

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO LIMITE FORMACIONAL LONGÁ/POTI, BACIA DO PARNAÍBA - UM CASO DE INVESTIGAÇÃO DE POSSÍVEIS CORPOS ISOLADOS DE ARENITO

LOBATO, G. ¹ (PGT – Petroleum Geoscience Technology) &
BORGHI, L. ² (UFRJ, IGeo, DGEL, Lagesed – Laboratório de Geologia Sedimentar)

¹ gzlobato@yahoo.com.br

² lborghi@geologia.ufrj.br

RESUMO. – O estudo objetiva a análise detalhada de fácies do intervalo no limite entre as formações Longá e Poti (Neodevoniano / eocarbonífero) com base em 181 m de testemunhos de sondagem descritos nos poços 1-UN-04-PI e 1-UN-24-PI (Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba, DNPM/CPRM), na parte oriental da bacia do Parnaíba, com a finalidade de testar modelos estratigráficos alternativos para a definição de seqüências deposicionais de alta frequência (alta definição) nesse intervalo. Procura-se, assim, contribuir para o conhecimento geológico exploratório de hidrocarbonetos na bacia do Parnaíba, considerada de fronteira exploratória. Os resultados apontaram para a identificação de 13 fácies sedimentares (10 lito- e 3 icnofácies), agrupadas em 9 sucessões de fácies, as quais permitiram o reconhecimento dos sistemas deposicionais (i) glácio-marinho, (ii) marinho raso dominado por ondas e (iii) flúvio-deltaico (frente deltaica e prodelta), dominados por ondas. A análise das sucessões de fácies permitiu a caracterização de superfícies estratigráficas de regressão forçada (discordantes) de várias naturezas e ordens, que, por sua vez, permitiram a caracterização de duas seqüências deposicionais de 3ª ordem, limitadas por uma superfície de erosão subaérea, nas quais se inserem outras de menor ordem (4ª/5ª ordem?). Sugere-se a superfície de discordância subaérea, que limita as seqüências de 3ª ordem, como o limite formacional envolvido. Além dessas superfícies, identificaram-se superfícies transgressivas, de inundação marinha e inundação máxima. O modelo estratigráfico aponta para a evolução deposicional em um contexto de *rebound* isostático e permite especular a existência de corpos de arenito isolados ao centro da bacia, correlatos geneticamente ao intervalo estudado, que podem vir a se constituir em potenciais reservatórios estratigraficamente posicionados no topo na Formação Longá. Tais corpos de arenitos isolados, tais como os discutidos no Devoniano da bacia para a Formação Pimenteira (YOUNG & BORGHI, Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2006), suscitam a necessidade de contínuo detalhamento estratigráfico em caráter exploratório para um maior conhecimento dos seus potenciais sistemas petrolíferos. (Agradecimentos ao 4º Distrito do DNPM e ao conv. UFRJ/PRH-ANP/MCT n.18).

Palavras chave: *Bacia do Parnaíba, Exploração de petróleo, Formação Longá, Formação Poti*

1 INTRODUÇÃO

A bacia do Parnaíba, com preenchimento principalmente paleozóico, dentre as bacias brasileiras pode ser considerada entre as a menos conhecidas do ponto de vista geológico, sobretudo devido à fraca perspectiva exploratória para hidrocarbonetos e distância dos grandes centros de pesquisa do País.

As formações Longá e Poti, de idade Fameniano–Viseano (Neodevoniano– Eocarbonífero), pertencem ao Grupo Canindé e são consideradas como um ciclo transgressivo–regressivo final da Seqüência Devoniana de Góes & Feijó (1994), de 2ª ordem. Análises estratigráficas detalhadas e, mais particularmente, as de fácies envolvendo essas duas formações são escassas, o que dificulta a avaliação do seu potencial econômico.

Em um esforço de contribuição ao conhecimento exploratório de hidrocarbonetos na bacia, considerada de fronteira exploratória, o estudo objetiva a análise faciológica e estratigráfica de um intervalo da porção superior da Formação Longá e inferior da Formação Poti em subsuperfície (testemunhos de sondagem), com a finalidade de se testar a hipótese de mecanismos estratigráficos de regressões forçadas conformadores da arquitetura deposicional do intervalo (q.v. Lobato, 2007), como verificado para a Formação Pimenteira por Young (2006) e Young & Borghi (2006). A análise de fácies envolveu a caracterização de fácies e suas sucessões, assim como a interpretação de sistemas deposicionais e a identificação de superfícies estratigráficas de seqüências (q.v. Lobato, 2007)

O desafio está em aplicar conceitos da estratigrafia de seqüências na escala de trabalho proposta, cujo resultado, de alta resolução, abre avenidas de interpretações mais detalhadas para discussões de um sistema petrolífero Longá–Longá(?). A motivação apóia-se na disponibilidade de dados (testemunhos) de boa qualidade, permitindo a aplicação do modelo de Estratigrafia de Seqüências (cf. Van Wagoner *et al.*, 1990).

2 MATERIAL E MÉTODO

Como material de estudo foram utilizados 181 m de testemunhos de sondagem de diâmetro BX (42,04 mm) dos poços 1-UN-04-PI e 1-UN-24-PI do *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba* (q.v. Leite *et al.* 1975).

Localizam-se na borda Leste da bacia, próximos às cidades de Miguel Alves (PI) e Buriti de Inácia Vaz (MA), a norte de Teresina (PI), distando ~ 25 km entre si. Contam com perfis geofísicos de raios-gama (GR), potencial espontâneo (SP) e resistividade.

Como método, realizou-se a descrição dos testemunhos, que foi digitalizada programa *AppleCORE*® v.9.4d para Macintosh, onde foi ainda carregados os perfis geofísicos do poços.

Amostras de rocha foram coletadas para análise petrográfica (18 amostras), em apoio à caracterização das litofácies, além de amostras para análise de palinofácies (6 amostras), em apoio à interpretação paleoambiental.

Na análise de fácies, particularmente para fácies de tempestitos e icnofácies, utilizaram-se respectivamente os esquemas de Borghi (2002) e Bann & Fielding (2005).

Após a definição das sucessões de fácies e sua interpretação, em termos de sistemas deposicionais, buscou-se a identificação de superfícies estratigráficas de seqüências que permitissem inserí-las em um panorama estratigráfico de seqüências baseado nos conceitos discutidos por Catuneanu (2003), em uma abordagem de alta definição. Utilizou-se o conceito de regressão forçada apresentado por Plint (1988) nessa abordagem, tal como feito por Young (2006) e Young & Borghi (2006) para a Formação Pimenteiras (Devoniano) na bacia.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Formação Longá, datada do Fameniano ao Tournaisiano por Mello *et al.* (1998), é composta por argilitos e folhelhos escuros, em geral bioturbados, com intercalações de siltitos e raros arenitos (Della Fávera, 1990), cujo mapa de isópacas mostra aparentemente dois depocentros, um na borda leste e outro na região centro-oeste da bacia (q.v. Caputo, 1984; Cunha, 1986; Góes, 1995), com espessura máxima de 150 m.

Existem poucos trabalhos de detalhe sobre fácies sedimentares e caracterização estratigráfica disponíveis na literatura sobre a Formação Longá, valendo citar Leite *et al.* (1975), Lima & Leite (1978), Caputo (1984) e Góes (1995).

A Formação Potí, de idade do Viséano médio a superior (Melo & Loboziak, 2000), segundo Della Fávera (1990), é composta por arenitos finos claros com estratificações cruzadas tabulares e sigmoidais, siltitos e por escassos conglomerados e diamictitos, além de delgadas camadas de carvão, de ocorrência restrita. Possui uma espessura máxima de 300 m, como observado em seu mapa de isópacas (q.v. Caputo, 1984; Cunha, 1986; Góes, 1995).

O limite entre as Formações Longá e Poti, segundo Lima & Leite (1978), é “globalmente concordante”, podendo ocorrer de forma gradacional ou com brusca mudança litológica. Caputo (1984) considera a base da Formação Longá como lateralmente gradacional à Formação Cabeças e o topo, com a Formação Poti, como concordante na região central da bacia e discordante nas bordas e faixas de afloramento, onde a Formação Longá pode até estar ausente.

Góes (1995) interpreta a base da Formação Poti e topo da Formação Longá como pertencente uma única seqüência deposicional, relacionada a um paleoambiente deltaico/estuarino, plataformal, litorâneo e fluvial em um sistema regressivo de costa progradante.

4 HISTÓRICO EXPLORATÓRIO NA BACIA DO PARNAÍBA

Até o presente a bacia do Parnaíba vem sendo considerada como de fronteira exploratória, em função de poucos indícios subcomerciais de petróleo (poço 1-TB-2-MA) e gás (poço 2-CP-1-MA), e devido à escassez de dados geológicos exploratórios, o que resulta na falta de modelos exploratórios adequados.

O volume de conhecimentos geológicos da bacia provém de dados levantados inicialmente pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), na década de 1950, aos quais se somaram investimentos da então recém-criada Petrobras, que se seguiram nas décadas de 1960 e 1970. Na década de 1980, novos dados foram adquiridos na fase de contratos de risco pelas empresas ESSO e ANSCHUTZ. A Petrobras voltou a uma nova fase de aquisição de dados em 1988, finalizada 1993.

Hoje em dia dispõem-se de 31 poços exploratórios perfurados para hidrocarbonetos (21 pioneiros e 10 estratigráficos), dentre os quais, apenas 7 perfurados com o apoio de levantamentos sísmicos. Existem ainda muitos poços rasos, freqüentemente testemunhados, obtidos próximos às bordas de afloramento, em projetos de exploração mineral executados na década de 1970 pelo DNPM/CPRM (como os aqui estudados). Existem ainda 13 000 km de sísmica 2D com distribuição esparsa, além de dados magnetométricos e gravimétricos (ANP, 2002).

São considerados cinco intervalos potencialmente geradores de petróleo na bacia. Três deles encontram-se dentro da Formação Pimenteiras e apresentam COT residual máximo de 6%; os outros dois encontram-se nas

formações Tianguá e Longá, consideradas rochas geradoras secundárias, com máximo de COT de até 1% (q.v. Rodrigues, 1995). Em termos de rochas reservatório, destacam-se apenas os arenitos da Formação Cabeças, além da Formação Itaim e corpos lenticulares da Formação Pimenteira. Assim, o principal sistema petrolífero considerado é Pimenteira–Cabeças(!), com traçamento estrutural, selado pelos folhelhos da Formação Longá. Outros sistemas, especulativos, são Tianguá–Jaicós(?), Tianguá–Ipú(?) e Pimenteira–Pimenteira(?) (q.v. Góes *et al.*, 1990; Young, 2006; Young & Borghi, 2006).

Conforme Forman (2002), a então Agência Nacional do Petróleo (ANP) apontou para a necessidade de investimentos em pesquisa exploratória, devido principalmente à falta de resposta por parte de companhias nacionais e estrangeiras à oferta de um bloco na bacia do Parnaíba na IV Rodada de Licitações (ocorrida em junho de 2002). Logo em seguida, Superintendência de Definição de Blocos da ANP (Araújo, 2003), reconhecendo o volume insuficiente de dados para a avaliação de seu potencial petrolífero e, conseqüentemente, para a atração de investimentos, indicou em seu plano decenal de estudos geológicos e geofísicos para exploração a importância da aquisição de dados aerogeofísicos, geoquímicos, sísmicos e estratigráficos na bacia. Tal demanda começou a ser suprida recentemente, através de levantamentos aerogeofísicos (gravimétricos e magnetométricos) realizados em escala regional, sob os auspícios da própria ANP, além da tentativa de colocação de um setor na bacia para avaliação de áreas exploratórias na 8ª Rodada de Licitações, em 2006. Recentemente, um setor na bacia do Parnaíba será oferecido na 9ª Rodada de Licitações, em 2007.

5 RESULTADOS

No intervalo estudado foram caracterizadas ao todo 10 fácies (litofácies) e 3 icnofácies (Quadro 1). Incluem-se ainda atributos modificadores, que geram 8 subfácies, e ressalta-se a divisão da icnofácies *Cruziana* nas icnofácies “*Cruziana proximal*” (CZp) e “*Cruziana empobrecida*” (CZe), de acordo com Bann & Fielding (2005).

As fácies foram analisadas e agrupadas em 13 sucessões de fácies, de acordo com a sua distribuição, comportamento granulométrico no seqüenciamento vertical, auxiliado pelo padrão das curvas dos perfis geofísicos. No Quadro 2 encontra-se um resumo das características e a interpretação de cada sucessão de fácies. Para a descrição e discussão detalhada de cada fácies e sucessão de fácies veja Lobato (2007).

5.1 Sistemas Depositionais

Os sistemas deposicionais foram interpretados através das relações prováveis entre as diversas sucessões de fácies nos dois testemunhos, obedecendo o princípio de que fácies contidas entre superfícies estratigráficas de mesma natureza e ordem (escala) guardam relação genética, podendo ser estabelecidas em associação (*cf.* Borghi, 2000).

O reconhecimento dessas superfícies em testemunho é tarefa arrojada, quando não se dispõem de dados da arquitetura deposicional (e.g., seqüências estratigráficas de superfície, linhas sísmicas) e, sobretudo, quando os poços dos testemunhos distam 25 km entre si. Assim, esse reconhecimento recai pesadamente sobre a análise de fácies à luz de modelos deposicionais (sedimentológicos e estratigráficos), pela qual se buscam superfícies estratigráficas de seqüências como as que seguem (v. item 5.2).

Caracterizaram-se quatro sistemas deposicionais, dos quais dois (glácio-marinho e costeiro deltaico dominado por ondas) inserem-se no topo de uma seqüência de 3ª ordem, enquanto que dois outros sistemas (marinho raso dominado por ondas e flúvio-deltaico dominado por ondas), na base de outra seqüência de mesma ordem.

Os sistemas aqui interpretados, com exceção do glácio-marinho, podem representar paleoambientes de um sistema de maior escala, deltaico dominados por onda; neste, a distinção entre paleoambientes deltaicos e costeiros, ambos dominados por ondas, com base apenas nas litofácies, pode ser dificultada, uma vez que depósitos de antepraia e costa-afora assemelham-se, respectivamente à frente deltaica e prodelta. (q.v. Reading & Collinson, 1996, p.203). Neste ponto, ajudam a identificação de gretas de sinerese, como das subfácies H1(s) e Hw(s), indicativas de variação de salinidade; a presença da icnofácies CZe, indicativo de estresse ambiental por variação de salinidade e turbidez (q.v. Bann & Fielding, 1995) e a presença de siderita/ ankerita, em diversas fácies, indicativa de aporte de águas continentais.

Sistema glácio-marinho – Este sistema é reconhecido tipicamente pela sucessão SF1, associada à SF2-A, no testemunho do poço 1-UN-24-PI. O contexto paleoambiental glácio-marinho é suportado pela interpretação de depósitos de till de chuva-de-grãos ou ressedimentação, da fácies Dmm, deformados por fases de avanço de geleiras ou *icebergs* (fácies ALd).

A variação de argilosidade na SF1, em um ciclo de aumento–diminuição, observada em camadas da fácies Dmm no poço 1-UN-24-PI, sugere relação de proximalidade–distalidade dentro do modelo glácio-marinho, o que implica em um ciclo transgressivo–regressivo.

Quadro 1 – Quadro síntese das fácies caracterizadas nos testemunhos estudados dos poços 1-UN-04-PI e 1-UN-24-PI. (q.v. Lobato, 2007)

CÓDIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
Am	Arenitos muito finos a finos com estrutura maciça. Pode conter tapete-de-tração [subfácies Am(t)].	Depósitos arenosos de fluxos de densidade (gravitacionais) concentrados.
Ah	Arenitos muito finos a finos, moderadamente a bem selecionados, com laminação horizontal (plano-paralela).	Depósitos por agradação de leito plano, gerado em regime de fluxo superior.
Ar	Arenitos finos, moderadamente selecionados, com laminação cruzada.	Depósitos arenosos de ôndulas assimétricas com pequeno comprimento de onda, geradas por fluxo trativo unidirecional (corrente) por vezes bipolar, gerados em regime de fluxo inferior.
Ac	Arenitos finos a grossos, moderada a moderadamente bem selecionados, com estratificação cruzada (indistinta), de porte pequeno (3cm a 10cm) [subfácies Ac(p)] a médio (10cm a 30cm) [subfácies Ac(m)].	Depósitos arenosos de megaôndulas geradas por fluxo constante, não linear, unidirecional (corrente) em regime de fluxo inferior.
Aot	Arenitos muito finos a finos, moderadamente a bem selecionados, com estratificação ondulada truncante.	Depósitos arenosos subaquosos de megaôndulas <i>hummocky</i> geradas por fluxos oscilatórios (ondas) ou fluxos combinados (ondas e correntes).
Ao	Arenitos muito finos a finos, moderadamente selecionados, com laminação cruzada por ondas.	Depósitos arenosos de ôndulas simétricas geradas pela ação de ondas. Podem estar presentes processos alternados de decantação de argila.
Hw	Fácies heterolítica em conjuntos de camadas de arenitos muito finos a finos bem selecionados e siltitos em maior proporção (>30%), com folhelhos e/ou argilitos em acamamento ondulado. Pode conter gretas de sinerese [subfácies Hw(s)].	Depósitos alternados entre processos trativos e decantativos de finos. Pode sofrer variação de salinidade [subfácies Hw(s)].
HI	Fácies heterolítica em conjuntos de camadas de folhelhos e/ou argilitos com camadas de siltitos ou arenitos em acamamento lenticular. Pode conter gretas de sinerese [subfácies HI(s)].	Depósitos alternados de processos de decantação de finos e processos trativos. Pode sofrer variação de salinidade [subfácies HI(s)].
Dmm	Mistura clástica muito mal selecionada, matriz suportada, de areia fina até grossa, lama e intraclastos, predominando areia/silte [subfácies Dmm(A)] ou lama [subfácies Dmm(L)].	Depósitos de chuva-de-grãos proximais ou de ressedimentação por processos gravitacionais.
ALd	Camadas de arenitos e lutitos com estruturas de deformação.	Depósitos ressedimentados por processos de escorregamentos e deslizamentos (instabilidade geomecânica e/ou glacioteconismo).

(Cont.)

Quadro 1 – (Cont.)

CÓDIGO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
SK	Ícnocnose composta pelos ícnogêneros <i>Lockeia</i> , <i>Diplocraterion</i> , <i>Palaeophycus</i> e <i>Planolites</i>	Antepraia. Ícnocnose marinha rasa em substrato sob ação constante de ondas.
CZp	Ícnocnose composta pelos ícnogêneros <i>Planolites</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Rhizocorallium</i> , <i>Gyrolites</i> , <i>Skolithos</i> , <i>Arenicolites</i> e <i>Subphyllocorda</i>	Antepraia inferior. Ícnocnose marinha em substrato sob ação freqüente de ondas
CZe	Ícnocnose composta pelos ícnogêneros <i>Planolites</i> e <i>Arenicolites</i> , e com ii = 1.	Frente deltaica reelaborada por ondas. Ícnocnose marinha empobrecida pelo aporte de águas continentais

Quadro 2 – Quadro síntese das sucessões de fácies nos testemunhos estudados dos poços 1-UN-04-PI e 1-UN-24-PI (q.v. Lobato, 2007)

CÓDIGO	DIAGNOSE (Sucessão de Fácies)	INTERPRETAÇÃO (Paleoambiente)
SF1	Am, Dmm(A), Dmm(L) e ALd	Glácio-marinho. Ressedimentação por escorregamentos e deslizamentos; chuva de clastos; sucessão transgressivo-regressiva.
SF2-A	Dmm(A), HI, HI(s), Hw e Ao	Costa afora/prodelta, periglacial. Sucessão transgressivo-regressiva.
SF2-B	Am/Aot, Hw(s), Hw, HI(s), Ao e ALd	Frente deltaica dominada por ondas, distal. Sucessão transgressivo-regressiva.
SF2-C	Hw(s) e Hw	Laguna costeira.
SF3	Am, Aot, Ah, Ao, Ar e Ac(p).	Antepraia. Ação de ondas de tempestade. Sucessão transgressivo-regressiva.
SF4-A	Am, Ao, Aot, Ar Ah e Ac(p).	Frente deltaica dominada por ondas, proximal. Sucessão transgressivo-regressiva.
SF4-B	Am, Ah, Hw, Ao, Aot e Ac(p).	Frente deltaica dominada por ondas, distal/proximal. Sucessão transgressivo-regressiva.
SF4-C	Am, Ah, Am(t) e Aot.	Desembocadura deltaica dominada por onda. Sucessão regressiva.
SF5	Ac(p), Ac(m), Am.	Barra de desembocadura deltaica-canal fluvial. Sucessão transgressiva.

A SF2-A, que sucede a SF1 no poço 1-UN-24-PI, mais argilosa (fácies HI e HI(s) e Hw) e sem evidência das fácies glaciogênicas Dmm e ALd características, representa a fase transgressiva final associada à deglaciação do sistema. Representa um contexto paleoambiental marinho raso de costa-afora que evolui para um prodelta, evidenciado, na sucessão, pela presença de gretas de sinerese da fácies HI(s), além de pequenos escorregamentos e presença de siderita. No poço 1-UN-04-PI, a SF2-A, arenosa, indica a proximidade de um paleoambiente costeiro, associável a uma frente deltaica reelaborada por ondas, pela presença das fácies Hw e Hw(s), Ar/Ao e Aot.

Sistema costeiro-deltaico dominado por ondas – Representado pela associação das sucessões de fácies SF2-B e SF2-C, particularmente no testemunho do poço 1-UN-24-PI (Figura 2B). Dentro deste sistema, a SF-2B aponta para um contexto paleoambiental costeiro a deltaico dominado por ondas, no qual se inserem lagunas, representadas pela SF2-C.

Corroboram o contexto paleoambiental costeiro sob ação de ondas as fácies típicas Aot e Ao, por vezes bioturbadas (icnofácies SK, *Skolithos*), que se aproxima de um modelo de frente deltaica pela associação com fácies Hw e HI(s). O contexto lagunar é sugerido pela fácies Hw(s) com alta concentração de palinórfos continentais (*Botryococcus* sp.) e pela presença da icnofácies CZe (*Cruziana* empobrecida)

O sistema apresenta comportamentos tanto transgressivos quanto regressivos (regressão normal), evidenciados respectivamente por ciclos diminuição e aumento da razão arenito:folhelho das fácies. O registro lagunar é inserido em contexto transgressivo.

Sistema marinho raso dominado por ondas – Representado pela sucessão de fácies SF3, que ocorre nos testemunhos dos dois poços (Figura 2B). O contexto paleoambiental marinho raso de antepraia é sugerido pelas fácies típicas Am e Aot, indicativa da ação de ondas, apoiado pela presença das

icnofácies SK (*Skolithos*) e CZp (*Cruziana* proximal). Pode-se ainda distinguir, em termos paleoambientais, um contexto de antepraia superior, ausente de bioturbação, e inferior, bioturbada.

O sistema apresenta um padrão regressivo, onde a antepraia superior sobrepõe-se abruptamente à inferior, possivelmente como resultado de uma pequena regressão forçada, como observado na profundidade de 299 m do poço 1-UN-04-PI.

Sistema flúvio-deltaico dominado por ondas – Representado pela associação das sucessões de fácies SF4-A, SF4-B, SF4-C e SF5, em testemunho do poço 1-UN-04-PI. Em termos paleoambientais, o sistema é caracterizado por deltas dominados por ondas, nos quais se podem contextualizar frentes deltaicas distal (parte inferior da SF4-B) e proximal (SF4-A, parte superior da SF4-B), além de barras de desembocadura fluvial (SF5), na maior parte reelaborada por ondas (SF4-C).

O sistema apresenta um padrão geral regressivo, evidenciado por um grande ciclo de engrossamento granulométrico.

O contexto de frente deltaica distal é sugerido pela fácies típica Hw, enquanto que a proximal, pelas fácies típicas Am, Ar/Ao e Aot. O contexto de barras de desembocadura reelaboradas por ondas apóia-se na relação entre as fácies Am, Am(t) e Aot. Já o contexto fluvial, é marcado pelas fácies Ac(p), Ac(m) e Am(m), de grã mais grossa, em ciclos de rápido afinamento granulométrico.

5.2 Seqüências Depositionais

Foram identificadas duas seqüências deposicionais de 3ª ordem (Seq1 e Seq2), limitadas por uma superfície discordante (SD) (Figura 1). Na seqüência inferior, foram identificadas três seqüências de menor ordem (Seq1.1–Seq1.3), enquanto que na superior, cinco seqüências (Seq2.1– Seq2.5), separadas por superfícies regressiva de discordância subaérea (SRs), regressivo–transgressivas (SRT) ou regressiva de erosão marinha (SRem).

Foram também identificadas uma superfície basal de regressão forçada (SRb), uma superfície regressivas de erosão marinha (SRem), além de superfícies transgressivas (ST) e de inundaçã máxima (SIM), todas inseridas nas seqüências de menor ordem. O modelo de seqüências deposicionais de menor ordem utilizado foi o de Plint & Numedal (2000); enquanto que o reconhecimento das superfícies estratigráficas regressivas SRs, SRb e SRem foi feita segundo Catuneanu (2003).

A superfície SD, considerada um limite de seqüências de 3ª ordem, é correlacionada à superfície que separa as formações Longá e Poti que, segundo Melo & Loboziak (2000), envolve um hiato do Tournaisiano superior–Viseano inferior. A superfície foi reconhecida como discordante, associada a um rejuvenescimento (incisão) fluvial, pois trunca pelo menos duas seqüências de menor ordem abaixo (Seq.1.2 e Seq1.3). Recobrem-na sucessões de fácies transgressivas (SF3, Seq.2.1).

O contexto hierárquico das seqüências de menor ordem descritas, as quais implicam em alta definição estratigráfica, é sugerido pela escala física da suas espessuras (4–19,6 m), somado ao fato de o intervalo de estudo estar aproximadamente compreendido no Turnaisiano inferior (Seq1) e Viseano médio (Seq2), em estimativa feita com base em Melo & Loboziak (2000). Muito embora ainda não haja datação para o intervalo de estudo, a expectativa é que pertençam a seqüências de 4ª/5ª ordem ou, no máximo, a de 3ª ordem curta (~1 Ma),

Os limites de seqüência de menor ordem foram identificadas por superfícies de regressão forçada (SRem, SRT e SRs). A superfície regressiva de erosão marinha SRem-1, identificada por um contato brusco, erosivo, entre a SF2-A e SF2-B, é causada por intensa reelaboração por ondas do substrato marinho, registrando o máximo da regressão forçada; o que não ocorre com a SRem-2 (inserida na SF3), que parece indicar apenas o início da regressão. Correlacionam-se à *regressive surface of marine erosion* (RSME) de Catuneanu (2003). As superfícies regressivo–transgressivas (SRT-1, SRT-2 e SRT-3), são superfícies de regressão máxima (*maximum regressive surface*, MRS) de Catuneanu (2003), amalgamadas com superfícies transgressivas. São reconhecidas no limite entre as sucessões SF2-B e SF2-C, SF-3 e SF4-A, e SF4-A e SF4-B. As superfícies regressivas de discordância subaérea (SRs-1 e SRs-2) são correlativas à *subaerial unconformity* (SU) de Catuneanu (2003) e limitam duas sucessões SF4-A, pela intervenção de camadas da fácies Ac(p) com maior granulometria e intraclastos (aporte fluvial?), e a sucessão SF4-C da SF5, esta caracterizada por depósitos de maior granulometria, fluviais (desembocadura deltaica).

Seqüência deposicional 1.1 (Seq1.1) – Esta é a seqüência basal do intervalo estudado. Seu limite superior é a superfície discordante SRem-1; já seu limite inferior não foi reconhecido adequadamente entre os depósitos glaciênico da SF1 (Figura 1).

A Seq1.1 pode ser observada nos dois poços estudados, mas no poço 1-UN-24-PI possui uma maior representatividade, com a espessura observada de 76,5 m. Engloba as sucessões de fácies SF1 e SF2-A, inseridas em um sistema glácio-marinho. Apenas a SF2-A pode ser inserida em um trato de sistemas de mar alto (TSMA), com um pequeno registro (~20 cm) de um *falling stage system tract* (FSST) de Plint &

Nummedal (2000). O padrão de raios-gama é basicamente em caixa, com um pequeno e marcante aumento no limites entre a SF1 e SF2-A.

Seqüência deposicional 1.2 (Seq1.2) – Limita-se na base pela superfície SRem-1 e, no topo, pela superfície SD no poço 1-UN-04-PI e pela SRT-1 no poço 1-UN-24-PI, onde é mais representativa, ocorrendo com 11 m de espessura (Figura 1).

A Seq.1.2 contém tratos de sistemas de mar baixo (TSMB), transgressivo (TST) e de mar alto (TSMA), os quais contêm fácies de um sistema costeiro-deltaico dominado por ondas. O TSMB, TST e TSMA são reconhecidos dentro da SF2-B, através da sucessão de paleoambientes de frente deltaica distal (TSMB), prodelta proximal (TST) e frente deltaica distal e proximal (TSMA). Possui um padrão de raio gama em funil.

Seqüência deposicional 1.3 (Seq1.3) – Limita-se na base pela superfície SRT-1 e no topo pela SD, ocorrendo apenas no poço 1-UN-24-PI, com 7 m de espessura (Figura 1).

Corresponde à SF2-C, interpretada como paleoambiente lagunar de um sistema costeiro-deltaico dominado por ondas, inserido em contexto transgressivo (TST) ou já em mar alto (TSMA), em fase de assoreamento da laguna. O padrão de raios-gama mostra um intervalo inferior com radioatividade alta e outro superior com valores baixos.

Seqüência deposicional 2.1 (Seq2.1) – Limita-se na base pela superfície SD e no topo pela SRT-2, ocorrendo nos dois poços estudados, com uma espessura máxima de 19,6 m (Figura 1).

A Seq.2.1 contém tratos de sistemas transgressivos (TST), de mar alto (TSMA) e *falling stage* (FSST), os quais contêm fácies de um sistema marinho raso dominado por ondas.

Corresponde à SF3, onde o paleoambiente de antepraia inferior descreve tanto o TST e quanto o TSMA, que é limitado acima pela superfície SRem-2, a qual o separa de um paleoambiente de antepraia superior, que descreve o FSST. Na base, uma camada decimétrica da fácies Ac(p), registrando influência fluvial, é sugestiva do registro incipiente de um TSMB.

O padrão da curva de raios-gama é basicamente um caixote, com picos relacionados à presença de abundantes intraclastos de argila, mas apresentando valores um pouco mais baixos no intervalo do FSST.

Seqüência deposicional 2.2 (Seq2.2) – Limita-se na base pela superfície SRT-2 e no topo pela SRs-1, ocorrendo apenas no poço 1-UN-04-PI, com uma espessura de 10,0 m (Figura 1).

A Seq.2.2 contém tratos de sistemas transgressivo (TST) e de mar alto (TSMA), separados por uma SIM não identificada precisamente, os quais contêm fácies de um sistema flúvio-deltaico dominado por ondas. O TST e TSMA são reconhecidos dentro da SF4-A, através da sucessão de paleoambientes de frente deltaica distal (TST) passando para proximal (TSMA), progradante, em regressão normal. O padrão da curva de raio-gama comporta como um sino no intervalo inferior (TST), podendo ocorrer picos na base pela presença de intraclastos, seguido por um padrão sutil em funil no superior (TSMA).

Na base, a presença de intraclastos na fácies Am, é sugestiva do registro incipiente de um TSMB.

Seqüência deposicional 2.3 (Seq2.3) – Limita-se na base pela superfície SRs-1 e no topo pela SRT-3, ocorrendo apenas no poço 1-UN-04-PI, com uma espessura de 4,0 m (Figura 1).

A Seq.2.3 contém tratos de sistemas de mar baixo (TSMB) e transgressivo (TST), os quais contêm fácies de um sistema flúvio-deltaico dominado por ondas. O TSMB e TST são reconhecidos dentro da SF4-A, através da sucessão de paleoambientes de frente deltaica proximal, sob influência da desembocadura fluvial (TSMB) passando para influência marinha de antepraia com ondas (TSMA), em transgressão. O padrão da curva de raio-gama comporta como um funil.

Seqüência deposicional 2.4 (Seq2.4) – Limita-se na base pela superfície SRT-3 e no topo pela SRs-2, ocorrendo apenas no poço 1-UN-04-PI, com uma espessura de 8 m (Figura 1).

A Seq.2.4 contém tratos de sistemas transgressivos (TST), de mar alto (TSMA) e *falling stage* (FSST), os quais contêm fácies de um sistema flúvio-deltaico dominado por ondas.

Corresponde às sucessões SF4-B e SF4-C, onde o paleoambiente de frente deltaica distal dominado por ondas identifica o TST, enquanto que a frente deltaica proximal, o TSMA, a qual é limitada no topo pela SRb. A superfície basal de regressão forçada (SRb), correspondente à *basal surface of forced regression* (BSFR) de Catunenanu (2003), limita acima um paleoambiente de barras de desembocadura deltaica retrabalhadas por ondas, que caracteriza o FSST.

O padrão do perfil GR é praticamente em caixa nesta seqüência.

Seqüência deposicional 2.5 (Seq2.5) – Limita-se na base pela superfície SRs-2 e ocorre apenas no poço 1-UN-04-PI com uma espessura de 7,5m (Figura 1). Seu topo não foi observado por corresponder à porção superior do testemunho descrito.

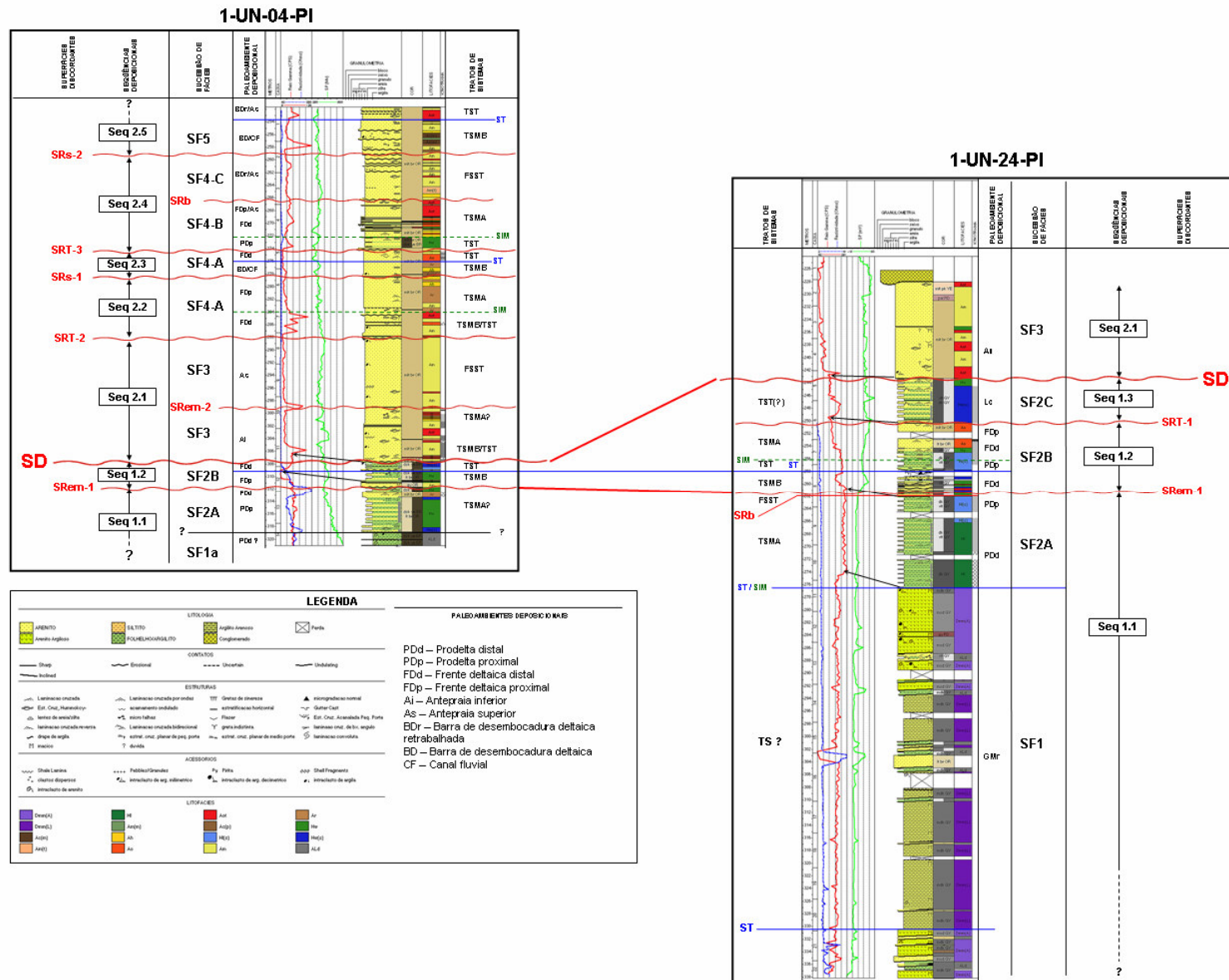


Figura 1 – Arquitetura estratigráfica e correlação entre os poços 1-UN-04-PI e 1-UN-24-PI. Observar as fácies, sucessões de fácies, superfícies estratigráficas e seqüências deposicionais definidas (q.v. Lobato, 2007)

A Seq.2.5 contém tratos de sistemas de mar baixo (TSMB) e transgressivo (TST), os quais contêm fácies de um sistema flúvio-deltaico dominado por ondas. O TSMB e TST são reconhecidos dentro da SF-5, através da sucessão de paleoambientes de barras de desembocadura fluviais (TSMB) passando para influência marinha de antepraia com ondas (TSMA), em transgressão. O padrão do perfil de raios gama mostra um padrão em caixa com pico relacionado à intraclastos.

6 DISCUSSÃO ESTRATIGRÁFICA

O limite Litoestratigráfico entre as Formações Longá e Poti na área estudada é marcado por uma superfície discordante, erosiva (SD), que trata de um limite de seqüências de 3ª ordem.

Tal configuração discordante da superfície SD implica em a incisão fluvial que pode ser corroborada pela observação de uma discordância relatada por Lima & Leite (1978) na faixa aflorante próxima às localidades de Itauéiras, Várzea Grande e Cristino Castro (PI).

Assim, o topo da Formação Longá, caracterizada por fácies lamosas, representa a passagem de um sistema glácio-marinho (SF-1 e SF2-A) para outros, costeiro-deltaicos dominado por ondas (SF2-B e SF2-C), em contexto regressivo. Este intervalo parece indicar a transgressão do máximo glacial (“*Glacial Maximum*” de Boulton, 1990), seguida por regressão, provavelmente pelo incremento do aporte sedimentar, liberado ao final do máximo glacial e início da fase glacial tardia (“*Late Glacial*” de Boulton, 1990), pontuado por episódios de regressão forçada (Seq1.2 e Seq1.3). Nesse contexto, a discordância (superfície SD) que trunca o intervalo poderia estar associada a uma expressiva queda do nível relativo do mar ao final da fase glacial tardia.

Já a base da Formação Poti, caracterizada por fácies arenosas, representa sistemas marinhos (SF3), deltaicos dominados por onda (SF4-A–SF4-C) e mesmo flúvio-deltaicos (SF5), que se implantam após a discordância (superfície SD) e que retratam um ciclo transgressivo–regressivo, pós-glacial, pontuado por novos episódios de regressão forçada (Seq2.1–Seq2.5).

Tal contexto estratigráfico aqui tratado faz crer que a evolução do intervalo de estudo seja resultado de *rebound* isostático (q.v. Boulton, 1990), o que permitiria interpretar a gênese da superfície discordante como tectônica. Por outro lado, as superfícies de regressão forçada que limitam as seqüências de menor ordem podem ter sua gênese eustática (pelo menos em parte, glácio-eustática).

Ainda apesar de não se disporem de correlações bioestratigráficas, a presença de um intervalo arenoso que ocorre na porção mediana dos folhelhos da Formação Longá, relatada por Caputo (1984), pode estar relacionada a eventos de regressão forçada, como aqueles que limitam a base das seqüências Seq1.2 e Seq1.3.

7 CONCLUSÕES

O modelo estratigráfico aqui aplicado para o intervalo do limite formacional Longá/Poti, permite compreendê-lo dentro de um contexto tectono-eustático causado por isostasia glacial no final do Devoniano ou início do Carbonífero, modulado por variações relativas de nível do mar de menor ordem.

Permite ainda especular hipóteses de existirem situações interessantes de acumulação de arenitos reservatórios ao centro da bacia por mecanismos de regressão forçada, como aqueles que limitam as seqüências deposicionais descritas, os quais podem constituir-se em corpos de arenitos isolados, selados por “folhelhos” de inundação marinha.

Urge que se estendam correlações para o centro da bacia, onde haja disponibilidade de testemunhos, a fim de testar/refinar o modelo proposto, pois as correlações geofísicas não tem poder de definição estratigráfica de alta resolução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.B., 2003. *Plano Decenal – ANP. Planejamento das atividades de estudos geológicos e geofísicos nas bacias sedimentares brasileiras visando a exploração de petróleo e gás natural*. Rio de Janeiro, ANP, disponível em <http://www.brasil-rounds.gov.br/round5/apres_semtec/r5_plano_decenal.pdf> (acessado em 30.9.2003)
- BANN, K.L. & FIELDING, C.R. 2005. An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia. In: McIlroy, D. (ed.) *The application of Ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. London, The Geological Society, p.273-310. (Special Publication, n.228)
- BORGHI, L., 2002. *Fácies, arquitetura deposicional, tempestitos e o Devoniano da bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 309p.

- BOULTON, G.S., 1990. Sedimentary and sea-level changes during glacial cycles and their control in glacial marine facies architecture. In: Dowdeswell, J.A. & Scourse, J.D. (eds.) *Glacial marine environments: processes and environments*. London, The Geological Society, p.15-32. (Special Publication, n.53)
- CAPUTO, M.V., 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. Santa Barbara, University of California, Doctor of Philosophy Thesis, 583p.
- CAROZZI, A.V., FALKENHEIN, F.U.M., VARNEIRO, R.G., ESTEVES, R.E., CONTREIRAS, C.J.A., 1975. *Análise ambiental e evolução tectônico-sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão*. Rio de Janeiro, Petrobras, p.1-48. (Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração, n.7)
- CATUNEANU, O., 2003. *Sequence Stratigraphy of clastic systems*. Toronto, Geological Association of Canada, 248p. (Short Course Notes, n.16)
- CRUZ, W.B., ABOARRAGE, A.M., SANTOS, M.E.C.M., 1973. *Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba: relatório de progresso das etapas II e III*. Recife, DNPM/CPRM. 2v. (Relatório interno, inédito)
- CUNHA, F.M.B., 1986. *Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico*. Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 107p.
- DELLA FÁVERA, J.C., 1990. *Tempestitos da bacia do Parnaíba*. Porto Alegre, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 2v.
- FORMAN, J.M.A., 2002. *Plano Decenal de Estudos e Serviços de Geologia e Geofísica Aplicados à Prospecção de Petróleo e Gás Natural. Prioridades 2002*. Rio de Janeiro, ANP, disponível em <http://www.anp.gov.br/palestras/planodecenal.pdf> (acessado em 12.12.2006).
- GÓES, A.M. & ROSSETTI, D.F., 2001. Gênese da bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: Rossetti, D.F., Góes, A.M., Truckenbrodt, W. (eds.) *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, p.15-30. (Coleção Friedrich Katzer)
- GÓES, A.M., 1995. *A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba*. São Paulo, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 171p.
- GÓES, A.M.O. & Feijó, F.J., 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8:57-67.
- GÓES, A.M.O., Souza, J.M.P., Teixeira, L.B., 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 4:55-64.
- LEITE, J.F., ABOARRAGE, A.M., DAEMON, R.F., 1975. *Projeto carvão da bacia do Parnaíba*. Recife, DNPM/CPRM, 5v. (Relatório interno, inédito).
- LIMA, E.A.M. & LEITE, J.F., 1978. *Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba*. Recife, DNPM/CPRM, 16v. (Relatório interno, inédito).
- LOBATO, G., 2007. *Análise estratigráfica de alta resolução do intervalo do limite formacional longa/Poti (Noe Devoniano/Eocarbonífero) em testemunhos de sondagem da bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), 30f.
- MELO, J.H.G. & LOBOZIAK, S., 2000. VISAN [*sic*] miospore biostratigraphy and correlation of the Poti Formation (Parnaíba [*sic*] basin, Northern Brazil). *Review of Paleobotany and Palynology*, 112:147-165.
- MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C., 1964. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous coastal basins North Brazil. *AAPG Bulletin*, 48:1476-1512.
- PLINT, A.G. & NUMMEDAL, D., 2000. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: Hunt, D. & Gawthorpe, R.L. (eds.) *Sedimentary response to forced regression*. London, The Geological Society, p.1-17. (Special Publication, n.172)
- PLINT, A.G., 1988. Sharp-based shoreface sequences and "offshore bars" in the Cardium Formation of Alberta: their relationship to relative changes in sea level. In: Wilgus, C.K. et al. (eds.) *Sea-level changes: an integrated approach*. Tulsa, SEPM, p.357-370. (Special Publication, n.42)
- RODRIGUES, R., 1995. *Geoquímica Orgânica na bacia do Parnaíba*. Porto Alegre, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 225p.
- VAN WAGONER, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M., Rahamanian, V.D., 1990. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops*. Tulsa, AAPG, 55p. (Methods in Exploration Series, n.7)
- YOUNG, C.G.K., 2006. *Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano da bacia do Parnaíba)*. Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 170p.
- YOUNG, C.G.K. & BORGHI, L., 2006. Isolated sandstone bodies: a new model for petroleum exploration in Brazilian Paleozoic Basins. In: RIO OIL AND GAS 2006 EXPO & CONFERENCE, Rio de Janeiro, 2006. *Resumos expandidos*, Rio de Janeiro, IBP, CD-ROM, 6p.