

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ESTUDO DE PERFIS SÔNICO E DENSIDADE SINTÉTICOS EM ROCHAS CARBONÁTICAS

AUTORES:

Lucas Armando de Carvalho, Antonio Abel Gonzalez Carrasquilla, Pedro Mureb Schneider Souza

INSTITUIÇÃO:

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo - LENEP

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ESTUDO DE PERFIS SÔNICO E DENSIDADE SINTÉTICOS EM ROCHAS CARBONÁTICAS

Abstract

Geophysical well logs are of great importance for petroleum reservoir characterization mainly due to newly discovered carbonate reservoirs of the pre-salt that are under development in Brazil. The absence of some basic logs (gamma ray, sonic, resistivity, density and neutron porosity) can impact this characterization. Therefore, in order to reduce costs, only sonic log is usually required for the first wells that were drilled in the field. Furthermore, density log can sometimes develop data acquisition problems or can only being measured in a few intervals. A way to solve this problem, due to the good correlations between the logs, is to synthesize these two logs from the other basic logs, such as using the density log in order to obtain the sonic log and vice-versa. Gardner et al. (1974) proposed a model that correlates compressional wave velocity (V_p) and density. This model was employed in this research in order to create a synthetic sonic log from the density log, and vice-versa for different wells from carbonate reservoirs from post-salt and pre-salt of Campos and Santos Basins with the goal to verify if the model presents good results. In addition to this model, the sonic log was also simulated by a multiple linear regression using the other basic logs, additionally to the density log, aiming to find a better model that provides better results.

Introdução

Os perfis geofísicos de poço fornecem informações de grande importância para a caracterização de reservatórios petrolíferos, mas diversas vezes apresentam problemas em sua aquisição ou não são adquiridos em todos os poços de um campo, como é o caso do perfil sônico, que normalmente era utilizado somente nos poços pioneiros, devido à redução de custos (Crain, 2010). Nesses casos, torna-se necessária a obtenção dos perfis inexistentes através de modelos sintéticos que associam outros perfis básicos de poço com o perfil desejado. (Chagas et al. 2011)

Gardner et al. (1974) propuseram um modelo que correlaciona a velocidade da onda compressional (V_p) com a densidade. Estes perfis possuem grande correlação e por isso, muitas vezes, são utilizados em modelos sintéticos que os correlaciona.

As recentes descobertas de reservatórios carbonáticos do pré-sal, contendo grandes volumes de petróleo, motivaram o estudo deste tipo de rocha no Brasil, que até então era focado em rochas siliciclásticas. Existe um grande desafio ao estudar rochas carbonáticas devido à heterogeneidade desta litologia e dos diferentes tipos que ocorrem. Com isso, este trabalho analisou a aplicação do modelo de Gardner et al. (1974) e a construção de um modelo utilizando regressão linear múltipla em poços perfurados em campos com presença de rochas carbonáticas do pós e pré-sal das Bacias de Campos e Santos.

Metodologia

Para este estudo foram utilizados um total de 78 poços de campos do pós e pré-sal das Bacias de Campos e Santos. Como o trabalho visa analisar rochas carbonáticas, foi realizada uma triagem dos poços que apresentavam camadas de carbonatos com espessura considerável e preferencialmente todos os perfis de poço básicos (raios gama, sônico, resistividade, porosidade neutrônica e densidade). Com

isso, 41 poços foram selecionados e tiveram suas profundidades disfarçadas devido à confidencialidade.

A equação de Gardner et al. (1974) é uma equação potencial que correlaciona a densidade *bulk* (ρ_b) com a velocidade da onda compressional (V_p). Segundo Mavko et al. (2009), a equação para calcários puros utiliza coeficientes 1,36 e 0,386, conforme apresentado abaixo:

$$\rho_b = 1,36 V_p^{0,386}$$

A equação foi utilizada para calcular V_p a partir de ρ_b e também o inverso, apenas isolando a variável V_p .

Além disso, foi utilizado também um modelo que correlaciona ρ_b com os perfis V_p e raios gama, construído a partir de regressão linear múltipla. Os perfis resistividade e porosidade neutrônica não foram utilizados no modelo, pois o primeiro apresentou correlação muito baixa e o segundo apresentava trechos sem aquisição em muitos poços. Para a construção do modelo foram utilizados todos os 41 poços e obtiveram-se coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,58 e 0,59, para as previsões de ρ_b e V_p , respectivamente. As equações obtidas são apresentadas abaixo:

$$\rho_b = 1,75745396 + 0,000151078233 V_p + 0,00122673 GR$$

e

$$V_p = -4869,91942451 + 3839,34889667 \rho_b - 7,94668202 GR$$

Resultados e Discussão

Com os resultados obtidos foram construídos crossplots entre as curvas sintéticas e as curvas originais, com todos os poços, mostrados na Figura 1. Foi realizada uma regressão linear para verificar a correlação entre os perfis e pode-se observar que, apesar de todos apresentarem coeficientes de determinação (R^2) próximos de 0,62, há um melhor ajuste dos perfis sintéticos criados por regressão linear múltipla, já que apresentaram coeficientes angulares próximos de 1, enquanto que as curvas de Gardner apresentaram valores 0,86 e 0,70. Os resultados obtidos com a regressão linear são apresentados na Tabela 1.

O menor ajuste encontrado para a equação de Gardner et al. (1974) pode ser explicado pela utilização de coeficientes para rochas calcárias puras, sendo que alguns poços apresentam algumas intercalações com outras litologias ou minerais não calcíticos contidos na rocha ao longo do intervalo selecionado como carbonato. A Figura 2 mostra o exemplo de dois poços em que isso ocorre, sendo que em **A** há intercalação com outros tipos de minerais e em **B** o topo do intervalo aparentemente apresenta minerais não calcíticos, observado pelo perfil de raios gama.

Em uma análise com crossplots realizada apenas com os poços do pré-sal (Figura 3) observou-se que Gardner et al. (1974) obteve melhores resultados, apresentando valores de coeficientes angulares mais próximos de 1, quando comparados com os valores obtidos por regressão linear múltipla. Para os cálculos de densidade, o valor de R^2 foi maior para a curva de Gardner, porém para a velocidade da onda compressional, ocorreu o inverso. Isto pode ter ocorrido devido ao número de poços utilizados do pré-sal ser menor que os de pós-sal e como as rochas do pré-sal apresentam características um pouco diferentes, estas não tiveram grande influencia no modelo.

De um modo geral, os resultados encontrados para estes poços foram piores que para o restante dos poços, mas ainda são bons resultados e indicam que a equação de Gardner et al. (1974) também pode ser utilizada em poços do pré-sal.

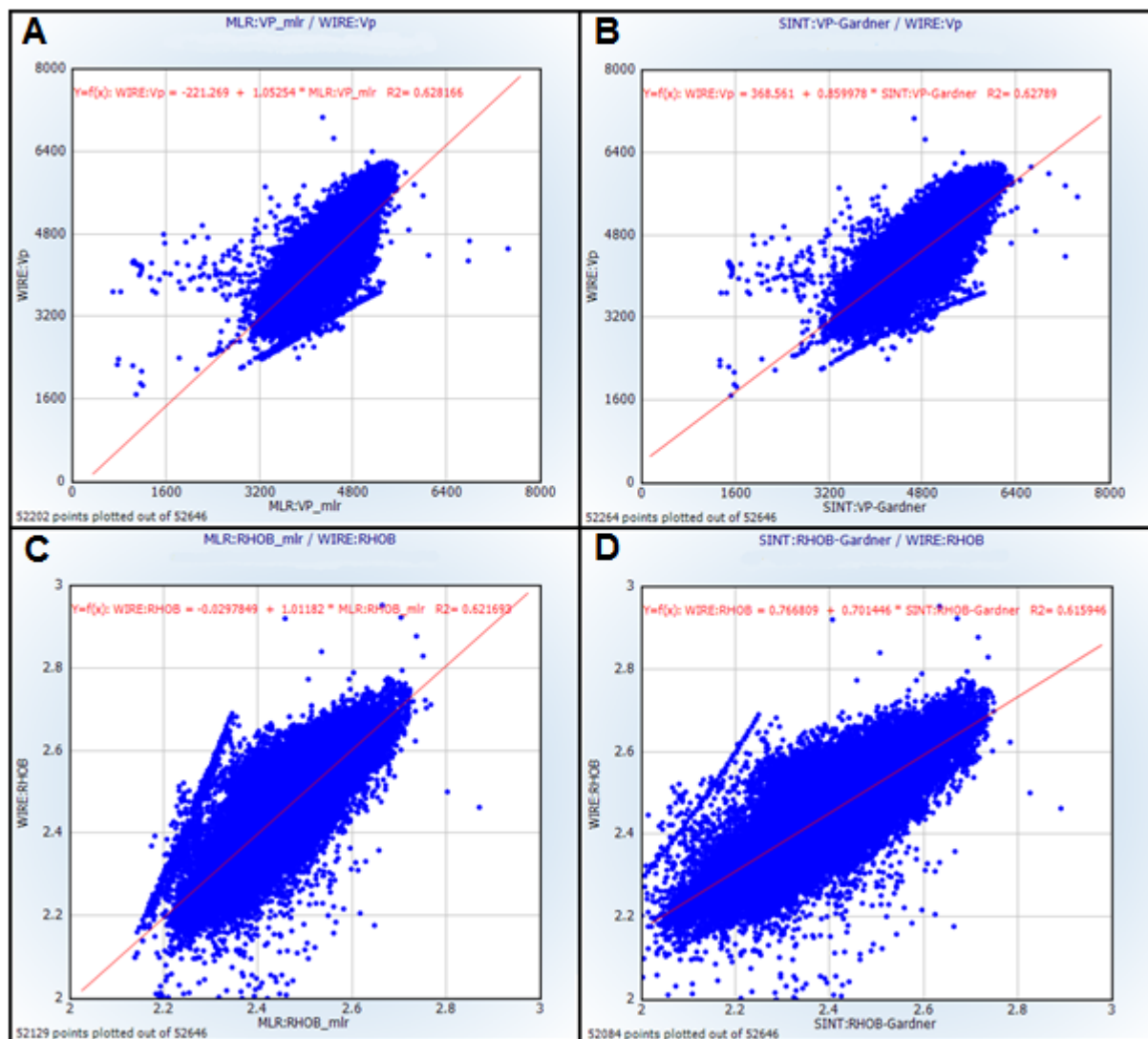


Figura 1 - Crossplots entre os perfis sintéticos e os perfis originais. **A-** V_p por regressão versus V_p ; **B-** V_p por Gardner versus V_p ; **C-** ρ_b por regressão versus ρ_b ; **D-** ρ_b por Gardner versus ρ_b .

Tabela 1 - Equações obtidas com os crossplots apresentados na Figura 1 e seus respectivos R2.

Crossplot	Equação	R2
V_p por regressão versus V_p	$V_p = -221,269 + 1,05254 V_{p_mlr}$	0,628166
V_p por Gardner versus V_p	$V_p = 368,561 + 0,859978 V_{p_Gardner}$	0,62789
ρ_b por regressão versus ρ_b	$\rho_b = -0,0297849 + 1,01182 \rho_{b_mlr}$	0,621693
ρ_b por Gardner versus ρ_b	$\rho_b = 0,766809 + 0,701446 \rho_{b_Gardner}$	0,615946

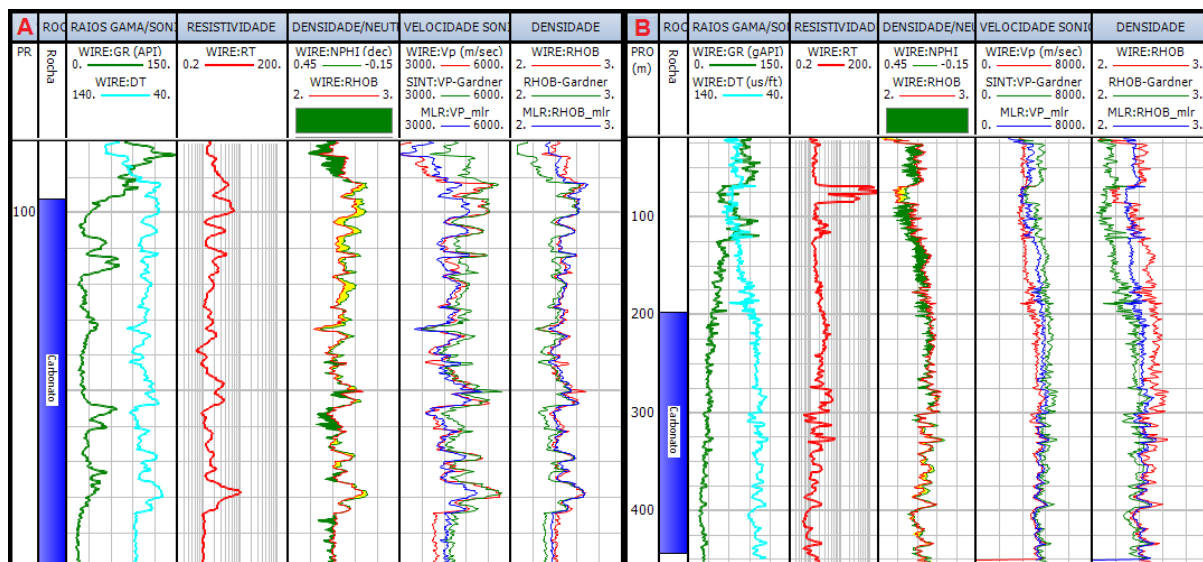


Figura 2 - Exemplo de dois poços que no intervalo de rochas carbonáticas apresentam alguma variação litológica. **A** - apresenta um poço com intercalação de outros tipos de minerais; **B** - apresenta um poço em que no topo do intervalo de rocha carbonática ocorrem minerais não calcíticos.

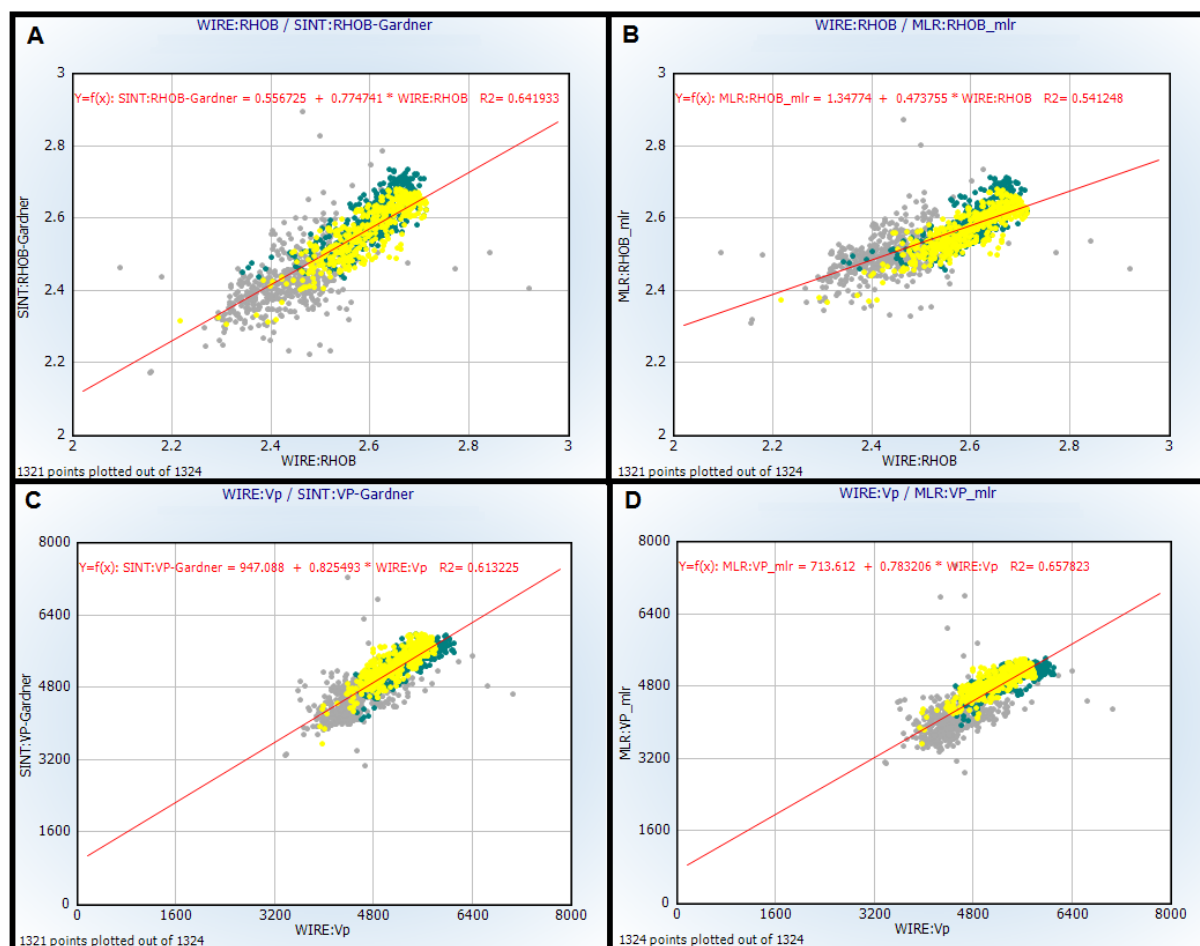


Figura 3 - Crossplot entre os perfis originais e os sintéticos apenas com os poços do pré-sal. **A** - ρ_b versus ρ_b por Gardner; **B** - ρ_b versus ρ_b por regressão; **C** - V_p versus V_p por Gardner; **D** - V_p versus V_p por regressão.

Tabela 2 - Equações obtidas com os crossplots apresentados na Figura 3 e seus respectivos R2.

Crossplot	Equação	R2
ρ_b por Gardner versus ρ_b	$\rho_b\text{-Gardner} = 0,556725 + 0,774741 \rho_b$	0,641933
ρ_b por regressão versus ρ_b	$\rho_b\text{-mlr} = 1,34774 + 0,473755 \rho_b$	0,541248
V_p por Gardner versus V_p	$V_p\text{-Gardner} = 947,088 + 0,825493 V_p$	0,613225
V_p por regressão versus V_p	$V_p\text{-mlr} = 713,612 + 0,783206 V_p$	0,657823

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo analisar a aplicação dos modelos de Gardner et al. (1974) e de regressão linear múltipla para obter perfis sônico e densidade sintéticos em poços perfurados em rochas carbonáticas de campos do pós e pré-sal das Bacias de Campos e Santos.

Foram utilizados 78 poços, sendo realizada uma triagem de acordo com a qualidade dos dados e selecionados 41 poços para aplicação dos modelos. Estes continham o conjunto de perfis básicos (sônico, raios gama, densidade, porosidade neutrônica e resistividade).

Primeiramente foram construídos os modelos para densidade e sônico sintéticos utilizando a regressão linear múltipla e sem seguida estes foram aplicados, assim como o modelo de Gardner. Para analisar os resultados obtidos foram construídos crossplots entre as curvas sintéticas geradas e os perfis de poço originais.

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, sendo que o modelo obtido por regressão obteve melhores resultados, considerando todos os poços. Quando analisados apenas os poços do pré-sal, o modelo de Gardner et al. (1974) obteve resultados melhores.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao LENEP/CCT/UENF pela estrutura disponível e ao PRH-226/PETROBRAS pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

Chagas, Evelyn S., S. L. Russo, and V. H. Simon. "Geração de perfil sônico sintético em poços de petróleo através dos modelos de regressão não lineares usando a profundidade como variável regressora." *Scientia Plena* 6.12 (b) (2011).

Crain, E. R. "Crain's petrophysical handbook." *Spectrum* (2000).

Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gregory. "Formation velocity and density—The diagnostic basics for stratigraphic traps." *Geophysics* 39.6 (1974): 770-780.

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Mavko, Gary, Tapan Mukerji, and Jack Dvorkin. *The rock physics handbook: Tools for seismic analysis of porous media*. Cambridge university press, 2009.