



2º Congresso Brasileiro de  
P&D em PETRÓLEO & GÁS

## 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

### ESTUDO DA ARQUITETURA DEPOSICIONAL DA FORMAÇÃO SERGI (BACIA DO RECÔNCAVO) COMO SUBSÍDIO PARA A ANÁLISE DE HETEROGENEIDADES DE RESERVATÓRIO

Mauro TORRES RIBEIRO & Leonardo BORGHI

Departamento de Geologia, IGeo, CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro.  
21949-900 Rio de Janeiro, RJ. ( [maurotr@ufrj.br](mailto:maurotr@ufrj.br), [lborghi@ufrj.br](mailto:lborghi@ufrj.br) )

**Resumo** – A Formação Sergi é interpretada como um sistema flúvio-eólico desenvolvido no final do Jurássico. A bacia do Recôncavo, na qual se encontra e onde se constitui no principal reservatório petrolífero, foi intensamente estudada pela PETROBRAS nos últimos 50 anos por ter sido a primeira produtora de petróleo no País. Os objetivos deste estudo foram caracterizar faciologicamente a formação e compreender a sua arquitetura deposicional, tendo por fim o reconhecimento das heterogeneidades faciológicas e o refinamento do modelo deposicional existente. Através de dados geológicos levantados em 11 afloramentos localizados na borda Oeste da bacia, foi possível caracterizar 10 fácies sedimentares – 6 flúvio-lacustres (fácies Gt, St, Sh, Sm, Sr e Fm), 2 eólicas (fácies Ac e Al), 1 deformacional (fácies Ad) e 1 pedogenética (fácies P) – e 5 elementos arquiteturais (Ec<sub>1</sub>, Ec<sub>2</sub>, Efs, Eid e Ed). Trabalhos anteriores retratam a Formação Sergi como um sistema fluvial entrelaçado com reelaboração eólica, mas não descrevem o grau de relação entre os seus paleoambientes deposicionais. Os resultados do presente estudo permitiram a caracterização de dois sistemas deposicionais: (1) flúvio-eólico de grã fina, com reelaboração dos sedimentos eólicos por rios entrelaçados (*wadi*), e (2) fluvial entrelaçado de grande energia e grã grossa, que comporta a principal via de influxo de sedimentos na bacia. Estes sistemas deposicionais relacionam-se lateral- e verticalmente.

Palavras-chave: arquitetura deposicional; bacia do Recôncavo; Formação Sergi; Jurássico; reservatório

**Abstract** – The Sergi Formation, deposited in the Recôncavo Basin where it constitutes its main reservoir, is interpreted as a fluvial-eolian system developed during the Late Jurassic. The Recôncavo Basin, the first one explored in Brazil for oil, was intensely studied by PETROBRAS during the last 50 years. The objectives of this study are to characterize sedimentary facies and the depositional architecture of the Sergi Formation, in order to recognize its faciological heterogeneities and to refine the existing depositional models. Data collected in 11 outcrops located in the western border of the basin allowed the characterization of 10 facies – 6 fluvial-lacustrine (facies Gt, St, Sh, Sm, Sr and Fm), 2 eolian (facies Ac and Al), 1 deformational (facies Ad) and 1 pedogenetic (facies P) – and 5 architectural elements (Ec<sub>1</sub>, Ec<sub>2</sub>, Efs, Eid and Ed). Former papers describe the Sergi Formation as a fluvial braided system reworked by wind, but the relationships between its depositional paleoenvironments are not clear. The results achieved here lead us to propose two depositional systems: (1) fine-grained fluvial-eolian system, where the eolian deposits were reworked by braided rivers (*wadi*) and (2) high energy coarse-grained braided river, which would comprise the main source of sediments for the basin. Those depositional systems are laterally and vertically related.

Keywords: depositional architecture; Recôncavo Basin; Sergi Formation; Jurassic; reservoir

## 1. Introdução

A bacia do Recôncavo, localizada no Estado da Bahia (Figura 1), é classificada como um aulacógeno cuja origem é associada à abertura do oceano Atlântico Sul. Nela, a Formação Sergi foi depositada na fase Pré-rifte, durante o final do Jurássico (idade local Dom João), recentemente datada através de palinomorfs (Regali *et al.*, 2002). Trata-se de um pacote sedimentar composto predominantemente por arenitos (subarcósio) depositados em paleoambientes fluviais e eólicos sob condições áridas/semi-áridas (De Ros, 1986).

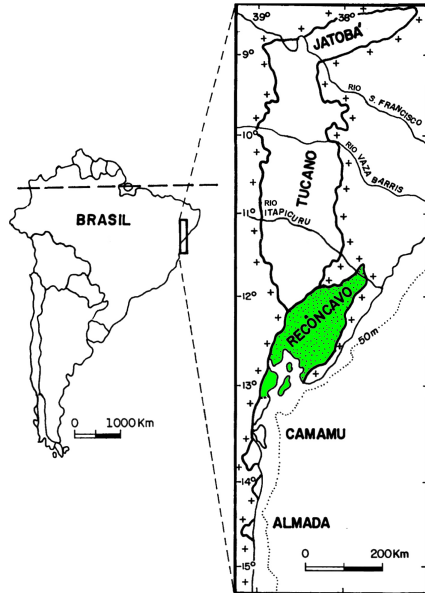


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Recôncavo (modificado de Figueiredo *et al.*, 1994).

Por ter sido a primeira bacia produtora de petróleo do Brasil, foi intensamente estudada nas últimas cinco décadas pela PETROBRAS, o que resultou em cerca de 5 050 poços perfurados e 30 000 km de seções sísmicas de reflexão registradas. A Formação Sergi contém cerca de 301,8 milhões de m<sup>3</sup> (1 898,34 milhões de bbl) de óleo provado e forma, com a Formação Candeias (Cretáceo Inferior, Andar Rio da Serra), o sistema petrolífero Candeias–Sergi (!), estabelecido por meio de armadilhas estruturais geradas pelo grande número de falhas normais da bacia. (Figueiredo *et al.*, 1994)

Todavia, a análise faciológica da formação disponível na literatura não se mostra esgotada para o subsídio de estudos detalhados do ponto-de-vista de rochas-reservatório, cabendo ainda contribuições nesse sentido. Deve-se salientar que a bacia é considerada madura, o que demanda caracterizações precisas dos reservatórios como forma de viabilizar recuperações secundárias e terciárias.

Nesse sentido, este estudo (*cf.* Torres Ribeiro, 2002) objetiva caracterizar faciologicamente a formação e compreender a sua arquitetura deposicional, tendo por fim o reconhecimento das heterogeneidades faciológicas e o refinamento do modelo deposicional existente.

## 2. Material e método de estudo

Foram descritos faciologicamente em detalhe 6 afloramentos localizados ao longo e próximos às rodovias BR-324 e BR-101, bem como 4 no *canyon* do rio Sergi e 2 afloramentos situados na ilha de Itaparica. O *canyon* do rio Sergi (seção-tipo da formação), localizado a oeste da Cidade de Santo Amaro da Purificação, é conhecido pelas enormes escarpas com excelentes exposições da formação, de onde um fotomosaico digital foi utilizado na análise da arquitetura deposicional. Essa análise envolveu fotointerpretação e descrição de um perfil sedimentográfico (23 m) no campo (através de rapel), indexado ao fotomosaico. O fotomosaico, cedido pela PETROBRAS (TRO/CENPES), foi anteriormente analisado por Carrasco *et al.* (1996) e Carrasco & Becker (1999).

Para o estudo da arquitetura deposicional, foi utilizada a proposta de Borghi (2000) de hierarquização de apenas 3 superfícies estratais para a identificação de elementos arquiteturais, independente do contexto deposicional. O uso destas superfícies é fundamental na análise pois admite-se que fácies contidas entre duas de mesma ordem estão relacionadas geneticamente. As superfícies interpretadas foram correlacionadas às de Brookfield (1977) e Miall (1996), respectivamente concebidas para sistemas eólicos e fluviais.

## 3. Arquitetura deposicional

### 3.1 Fácies sedimentares

Com os dados obtidos em campo, complementados por análise de amostras de rochas em microscópio petrográfico, foi possível a caracterização de 10 litofácies sedimentares, além de 4 subfácies (Tabela 1).

Para as fácies relacionadas a paleoambientes fluvial e lacustre (fácies Gt, St, Sm, Sh, Sr, Fm e P) foi adotado o esquema classificatório de Miall (1996), visto que tal nomenclatura é largamente difundida na comunidade geológica, o que permite maior transmissão e compreensão da informação. Para as demais (Ac, Al e Ad), associadas ao paleoambiente eólico, foi utilizado um esquema simplificado, próprio.

No campo, houve grande dificuldade em separar as fácies Sh e Al, o que é facilitado sob microscópio petrográfico, onde na primeira observa-se *coating* de argila sobre os grãos, o que De Ros (1986) interpreta como infiltração mecânica associada a enxurradas.

Tabela 1 – Síntese das fácies sedimentares descritas na Formação Sergi, na área de estudo.

Fácies		Descrição	Interpretação
Rudácea	Gt	Conglomerado fino com estratificação cruzada acanalada.	Meso- ou macroformas-de-leito depositadas por tração subaquosa, relacionada a barras fluviais de crista sinuosa.
	St	Arenito fino a médio (subfácies St <sub>1</sub> ) ou grosso a muito grosso, por vezes seixoso (subfácies St <sub>2</sub> ), com estratificação cruzada acanalada de porte pequeno a médio.	Meso- ou macroformas-de-leito depositadas por tração subaquosa, relacionada a barras fluviais de crista sinuosa.
		Sm	Arenito fino a muito grosso, maciço. Pode conter intraclastos de argila (subfácies Sm <sub>i</sub> ).
	Sr	Arenito fino a médio, lamoso, com ondulações e laminação cruzada. Pode ocorrer bioturbação (subfácies Sr <sub>b</sub> ).	Microformas-de-leito depositadas por tração subaquosa durante inundação fluvial.
Arenáceas	Sh	Arenito fino a médio com laminação plano-paralela	Leito plano depositado por tração subaquosa sob regime de fluxo superior. Relaciona-se a depósitos de planície de inundação e topo de barras fluviais
	Al	Arenito fino a médio, laminado.	Saltação e arraste de grãos, sob condições subaéreas, formando lâminas plano-paralelas ou de ângulo baixo (ondulação transladante). Representam depósitos de interduna ou de lençóis de areia.
	Ac	Arenito fino a grosso inferior, bimodal, com estratificação cruzada de porte médio a muito grande.	Fluxo- e queda-de-grãos, que desenvolvem a face de sotavento de dunas eólicas.
	Ad	Arenito fino a médio, bimodal, com laminação convoluta ("camada desorganizada").	Deformação sinsedimentar de estratos causada por mudanças na poro-pressão dos sedimentos gerado pela variação do nível do lençol freático.
Lutácea	Fm	Lamito arenoso, maciço, podendo apresentar bioturbação.	Decantação em ambiente subaquoso de baixa energia ou com tração fraca, em paleoambiente lacustre, de planície de inundação fluvial ou canais abandonados.
Pedogênicas	P	Silcrete	Precipitação química de sílica em <i>sabkha</i> continental / <i>playa lake</i> sob condições de pH alto.

### 3.2 Arquitetura deposicional

Sobre o fotomosaico do *canyon* do rio Sergi foram delineadas as superfícies estratiais conforme os procedimentos discutidos. Os resultados permitiram a identificação de 5 superfícies horizontais (Figura 2) que cortam todo o afloramento, interpretadas como “superfícies de Stokes” ou “supersuperfícies”, resultantes de flutuações do lençol freático. Foram diagnosticados, ainda, 4 elementos arquiteturais (Tabela 2), analisados separadamente em termos faciológicos e de suas relações estratiais. Observa-se claramente a grande relação lateral e vertical entre os diversos elementos interpretados o que denota a dinâmica deposicional da Formação Sergi. Um quinto elemento arquitetural (Efs, Tabela 2) foi interpretado em outros afloramentos (Figura 4).

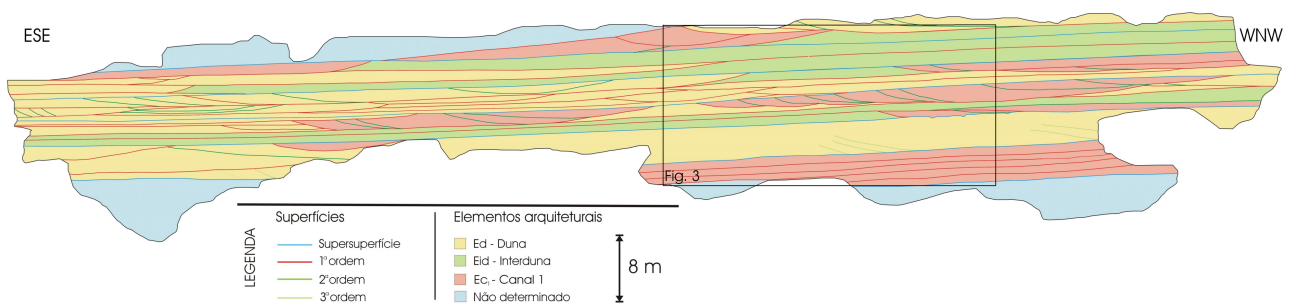


Figura 2 – Interpretação do fotomosaico cedido pelo TRO/CENPES/PETROBRAS, no qual foi possível observar cinco superfícies de Stokes, bem como a relação dos elementos arquiteturais Ec1, Ec2, Ed e Eid. (v. Tabela 2)



Figura 3 – Foto de detalhe do afloramento utilizado para análise da arquitetura deposicional (v. Fig. 2).



Figura 4 – Afloramento localizado no lado oeste da ilha de Itaparica, no qual são identificados as fácies  $St_2$ , Fm e P, e o elemento arquitetural Efs.

Tabela 2 – Descrição dos elementos arquiteturais identificados no fotomosaico e em outros afloramentos

Denominação	Sigla	Característica	Interpretação
Canal 1	$Ec_1^*$	Fácies: $St_1$ e $St_2$ Geometria: seção de cilindro côncavo-plano Espessura: métrica; largura: decamétrica	Canal fluvial preenchido por sedimentos finos (eólicos reelaborados) em barras de acreção lateral e frontal.
Canal 2	$Ec_2^*$	Fácies: Gt, $St_2$ , Sm Geometria: seção de cilindro côncavo-plano Espessura: métrica; largura: decamétrica	Canal fluvial preenchido por sedimentos grossos em barras de acreção lateral e frontal.
Finos Sobranceiros **	Efs	Fácies: Sh, Sr, Fm e P Geometria: camadas tabulares Espessura: centimétrica e métrica; largura: hectométrica	Planície de inundação, preenchimento de canal abandonado ou lacustre ( <i>playa/sabkha</i> )
Interduna	Eid	Fácies: Al Geometria: camadas tabulares Espessura: centimétrica a decimétrica; largura: hectométrica/quilométrica ?	Interduna ou lençóis de areia (extraduna)
Duna	Ed	Fácies: Ac e Ac/Ad Geometria: camadas tabulares Espessura: métrica; largura: hectométrica/quilométrica ?	Campo de dunas ou dunas sobre depósitos fluviais abandonados

\* corresponde ao elemento CH de Miall (1996); \*\* corresponde *pro parte* ao elemento OF de Miall (1985 *apud* Miall, 1996), não identificado na seção da Fig. 2.

#### 4. Modelo geológico deposicional proposto

A partir dos dados descritos e interpretados (fácies e elementos arquiteturais), é aqui proposto um modelo deposicional para a Formação Sergi que difere daquele mais recente existente na literatura apresentado por Lanzarini & Terra (1989) e Lanzarini (1995) (Figura 5). Estes autores estudaram a formação na borda Oeste da bacia e no Campo de Boa Esperança (sub-bacia Norte) e descreveram-na como a evolução de um sistema predominante fluvial de grã fina a grossa para um sistema eólico, em sucessão estratigráfica, interpretado como aumento da aridez na bacia. Acrescentaram, ainda, que a reelaboração eólica dos sedimentos fluviais ocorreu tanto nos canais abandonados como nos ativos. Lanzarini (1995) caracterizou as dunas como barcanas, com cerca de 0,5 a 1 km de comprimento e dezenas de metros de altura. O sistema fluvial seria formado por canais entrelaçados de baixa sinuosidade, largos (com cerca de 2 km) e rasos (até 10 m de profundidade).

O modelo aqui proposto (Figura 6) pode ser sintetizado em dois sistemas deposicionais: um sistema flúvio-eólico, constituído por dunas (elemento Ed), interduna/lençol de areia (elemento Eid), canais fluviais preenchidos por barras de grã fina (elemento  $Ec_1$ ) e lagos efêmeros (*sabkhal/ playa lake* – elemento Efs); e um sistema fluvial entrelaçado de grande energia, composto por canais fluviais preenchidos por barras de grã grossa (elemento  $Ec_2$ ) e depósitos de planície de inundação/canais abandonados (elemento Efs).

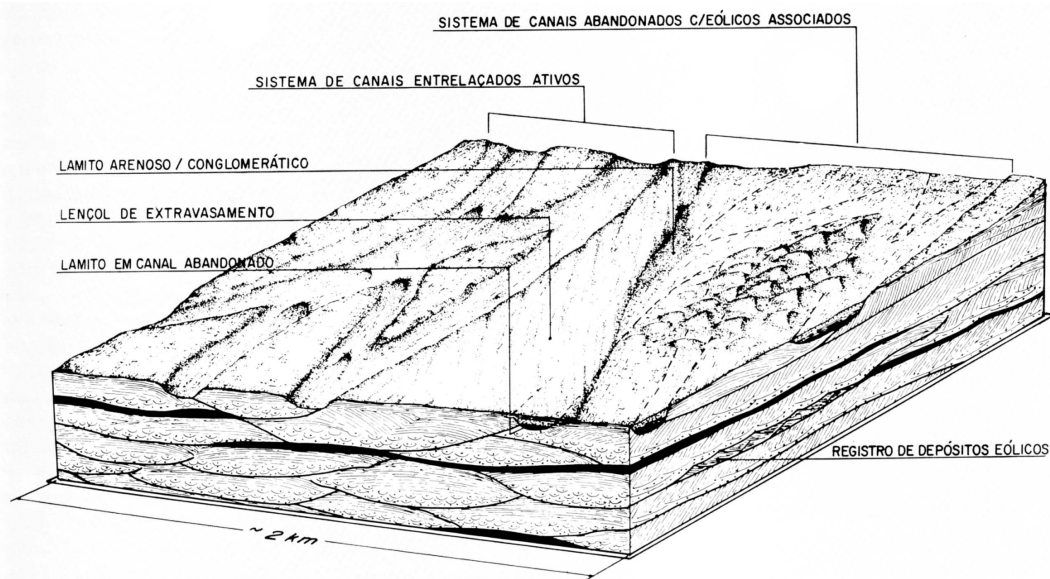


Figura 5 – Modelo deposicional da Formação Sergi na borda Oeste da bacia do Recôncavo, segundo Lanzarini & Terra (1989) e Lanzarini (1995). Neste modelo, os paleoambientes fluvial e eólico ocorrem lateralmente.

Este modelo deposicional refina aquele existente na literatura, uma vez que admite um sistema flúvio-eólico (Figura 6, A), formado por um campo de dunas de porte grande a muito grande e interdunas extensos, ora secos ora úmidos, reelaborado por rios entrelaçados efêmeros (*wadis*), que coexiste com um sistema fluvial (Figura 6, B), composto por rios entrelaçados de grande energia que comportaram a via de influxo de sedimentos na bacia. Este modelo ainda admite a existência de antigos lagos efêmeros (*sabkha/playa lake*) alimentados por rios de ambos os sistemas descritos (Figura 6, C), onde houve, entre outros depósitos, a precipitação de silcretos. Os sistemas deposicionais descritos relacionam-se lateral e verticalmente; isto é, havia uma forte interação entre eles.

Ainda além, considerando (i) a gênese das fácies P e Ad, (ii) a formação das “superfícies de Stokes” e (iii) o desenvolvimento de uma possível flora endêmica (Regali *et al.*, 2002), não é possível imaginar a Formação Sergi como resultante da evolução de um sistema flúvio-eólico progressivamente árido, mas de sistemas deposicionais notadamente influenciados pela presença de água.

Concebem-se os paleoambientes fluviais com canais largos e pouco profundos, da ordem de  $10^{1-2}$  m por  $10^{0-1}$  m, mas não foi possível a determinação da extensão das planícies de inundação e dos lagos efêmeros, pois foram observados apenas em afloramentos pequenos. Não se conseguiu visualizar com precisão a forma das dunas eólicas, visto que não se mediram paleocorrentes.

Portanto, o refinamento observado neste modelo em relação àquele fornecido por Lanzarini (1995), refere-se à existência de 2 sistemas deposicionais inter-relacionados lateral- e temporalmente.

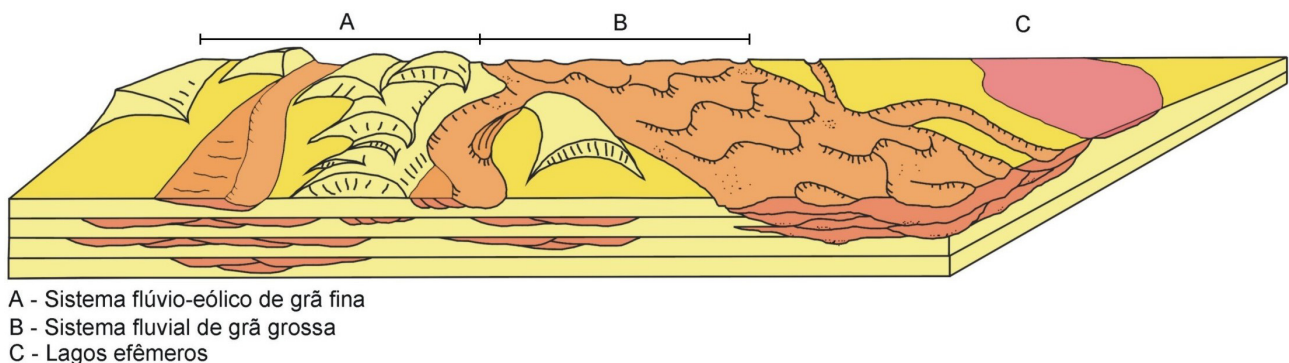


Figura 6 – Modelo geológico deposicional proposto para a Formação Sergi. Observar a relação lateral e temporal entre paleoambientes e sistemas deposicionais flúvio-eólicos de grã fina (A) e fluviais entrelaçados de grã grossa (B). Fácies de grã muito fina envolvem fácies lutáceas (fácies Fm) e pedogenéticas (fácies P), associadas a lagos efêmeros (C).

## 5. Conclusões

Os resultados e discussões apresentados, desenvolvidos a partir da análise das fácies sedimentares, de suas associações e da arquitetura deposicional, permitem concluir que:

1. Ao menos para a borda Oeste da bacia do Recôncavo, a Formação Sergi pode ser descrita com base em 10 fácies sedimentares e 5 elementos arquiteturais, o que permitiu caracterizar 2 sistemas deposicionais distintos: um sistema flúvio-eólico e um fluvial.
2. O estudo da arquitetura deposicional apresentou excelente resultado na compreensão das relações espaciais entre as diversas fácies e elementos arquiteturais observados, pois a visualização 2D, em afloramento, permitiu delinear os limites laterais das camadas, além das formas de contato.
3. Observou-se uma grande heterogeneidade no sistema flúvio-eólico em relação ao fluvial, que deve ser considerada em estudos futuros de propriedade de reservatório.
4. A caracterização faciológica mostrou que as barreiras naturais, isto é, desconsiderando as transformações pós-deposicionais, são formadas pelas fácies Sh, Sr, Sr<sub>b</sub>, Fm e P, que ocorrem intercaladas aos depósitos fluviais e eólicos.

## 6. Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à Agência Nacional do Petróleo (ANP), pelo apoio ao estudo através de seu Programa de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da UFRJ (PRH-ANP-18); à Gerência de Tecnologia de Rochas (TRO) do CENPES/PETROBRAS, pela cessão do fotomosaico do *canyon* do rio Sergi; e ao geólogo Benjamim Novais Carrasco (CENPES/PETROBRAS), pelas discussões.

## 7. Referências Bibliográficas

- BORGHI, L. 2000. Visão geral na fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. Rio de Janeiro, Boletim do Museu Nacional, 26p. (N.S., Geologia, 53)
- BROOKFIELD, M.E. 1977. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones. *Sedimentology*, **24**:303-332
- CARRASCO, B.N.; FONSECA, L.E.N. & DURÃES, E.M. 1996. Fotointerpretação de fácies e de elementos arquiteturais eólicos no afloramento do canyon do Sergi, bacia do Recôncavo, Brasil. *In*: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, *Anais*, **1**:141-144.
- CARRASCO, B.N. & BECKER, M.R. 1999. High-resolution stratigraphic architecture of fluvial-eolian reservoir analogous exposures: the Jurassic Sergi Formation, Recôncavo Basin, Brazil. *In*: AAPG Annual Meeting, 1999, San Antonio, TX, EUA. (CD-ROM, Poster)
- DE ROS, L.F. 1986. *Petrologia e características de reservatório da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmaria, bacia do Recôncavo, Brasil*. Ouro Preto, UFOP, 107p. (Dissertação de Mestrado)
- FIGUEIREDO, A.M.F.; BRAGA, J.A.E.; ZABALAGA, J.C.; OLIVEIRA, J.J.; AGUIAR, G.A.; SILVA, O.B.; MATO, L.F.; DANIEL, L.M.F.; MAGNAVITA, L.P.; BRUHN, C.H.L. 1994. Recôncavo Basin, Brazil: a prolific Intracontinental Rift Basin. *In*: S.M. Landon (ed.) *Interior Rift Basins*. Tulsa, AAPG, p.157-203. (Memoir 59)
- LANZARINI, W.L. 1995. *Modelos e simulações de fácies e seqüências sedimentares fluviais e eólicas de reservatórios petrolíferos*. São Paulo, IGc/USP, 205p. (Tese de Doutorado)
- LANZARINI, W.L. & TERRA, G.J.S. 1989. Fácies sedimentares, evolução da porosidade e qualidade de reservatório da Formação Sergi, Campo da Fazenda Boa Esperança, bacia do Recôncavo. *Bol. Geoc. PETROBRAS*, Rio de Janeiro, **3**:365-375.
- MIALL, A.D. 1996. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and Petroleum Geology*. Berlin, Springer-Verlag, 582p.
- REGALI, M.S.P.; BORGHI, L.; TORRES RIBEIRO, M. 2001. Uma palinoflora inédita do Jurássico Superior na bacia do Recôncavo (Formação Sergi). *In*: Simpósio sobre o Cretáceo no Brasil, 6, Simpósio sobre el Cretáceo de América del Sur, 2, São Pedro, *Anais*, **1**:113-117.
- TORRES RIBEIRO, M. 2002. *Fácies sedimentares e arquitetura deposicional da Formação Sergi (Jurássico Superior), bacia do Recôncavo*. Rio de Janeiro, IGeo/UFRJ, 98p. (Monografia de Graduação)