

ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS E HETEROGENEIDADE DOS RESERVATÓRIOS FLÚVIO-DELTAICOS DA FORMAÇÃO SÃO SEBASTIÃO, BACIA DO RECÔNCAVO.

Daniela Elias Bongiorno¹, Claiton Marlon dos Santos Scherer²

¹ UFRGS, IG, Curso de Pós-Graduação em Estratigrafia,

Bolsista do Convênio UFRGS/ ANP – PRH-12,

Av. Bento Gonçalves, 9500. Prédio 43137. cep. 91509-900. Caixa Postal 15001,

e-mail: dani_elias@yahoo.com.br

² UFRGS, IG, Av. Bento Gonçalves, 9500. Prédio 43137. cep. 91509-900.

Caixa Postal 15001, e-mail: claiton.scherer@ufrgs.br

Resumo – O presente trabalho consiste na aplicação dos conceitos de estratigrafia de seqüências em sucessões continentais e na análise faciológica fundamentada na individualização de superfícies limítrofes e de elementos arquiteturais, buscando a elaboração de modelos de predição das mudanças na permeabilidade dos reservatórios flúvio-deltaicos da Formação São Sebastião, Bacia do Recôncavo. Foram descritos poços e afloramentos referentes ao intervalo estudado e puderam ser reconhecidas 3 seqüências completas de 4ª ordem, limitadas por superfícies erosivas. Os melhores reservatórios estão associados aos arenitos fluviais depositados no trato de sistemas de lago baixo e nos arenitos deltaicos que compõem a porção inferior do trato de sistemas transgressivo. Os principais seladores de reservatórios são as superfícies de inundação máxima. Os reservatórios fluviais são bastante homogêneos, por sua vez, os sistemas deltaicos possuem boa continuidade lateral, contudo, apresentam uma conectividade vertical menor dos corpos arenosos. A justaposição vertical e lateral dos elementos DA e SB é o que controla as unidades de fluxo em sistemas fluviais. Nos sistemas deltaicos a homogeneidade dos reservatórios depende da relação entre os depósitos de frente deltaica e pró-delta.

Palavras-Chave: Formação São Sebastião; estratigrafia de seqüências; heterogeneidade; sucessões flúvio-deltaicas.

Abstract - This work applies the sequence stratigraphy concepts in the faciological analysis based on the individualization of the boundary surfaces and the architectural elements, with the aim to work out prediction models for the permeability changes of the oil reservoir from fluvio-deltaic São Sebastião Formation, Recôncavo Basin. The descriptions of drill holes and outcrops related to the studied interval allow us to recognize three complete 4th order sequences, all of that limited by erosive surfaces. The best oil reservoirs are related to fluvial sandstones deposited during the lowstand system tract and to deltaic sandstones from the lower portion of the transgressive system tract. The main sealers of the oil reservoir are the maximum flooding surfaces. The fluvial oil reservoirs are homogeneous, however the deltaic ones have a good lateral continuity, but a lower vertical connectivity in the sand bodies. The vertical and lateral interfinger of the DA and SB elements control the flow units in fluvial systems. In deltaic systems, the reservoir homogeneity depends on the relation between deltaica frente and prodelta deposits.

Keywords: São Sebastião Formation; sequence stratigraphy; heterogeneity; fluvial-deltaic successions.

1. Introdução

Um dos principais objetivos deste trabalho consiste na aplicação dos conceitos da estratigrafia de seqüências em sucessões continentais da mesma forma como ocorre em ambientes marinhos, utilizando-se como nível de base o lago que é controlado pela combinação entre a variação climática e a subsidência ao longo do tempo. Silva (1993), Della Fávera et al. (1994) e Santos (1998) já aplicaram a estratigrafia de seqüências para contextos não-marinhos na Bacia do Recôncavo, mas o estudo em torno destas bacias ainda é considerado incipiente.

Outro aspecto relevante é a análise faciológica detalhada dos depósitos flúvio-deltaicos, pois existe um reconhecimento crescente de que para uma interpretação faciológica mais precisa destes depósitos, não se deve prescindir das informações bi e tridimensionais, ressaltando-se as relações geométricas externas dos litossomas e o arranjo interno das litofácies. Vários autores, entre eles Friend (1983), Allen (1983), Miall (1985, 1988a) têm questionado a utilização exclusiva de perfis verticais como instrumento para a elaboração de modelos deposicionais, propondo um método de análise faciológica fundamentado na individualização de superfícies limítrofes e de elementos arquiteturais, definindo-se o que tem sido reconhecido como arquitetura de fácies.

Para a aplicação desta metodologia foram escolhidos os depósitos flúvio-deltaicos da Formação São Sebastião (Andar Jiquiá), Bacia do Recôncavo, que possuem horizontes ricos em matéria orgânica. A Formação São Sebastião possui excelentes exposições e testemunhos contínuos que permitem a reconstrução detalhada da arquitetura de fácies e do empilhamento estratigráfico de depósitos flúvio-deltaicos, bem como o entendimento da heterogeneidade de reservatórios em escala giga, mega e macroscópica.

2. Metodologia

Neste trabalho foram realizadas descrições sedimentológicas detalhadas de afloramentos e testemunhos mais representativos, buscando-se as definições das litofácies, elementos arquiteturais e superfícies limítrofes; e definido o empilhamento estratigráfico a partir da individualização de seqüências deposicionais e dos seus tratos de sistemas constituintes.

3. Associações de Fácies

Os depósitos flúvio-deltaicos da Formação São Sebastião são caracterizados por uma sucessão de espessos corpos de arenitos intercalados com camadas de folhelhos.

A partir da descrição detalhada dos afloramentos e testemunhos e da definição das litofácies puderam ser identificadas 5 associações de fácies para os depósitos da Formação São Sebastião.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE CANAL: Os depósitos de canal são dispostos em corpos arenosos em lençol (largura/ espessura = 60), limitados por superfícies erosivas de 5ª ordem (Miall, 1988a, 1996) com relevo de até 1 m (Fig. 1). Esta associação é caracterizada por: (1) conglomerados maciços; (2) arenitos médios a conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada. Sets de 10 a 80 cm de espessura, geralmente compostos na base por extra ou intraclastos. Por vezes, são desenvolvidas macroformas de acreção frontal (elemento DA) com espessura média de 1,5 m. Raras ocorrências de concreções piritosas. Comum a ocorrência de óleo; (3) arenitos finos a médios com laminação cruzada cavalgante. Por vezes, ocorrência de óleo; (4) arenitos médios a grossos com estratificação plano-paralela. Comum a ocorrência de óleo.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO: Caracterizada por intercalações e argilitos, siltitos e arenitos muito finos laminados, dispostos em pacotes de até 0,7 m e extensão lateral inferior a 20 m.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE FRENTE DELTAICA PROXIMAL: Caracterizada por: (1) arenitos finos a médios com laminação cruzada cavalgante com raros intraclastos e pouco bioturbados. Rara ocorrência de óleo; (2) arenitos finos a médios com estratificação plano-paralela. Comum a ocorrência de óleo; (3) arenitos finos a médios com estratificação cruzada planar; (4) arenitos finos a grossos com estratificação cruzada acanalada. Sets de 0,1 a 1,1 m de espessura. Rara ocorrência de extra e intraclastos; (5) arenitos finos a médios com estratificação cruzada sigmoidal. Comum a ocorrência de óleo; (6) arenitos finos a grossos com estratificação cruzada deformada com raros intraclastos e pouca bioturbação. Rara ocorrência de óleo; (7) arenito fino a médio maciço, comum a presença de intraclastos.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE FRENTE DELTAICA DISTAL: Caracterizada por: (1) intercalações de argilitos e siltitos finamente laminados; (2) arenitos finos a médios com laminação cruzada cavalgante moderadamente a intensamente bioturbados e com rara presença de intraclastos e fósseis vegetais. Rara ocorrência de óleo; (3) arenitos muito finos a médios com estratificação plano-paralela; (4) arenitos finos com estratificação cruzada deformada; (5) arenito médio maciço com intraclastos esparsos por toda a camada.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE PRÓ-DELTA: Caracterizada por intercalações de argilitos, siltitos e arenitos muito finos laminados ou siltitos maciços. São geralmente bioturbados e apresentam fósseis de vegetais e ostracodes.

4. Sistemas Depositionais

A partir da combinação vertical e lateral das associações de fácies, foi possível definir 2 sistemas deposicionais: sistema fluvial e sistema deltaico.

4.1. Sistema Fluvial

O sistema fluvial da Formação São Sebastião é composto por associações de fácies de canal e planície de inundação.

Morfologicamente os canais fluviais podem ser classificados como rios entrelaçados e possuem uma geometria em lençol caracterizada pela razão largura/ espessura dos corpos superior a 60.

Estes arenitos em lençol são compostos pela justaposição lateral e vertical de macroformas de acreção frontal (elemento DA) e formas de leito arenosas (elemento SB), formando corpos arenosos multiepisódicos e multilaterais. As macroformas possuem altura variada, em média 1,5 m, o que determina a profundidade mínima de um canal. Os corpos arenosos de canal são intercalados com estratos descontínuos de elementos FF (sedimentos finos de planície de inundação) depositados em ambiente de baixa energia.

A dominância de macroformas de acreção frontal, associada à ausência de depósitos de lençol de areia (elemento LS), sugere fluviais entrelaçados perenes.

4.2. Sistema Deltaico

A sucessão de fácies do sistema deltaico é predominantemente progradação, onde ocorre a passagem vertical dos sedimentos finos de pró-delta para os depósitos mais arenosos de frente deltaica distal e proximal.

A ausência de feições indicativas do retrabalhamento por onda dos depósitos de frente deltaica, associada à predominância de estruturas geradas por correntes unidirecionais, sugerem que a sucessão deltaica foi construída por progradações fluviais. Os lobos deltaicos possuem continuidade lateral, porém são compartimentados por siltitos e argilitos de pró-delta. São em geral sigmoidais e apresentam estruturas internas parcial ou totalmente deformadas geradas pelo fenômeno de escape d'água.

5. Estratigrafia de Seqüências

A aplicação dos conceitos da estratigrafia de seqüências no intervalo estudado permitiu a individualização de até três seqüências deposicionais de 4ª ordem limitadas por superfícies erosivas correlacionáveis regionalmente (Fig. 2).

Os conceitos da estratigrafia de seqüências, originalmente utilizados para bacias de contexto marinho, foram adaptados para sucessões continentais, onde o nível de base trata-se do nível do lago que é controlado pela interação do clima e subsidência. Deste modo, foram divididos três tratos de sistemas: trato de sistemas de lago baixo, trato de sistemas transgressivo e trato de sistemas de lago alto.

O trato de sistemas de lago baixo é demarcado na base por um limite de seqüência (LS) determinado por uma superfície erosiva de correlação regional e caracterizado pela progradação de um sistema fluvial, onde ocorrem associações de fácies de canal. A superfície erosiva é relacionada ao rebaixamento no nível do lago e está caracterizada pela passagem abrupta dos sedimentos finos de pró-delta para os conglomerados de depósitos fluviais.

O trato de sistemas transgressivo é limitado na base por uma superfície transgressiva (ST), determinada pelo afogamento dos depósitos fluviais por sedimentos deltaicos. Este trato é caracterizado pelo padrão de empilhamento retrogradacional de parasseqüências deltaicas, marcado pelo progressivo domínio da associação de fácies de pró-delta em relação aos depósitos de frente deltaica, em direção ao topo.

O trato de sistemas de lago alto é limitado na base por uma superfície de inundação máxima (SIM). Este trato de sistemas possui um padrão progradação de parasseqüências deltaicas, marcado pelo progressivo domínio da associação de fácies de frente deltaica em relação à associação de fácies de pró-delta, em direção ao topo.

6. Análise de Heterogeneidade

Os depósitos flúvio-deltaicos consistem em excelentes reservatórios de hidrocarbonetos, conforme atestam os inúmeros reservatórios existentes em diferentes bacias do globo. Entretanto, poucos são os trabalhos de pesquisa entorno destes reservatórios devido à complexidade em apresentar modelos de predição das mudanças na permeabilidade, devido às rápidas taxas de mudanças laterais e verticais da litologia e as propriedades petrofísicas.

A análise estratigráfica e litofaciológica detalhada permitiu o entendimento das heterogeneidades dos reservatórios flúvio-deltaicos da Formação São Sebastião em escalas giga, mega e macroscópica.

A heterogeneidade gigascópica corresponde à escala de tratos de sistemas e sistemas deposicionais. Os melhores reservatórios são os sistemas fluviais depositados durante o trato de sistemas de lago baixo que possuem excelentes taxas de porosidade e permeabilidade. O trato de sistemas de lago baixo é limitado no topo por superfícies transgressivas, porém estas superfícies não demarcam mudanças significativas nas características permo-porosas das rochas encontradas abaixo e acima delas, permitindo uma certa conectividade entre os tratos de nível baixo e

transgressivo. Deste modo, o trato de sistemas transgressivo também representa bons reservatórios, porém estes apresentam um decréscimo na potencialidade em direção ao topo, o que se atribui ao padrão de empilhamento retrogradacional. Este padrão gera uma progressiva diminuição da conectividade dos corpos arenosos à medida que nos aproximamos da superfície de inundação máxima que é considerada a seladora dos reservatórios.

A heterogeneidade megascópica está diretamente relacionada à geometria dos corpos arenosos e a relação entre as unidades permeáveis e impermeáveis. No intervalo estudado, os depósitos fluviais formam reservatórios do tipo quebra-cabeça caracterizado por uma estrutura interna complexa e por corpos arenosos em lençol justapostos lateral e verticalmente. Os sedimentos finos de planície de inundação são raros e descontínuos lateralmente, permitindo a conectividade entre os corpos arenosos e conseqüentemente a homogeneidade dos reservatórios. Os sistemas deltaicos são dominados por rios e formam, predominantemente, reservatórios do tipo quebra-cabeça de boa continuidade lateral e vertical. Os reservatórios labirínticos podem estar associados aos corpos deltaicos que compõem o topo do trato de sistemas transgressivo.

A heterogeneidade macroscópica em sistemas fluviais está relacionada à justaposição dos elementos DA (macroformas de acreção frontal) e SB (formas de leito arenosas). O elemento DA apresenta uma heterogeneidade complexa, onde a permeabilidade horizontal é maior do que a permeabilidade vertical (Miall, 1988b). Por sua vez, o elemento SB possui um caráter simplificado quanto à porosidade e permeabilidade, pois são compostos por litofácies similares com geometria externa em lençol (Miall, 1988b). Nos sistemas deltaicos a homogeneidade depende da relação entre os depósitos de frente deltaica e pró-delta que formam diferentes unidades de fluxo.

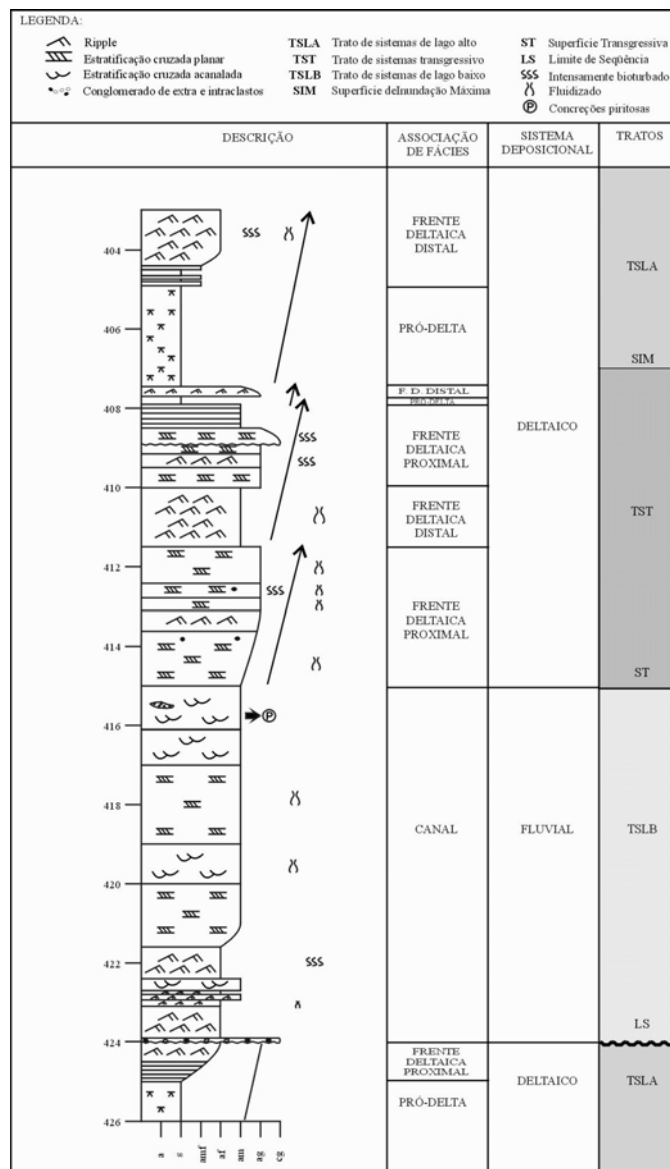


Figura 2. Descrição estratigráfica e litofaciológica do testemunho 2, poço 1, Bacia do Recôncavo. As setas representam parasseqüências.

7. Agradecimentos

Os autores prestam seus agradecimentos ao Convênio UFRGS/ ANP - PRH-12, no nome do coordenador Dr. Luiz José Tomazelli, pelo financiamento do trabalho.

8. Referências

- ALLEN, J. R. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes, and sandstone sheets (low sinosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sediment. Geol.*, v. 33, p. 237-293, 1983.
- DELLA FÁVERA, J. C., CHAVES, H. A. F., MEDEIROS, M. A. M., MENEZES, C. P., TAVARES, M. E., GONZÁLES, M. E., PINHEIRO, M. L., SILVA, O. C. Análise estratigráfica do Andar Buracica, Bacia do Recôncavo. In: *Curso de Análise de Bacias*, Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 1994.
- FRIEND, P. F. Towards the field classification of alluvial architecture or sequence. In: COLLINSON, J. D., LEWIN, J. (eds). Modern and ancient fluvial systems. *Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ.*, n. 6, p. 345-354, 1983.
- MIALL, A. D. Architectural- element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, v. 22, p. 261-308, 1985.
- MIALL, A. D. Facies architecture in the clastic sedimentary basins. In: KLEINSPEHN, K. L., PAOLA, C. (eds). Frontiers in sedimentary geology – a new perspectives in basin analysis, *AAPG*, v. 72, n. 6, p. 682-697, 1988a.
- MIALL, A. D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 72, p. 682-687. 1988b.
- MIALL, A. D. Methods of Architectural-Element Analysis. In: MIALL, A. D. (ed). *The geology of fluvial deposits – sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*, Springer Verlag, p. 75-98, 1996.
- SILVA, H. T. F. *Flooding surface, depositional elements, and accumulation rates characteristics of the Lower Cretaceous Tectonosequences in the recôncavo Basin, northeastern Brazil*, Austin, 313 p., Ph. D. thesis, The University of Texas at Austin, 1993.