; Machado *et al.*, 1989) e a partir da bacia do Parnaíba (Braun, 1966; Beurlen & Mablesone, 1969; Medeiros, 1990).

2.5 Arcabouço estrutural

Com o auxílio do mapa gravimétrico Bouguer de Oliveira (1983) foi possível se observar uma divisão desta bacia em duas sub-bacias, sendo elas a sub-bacia Leste ou do Cariri e sub-bacia Oeste ou de Feitoria (Figura 6).

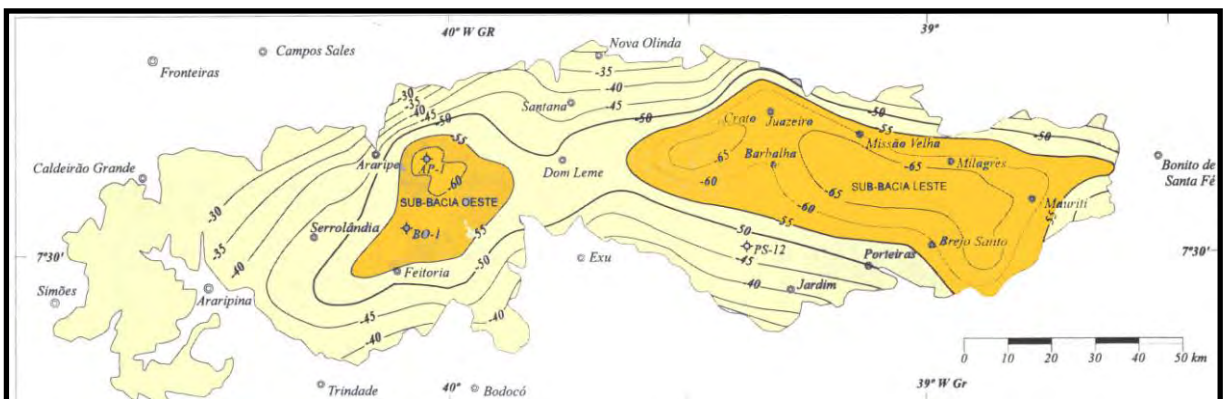


Figura 6 – Mapa gravimétrico Bouguer da bacia do Araripe, em intervalos de 5 miligals (Modificado de Oliveira, 1983).

Também com dados gravimétricos, Rand & Manso (1984) calcularam espessuras totais da ordem de 2.400 m. Posteriormente, com os contratos de riscos, seis empresas assinaram contratos com a PETROBRÁS realizando assim vários trabalhos na bacia. Grandes trabalhos como o mapeamento da bacia na escala de 1:100.000, o levantamento de linhas sísmicas de reflexão e a perfuração de um poço até o embasamento (2-AP-1-CE) permitiram uma nova avaliação da espessura da bacia que ficou em aproximadamente 1.700 m.

Os conjuntos de falhas e fraturas se dividem em dois grupos: o primeiro é denominado como Zona Transversal e possui uma direção principal Este-Oeste,

estendendo se desde o litoral brasileiro até os estados da Paraíba e Pernambuco. Esta zona é limitada ao sul pelo lineamento de Pernambuco e ao norte pelo lineamento de Patos ou Paraíba, que, por sua vez, são os limites da bacia. O segundo é um conjunto de falhas que possuem direção principal Nordeste-Sudoeste, como por exemplos o lineamento do Jaguaribe e a falha de Porto Alegre, que atuaram desde o pré-cambriano até o Eocretáceo no interior da bacia, fazendo com que esta seja toda estruturada em grábens e *horsts* (Figura 7). Outro conjunto, este menos intenso, possui direção Noroeste-Sudeste e é representado pelas falhas de Missão Velha e Porteiras, sendo também responsáveis para a estruturação mencionada anteriormente.

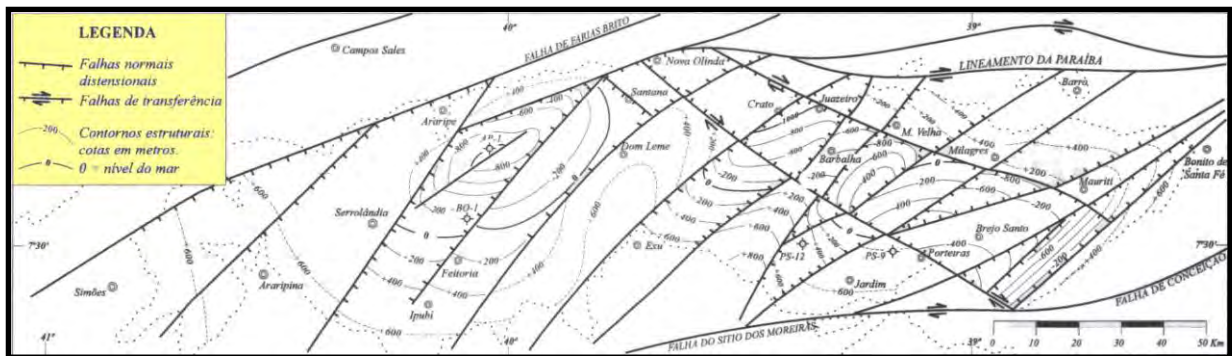


Figura 7 – Mapa estrutural do embasamento da bacia do Araripe (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).

2.6 Tectônica e sedimentação

O pacote sedimentar que preenche a bacia do Araripe compreende quatro tectonosseqüências, definidas como “associações de estratos, geneticamente relacionados, espaciais e temporalmente, depositados durante uma fase específica da atividade tectônica de uma bacia e limitada por discordâncias regionais”, segundo o conceito de Silva (1993). São elas: seqüência Paleozóica, seqüência Juro-Neocomiana, seqüência Aptiano–Albiana e seqüência Albiano–Cenomaniana, (Figura 3).

O pacote sedimentar mesozóico, desta bacia, também pode ser dividido conforme estágios evolutivos do rifteamento do paleocontinente Gondvana, em “Pré-rifte”, “Sin-rifte” e “Pós-rifte”, os quais se resultam nas tectonosseqüências Pré-,

Sin- e Pós-rifte, respectivamente (Figura 8). Tal evolução tectonosedimentar será, neste trabalho, baseada no trabalho de Ponte & Ponte Filho (1996).

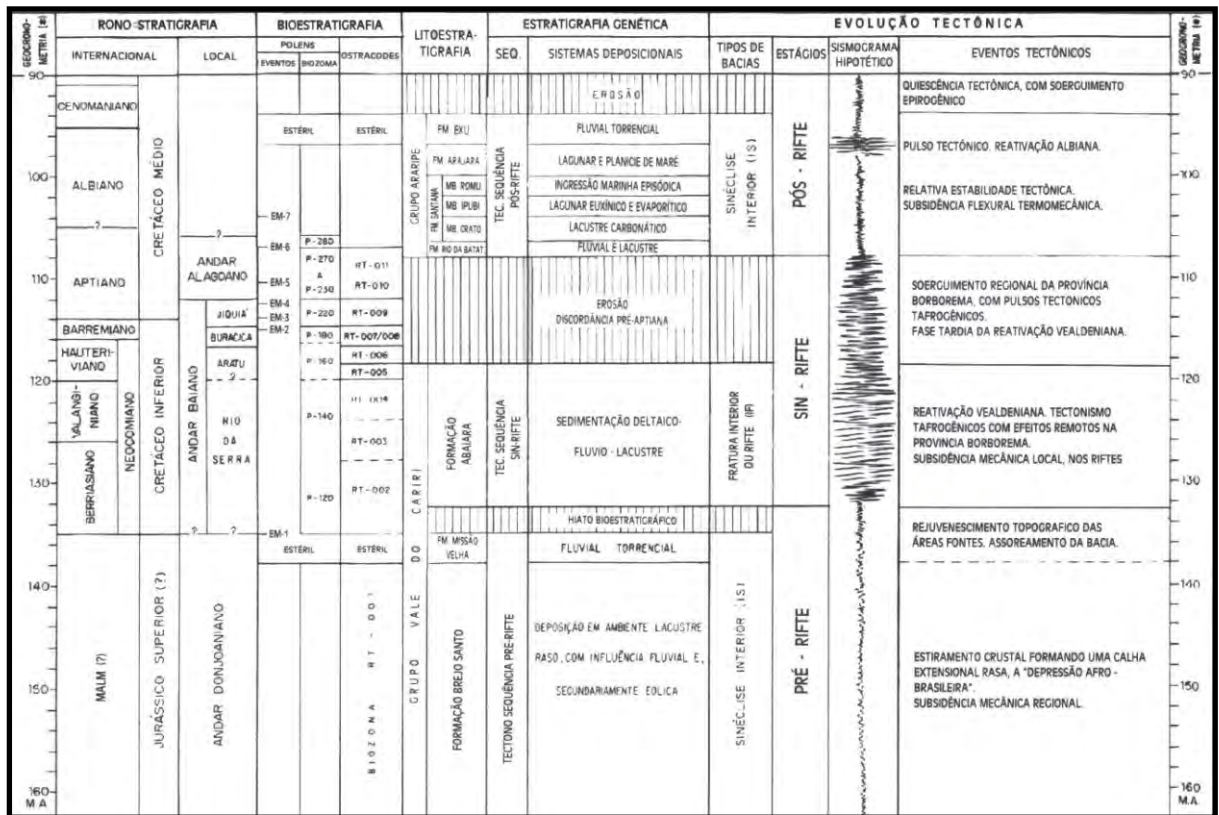


Figura 8 – Quadro sinótico da evolução tectonosedimentar do intervalo mesozóico da bacia do Araripe (Ponte & Ponte Filho, 1996).

2.6.1 Seqüência Paleozóica

A formação de grandes sinéclises intracratônicas no Paleozóico, entre elas a do Parnaíba, deu-se com a consolidação e estabilização do cráton brasileiro. Estas sinéclises, estabilizadas tectonicamente, foram preenchidas por coberturas sedimentares. Para alguns autores, como Braun (1966), a bacia do Araripe, que se encontra na sinéclise do Parnaíba, possui a Fm. Mauriti, que são registros desta cobertura.

2.6.2 Tectonosseqüência Pré-rifte

O espaço para acomodação desta seqüência é o resultado de um estiramento crustal, formando uma calha extensional rasa (Depressão Afro-brasileira), sendo

esta formada por uma subsidência mecânica regional. Com este evento tectônico foram depositados sedimentos correspondentes à Fm. Brejo Santo. E por fim, ocorreu um rejuvenescimento topográfico das áreas fontes de sedimentos, fazendo com que a bacia fosse assoreada pelos sedimentos da Fm. Missão Velha.

2.6.3 Tectonosseqüência Rifte

A Reativação Wealdeniana, que é um reflexo dos esforços da abertura do Atlântico Sul, proporcionou um tectonismo tafrogênico na Província Borborema, onde está inserida a bacia aqui estudada. O resultado disto foi uma subsidência mecânica nos riftes, fazendo com a mesma mudasse sua configuração, passando de uma bacia do tipo sinéclise interior para uma bacia de rifte. Onde a Fm. Abaiara registra esta mudança na bacia. Posteriormente, neste mesmo estágio, ocorreu um soerguimento regional na Província Borborema, com pulsos tectônicos tafrogênicos, interpretados como uma tardia Reativação Wealdeniana. Este soerguimento propiciou erosões, representado pela discordância pré-aptiana.

2.6.4 Tectonosseqüência Pós-rifte

Neste ultimo estágio a bacia passou por uma relativa estabilidade tectônica, sofrendo apenas uma subsidência flexural termomecânica, sendo depositados então um espesso pacote de sedimentos correlato às formações Rio da Batateira, Santana e Arajara. No final deste estágio ocorreu um grande pulso tectônico conhecido como Reativação Albiana, formando uma nova discordância na bacia. Após este pulso a bacia passou por uma quiescência tectônica com soerguimentos epirogênicos, fazendo assim com que fosse possível a deposição de sedimentos pertencentes a Fm. Exu.

2.7 Geologia do petróleo

A bacia do Araripe não é reconhecida pela ANP (Agência Nacional do Petróleo) como sendo uma bacia de frente exploratória. Sendo assim, esta não possui muito interesse direto na “Indústria do Petróleo”, fazendo com que haja um

esquecimento da mesma. Durante as últimas décadas a PETROBRÁS, em convênios com outras instituições, realizou alguns trabalhos, todos de caráter estratigráfico e estrutural, de reconhecimento da bacia, como ,por exemplo, o levantamento de 10 linhas sísmicas e perfuração de poços (2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE) (Figura 9).

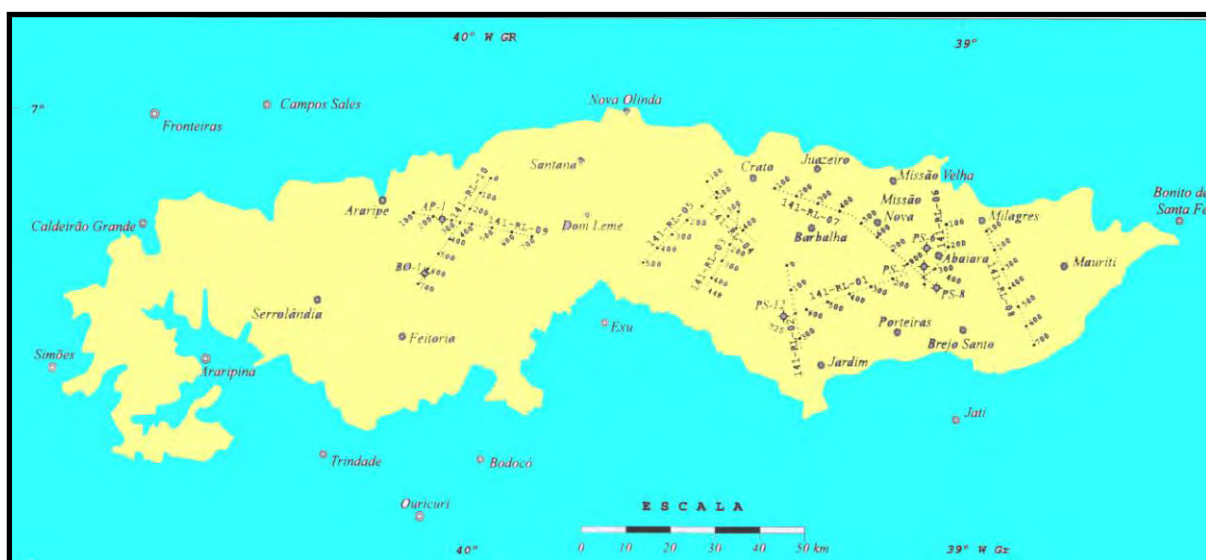


Figura 9 – Mapa de localização das linhas sísmicas e poços feito pela Petrobras na bacia do Araripe (modificado de Ponte & Ponte Filho, 1996).

Apesar de importantes, tais estudos ainda não são suficientes para a compreensão tectonoestratigráfica da bacia. Vale mencionar a importância secundária desta bacia, onde se tem a mesma situada em um ponto estratégico, ou seja, localizada entre as bacias continentais do Parnaíba, Potiguar, Recôncavo–Tucano–Jatobá, todas de frente exploratória. Bacias estas que apresentam uma história geológica evolutiva semelhante à bacia do Araripe e não possuem completo entendimento quanto aos seus sistemas petrolíferos, fazendo assim com que a bacia aqui estudada seja de grande importância. A bacia do Araripe possui muitos dos componentes que são fundamentais para a formação de um sistema petrolífero. Porém, se estes sistemas existem na bacia, ainda não foram descobertos. Um sistema especulativo seria os folhelhos lacustres da base da Fm. Santana como geradores, os arenitos da base do Mb. Romualdo (Fm. Santana) como reservatórios e os folhelhos deste mesmo membro, sendo estes na parte superior, como selantes. E todo este sistema compondo uma trapa estrutural, tendo em vista a estruturação em grabens e horst que a bacia contém.

3 ANÁLISE FACIOLÓGICA

3.1 Fácies

Neste trabalho foi possível a identificação de nove litofácies sedimentares (Quadro 1), as quais serão tratadas apenas por “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”.

Quadro 1 – Síntese das fácies (litofácies) descritas para a parte superior da Formação Santana.

CODIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
F1	Folhelho cinza a verde ou marrom	Decantação; redutor
F2	Siltito e argilito cinza a verdes ou marrons	Decantação ou tração de baixa energia; redutor
H	Arenito e siltito com <i>wavy</i> , <i>flaser</i> e <i>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 (<i>sand-debris</i>)
R	Paraconglomerado maciço	Fluxo de detritos (coesivo)
C	Calclutito ou calcarenito bioclástico	Decantação de sedimentos carbonáticos finos ou bioclastos

3.1.1 Fácies F1

“Folhelhos e margas”: Ponte & Appi (1990)
 “Folhelhos calcíferos esverdeados”: Assine (1992a)
 Fácies F1, *pro parte*: Miall (1996)

Diagnose – Folhelho cinza a verde ou marrom.

Discussão – Esta fácies, microclástica, é composta por folhelho argiloso, de cor variando de cinza a verde (2N, 8N, 5Y-6/1 e 5Y-4/1) (Figura A, Estampa I) ou marrom (5YR-5/2, 10YR-4/2 e 10YR-8/6, 10YR-2/2) (Figura B, Estampa I), ambos

com laminação plano-paralela e, por vezes, calcíferos. A cor cinza a verde da fácies ocorre tipicamente no intervalo 2–20 m do poço 1PS-11-CE e 142–146 m do poço 1PS-12-CE; já a cor marrom nesta fácies ocorre tipicamente no intervalo 208–212m do poço 1PS-12-CE.

Foram encontrados fragmentos de peixes e plantas, bivalvíos e ostracodes.

Alguns folhelhos, calcíferos, são interpretados por muitos, na literatura, como sendo margas. Contudo, uma marga possui por definição uma composição de 50% de lama terrígena e 50% de lama carbonática, o que não corrobora com o que foi observado nos testemunhos. Tal característica calcífera em grande parte dá-se pela presença de microfósseis (ostracodes) e, em parte, por cimentação.

Uma estrutura cone-em-cone foi observada na profundidade de 143 m do poço 1PS-12-CE. Também foram observados nódulos calcíferos de aproximadamente 4 cm na profundidade de 4,2 m do poço 1PS-11-CE.

Esta fácies ocorre com uma frequência de 31% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 25% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados esta fácies ocorre com uma frequência de 35% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 20% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Processos de decantação em um ambiente subaquoso redutor, de baixa energia, tendo em vista a granulometria, estrutura e sua coloração. A presença de fragmentos de plantas indica aporte de sedimentos continentais; enquanto que os peixes, bivalvíos e ostracodes normalmente são associados à ambientes lacustres com alguma comunicação com o mar e proximidade continental (Viana, 1990).

3.1.2 Fácies F2

Fácies Fsm: Miall (1996)

Diagnose – Siltito ou argilito, maciço, cinza a verde ou marrom.

Discussão – Fácies microclástica composta por siltito ou argilito, maciço, de cor cinza a verde (5N, 5Y-6/1) (Figura C, Estampa I) ou marrom (5YR-5/2, 10YR-6/2, 10YR-8/2, 10YR-8/6). Ambos podem apresentar uma leve laminação plano-paralela

e, por vezes, são calcíferos. As cores de cinza a verde ocorrem tipicamente no intervalo 10,7-11,3 m do poço 1PS11-CE; já a marrom, tipicamente no intervalo 188–189 m do poço 1PS-12-CE.

Foram encontrados com fragmentos de peixes e plantas (Figura D, Estampa I), bivalvíos e ostracodes. Ocorre siltito com intraclastos de argilito na profundidade 200,50m do poço 1PS-12-CE.

Esta fácies ocorre com uma frequência de 7% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 17% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados esta fácies ocorre com uma frequência de 8% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 18% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Processos de decantação ou tração de baixa energia em um ambiente subaquoso redutor, tendo em vista a granulometria, estrutura e sua coloração. A presença de fragmentos de plantas indica aporte de sedimentos continentais; enquanto que os peixes, bivalvíos e ostracodes normalmente são associados à ambientes lacustres com alguma comunicação com o mar e proximidade do continental (Viana, 1990).

3.1.4 Fácies H

Fácies Fr, *pro parte*: Miall (1996)

Diagnose – Arenito e siltito em acamamentos *wavy, flaser e linsen* .

Descrição – Esta fácies apresenta normalmente cor cinza a verde (3N; 8N, 5Y-6/1) ou marrom (10YR-6/6, 10YR-8/6). Nesse acamamento, os arenitos apresentam laminação cruzada, por vezes cavalgante (Figura A, Estampa II), e bioturbação (Figura B, Estampa II), com intensidade de icnotrama variando de 2 a 3 (Droser & Bottjer, 1989).

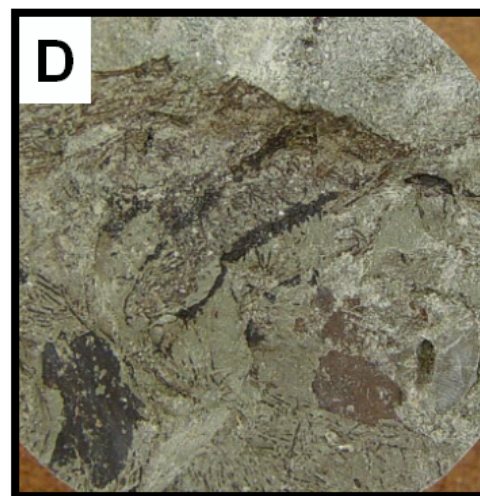
Estampa I – Fácies de finos F1 e F2.

Figura A – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho cinza-esverdeado. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 145,20 m.

Figura B – Aspectos da fácies F1 mostrando folhelho marrom . Poço 1PS-12-CE, profundidade de 211 m.

Figura C – Aspectos da fácies F2 mostrando argilito cinza-esverdeado. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 11 m.

Figura D – Aspectos da fácies F2 mostrando fragmentos de vegetais. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 11,20 m.



0 2cm

Ocorre, tipicamente, no intervalo 21–21,45 m do poço 1PS-11-CE. Bioturbações são observadas no intervalo 25–25,3 m do poço 1PS-11-CE, onde a mesma esta associada à laminação cruzada, por vezes cavalgante.

Esta fácies ocorre com uma freqüência de 7% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados esta fácies ocorre com a mesma freqüência. No poço 1PS-12-CE, aparece com muito baixa freqüência (1%), bioturbada .

Interpretação – Alternância de processos subaquosos de tração por corrente (areias laminadas) e decantação (silte), em taxas variáveis. A bioturbação presente é formada por ação de organismos no substrato em ambientes subaquosos rasos.

3.1.4 Fácies A1

Fácies Sr: Miall (1996)

Diagnose – Arenito com laminação cruzada cavalgante.

Discussão – Fácies formada por arenito muito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, de cor cinza a (8N) (Figura C, Estampa II) ou marrom a laranja (10YR-8/6, 10YR-8/6) (Figura D, Estampa II), com estrutura sedimentar do tipo laminação cruzada cavalgante, por vezes, calcíferos.

Esta fácies ocorre tipicamente no intervalo 51,8–52,2 m do poço 1PS-11-CE. Por vezes, esta associada a bioturbação e possui fragmentos de vegetais, ostracodes, e intraclastos de argilito.

Esta fácies ocorre com uma freqüência de 9% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 7% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados, esta fácies ocorre com uma freqüência de 10% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 8% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Tração subaquosa em regime de fluxo inferior juntamente com decantação, em fluxos desacelerantes, os quais produziram ondulações cavalgantes com ângulos críticos ou supercríticos. Pode ser interpretada como fluxos hiperpicnais, tendo em vista ainda que possui fragmentos de vegetais. Além disso,

pelo fato de não se observar o seqüenciamento de estruturas de Bouma, a interpretação de um fluxo turbidítico foi descartada.

3.1.5 Fácies A2

Fácies Sp: Miall (1996)

Diagnose – Arenito com estratificação cruzada de porte pequeno.

Discussão – Fácies formada por arenito muito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, de cor cinza (8N) ou variando de marrom a laranja (10YR-6/6, 10YR-8/6) com estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada de porte pequeno (Figura A, Estampa III), por vezes, calcíferos.

Esta fácies ocorre tipicamente no intervalo 175,8–177,5 m do poço 1PS-12-CE. Por vezes, foi observada contendo fragmentos de peixes e detritos vegetais (Figura B, Estampa II) e com intraclastos de argilito (Figura C, Estampa III).

Esta fácies ocorre com uma freqüência de 12% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 20% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados, esta fácies ocorre com uma freqüência de 24% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 22% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Tração subaquosa acompanhada de pouca decantação, em regime de fluxo inferior, pela qual houve mais migração que cavalgamento de ondulações, com ângulos subcríticos. A presença de intraclastos revela processos erosivos associados à gênese da fácies. Outro aspecto importante é a presença de detritos vegetais que denota a proximidade de áreas continentais.

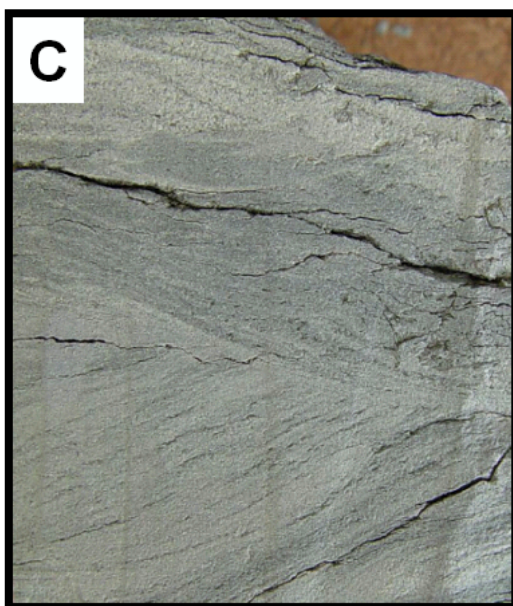
Estampa II – Fácies heterolítica H e arenítica A1

Figura A – Aspectos da fácies H mostrando uma estrutura flaser. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 21,00 m.

Figura B – Aspectos da fácies H mostrando arenito fino com bioturbação. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 25,20 m.

Figura C – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino cinza com ripples. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 154,00 m.

Figura D – Aspectos da fácies A1 mostrando arenito fino alaranjados com ripples. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 150,80 m



3.1.6 Fácies A3

Fácies Sh: Miall (1996)

Diagnose – Arenito com estratificação plano-paralela.

Discussão – Fácies formada por arenito muito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, de cor cinza (8N) ou variando de marrom a laranja (10YR-7/4, 10YR-8/6), com estrutura sedimentar do tipo estratificação plano-paralela, por vezes, calcíferos.

Esta fácies ocorre tipicamente no intervalo 50–51,6 m do poço 1PS-11-CE (Figura D, Estampa III). Por vezes, foi observado contendo com intraclastos de argilito.

Esta fácies ocorre com uma freqüência de 19% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 14% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados, esta fácies ocorre com uma freqüência de 26% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 24% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Tração subaquosa com migração de leito-plano, em regime de fluxo superior. A presença de intraclastos revela processos erosivos associados à gênese da fácies.

3.1.7 Fácies A4

Fácies Sm: Miall (1996)

Diagnose – Arenito maciço.

Discussão – Fácies formada por arenito muito fino a médio, moderadamente a bem selecionado, de cor variando de cinza a verde (8N, 5GY-8/1) ou marrom (10YR-8/6), com estrutura sedimentar do tipo maciça, por vezes, calcíferos.

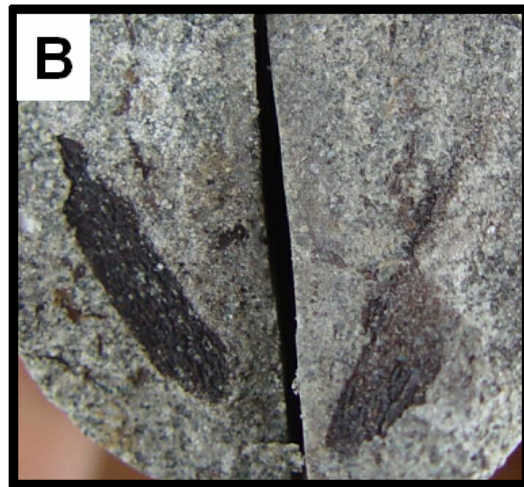
Estampa III – Fácies areníticas A2 e A3.

Figura A – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação cruzada. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,60 m.

Figura B – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino cinza com fragmentos de vegetais. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,70 m.

Figura C – Aspectos da fácies A2 mostrando arenito fino alaranjado com intraclastos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 151,10 m.

Figura D – Aspectos da fácies A3 mostrando arenito fino alaranjado com estratificação plano-paralela. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,20 m.



0 2cm



Esta fácies ocorre tipicamente no intervalo 29,2–29,9 m do poço 1PS-11-CE (Figura A, Estampa IV). A mesma ocorre com intraclastos de argilito na profundidade de 217 m do poço 1PS-12-CE.

Por muitas das vezes, pôde ter sido descrita de uma maneira equivocada, pois nos testemunhos dos furos ocorre uma impregnação da lama de perfuração, formando uma “casca”, mascarando assim algum outro tipo de estrutura sedimentar.

Esta fácies ocorre com uma freqüência de 11% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 7% (medido) do poço 1PS-12-CE. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados, esta fácies ocorre com uma freqüência de 13% (inferido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 10% do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Fluxo de detritos do tipo *sand-debris* e, como produto final, estrutura maciça. A presença de intraclastos revela processos erosivos associados à gênese da fácies.

3.1.8 Fácies R

“Arenitos conglomeráticos ou microconglomerado”, *pro parte*: Ponte & Appi (1990)

“Arenitos conglomeráticos”: Assine (1992a)

Fácies Gmm: Miall (1996)

Diagnose – Paraconglomerado maciço.

Discussão – A fácies, descrita coletivamente como paraconglomerado, pode ser, por vezes, melhor atribuída a um arenito conglomerático muito mal selecionado. Apresenta cor laranja (10YR-6/6), com intraclastos de carbonato (Figura B, Estampa IV).

Esta fácies ocorre típica e exclusivamente no intervalo 218–219 m do poço 1PS-12-CE, o que lhe dá uma freqüência de 2% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço. Interpretando-se intervalos perdidos ou não recuperados, esta fácies ocorre com uma freqüência de 3% (inferido) ao longo deste mesmo poço.

Interpretação – Fluxo de detritos coesivo e, como resultado, estrutura maciça.

3.1.9 Fácies C

“Calcários”: Ponte & Appi (1990)
Fácies lacustre interna mista: Neumann (1999)

Diagnose – Calcilitito ou calcarenito bioclástico

Discussão – Esta fácies é formada por calcilitito de coloração cinza ou marrom (7N, 5Y-4/1, 5YR-6/4, 10YR-5/4, 10YR-8/2, 10YR-6/2), laminado ou maciço; por vezes com camadas milimétricas a decimétricas de *grainstone/packstone* (calcarenito) ostracoidal ocorrem intercaladas (figura C, Estampa IV).

Esta fácies ocorre tipicamente no intervalo 146,7–147,7 m do poço 1PS-12-CE (figura D, Estampa IV). Na parte inferior do poço 1PS-12-CE foram observados calcários laminados, que são mencionados por muitos autores como pertencentes ao Mb. Crato. Estes pequenos intervalos (220,2–221,7 m e 206–206,4 m) serão aqui descritos por esta fácies.

Os calcilititos desta fácies são descritos, por muitos, na literatura, como sendo margas. Contudo, marga possui por definição uma composição de 50% de lama terrígena e 50% de lama carbonática, o que não corrobora com o que foi observado nos testemunhos.

Esta fácies ocorre com uma frequência de 1% (medido) ao longo do intervalo estudado do poço 1PS-11-CE e de 6% (medido) do poço 1PS-12-CE.

Interpretação – Esta fácies é interpretada por Neumann (1999) como sendo resultados de decantação e correntes de tração em paleoambiente lacustre interno misto.

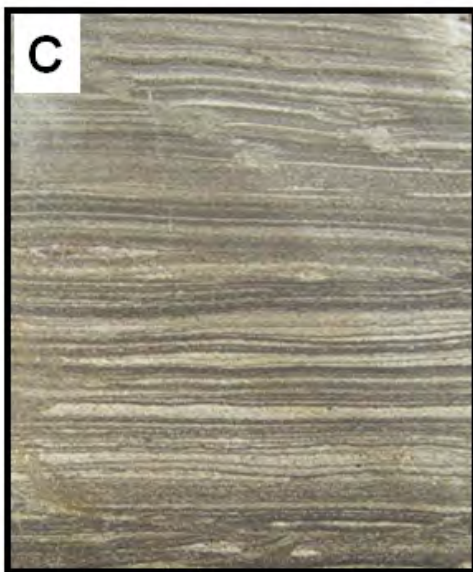
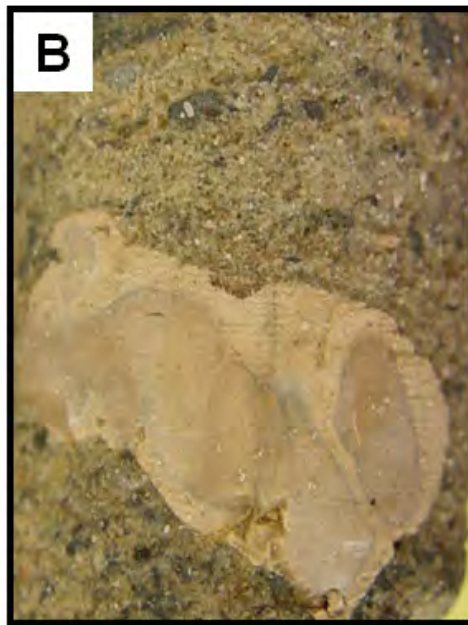
Estampa IV – Fácies arenítica A4, conglomerática R e carbonática C.

Figura A – Aspectos da fácies A4 mostrando arenito fino cinza com estrutura maciça. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 29,50 m.

Figura B – Aspectos da fácies R mostrando um conglomerado com intraclastos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 218,40 m.

Figura C – Aspectos da fácies C mostrando calcarenito com lâminação plano-paralela. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 147,40 m.

Figura D – Aspectos da fácies C mostrando calcilutito com lâminação plano-paralela. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 147 m.



0 2cm

3.2 Sucessões de fácies

No presente estudo buscou-se a interpretação de sucessões de fácies com base em características faciológicas, descritas em testemunhos de sondagem. Porém em intervalos dos poços onde não se teve uma boa recuperação ou preservação dos testemunhos foram utilizados os perfis de raios-gama, para auxiliar a interpretação de sucessões de fácies. Como resultado, foi possível a identificação de três sucessões de fácies, as quais foram relacionadas a sistemas deltaico-lacustre, lacustre e fluvial (Quadro 2).

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

CODIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
SF1	Sucessão de fácies F1–F2–A1–A2–A3	Deltaico–Lacustre
SF2	Sucessão de fácies A2–H– F1	Lacustre
SF3	Sucessão de fácies R–A4 e A2/A3	Fluvial

3.2.1 Sucessão de fácies 1 (SF1) – sistema deltaico-lacustre

Diagnose – Caracteriza-se pela sucessão de fácies F1–F2–A1–A2–A3, em ciclos de engrossamento granulométrico.

Discussão – Esta sucessão de fácies ocorre tipicamente no intervalo 47–54 m do poço 1PS-11-CE (Figura 10). Em termos geofísicos é identificada pelo perfil “em funil” dos raios-gama.

As fácies A1 e A4 podem ocorrer em qualquer posição desta sucessão, e a fácies H bioturbada pode ocorrer no topo dela.

A sucessão ocorre com frequência de forma incompleta; seja com sucessões que se encerram com arenitos (fácies A1 e A2) ou sucessões que já começam com siltitos (fácies F2), como por exemplo, o intervalo 185–190 m do poço 1PS-12-CE. Compõem ciclos de 1 m a 10 m de espessura (Quadro 3).

No poço 1PS-11-CE foi identificada uma sucessão de ciclos incompletos no intervalo 37–54 m, sendo esta bem definida pelo perfil de raios-gama, o que

possibilitou a sua interpretação mesmo com ausências de rochas em partes dela. Tal sucessão apresenta-se em padrão de afinamento estratal (*thinning up*)

No poço 1PS-12-CE foi identificada outra sucessão de ciclos incompletos no intervalo 154–204 m, sendo esta sucessão bem definida por características faciológicas.

Interpretação – Esta sucessão de fácies é interpretada como parte de um sistema deltaico-lacustre.

Nesse contexto a sucessão de fácies F1–F2–A1 representa depósitos de prodelta, enquanto que a sucessão A1–A2 representa os depósitos de inundação de frente deltaica, e, por fim a sucessão A2–A3, os depósitos de frente deltaica e canais fluviais distributários (Selley, 1996, Figura 11).

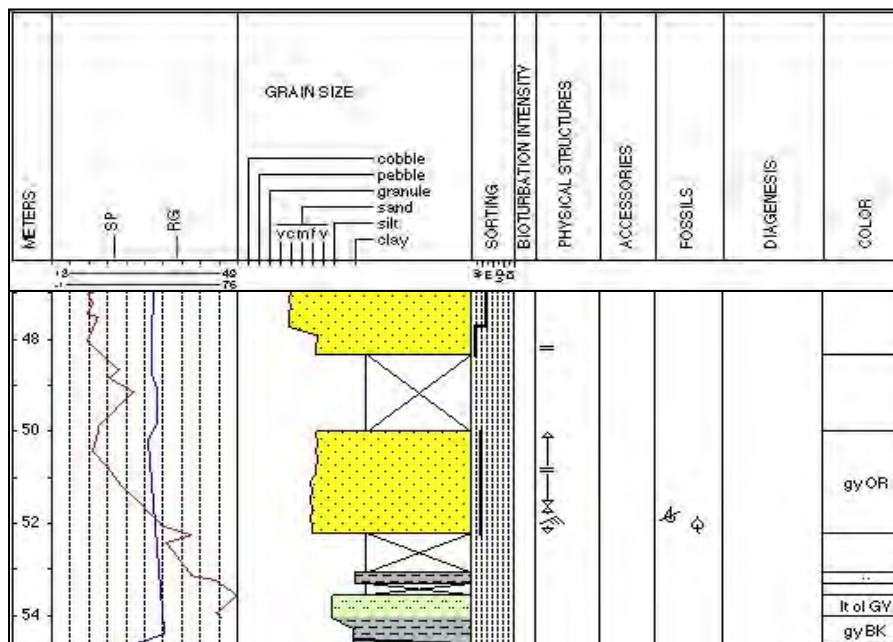
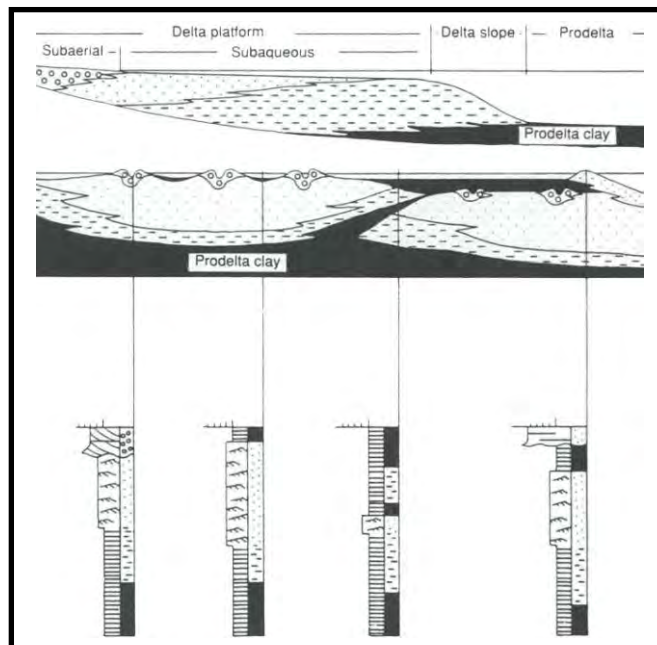


Figura 10 – Intervalo do poço 1PS-11-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 1. (Legenda no anexo I)

Quadro 3 – Ciclos da sucessão de fácies 1 (deltáico-lacustre).

POÇO	BASE (m)	TOPO (m)	ESPESSURA (m)
1PS11-CE	24,3	23,6	0,7
	26,2	25,5	0,7
	27,4	26,6	0,8
	28,3	27,6	0,7
	30,5	29,7	0,8
	33	31,2	1,8
	36,4	33,2	3,2
	53,5	49	4,5
1PS12-CE	160,3	155	5,3
	163,7	161,8	1,9
	166,6	163,7	2,9
	170	166,6	3,4
	170,6	170	0,6
	171,5	170,6	0,9
	178,8	171,5	7,3
	185	178,8	6,2
	196	185	11
	204	196	8

**Figura 11 – Ilustração mostrando modelos de perfis estratigráficos em diferentes posições de um sistema deltaico (Selley, 1996).**

3.2.2 Sucessão de fácies 2 (SF2) – sistema lacustre

Diagnose – Caracteriza-se pela sucessão de fácies H–F1, em um ciclo de afinamento granulométrico.

Discussão – Esta sucessão de fácies ocorre tipicamente no intervalo 1–25 m do poço 1PS-11-CE (Figura 12) e em mais dois intervalos do poço 1PS-12-CE (Quadro 4). A fácies F2 e C podem ocorrer intercaladas com camadas da fácies F1, típica.

No poço 1PS-11-CE a sucessão é reconhecida também em termos geofísicos, pelo perfil “em sino” dos raios-gama.

No poço 1PS-12-CE a sucessão ocorre em dois intervalos de forma incompleta, porém bem definida, apresentando a fácies F1 – típica – em um espesso intervalo.

Interpretação – Esta sucessão de fácies é interpretada como parte de um sistema lacustre. Esta interpretação está apoiada não só no aspecto faciológico mas também no conteúdo paleontológico (*cf.* Viana, 1990).

A presença de fragmentos de vegetais possibilita a interpretação de uma maior proximidade com o continente, ou seja, indica um paleoambiente lacustre proximal. A ocorrência da fácies C indica um ambiente com uma menor taxa de sedimentos terrígenos, conseqüentemente uma maior influência lacustre (química e biogênica).

Quadro 4 – Ciclos da sucessão de fácies 2 (lacustre).

POÇO	BASE (m)	TOPO (m)	ESPESSURA (m)
1PS11-CE	23,4	0,4	23
1PS12-CE	148	142	7
	212	204	8

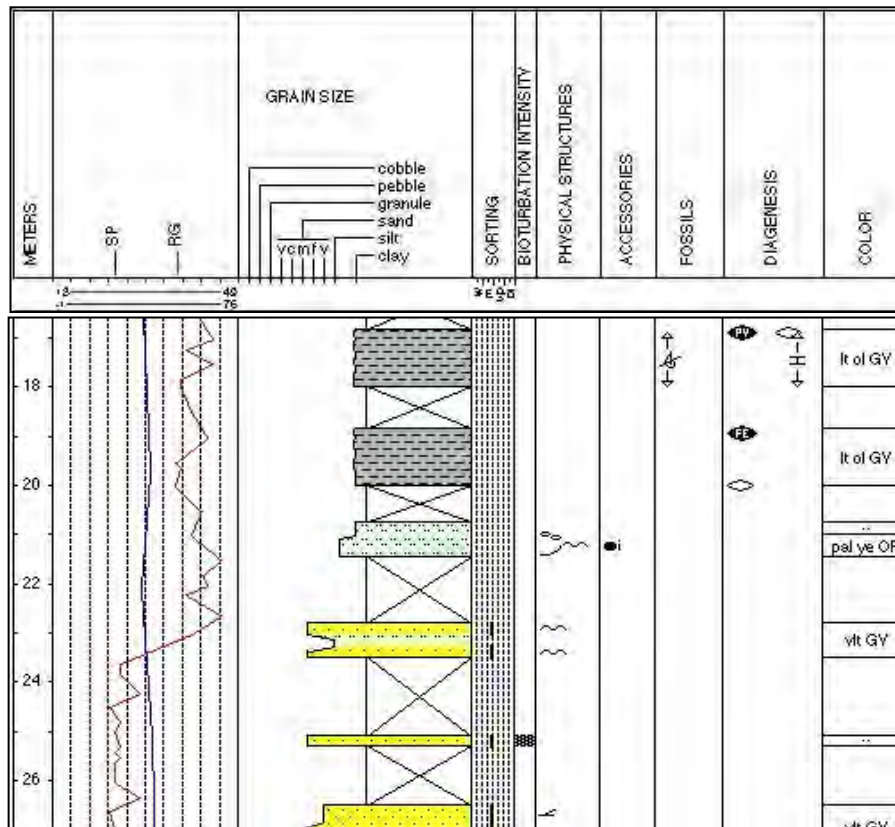


Figura 12 – Intervalo do poço 1PS-11-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 2. (Legenda no anexo I)

3.2.3 Sucessão de fácies 3 (SF3) – sistema fluvial

Diagnose – Caracteriza-se por dois tipos de sucessão. Uma, rudácea, apresenta a sucessão da fácies R para A4 em um único ciclo; enquanto que outra, arenácea, apresenta as fácies A2 e A3 sucedendo-se em vários ciclos. Para sua diagnose, o perfil de raios-gama do tipo “caixote” é importante, na falta de registro de rocha.

Discussão – Esta sucessão de fácies ocorre tipicamente no intervalo 214-219 m do poço 1PS-12-CE (Figura 13) e em um intervalo do poço 1PS-11-CE (Quadro 6).

No poço 1PS-11-CE esta sucessão foi identificada no intervalo 36,4–49 m com base em perfil geofísico de raios-gama, onde se observou o padrão “caixote” em arenitos (Figura 14). A interpretação com base em perfil geofísico foi realizada neste intervalo, pois os testemunhos não possuem uma boa recuperação ou preservação. Mesmo pela falta de testemunhos, foi possível observar, dentro deste intervalo,

alguns arenitos com estratificação plano-paralela (fácies A3) e laminação cruzada cavalgante (A1).

No intervalo de 148 m a 154 m do poço 1PS-12-CE, observam-se arenitos com estratificação plano-paralela (fácies A3), estratificação cruzada (A2), laminação cruzada cavalgante (A1), todos com intraclastos de argilito.

Interpretação – Esta sucessão de fácies é interpretada como sendo formada em um sistema fluvial. O intervalo composto por fácies areníticas com intraclastos (fácies A1, A2 e A3) é indicativo de canais em planície deltaica, onde há freqüente reelaboração. Os canais podem ser interpretados como pertencentes ao modelo fluvial de inundação-relâmpago em lençol (*sheetflood*) que caracterizam um elemento arquitetural do tipo LS (*Laminated Sands*, Areias Laminadas) de Miall (1985) (Figura 15), ilustrado pelo modelo Bijou Creek (Miall, 1977).

Quadro 5 – Ciclos da sucessão de fácies 3 (fluvial).

POÇO	BASE (m)	TOPO (m)	ESPESSURA (m)
1PS11-CE	49	36,4	12,6
1PS-12-CE	155	148	7
	219	214	8

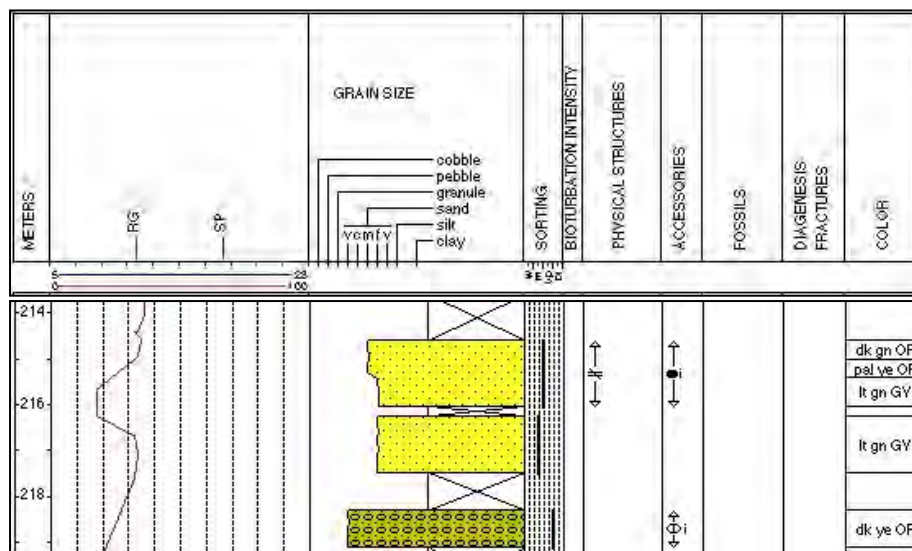


Figura 13 – Intervalo do poço 1PS-12-CE onde ocorre tipicamente a sucessão de fácies 3 rudácea. (Legenda no anexo II)

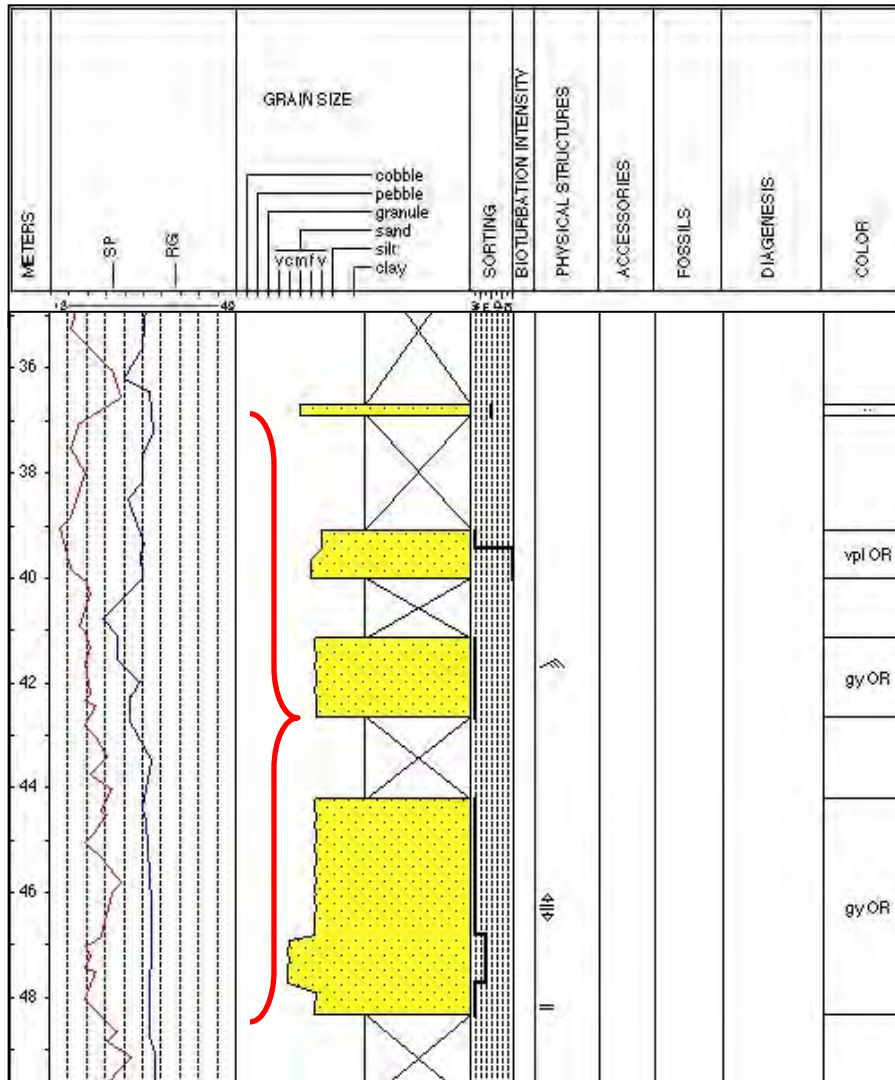


Figura 14 – Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando em vermelho o padrão “caixote” no perfil de raios-gama (SF3). (Legenda no anexo I)

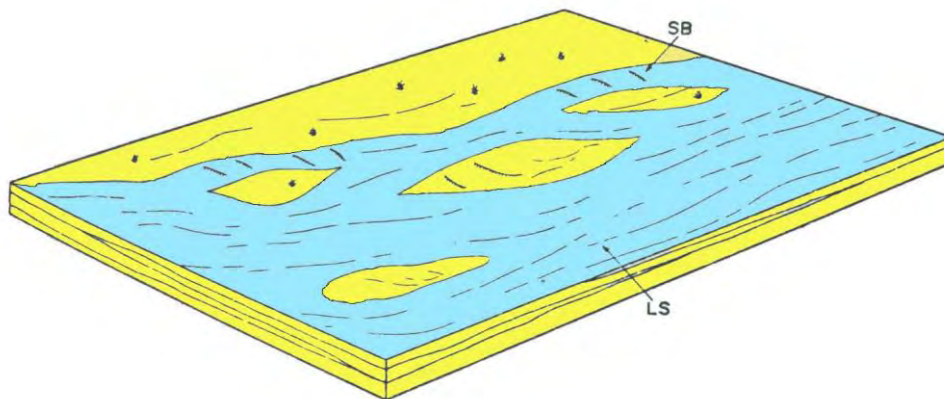


Figura 15 – Ilustração mostrando o modelo fluvial de inundação-relâmpago em lençol (sheetflood) que caracteriza um elemento arquitetural do tipo LS (Laminated Sands, Areias Laminadas) (Miall, 1985).

4 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

4.1 Superfícies estratigráficas

Nos dois poços estudados foi possível a identificação de cinco superfícies estratigráficas com base em descrições de rocha e interpretação de perfis geofísicos, as quais foram interpretadas como (1) discordante (D), (2) de regressão forçada (RF), (3) transgressiva (T), (4) de inundação (I) e (5) de inundação máxima (I_{max}).

4.1.1 Superfície D – discordante

A superfície D é observada somente no poço 1PS-12-CE, na profundidade aproximada de 220 m; onde, acima desta superfície, observa-se paraconglomerado maciço com intraclastos de carbonatos (fácies R), e, abaixo, o calcário laminado (fácies C) com porosidade em fraturas preenchidas com calcita (Figura 16) e (Figura A, Estampa V). Este calcário laminado é interpretado pela literatura como pertencente ao Mb. Crato e, o paraconglomerado, como pertencente ao Mb. Romualdo.

A porosidade em fratura é resultado da dissolução do calcário por águas meteóricas em uma superfície discordante. Esta superfície é interpretada por Silva (1986b) como uma superfície de carstificação (Figura 17).

A superfície D é caracterizada por uma brusca mudança no paleoambiente sedimentar, registrado pela mudança da sucessão de fácies lacustre carbonática (*cf.* Neumann, 1999) para a sucessão de fácies fluvial (SF3), rudácea.

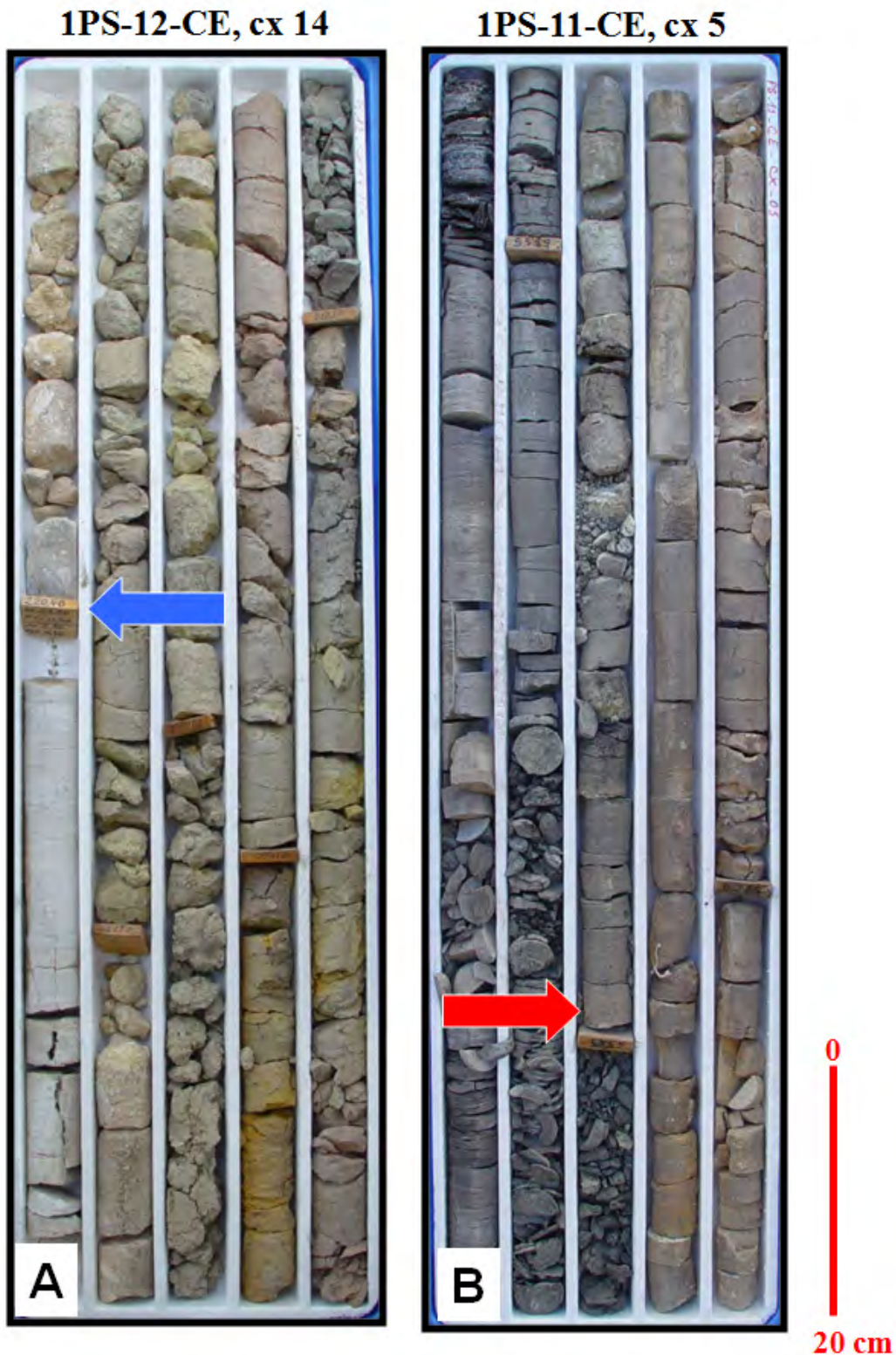
4.1.2 Superfície RF – regressão forçada

A superfície RF é inferida somente no poço 1PS-12-CE, na profundidade aproximada de 53 m. Acima desta superfície, observam-se arenitos com laminação cruzada cavalgante (fácies A1) e com estratificação plano-paralela (A3) e, abaixo, folhelho (fácies F1) (Figura B, Estampa V). Os arenitos compõem uma sucessão de engrossamento granulométrico (SF1) e estão sotopostos a outra em padrão “caixote” nos perfis de raios-gama (SF3), que tem aproximadamente 13 m de espessura (Figura 18).

ESTAMPA V – SUP. DISCORDANTE E RF

Figura A – Caixa n°14 com testemunhos de um intervalo do poço 1PS-12-CE. A seta azul indica a superfície discordante na profundidade de 220,40 m, separando o calcário abaixo e o conglomerado acima.

Figura B – Caixa n° 5 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de regressão forçada. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 53,05 m, separando arenitos acima e o folhelhos abaixo.



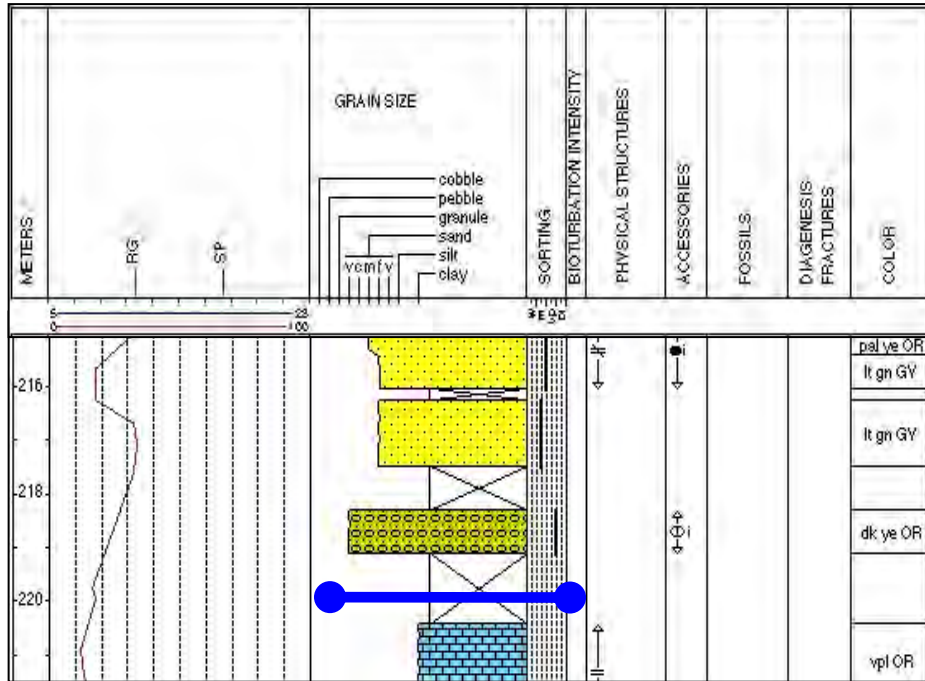


Figura 16 – Intervalo do poço 1PS-12-CE mostrando a superfície discordante (D) em azul, com o paraconglomerado (fácies R) acima e calcário (fácies C) abaixo. (Legenda no anexo II)

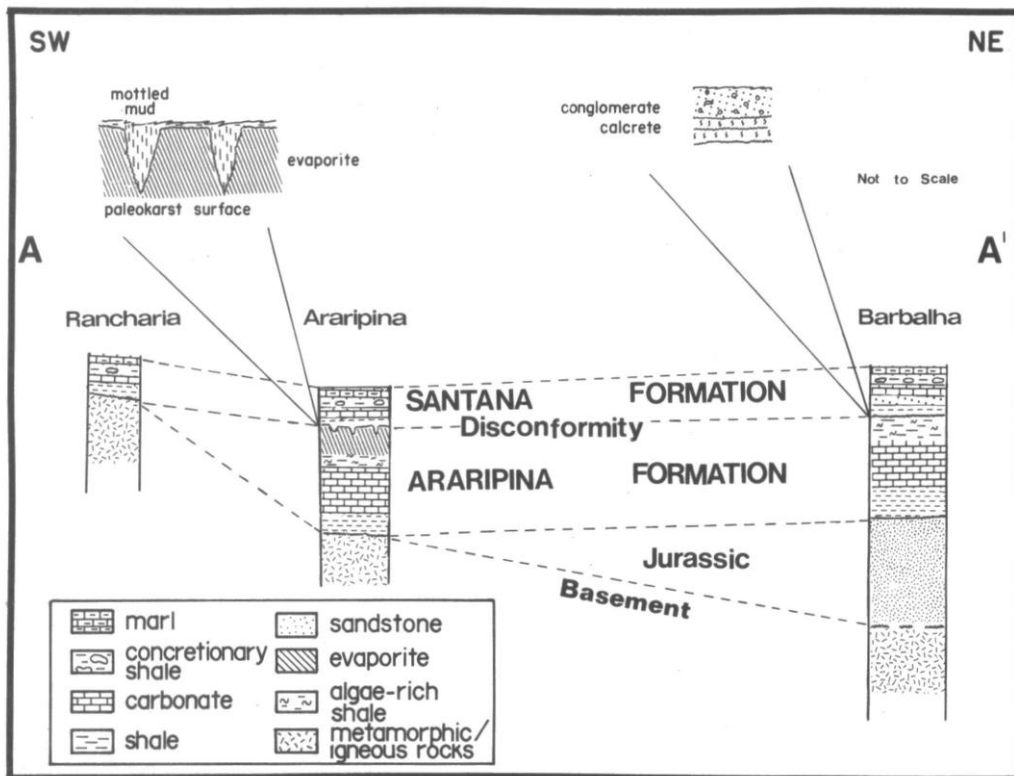


Figura 17 – Ilustração mostrando a superfície de carstificação, interpretada por Silva (1986 b).

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

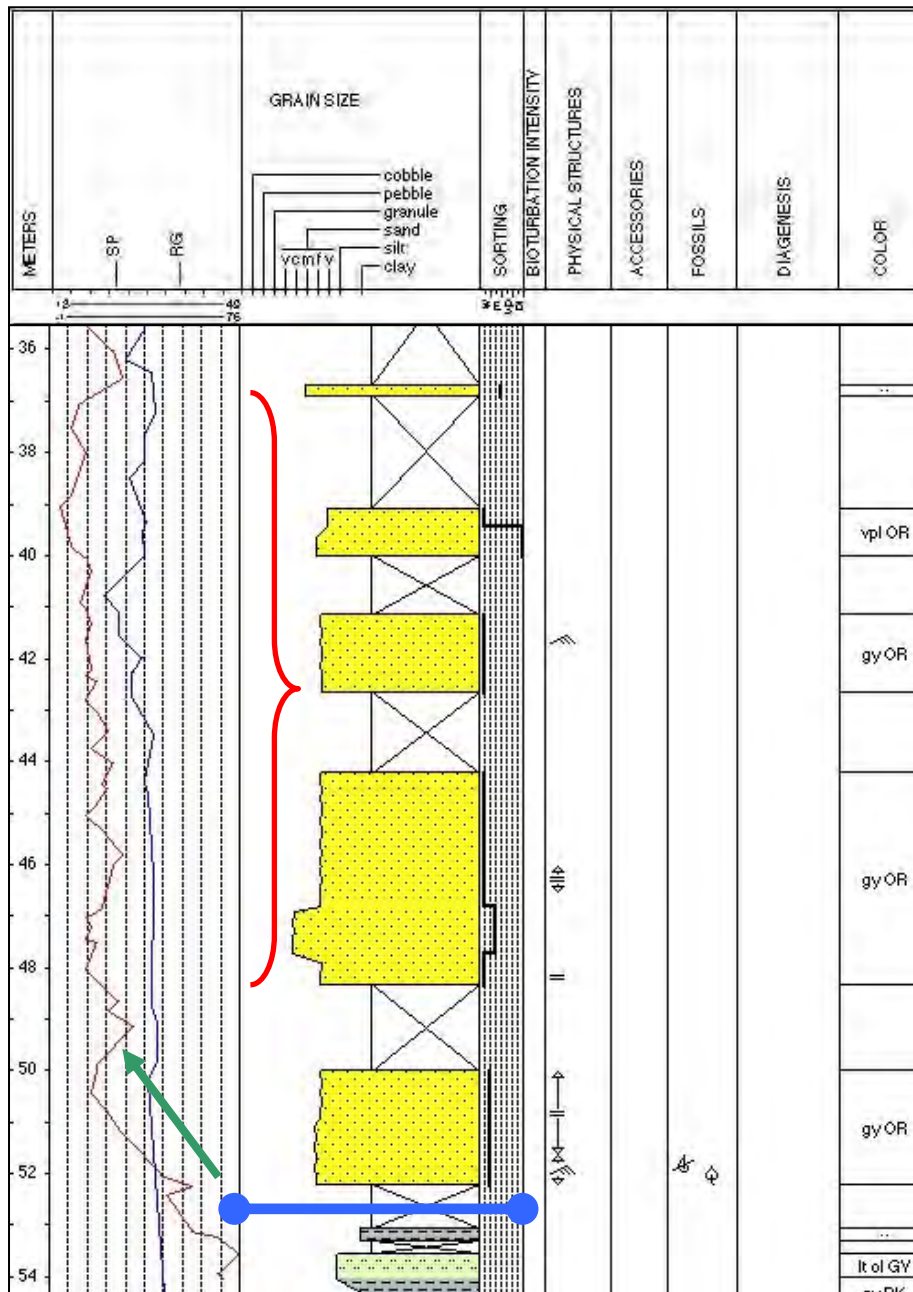


Figura 18 – Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de regressão forçada em azul, um engrossamento granulométrico em verde e um padrão “caixote” mostrado em vermelho. (Legenda no anexo I)

4.1.3 Superfície T – transgressiva

A superfície T é observada nos dois poços. Ocorre aproximadamente na profundidade de 25 m do poço 1PS-11-CE e 148 m do 1PS-12-CE (Estampa VI).

No poço 1PS-11-CE, abaixo dessa superfície há o registro de arenitos com estratificação cruzada (fácies A2) e maciço (A3). Acima dela, observam-se delgadas camadas de arenitos e siltitos com acamamento heterolítico (fácies H) (Figura 19). A superfície registra uma brusca mudança no regime sedimentar, representado pela passagem da sucessão de deltaico-lacustre (SF1) para a sucessão de fácies lacustre (SF2). Esta última inicia-se por arenitos que gradam para folhelhos, marcando a redução da energia em resposta ao incremento de lâmina d'água (lacustre).

No poço 1PS-12-CE, abaixo dessa superfície há o registro de arenitos com intraclastos (fácies A1, A2 e A3); acima, observa-se um intervalo composto por folhelhos (fácies F1) e calcilitos e calcarenitos (fácies C). Esta superfície representa uma brusca mudança no regime sedimentar, registrando uma mudança da sucessão de fácies fluvial (SF3), arenácea, para a sucessão de fácies lacustre (SF1).

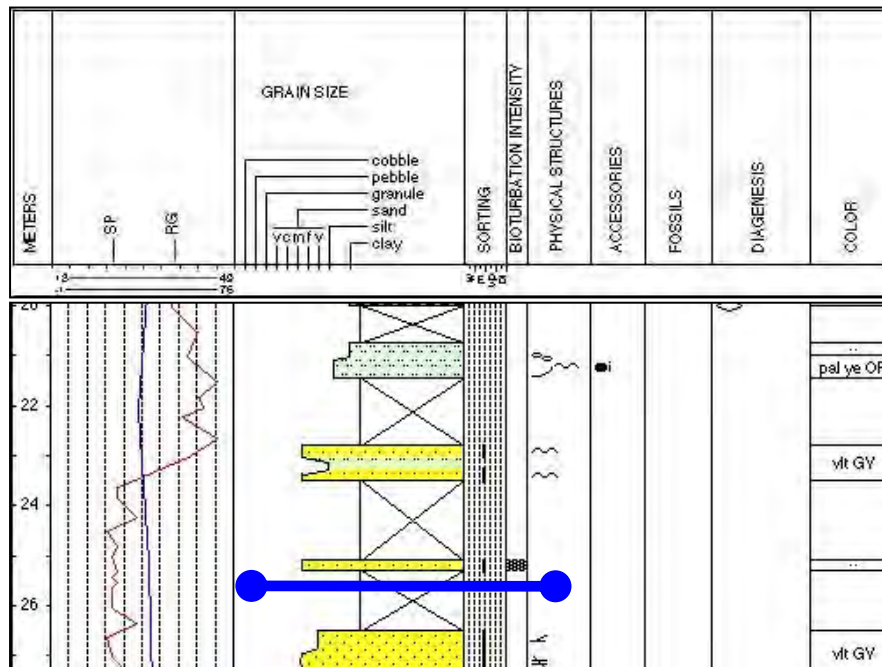
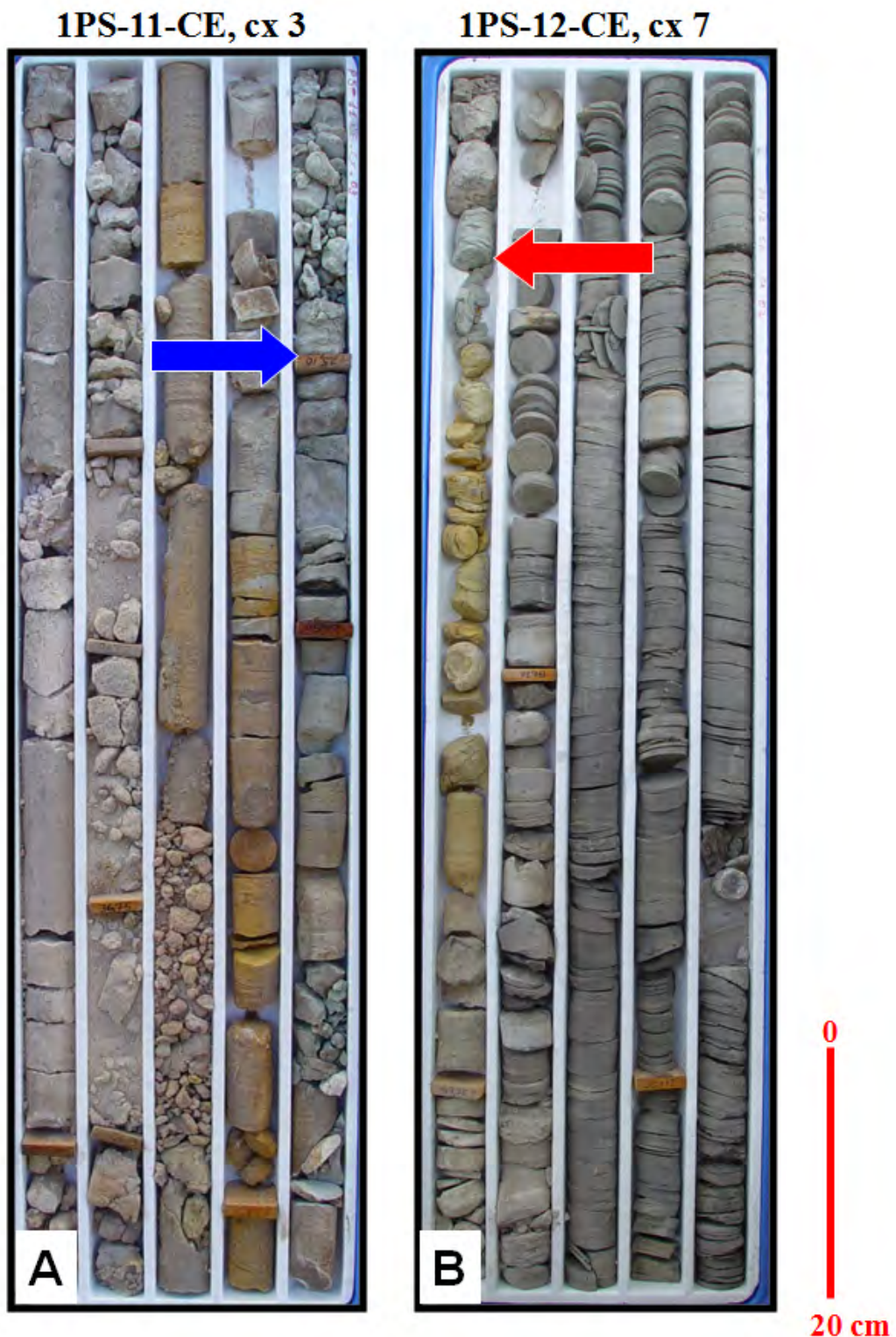


Figura 19 – Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície transgressiva em azul, com arenitos com acamamento heterolítico (fácies H) acima e arenitos com estratificação cruzada abaixo. (Legenda no anexo I)

ESTAMPA VI – SUP. TRASGRESSIVA

Figura A – Caixa n° 3 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície transgressiva. A seta azul indica a superfície na profundidade de 25,1 m, separando siltitos com acamamento heterolítico (fácies H) acima e arenitos abaixo.

Figura B – Caixa n° 7 do poço 1PS-12-CE com testemunhos que mostram a superfície transgressiva. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 147,5 m aproximadamente, separando siltitos acima e arenitos abaixo.



4.1.4 Superfície I – inundação

Esta superfície de inundação é observada nos dois poços. Ocorre na profundidade de 22,5 m no poço 1PS-11-CE e de 146 m no 1PS-12-CE (Estampa XII).

No poço 1PS-11-CE a superfície é identificada no perfil de raios-gama por um aumento brusco (deflexão da curva à direita) (Figura 20). Isto caracteriza uma mudança no regime sedimentar. Assim, a superfície I marca o contato de um conjunto de camadas da fácies heterolítica (H), abaixo, com folhelhos (fácies F1), acima, o que indica o rápido afogamento lacustre.

No poço 1PS-12-CE, abaixo da superfície são observados calcilutito e calcarenito (fácies C) e, acima, novamente folhelho (fácies F1).

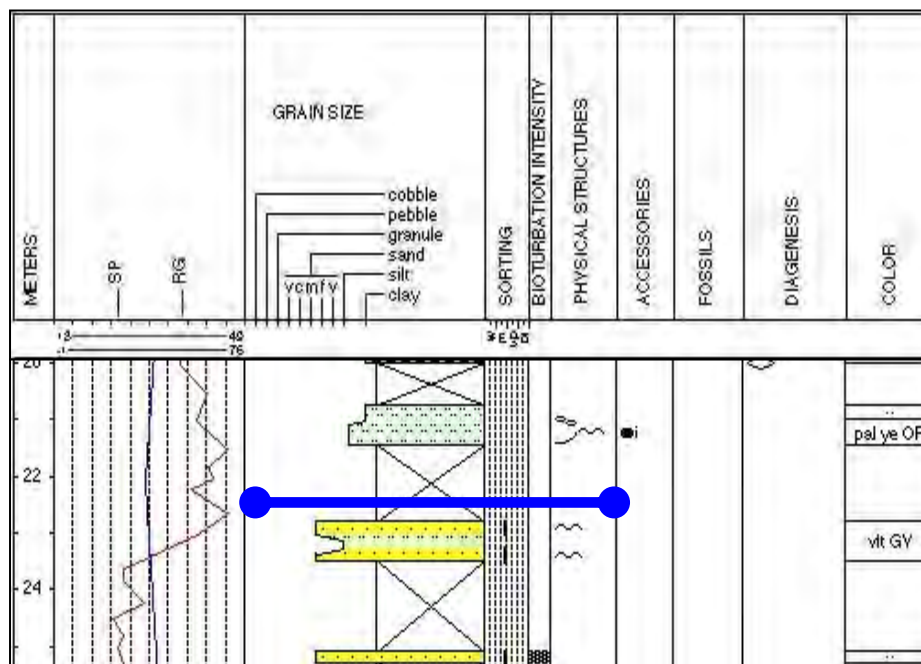
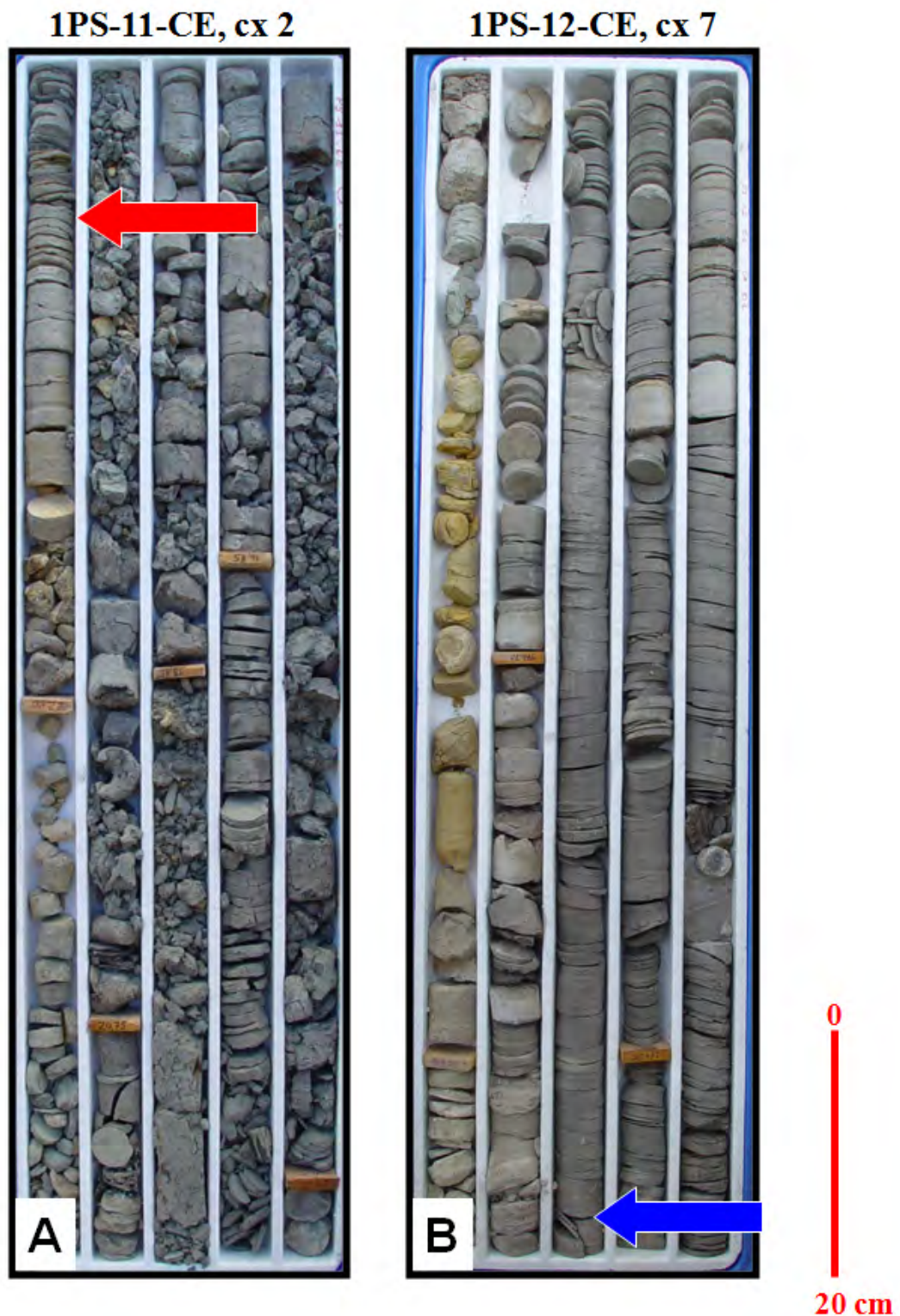


Figura 20 – Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de inundação em azul e a mudança brusca de raios-gama em vermelho. (Legenda no anexo I).

ESTAMPA VII – SUP. DE INUNDAÇÃO

Figura A – Caixa n° 2 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta vermelha indica a superfície na profundidade de 22,5 m aproximadamente, onde se observa a passagem de fácies mais arenáceas abaixo para fácies mais lutáceas acima, corroborando com o que foi visto no perfil de raios-gama.

Figura B – Caixa n° 7 do poço 1PS-12-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação. A seta azul indica a superfície na profundidade de 146 m aproximadamente, separando folhelhos acima e calcilutitos abaixo.



4.1.5 Superfície $I_{m\acute{a}x}$ – inundação máxima

A superfície $I_{m\acute{a}x}$ é observada somente na profundidade aproximada de 17 m do poço 1PS-11-CE (Estampa VIII).

Esta superfície ocorre num conjunto de camadas de folhelho (fácies F1) e é identificada pelos maiores valores de raios-gama no perfil (deflexão máxima da curva à direita) (Figura 21).

É possível observar valores similares deste perfil geofísico em um intervalo de arenitos e siltitos com acamamento heterolítico (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.

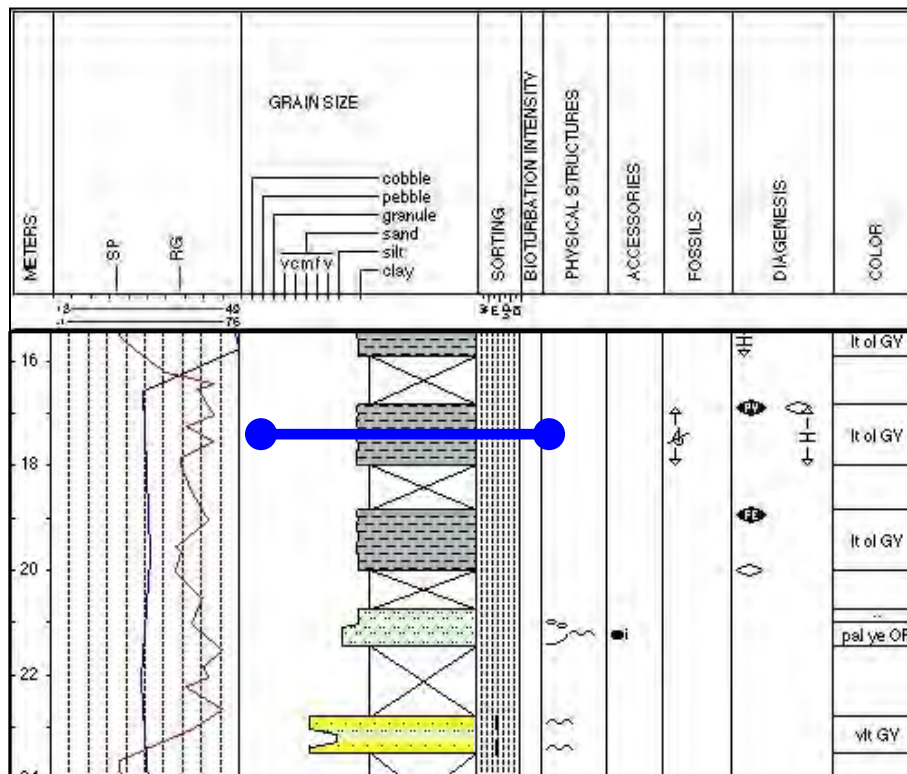
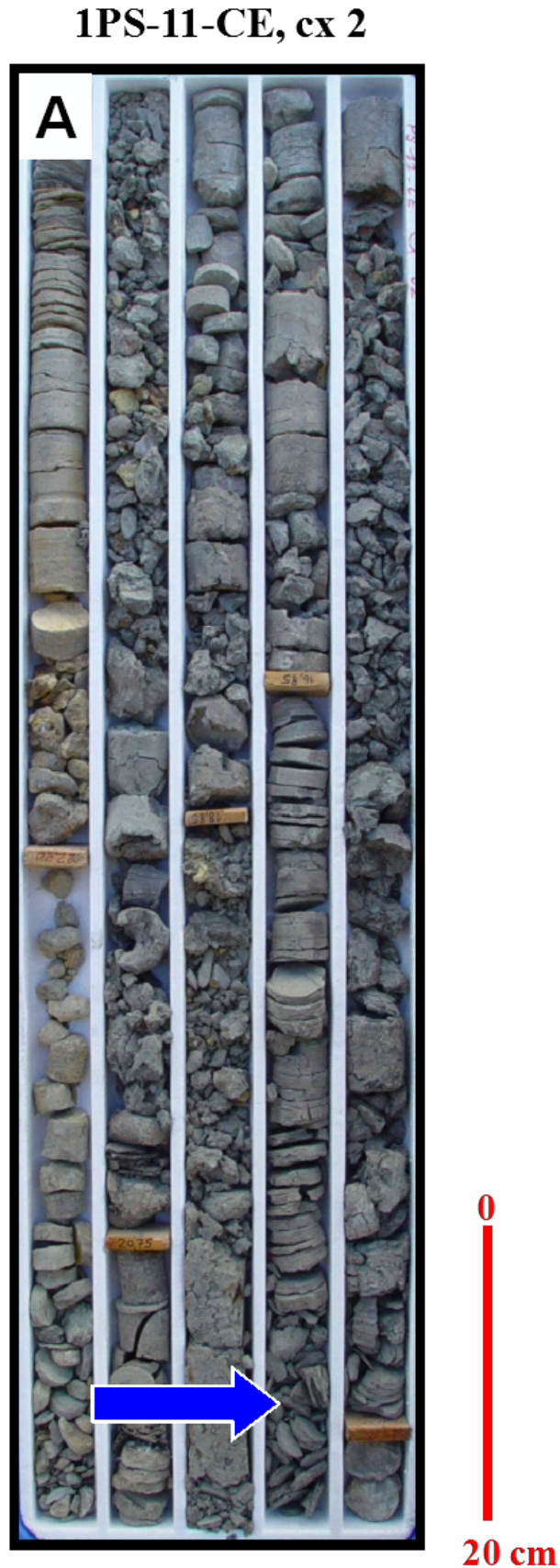


Figura 21 – Intervalo do poço 1PS-11-CE mostrando a superfície de inundação máxima em azul e o pico de raios-gama em vermelho. (Legenda no anexo I)

ESTAMPA VIII – SUP. DE INUNDAÇÃO MÁXIMA

Figura A – Caixa n° 2 do poço 1PS-11-CE com testemunhos que mostram a superfície de inundação máxima. A seta azul indica a superfície na profundidade de 17 m aproximadamente, onde se observa os folhelhos a qual se observou a deflexão máxima no perfil de raios-gama..



4.2 Análises petrográficas e petrofísicas

Foram realizadas análises petrográficas e petrofísicas em intervalos espessos de rochas macroclásticas com a finalidade de melhor caracterizar estes possíveis reservatórios.

O poço 1-PS-11-CE contém um intervalo de rochas macroclásticas de 27 m de espessura (25-52 m). Foram analisadas duas lâminas petrográficas neste intervalo, nas profundidades de 27,5 m e 50,8 m, e realizadas duas análises de permeabilidade, nas profundidades de 27,5 m e 44,4 m.

Já o poço 1-PS-12-CE contém este intervalo de rochas macroclásticas com 52 m de espessura (148–200 m). Foram também analisadas duas lâminas petrográficas neste intervalo, nas profundidades de 151,3 m e 176,3 m, e realizadas duas análises de permeabilidade, nas mesmas profundidades.

Nas lâminas foram analisados parâmetros para caracterizar os possíveis reservatórios, como por exemplos granulometria, seleção, porosidade e cimentação. As lâminas forneceram os seguintes resultados:

1PS-11-CE (profundidade de 27,5 m, fácies A4) – Trata-se de um arenito sub-arcoseano, de granulometria fina superior, com seleção moderada, litoclastos sedimentares, porosidade intragranular e por dissolução (aproximadamente 10%) e com *coating* de clorita em grãos de quartzo e de feldspato, se desprendendo dos mesmos. (Estampa IX)

1PS-11-CE (profundidade de 50,8 m, fácies A3) – Arenito micáceo, com granulometria muito fino superior, seleção moderada, porosidade intragranular (aprox. 5%) e com alteração das micas para argila. (Estampa X)

1PS-12-CE (profundidade de 151,3 m, fácies A2) – Quartzarenito, com granulometria muito fino superior, seleção moderadamente ruim, porosidade muito ruim e com matriz secundária produzida por processos mecânicos. (Estampa XI)

1PS-12-CE (profundidade de 176,3 m, fácies A2). – Quartzarenito, com granulometria fino superior, seleção moderadamente boa, porosidade intragranular e por dissolução (aproximadamente 10%), intraclastos sedimentares e *coating* de óxidos. (Estampa XI)

ESTAMPA IX – LÂM 1

Figura A – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando coatings de clorita em grãos de quartzo e feldspato alterado. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

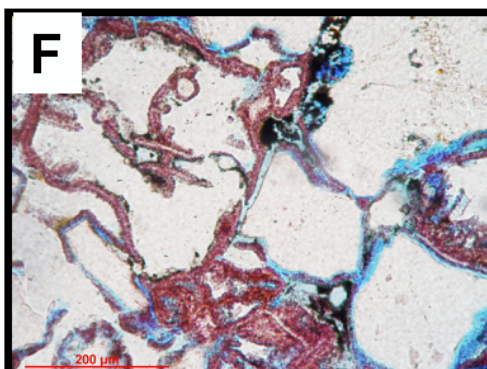
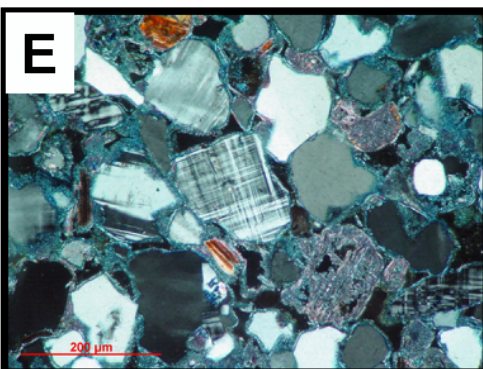
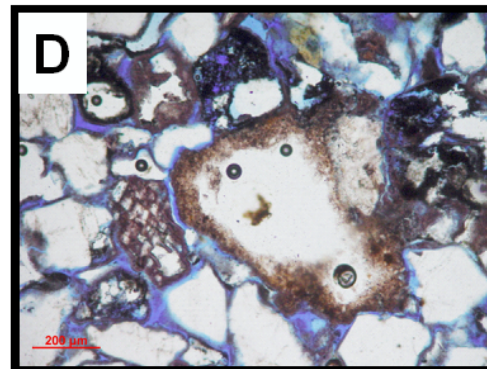
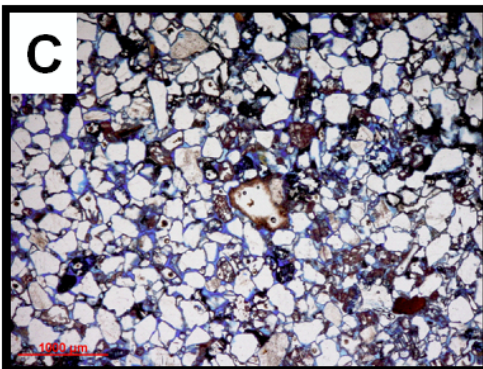
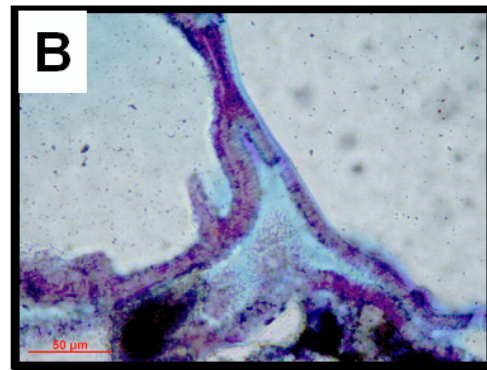
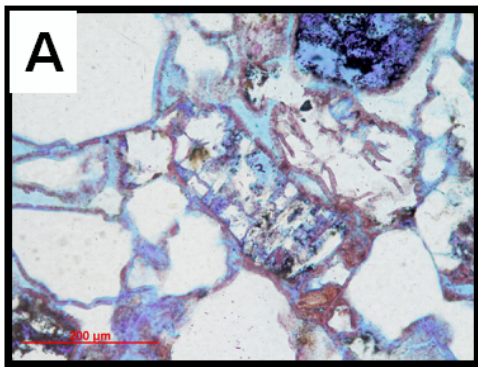
Figura B – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando detalhes dos coatings de clorita em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

Figura C – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando a porosidade intragranular e por dissolução. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

Figura D – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando um litoclasto sedimentar. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5m.

Figura E – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando grãos de microclina que compõem o arenito sub-arcoseano. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.

Figura F – Aspecto da fácies A4, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando aglomerados de coatings de clorita desprendidos e entupindo os poros. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 27,5 m.



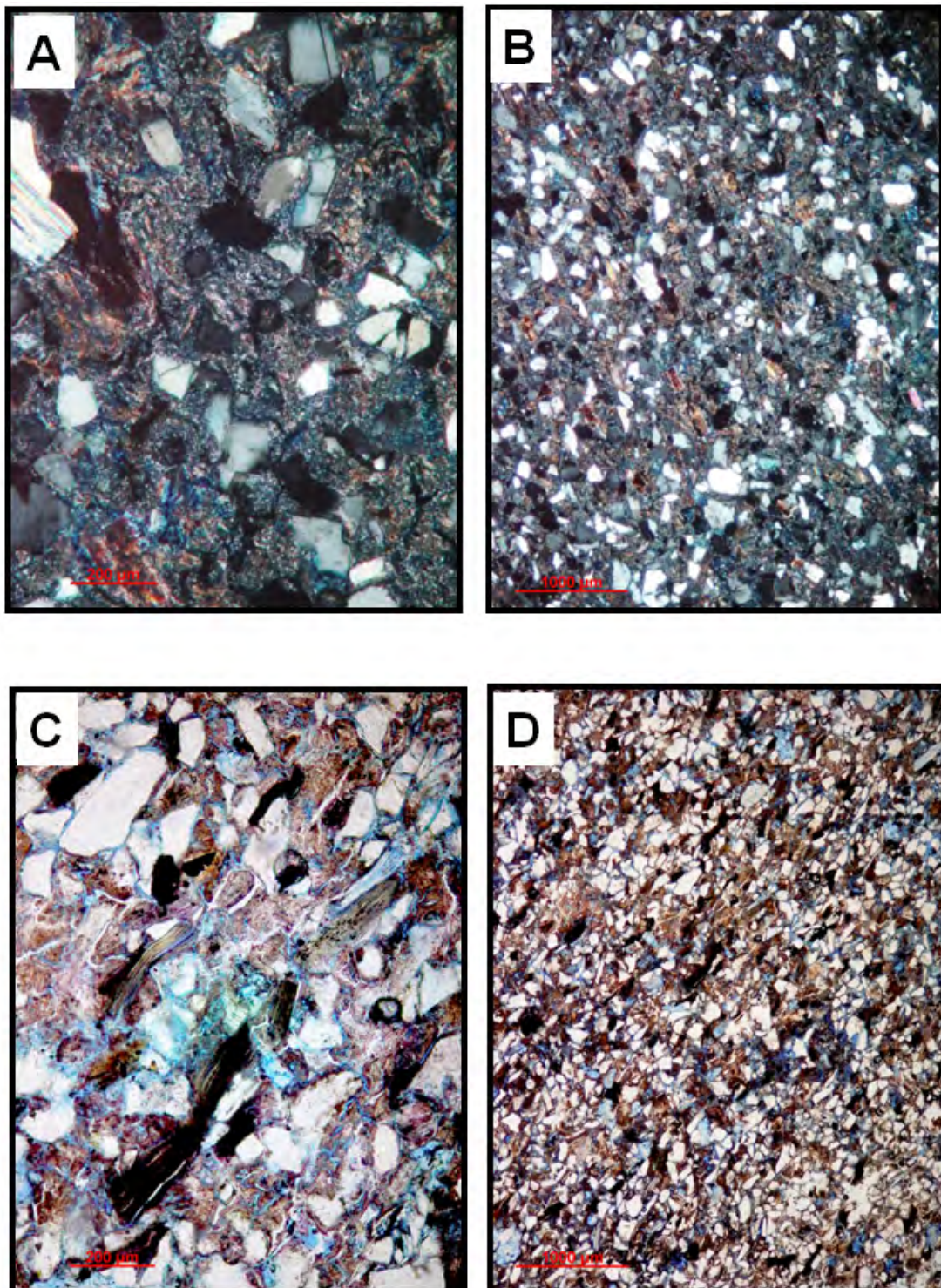
ESTAMPA X – LÂM 2

Figura A – Aspecto da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando matriz argilosa em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.

Figura B – Aspecto da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando uma visão geral da matriz argilosa em grãos de quartzo. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.

Figura C – Aspecto da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol cruzado), mostrando o esmagamento de um grão de mica e alterações de micas para argilas. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8m.

Figura D – Aspecto da fácies A3, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma visão geral da porosidade. Poço 1PS-11-CE, profundidade de 50,8 m.



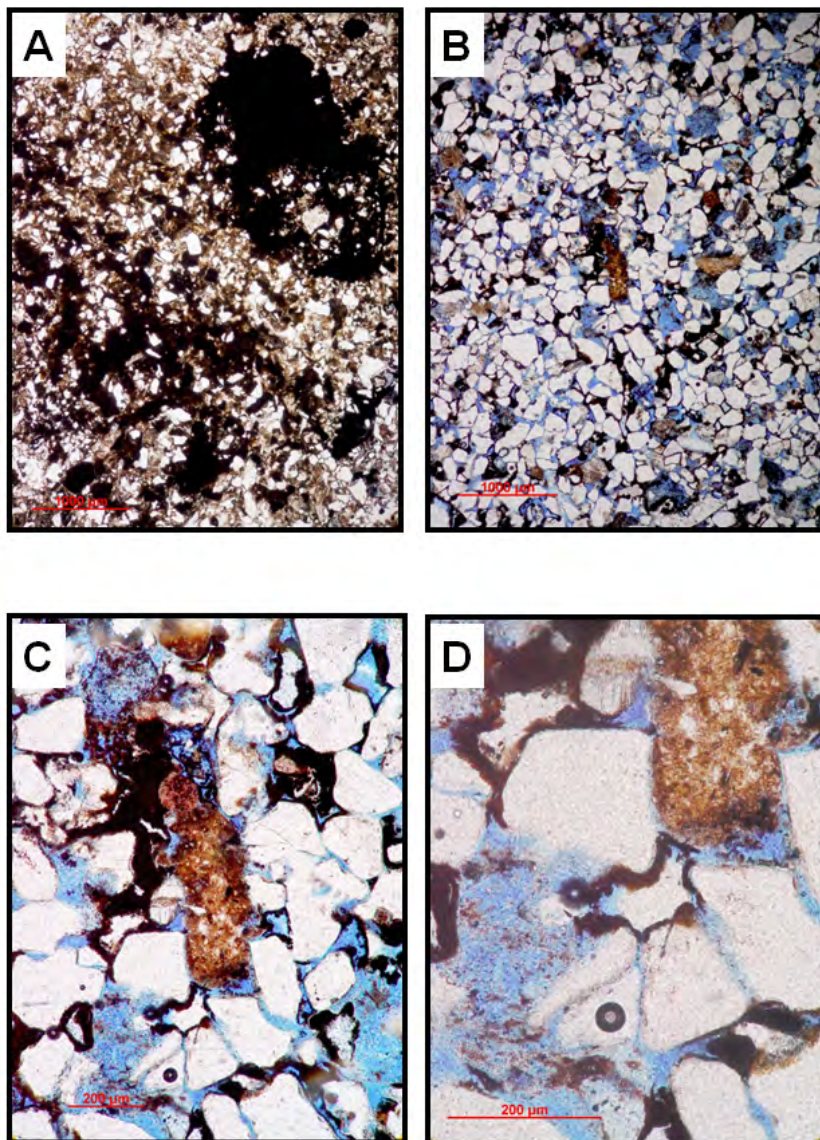
ESTAMPA XI – LÂM 3 e 4

Figura A – Aspecto da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma intensa cimentação e ruim porosidade. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 151,3 m.

Figura B – Aspecto da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando uma visão geral da porosidade. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3 m.

Figura C – Aspecto da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando um litoclasto sedimentar e coatings de óxidos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3 m.

Figura D – Aspecto da fácies A2, em lâmina petrográfica (nicol paralelo), mostrando, em detalhe, um litoclasto sedimentar e coatings de óxidos. Poço 1PS-12-CE, profundidade de 176,3 m.



As análises de permeabilidade forneceram resultados expostos no Quadro 6.

Quadro 6 – Permeabilidades dos possíveis potenciais reservatórios

POÇO	Profundidade (m)	Fácies	SF	Permeabilidade (Md)
1PS-11-CE	27,5	A4	SF1	70,6
	44,4	A3	SF3	1.100
1PS-12-CE	151,3	A2	SF3	1.170
	176,3	A2	SF1	2.800

4.3 Sistemas petrolíferos

4.3.1 Geradores potenciais

Foi identificada, do ponto de vista faciológico, a sucessão que melhor se adequaria às condições esperadas de um intervalo potencialmente gerador.

A SF2 (lacustre) apresenta um caráter betuminoso, pela preservação da matéria orgânica, resultante de condições de anoxia existente na deposição dos sedimentos. Acredita-se que este intervalo possua matéria orgânica em quantidade e composição adequada para geração de hidrocarbonetos, porém a baixa evolução térmica não permitiu que os sedimentos microclásticos lacustres da Formação Santana pudessem gerar hidrocarbonetos na bacia do Araripe.

4.3.2 Reservatórios potenciais

Intervalos representados pelas sucessões de fácies deltaico-lacustre (SF1) e fluvial (SF3) podem ser analisados como potenciais reservatórios, sendo estes selados pela sucessão de fácies lacustre (SF2).

Este intervalo possui uma espessura de 27 m no poço 1PS-11-CE e é composto exclusivamente por arenitos. Possui melhores características permo-porosas na sua parte inferior (SF3), com permeabilidades com valores de 1.100 Md. Em lâminas petrográficas foi possível identificar *coatings* de clorita em grãos de quartzo e alteração de micas para argilas, formando assim barreiras permo-porosas, conseqüentemente prejudicando o reservatório.

Já no poço 1PS-12-CE este intervalo possui uma espessura de 52 m, porém com aproximadamente 16% de frações microclásticas. Possui melhores valores de permeabilidade, chegando na sua parte inferior a 2.800 mD (SF1), e na superior (SF3) a 1.170 mD. Em lâminas petrográficas, foram identificados *coatings* de óxidos e cimentação secundária, formando assim barreiras permo-porosas, conseqüentemente prejudicando o reservatório.

4.4 Análogo recente

O paleoambiente deposicional deltaico-lacustre é o que melhor se adapta as sucessões de fácies interpretadas neste trabalho. Um análogo recente é este ambiente no lago Turkana, no continente africano (Figura 22).



Figura 22 – Imagem de satélite do ambiente deltaico-lacustre no lago Turkana, no continente africano, com as sucessões de fácies deltáico lacustre (SF1), lacustre (SF2) e fluvial (SF3). (<https-zulu.ssc.nasa.gov-mrsid->).

5 CONCLUSÕES

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

Foi possível identificar superfícies de discordância, correlatas às identificadas por Silva (1986b) e Mendes (2005), além de regressão forçada, transgressiva, de inundação e de inundação máxima.

Em termos de rochas potencialmente geradoras, o intervalo estudado possui espessos pacotes de rochas microclásticas, representados pela sucessão de fácies lacustres (SF2).

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

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

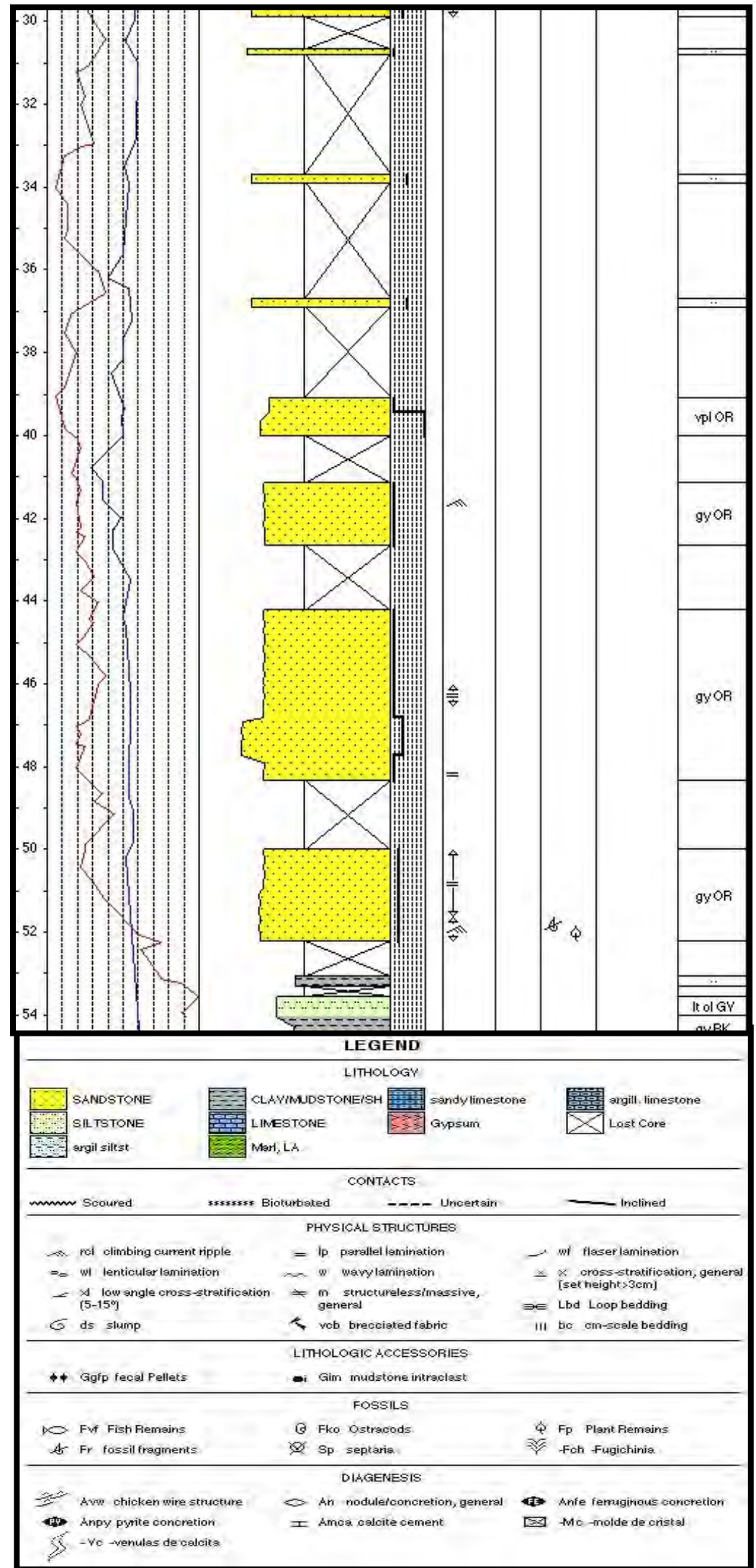
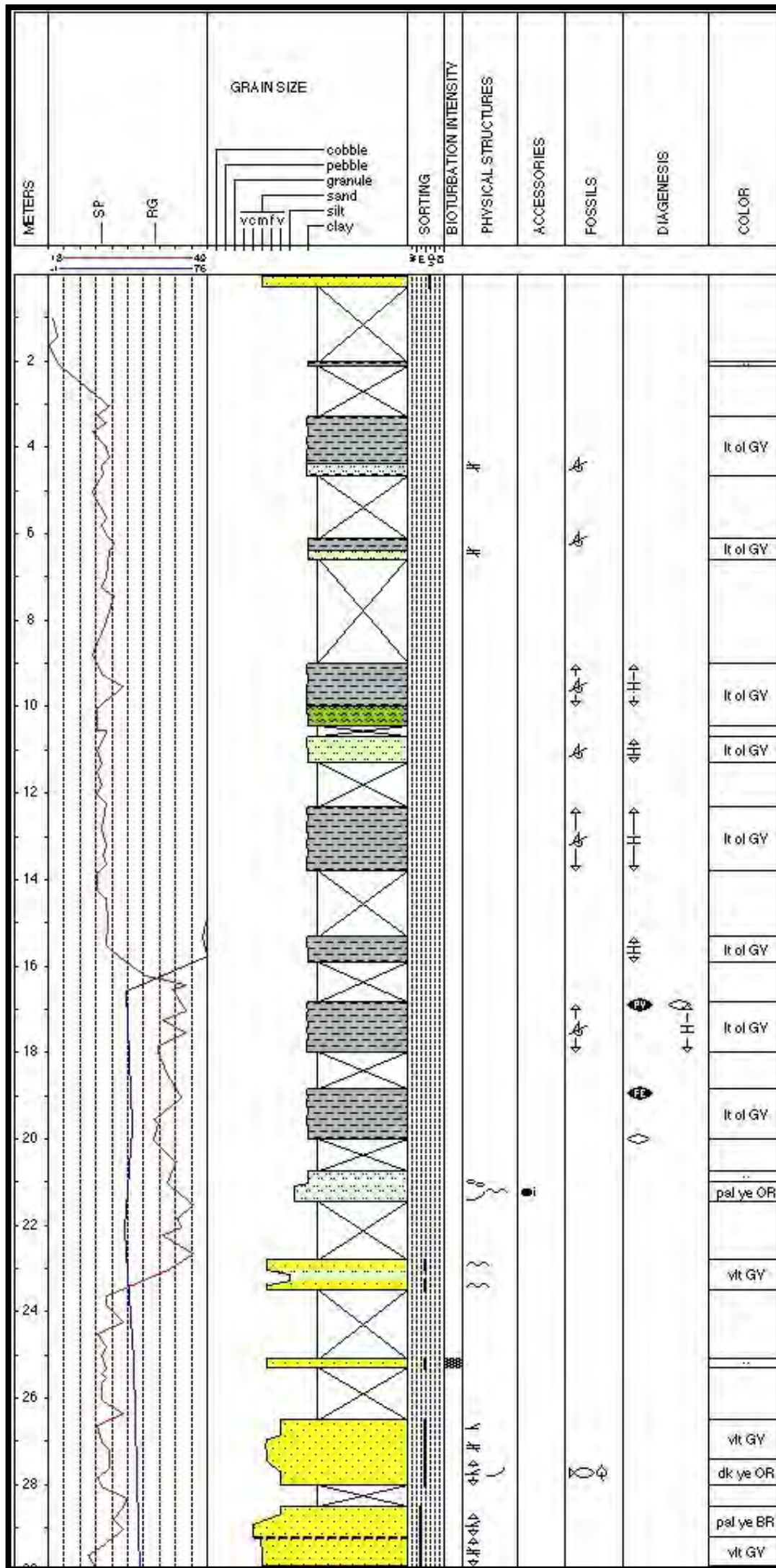
- ANJOS, N.F.R. 1963. Novos elementos sobre a hidrogeologia do Alto Jaguaribe, Ceará. Recife, SUDENE/DRN. Série Hidrogeologia. 1: 19 p.
- ARAI, M. & COIMBRA, J. C. 1990. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). SIMP. BACIAS DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1. Crato, 1990. Atas...Crato, DNPM. P.225-240.
- ASSINE, M. L. 1992a. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Rev. Brás. Geoc.*, 22(3): 289-300.
- ASSINE, M. L. 1992b. Paleocorrentes na bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: SIMP. BACIAS CRETÁCIAS BRAS.,2 Rio Claro, 1992UNESP/IGCE. P. 59-60.
- BARROS, F. C., 1963. Sobre a sistemática da Série Araripe. Rio de Janeiro, *Mineração e Metalurgia*. 37(218): 52.
- BEURLIN, K. 1962. A geologia da Chapada do Araripe. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 34(2):1.
- BEURLIN, K. 1963. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGR. BRAS. GEOL., 17 Recife, 1963. *Anais...Recife*, SBG/ SUDENE. 47 p. (suplemento).
- BEURLIN, K. 1966. Novos equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 389(3/4): 455-464.
- BEURLIN, K. 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 43(Suplemento): 411-415.
- BEURLIN, K. & MABESOONE, J. M. 1969. Bacias cretáceas intracontinentais do Nordeste do Brasil. Campinas. *Notícias Geomorfológicas*, 9 (18): 19-34.
- BORGHI, L . 2000. 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).
- BOTTJER, D.J & DROSER, M.L. 1991. Ichnofabric and basin analysis. *Palaios*, 6(3): 199-205.
- BRAUN, O. P. G. 1966. Estratigrafia dos sedimentos da parte inferior da região nordeste do Brasil. (Bacias de Tucano-Jatobá, Miranda e Araripe). Rio de Janeiro, DNPM/DGM.75 p. (Boletim236).

- FARINA, M. 1974. Seqüência plumífera do Araripe. Mineralização singenética sulfatada no Cretáceo sedimentar brasileiro. Recife, CPRM. 37 p.
- GASPARY, J. & ANJOS, N.F.R. 1964. Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte, Ceará. Recife, SUDENE/DRN. 25 p. (Série Hidrogeologia 3).
- HASHIMOTO, A. T.; APPI, J. C.; SOLDAN, A. L.; CERQUEIRA, J. L. & CERQUEIRA, J. R. 1987. O neo-alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratiográfica e paleoambiental. *Rev. Bras. Geoc.*, **17**(2): 118-122.
- KLEMME, H. D. 1980 – Petroleum basins – classification and characteristics. *J. Petr. Geol.*, **3**(2): 187-207.
- LIMA, M. R. 1978. Considerações palinológicas a respeito de correlação estratiográfica entre as formações cretáceas do Nordeste do Brasil. In: CONG. BRAS. PALEONT., BIOESTRAT. e CONGR. LATINO-AMERICANO PALEONT. Atas... Buenos Aires, **5**(2): 227-233.
- LIMA, M. R. 1979. Paleontologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil: Estágio atual de conhecimentos. *An. Acad. Bras. Ci.*, **51**(3): 545-556.
- LIMA, M. R & PERINOTTO, J. A. J. 1984. Palinologia de sedimentos da parte inferior da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe. São Paulo, Geociências, v. 3, p. 67-76.
- MACHADO-JUNIOR, D. L.; DEHIRA, L. K.; CARNEIRO, C. D. R & ALMEIDA, F.F.M. 1990. Reconstruções paleoambientais do Juro-Cretáceo no Nordeste do Brasil. *Rev. Brás. Geoc.*, **19**(4): 470-485.
- MENDES, M.S. 2005- 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.
- MEDEIROS, R. A. 1990. Estratigrafia da Chapada do Araripe: o estado da arte. In: SEMINÁRIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1. Crato, 1990. Atas... Crato, DNPM. P. 43-51.
- MIALL, A. D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Sci. Rev.*, **13**: 1-62.
- MIALL, A. D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Sci. Rev.*, **22**: 261-308.
- MIALL, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Geology. Berlin, Springer-Verlag, 582p.

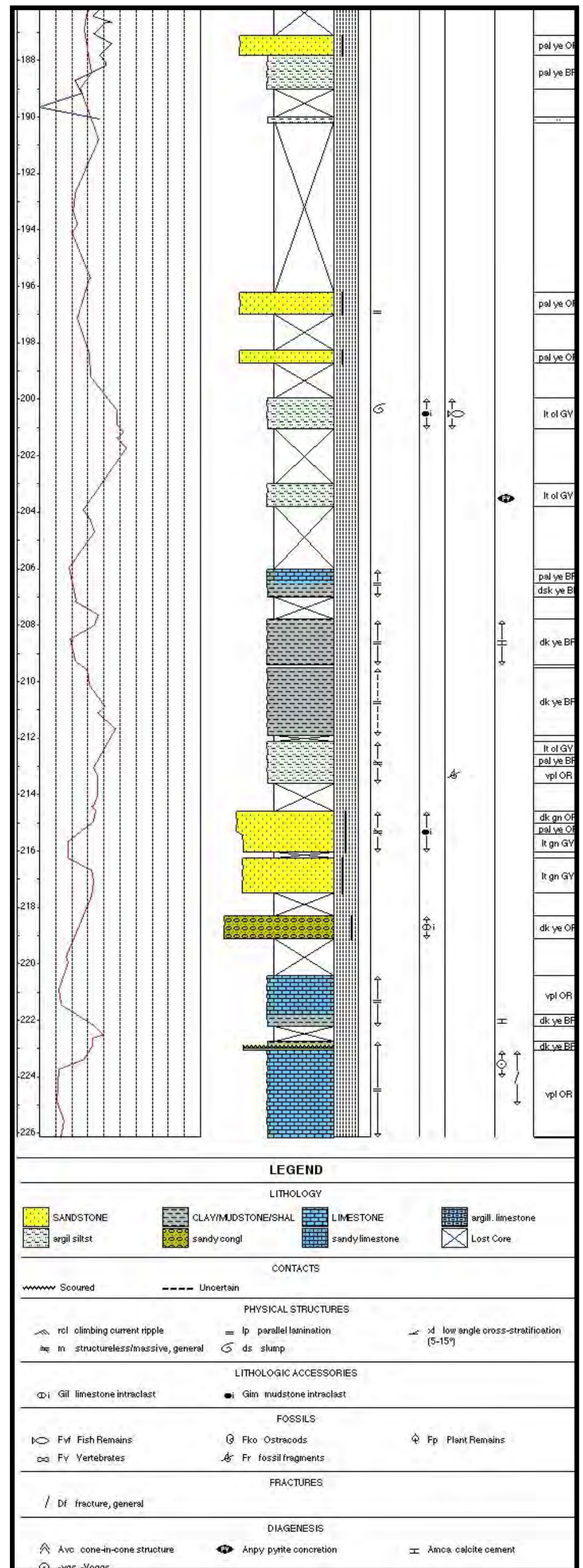
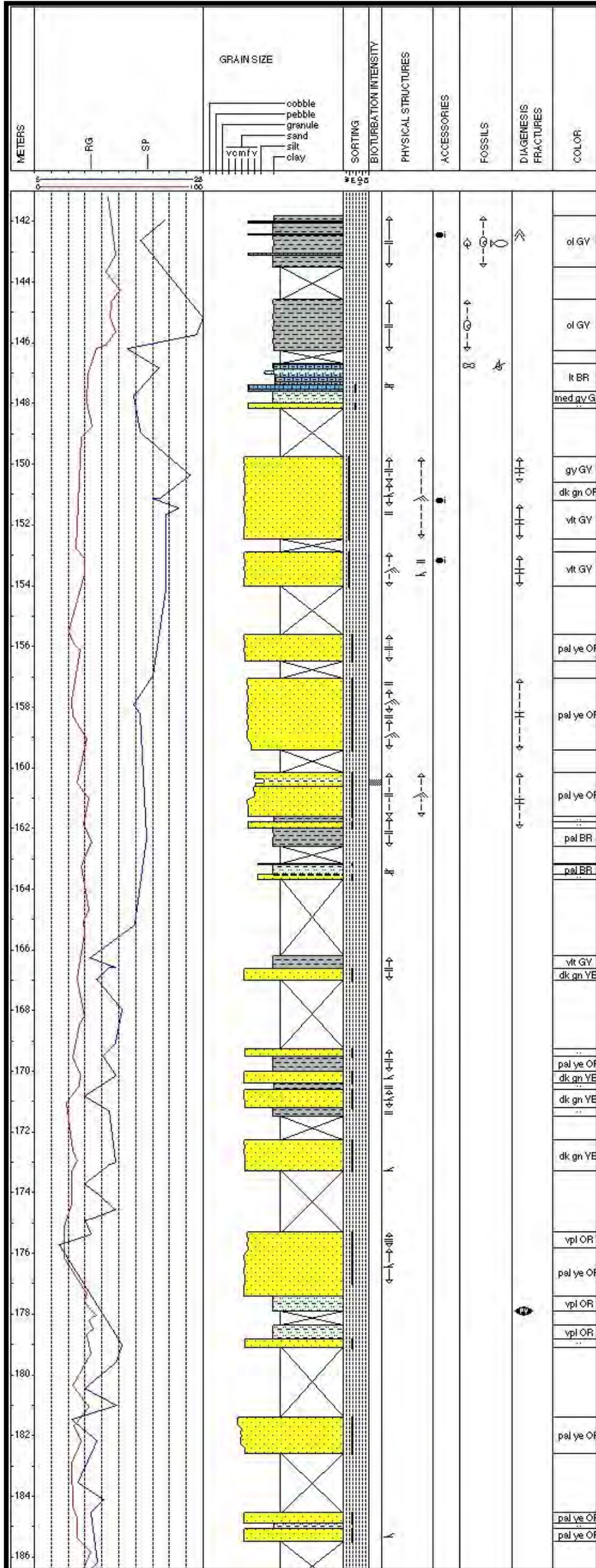
- NEUMANN, V. H. M. L. 1999. Estratigrafía, Sedimentología y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albiense de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)- Barcelona, 1999. 250 p. Tese (Doctorado) – Facultat de Geologia – Universitat de Barcelona, 1999.
- NEUMANN, V. H de M. L. 2004. Palestra sobre a bacia do Araripe apresentada no Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ, em 10/2004.
- OLIVEIRA, E. 1983. A Chapada do Araripe e sua representação pela gravimetria. Rio de Janeiro. Petrobrás/ DEPEX/SEMEPO. (Inédito).
- PETRI, S. 1987. Cretaceous paleogeographic maps of Brazil. Amsterdam, Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology. 59: 117-168.
- PONTE, F. C. & APPI, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe. In: Congresso brasileiro de Geologia, 36, Natal, *Anais*, p. 211-226.
- PONTE, F. C. & PONTE FILHO, F. C. 1996. *Estrutura geológica e evolução tectônica da bacia do Araripe*. Recife, DNPM/PE DNPM/CE, Relatório, 68p.
- POSAMENTIER, H. W. & VAIL, P. R. 1988. 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).
- POSAMENTIER, H. W.; ALLEN, G. P.; JAMES, D. P. & TESSON, M. 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration sibnificance. AAPG Bulletin, 76: 1687-1709.
- RAND, H. M. & MANSO, V. A. V. 1984. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG. v. 4, p. 2011-2016.
- SANTOS, E. J. & BRITO-NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: F.F.M. de Almeida e Y. Hasui (coords.) - O Pré-Cambriano no Brasil. São Paulo, Blücher. P. 123-186.
- SCHEID. C.; MUNIS, M. B. & PAULINO, J. 1978. Projeto Santana. Relatório Final da Etapa II. Recife, DNPM/ CPRM. 136 p.
- SELLEY, R. C. 1996. Ancient Sedimentary Environments. London, Chapman & Hall.
- SILVA, M. A. M. 1986a. Lower Cretaceous sedimentary sequence in the Araripe basin, northeast Brazil: a revision. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(3): 311-319.
- SILVA, M. A. M. 1986b. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe basin, northeast Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(3): 306-310.

- SILVA, H. T. F. 1993. Elementos hierárquicos em bacias rifte intracontinentais: proposição de um modelo de seqüência. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 15. Natal, 1993. Boletim de Resumos, n^o, p. 362 – 363. SBG.
- SMALL, H. L. 1913. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí. Rio de Janeiro, Ministério da Aviação e Obras Públicas. Inspectoria Federal de Obras Contra as Secas. 1^a ed., 81p. Série I.D. (Boletim 25).
- SPIX, J. B. & MARTIUS, C. F. 1823-31. *Von Reise in Brasilien in 1817 bis 1820 gemacht und becieben*. Gedruckt bei M. Lindauer. München, Germany. Vol. 3, 1 atlas in folio.
- VAN WAGONER, J. C.; MITCHUM, R.M.; CAPION, K. M. & RAHMANIAN, V. D. 1990. Sclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops. Tulsa, AAPG, 55 p. (Methods in Exploration Series, 7).
- VIANA, M. S. S. 1990. Estratigrafia e paleontologia da Formação Santana, Cretácio Inferior da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, 106 p. (Tese de Mestrado, UFRJ/IG).

ANEXO A



ANEXO B



LEGEND

LITHOLOGY

- SANDSTONE
- CLAY/MUDSTONE/SHAL
- LIMESTONE
- argill. limestone
- argil siltst
- sandy congl
- sandy limestone
- Lost Core

CONTACTS

- Scoured
- Uncertain

PHYSICAL STRUCTURES

- rcl climbing current ripple
- lp parallel lamination
- ds slump
- m structureless/massive, general
- xl low angle cross-stratification (5-15°)

LITHOLOGIC ACCESSORIES

- Gil limestone intraclast
- Gim mudstone intraclast

FOSSILS

- Fvf Fish Remains
- Fko Ostracods
- Fp Plant Remains
- Fv Vertebrates
- Fr fossil fragments

FRACTURES

- Df fracture, general

DIAGENESIS

- Avc cone-in-cone structure
- Anpy anhydrite concretion
- Amca calcite cement