



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Geologia

Paulo Roberto Dal-Cere Junior


**Reservatório de gás não convencional: história de caso na Bacia do
Recôncavo - Brasil**

Rio de Janeiro

2012

Paulo Roberto Dal-Cere Junior

**Reservatório de gás não convencional: história de caso na Bacia do
Recôncavo - Brasil**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Luiz Menezes

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Carlos Della Fávera

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

D138 Dal-Cere Junior, Paulo Roberto.
Reservatório de gás não convencional : história de caso na Bacia do Recôncavo / Paulo Roberto Dal-Cere Junior. – 2012.
81 f. il.

Orientador: Paulo de Tarso Luiz Menezes.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia

1. Geologia estrutural – Recôncavo, Bacia do (BA) – Teses. 2. Reservatórios de hidrocarboneto – Recôncavo, Bacia do (BA) - Teses. 3. Gás natural – Recôncavo, Bacia do (BA) – Teses. I. Menezes, Paulo de Tarso Luiz. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.243(813.8)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Paulo Roberto Dal-Cere Junior

**Reservatório de gás não convencional: história de caso na Bacia do
Recôncavo - Brasil**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Aprovado em 27 de abril de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo de Tarso Luiz Menezes (Orientador)

Faculdade de Geologia da UERJ

Prof. Dr. Marco André Malmann Medeiros

Faculdade de Geologia da UERJ

Prof. Dr. Emanuele F. La Terra

Observatório Nacional

Rio de Janeiro

2012

DEDICATÓRIA

A minha família, em especial aos meus pais, esposa, filhos e a Terra, com os quais tenho aprendido muitas lições durante a vida.

RESUMO

DAL-CERE JUNIOR, Paulo Roberto. *Reservatório de gás não convencional: história de caso na Bacia do Recôncavo – Brasil*. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O principal objetivo deste trabalho foi à realização de um estudo geológico sobre os folhelhos fraturados da Formação Candeias que ocorrem em diferentes partes da Bacia do Recôncavo, sendo enfatizadas suas principais relações com a acumulação de petróleo. Este trabalho contempla, ainda, uma revisão bibliográfica acerca da evolução da campanha exploratória nesta bacia, desde seus primórdios, na década de trinta, além de uma análise sob as perspectivas na área de exploração e produção. A Bacia do Recôncavo, situada na região Nordeste do Brasil, está inserida numa grande bacia tafrogênica (Rifte abortado Recôncavo-Tucano-Jatobá), originada nos momentos iniciais de ruptura do paleocontinente Gondwana ocidental, no Eocretáceo, sob os campos de tensões que produziram o Oceano Atlântico. Em termos estratigráficos, a bacia guarda um importante registro geológico, compreendido por depósitos continentais (lacustres, fluvio-deltáicos, neríticos, eólicos e leques aluviais), sendo subdividido em seis seqüências sedimentares, referentes aos estágios pré-rifte e rifte. As principais acumulações de petróleo na bacia podem ser agrupadas em três grandes sistemas: pré-rifte, rifte-Candeias e rifte-Ilhas, representando plays exploratórios distintos. As perspectivas futuras para a Bacia do Recôncavo devem considerar a importância da identificação de novos plays exploratórios, através da caracterização de novos intervalos geradores e reservatórios, como é o caso dos folhelhos fraturados e do *shale gas*. Não menos importante é o desenvolvimento de novas técnicas de produção, aumentando o fator de recuperação de campos produtores.

Palavras-chave: Reservatórios não convencionais. Geologia estrutural. Bacia do Recôncavo.

ABSTRACT

Unconventional gas reservoir is a term commonly used to refer to a lower permeability reservoir that produces mainly gas. Many of the lower permeability reservoirs that have been developed in the past are sandstone, but significant quantities of gas are also produced from low-permeability carbonates, shales, and coalbed methane. In general, a vertical well that has been drilled and completed in an unconventional gas reservoir must be successfully stimulated to produce at commercial gas flow rates and recover commercial gas volumes. Normally, a hydraulic fracture treatment is used to achieve successful stimulation. In some naturally fractured unconventional gas reservoirs, horizontal wells can be drilled, but many of these wells also need to be stimulated with hydraulic fracturing methods. To optimize the development of an unconventional gas reservoir, a team of geoscientists and engineers must determine the optimum number and locations of wells to be drilled, as well as the drilling and completion procedures for each well. On an individual well basis, an unconventional gas reservoir will produce less gas over a longer period of time than will a well completed in a higher permeability, conventional reservoir.

Many of the major accumulations of mineral resources are found within or near the deeply penetrating fractures of the global fractures called "cracks of the world" (Keith et al, 2003). In the exploration industry the main targets to be drilled can be predicted by the analysis of the structural adjustment and fluid flow pathway in lateral or in vertical pipes, detectable through different geochemistry and geophysics patterns. The recognition and distribution of an unconventional gas reservoir in the Reconcavo Basin is the main focus of this study. In this basin, it is observed that fractures, usually occurring in the Gomo Member shales of the Candeias Formation, are generated by the sliding down of the hanging block of listric faults. The sliding block undergoes a compression in its terminal portion, caused by the interruption of movement along an obstacle, usually a structural high produced by the accumulation of shale (possibly diamictites and olistoliths from a previous sliding). These fractures are arranged at various scales of magnitude and can be stated that the most important fracture is the strike-slip fault, from which other low order fractures are developed.

Keywords: Unconventional reservoir. Structural Geology. Reconcavo Basin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Arcabouço tectono-estrutural da Bacia do Recôncavo.....	21
Figura 2 –	Reconstituição paleogeográfica do início da abertura do oceano Atlântico (detalhe para o aulacógeno formado pelo rifte RTJ).....	22
Figura 3 –	Mapa geológico simplificado do Cráton de São Francisco. No Retângulo preto, destaque para o Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá.....	23
Figura 4 –	Mapa estrutural do embasamento de Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá. 1 e 2: granulitos do Proterozóico Inferior; 3: Sedimentos do Proterozóico Superior; 4 e 5: cinturões de dobramentos formados durante o Proterozóico Final; 6: gnaisses e granitos retrabalhados durante o Proterozóico Superior; 7: terrenos do Proterozóico Inferior (granito-greenstone); as áreas em preto correspondem ao Greenstone Belt.....	24
Figura 5 –	Maritaca field location and the main hydrocarbon occurrences with the oil kitchens of the Candeias Formation.....	26
Figura 6 –	Bloco diagrama ilustrando a estruturação do Rifte RTJ. Detalhe para a segmentação em Recôncavo Leste.....	27
Figura 7 –	Bloco diagrama ilustrando a estruturação Bacia do Recôncavo e elipsóides de tensões em diferentes áreas: A: tensão regional; B: campos de tensão ao longo de falhas de alívio; C: campo de tensões na região de Candeias; D: Compressão local referente à falha Cassarongongo.....	28
Figura 8 –	Bloco diagrama (a) e seções ortogonal (b) e paralela (c) ilustrando a formação de falhas de alívio a partir de uma falha principal.....	31
Figura 9 –	Mapa de anomalia gravimétrica ilustrando as falhas de Mata-	

	Catu Norte e Sul.....	33
Figura 10 –	Possível rede de fraturas como parte do sistema denominado “world crack system” baseado em mapa de anomalias gravimétricas.....	34
Figura 11 –	Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo.....	44
Figura 12 –	Paleogeografia da fase pré-rifte da Bacia do Recôncavo.....	45
Figura 13 –	Paleogeografia da fase Sin-rifte da Bacia do Recôncavo.....	46
Figura 14 –	Paleogeografia durante a deposição da Formação Taquipe.....	48
Figura 15 –	Correlação entre tensão, orientações das fraturas derivadas dessas tensões, e a resultante de histogramas dip.....	50
Figura 16 –	Seção geológica regional dip na Bacia do Recôncavo.....	52
Figura 17 –	Perfil elétrico do poço 7-C-135-BA.....	54
Figura 18 –	Exemplo de afloramento de folhelho fraturado do Membro Gomo.....	55
Figura 19 –	Mapa do Campo de Candeias, mostrando o trend de ocorrências do folhelho fraturado (retângulo cinza claro). O poço C-135 provou ser um bom produtor neste intervalo. O trend se estende para a área do Campo de Cexis onde o poço 4-CX-3-BA e 4-CX-6-BA também têm fraturas com óleo nos folhelhos. A área cinza clara representa a ocorrência de depósitos turbidíticos da 3a. Zona.....	56
Figura 20 –	Seção NW-SW no Campo de Candeias mostrando o sistema de falhas lítricas e a posição do poço C-135-BA (modificado de Sarzenski e Souza Cruz, 1986).....	57
Figura 21 –	Perfis de gamma-ray, resistividade e sônico do poço 1-RU-1-BA. A produção de óleo ocorreu dos folhelhos fraturados coincidentes com o Marcador “60”.....	58

Figura 22 –	Seção sísmica passando pelo poço 1-RU-1-BA. Observar a falha lítrica que aparentemente controla o intervalo fraturado.....	59
Figura 23 –	Comportamento da pressão e da temperatura durante todo o teste no registo drill pipe.....	61
Figura 24 –	Esquema deposicional dos olistolitos na base do Membro Gomo.....	61
Figura 25 –	Seção com atributo sísmico enfatizando a continuidade dos eventos sísmicos e mostrando o topo do folhelho fraturado na estrutura em forma de "mound" (olistolitos).....	62
Figura 26 –	Exemplo de registro de perfil de imagem resistiva de folhelho fraturado.....	63
Figura 27 –	Correlação do topo dos folhelhos fraturado no registro e processamento sísmico especial para enfatizar a continuidade dos eventos.....	65
Figura 28 –	Etapa um de pré-condicionamento de dados: Análise de componente principal nos traços adjacentes.....	67
Figura 29 –	Etapa dois de pré-condicionamento de dados: A análise é repetida para todos os mergulhos em três dimensões.....	68
Figura 30 –	Método gráfico para determinação de curvatura gaussiana.....	68
Figura 31 –	Exemplo de ambiente extensional mostrando que a tensão máxima é vertical e os pontos de máxima curvatura de um lineamento ao longo do eixo da estrutura.....	69
Figura 32 –	Exemplo de ambiente compressional mostrando que as fraturas de extensão são perpendiculares à tendência.....	70
Figura 33 –	Seção de direção norte-sul destacando o atributo de cubo de coerência que mostra o topo do folhelho fraturado.....	71
Figura 34–	Mapa de coerência mostrando o folhelho fraturado	

	caracterizado pela área descontínua do mapa.....	72
Figura 35 -	Seção sísmica na direção NS mostrando o topo do folhelho fraturado sobre um atributo de densidade de fratura.....	73
Figura 36 –	Mapa de densidade de fratura mostrando a zona de folhelho fraturado. Note o limite visível da zona de fratura caracterizada pelo limite da falha lístrica.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de reservatório de gás não convencional em todo o mundo.....	18
Tabela 2 – Estimativa de recursos de gás de folhelho em todo o mundo.....	19
Tabela 3 – Poços da Bacia do Recôncavo onde ocorrem folhelhos fraturados com produção de óleo ou indícios de HC.....	36
Tabela 4 – Geometria de fraturas (modificado de Nelson, 2001).....	51

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	13
1	HISTÓRICO DA BACIA DO RECÔNCAVO.....	14
2	RESERVATÓRIOS NÃO CONVENCIONAIS PELO MUNDO.....	17
3	ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.1	Geologia estrutural.....	19
3.2	Estratigrafia.....	36
3.2.1	<u>Grupo Brotas.....</u>	36
3.2.2	<u>Grupo Santo Amaro.....</u>	37
3.2.2.1	Litoestratigrafia da Formação Candeias.....	38
3.2.3	<u>Grupo Ilhas.....</u>	40
3.2.4	<u>Grupo Massacará.....</u>	41
3.3	Evolução tectono-sedimentar.....	43
4	CLASSIFICAÇÃO DE FRATURAS DE RESERVATÓRIOS NATURALMENTE FRATURADOS.....	49
5	OCORRÊNCIAS DE FRATURAS E CONTROLE ESTRUTURAL – CAMPOS DE CANDEIAS E RIO UNA COMO EXEMPLOS DE RESERVATÓRIOS NÃO CONVENCIONAIS DE FOLHELHOS..	51
6	CAMPO DE MARITACA: CARACTERIZAÇÃO DE FRATURAS NO RESERVATÓRIO NÃO CONVENCIONAL DE FOLHELHO..	60
6.1	Olistostroma/olistolitos e suas relações com fraturamento.....	63
6.2	Metodologia Sísmica.....	66
7	CONCLUSÕES.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77