



# CARACTERIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS LAMINARES DA FORMAÇÃO CALUMBI ATRAVÉS DO PERFIL DIPMETER

José Marques Jr., Antonio C. Bugginga Ramos

PETROBRAS S/A, Brazil

## ABSTRACT

The recent discoveries in the Sergipe-Alagoas basin brought back the problem of characterization of laminated reservoirs employing both conventional well logging tools and data interpretation. The Calumbi Formation reservoirs are characterized thin sandy layers interbedded with shales. These reservoirs display high initial rates and excellent porosity and permeability values.

It has been observed that dipmeter acquisition curves clearly distinguish between permeable (sandstone) from nonpermeable (shale) layers. Although not having a quantitative meaning, the relative microresistivity variation between permeable and nonpermeable layers allows for a very detailed definition of reservoir thickness.

The results obtained with the LARA (Laminated Reservoir Analysis) model are also presented. In this case, the dipmeter acquisition curves were used as a high resolution shale indicator. These results are compared with those obtained from conventional quantitative interpretation.

The reservoir net pay estimate employing dipmeter curve analysis presents more reliable values. For this reason, the approach has been used for evaluating thin-bedded reservoirs in the Sergipe-Alagoas basin.

---

## INTRODUÇÃO

Para os reservatórios laminares da Formação Calumbi, as leituras dos perfis convencionais de porosidade, resistividade, e raios gama, representam uma média das propriedades de cada intervalo, o que muitas vezes mascara a presença das camadas finas. O mais adequado seria a utilização de uma ferramenta com maior resolução que fosse capaz de individualizar cada uma delas. Ruhovets (1990) sugere o uso de ferramentas como o *dipmeter*, microperfil, constante dielétrica ou índice de PE (Efeito Fotoelétrico) não filtrado, como indicadores de alta resolução que teriam o objetivo de melhor definir as camadas finas que constituem este tipo de reservatório.

Observando em detalhe os dados de aquisição da ferramenta *dipmeter* em um poço pioneiro ( **poço A** ), foi possível constatar a capacidade de discriminação das curvas. Uma vez colocadas em profundidade e filtradas para eliminação de ruídos de alta frequência, surgem de forma nítida as laminações presentes no reservatório (Figura 1).

Uma vez caracterizadas as camadas finas, é possível ter uma noção mais realista da relação arenito/folhelho, melhorando significativamente as estimativas de *net pay*. Entretanto, a avaliação de propriedades como a porosidade, resistividade e a saturação de água ainda estariam comprometidas pela baixa resolução dos perfis convencionais. Ruhovets (1990), propõe uma solução para este problema através da utilização de um indicador de folhelho de alta resolução, que no nosso caso seriam as curvas de microresistividade do perfil *dipmeter*. Com base neste indicador, as curvas de resistividade e porosidade seriam reconstruídas, refletindo a alternância de propriedades que realmente existe entre as lâminas. Esta técnica é utilizada na prática através de um *software* denominado **LARA (Laminated Reservoir Analysis)**, contido no pacote de programas **DPP (Desktop PetroPhysics)** da Halliburton. Existe um exemplo da aplicação desta técnica em reservatórios laminados da Costa do Golfo (Ruhovets, 1992). Há também uma aplicação na Bacia Potiguar (Fontenele, 1994), onde utilizou-se os dados de imagem ultrassônica (CAST).

Trabalhos mais recentes (Fam et al., 1996), utilizam os dados da ferramenta de imagem microelétrica EMI (Electrical Micro Imaging) da Halliburton como indicador de alta resolução, com a vantagem de que um eletrodo central, presente em cada um dos seis patins, fornece uma leitura quantitativa absoluta de resistividade da zona invadida, com resolução vertical da ordem de 0.2 polegadas, o que permite recompor ("deconvolver") com mais segurança os dados de Rt.

O presente trabalho descreve o método utilizado no tratamento das curvas de aquisição do *dipmeter* para produzir um indicador de alta resolução, e apresenta os resultados da aplicação do modelo LARA.

## TRATAMENTO DOS DADOS

As curvas de aquisição do perfil *dipmeter* normalmente apresentam-se fora de fase, devido ao mergulho das camadas e/ou inclinação do próprio poço, além da constante presença de ruídos de alta frequência, comuns neste tipo de registro (Figura 2, curva P1). Estes fatores acabam dificultando a visualização nítida de camadas finas. Sendo assim, propõe-se um tratamento prévio dos dados, utilizando o pacote de programas DPP. A seguir são descritos os principais passos deste tratamento :

1. O primeiro passo consiste em colocar em fase as curvas de aquisição. O módulo *DepthMath* permite a execução desta operação de forma bastante interativa;
2. No módulo *MathPack* efetuar a soma das curvas. Esta operação já consiste na primeira filtragem dos dados, uma vez que haverá uma tendência de se anular os ruídos de alta frequência devido ao seu caráter aleatório;

- No mesmo módulo anterior aplicar um filtro linear na curva gerada após a soma dos dados originais. Sugere-se pelo menos três números de amostras diferentes (9, 13 e 17) e, através da comparação entre as curvas filtradas, escolher a que melhor evidencia as laminações. A Figura 2 apresenta um perfil comparativo mostrando o efeito da filtragem, de acordo com o número de amostras;
- Através do módulo *Merge*, efetuar a composição da curva escolhida como indicador de alta resolução com as demais. Para o caso em estudo GR, RHOB, NPHI, CALI, LLD e LLS. Um detalhe importante neste passo é a definição da taxa de amostragem do sinal que não deve ultrapassar 40 amostras por metro, devido a limitações do programa LARA. Vale lembrar que, originalmente, o perfil *dipmeter* chega a taxas de até 400 amostras por metro (SHDT) contra cerca de 6.5 dos perfis convencionais. Neste sentido existe a opção de interpolação dentro do módulo *Merge*, que já fornece os dados em uma taxa única de amostragem;
- Se necessário, retornar ao módulo *DepthMatch* e ajustar a profundidade da curva de alta resolução em relação aos demais perfis, utilizando o raio gama como referência;
- Neste ponto está montado um arquivo em que podem ser exibidos para análise a curva de alta resolução ao lado dos perfis convencionais. A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para o pioneiro **poço A**. Este mesmo arquivo pode ser utilizado para aplicação do modelo LARA.

#### COMPARAÇÃO COM DADOS DE TESTEMUNHO

No **poço B** foi testemunhado o intervalo de 1140,0 a 1165,0 m, o que permitiu a comparação dos dados petrofísicos com a curva de alta resolução gerada a partir do *dipmeter*. No total foram retirados três testemunhos nos seguintes intervalos : TESTO-01 1140,0/1149,0m (Rec.=100%); TESTO-02 1149,0/1156,0m (Rec.=90%); TESTO-03 1156,5/1165,0m(Rec.=94%). A Figura 3 exhibe os dados de testemunho onde é possível sobrepor as curvas de *Coregama* (preto), raios gama (vermelho) e *dipmeter* (azul).

Até a profundidade de 1150m há uma boa correlação entre as curvas litológicas presentes no primeiro *track* da Figura 3. Há uma tendência da curva do *Coregama* acompanhar a de alta resolução, delineando mais firmemente as camadas que a de Raios Gama. A partir deste ponto há uma correlação apenas razoável. Aparentemente a ausência de seção do testemunho 2 não aconteceu somente na base, como normalmente se supõe, mas sim ao longo dos arenitos friáveis que compõem o reservatório, este fato dificulta o posicionamento em profundidade da curva de *Coregama*. Ferreira & Pinho (1997), observaram : “ perdas durante a testemunhagem causaram alterações no tamanho dos testemunhos, como pode ser observado nas constantes interrupções da curva de *Coregama* do **anasete**”

#### RESULTADOS OBTIDOS COM O PROGRAMA LARA

O programa LARA traduz, na prática, um modelo de interpretação criado especificamente para análise de perfis em reservatórios laminares proposto por Ruhovets (1990). A partir dos dados de um perfil de alta resolução vertical é criado um indicador capaz de caracterizar as laminações com maior precisão que os perfis convencionais. Este indicador é utilizado na “deconvolução” dos perfis com resolução padrão, reconstruindo as curvas de resistividade e porosidade em um nível de detalhe mais compatível com as espessuras das lâminas. A saturação de hidrocarbonetos é calculada a partir de um modelo modificado da equação de Waxman-Smits.

Utilizando como indicador de alta resolução para os folhelhos a curva AR, o modelo LARA foi aplicado em alguns poços da área de Guaricema e Brejo Grande. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 1, onde são comparadas a análise de alta resolução (LARA) com a convencional.

De um modo geral o modelo LARA apresenta resultados mais pessimistas. A presença das laminações provoca uma redução de *net pay* e, apesar de um aumento da saturação de óleo, provocado pelo ajuste do perfil de resistividade, o resultado final é uma diminuição na espessura de óleo ( $H^*\Phi^*SO$ ).

Poço	H (m)		$\Phi_m$ (%)		SWm (%)		$H^*\Phi^*SO$ (m)	
	Conv.	Lara	Conv.	Lara	Conv	Lara	Conv.	Lara
<b>A</b>	15,1	13,7	31,4	28,8	17,4	10,4	3,92	3,53
<b>B</b>	8,4	5,65	30,1	26,1	27,1	10,0	1,84	1,33
<b>C</b>	14,0	12,2	29,5	25,6	20,8	12,4	3,27	2,74
<b>D</b>	15,8	7,5	31,6	26,4	29,6	13,0	3,51	1,72
<b>E</b>	10,3	10,0	31,1	31,9	10,0	8,0	2,88	2,93

Tabela 1 - Comparação entre os resultados da análise convencional e LARA.

A Figura 4 apresenta os resultados desta análise no **poço A**. No primeiro *track* são comparados os dados de volume de folhelho calculados a partir da análise LARA com os perfis de Raios Gama e AR. Nota-se um volume de folhelho compatível com a presença das laminações. O segundo *track* exhibe a curva de resistividade reconstruída, em verde, e a original em vermelho. Há um aumento nos valores frente aos reservatórios e uma diminuição frente às lâminas de folhelho, da curva reconstruída em relação a original. Finalmente, no terceiro *track*, observa-se a curva de porosidade refletindo na área azul os valores, as vezes demasiadamente baixos, encontrados para saturação de água.

#### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nos poços onde foi possível a discriminação das laminações foi utilizado um mesmo tipo de fluido de perfuração, à base de água com salinidade variando entre 100000 e 150000 ppm de NaCl, a única exceção foi o **poço C**, onde a salinidade foi de 55000 ppm de NaCl. Assim sendo, recomenda-se a utilização de fluido de perfuração similar, quando

houver interesse neste tipo de análise.

Sempre que houver a presença de reservatórios adjacentes com água, analisar o comportamento da curva AR em relação aos intervalos com HC. No **poço C** (Fig. 5), onde isto foi possível, observou-se uma mudança de comportamento bem marcante. Neste caso a curva de alta resolução seria uma ajuda a mais na avaliação qualitativa da formação.

A curva de alta resolução (AR), resultado direto do processamento dos dados de aquisição do *dipmeter*, pode ser utilizada para alguns fins, tais como : cálculo mais preciso da espessura de reservatório; melhor posicionamento dos intervalos a serem canhoneados; apoio à avaliação qualitativa na caracterização da presença de hidrocarbonetos; etc. O caráter qualitativo das curvas do perfil *dipmeter* não permite uma associação direta com valores absolutos de resistividade da formação. Neste sentido, valeria a pena tentar a utilização de ferramentas como a EMI, da Halliburton, que fornece seis curvas de resistividade absoluta a partir de um eletrodo central em cada um dos patins. Fam et al.(1996), já se utilizaram com sucesso destes dados na avaliação de reservatórios laminares no Golfo do México.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Fam, M. Y. et al., 1996. Integrating Imaging Logs in Formation Evaluation. SPWLA 37<sup>th</sup> Annual Logging Symposium. Paper ZZ. 13p.**

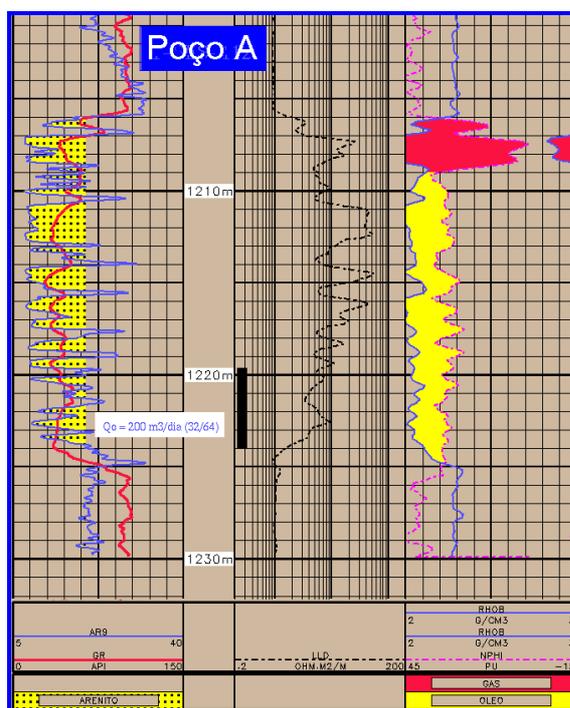
**Fontenelle, H. P., 1994. Laminated Reservoir Analysis. Relatório Interno. HLS do Brasil. Rio de Janeiro. 7p.**

**Ruhovets, N., 1990. A Log Analysis Technique for Evaluating Laminated Reservoir in the Gulf Coast Area. The Log Analyst, v. 31, n° 5, p. 294-303.**

**Ruhovets N., 1992. Laminated Reservoir Evaluation Using Logs With Different Vertical Resolution. SPWLA 33<sup>th</sup> Annual Logging Symposium. Paper CC. 10p.**

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. André Santos, da Halliburton, pela orientação dada na aplicação do módulo LARA. Agradecemos também a paciente revisão ortográfica, críticas e sugestões dos colegas Marcelo Hardman Cortes (GERET/GEAR) e Carlos U. Cazalli Maranhão (GEXP/GEAGEO).



**Figura 1 - Resultados obtidos no tratamento dos dados do perfil dipmeter para geração de um indicador de alta resolução (AR), que aparece em azul, sobreposto ao perfil de Raios Gama. O delineamento apresentado pela curva AR mostra de forma nítida a presença das laminações.**

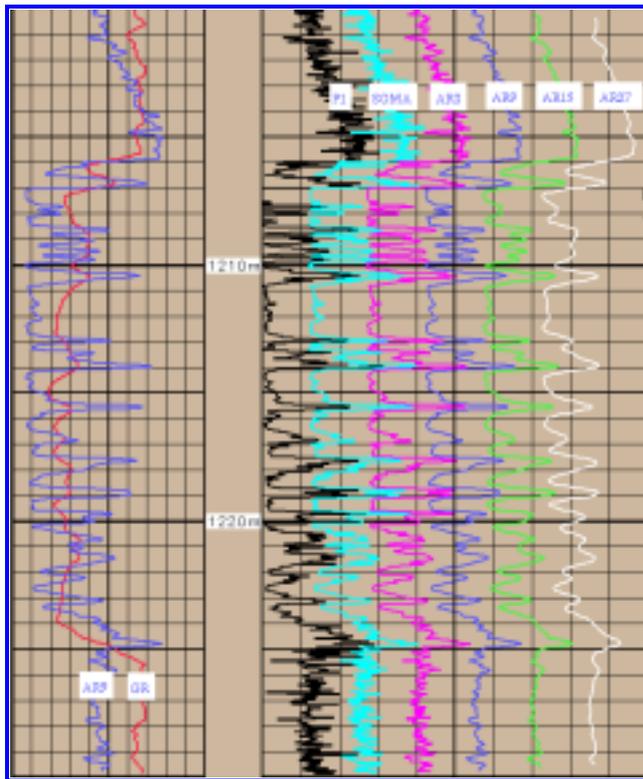


Figura 2 - Comparação mostrando o efeito no número de amostras utilizado no filtro linear. Da esquerda para a direita, a partir da curva AR não filtrada, em preto.

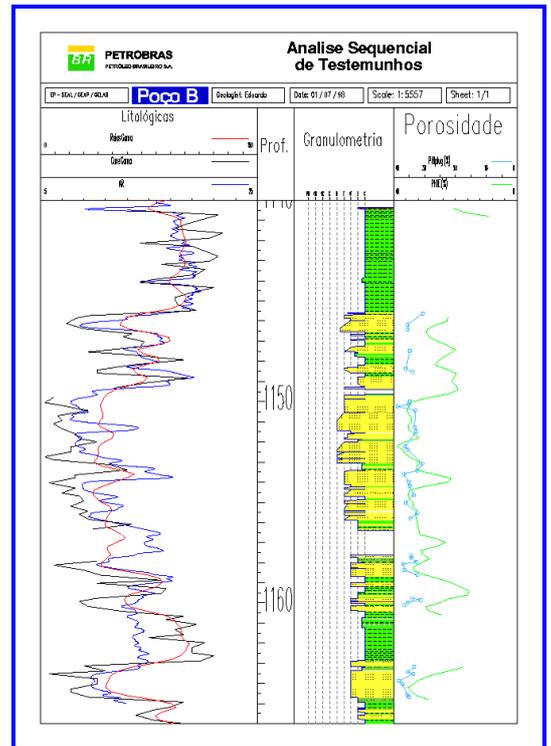


Figura 3 - Comparação do dipmeter com os dados de testemunhos do poço B.

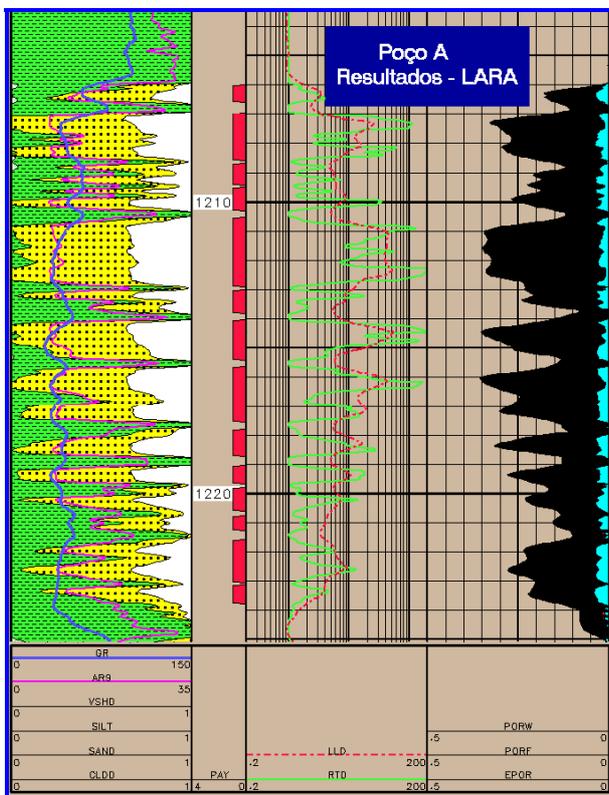


Figura 4 - Resultados do modelo LARA no poço A.

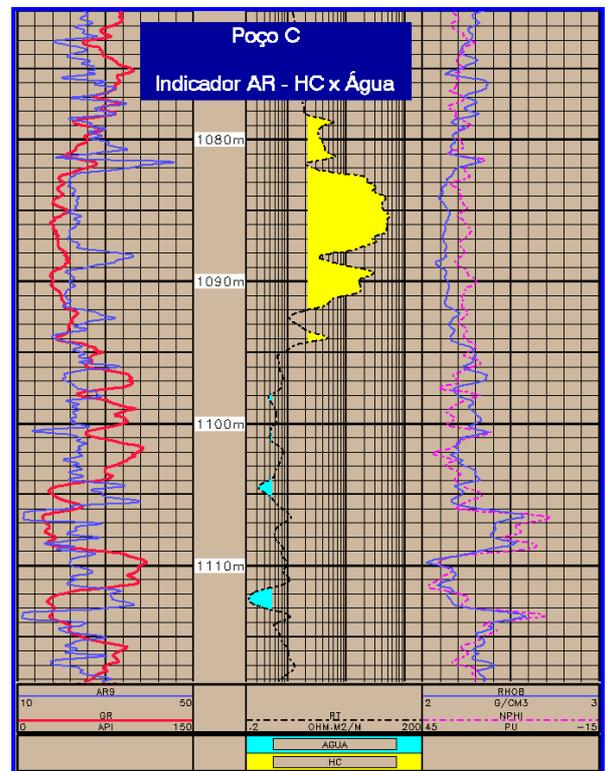


Figura 5 - Comparação mostrando a inversão do comportamento da curva AR nas zonas com água em relação às de HC. Observa-se também a mudança de referência para a linha de folhelhos, provavelmente devido a proximidade da discordância Maastrichtiano / Campaniano a 1113m.