



Identificação de Fácies em Perfis de Poço com Rede Neural Direta

Kivia Gomes & André Andrade (UFPA)

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The application of coring techniques is usually carried out in a limited number of boreholes in an oil field, causing a data rarefaction for facies descriptions and impairing a realistic characterization of reservoirs.

The increase of oil production in new oil fields is extremely important for the oil industry and deeply dependent on the improvement of knowledge about the reservoir. A better facies description may reflect more realistic evaluation of hydrocarbon volumes once the petrophysical properties are guided by the geological characteristics of the oil reservoirs.

This work presents an intelligent algorithm that aims the transport of geologic information produced by the facies analysis of cores to the non-cored boreholes in the same oil field, through the design of a feedforward neural network trained to perform a mapping of geological information in terms of the physical properties registered in the well logs. The intelligent algorithm processes the result produced by the neural network through a depth coherence filter (moving window filter) to locate the boundaries of the layers along the borehole trajectory

Introdução

O aumento da produção de hidrocarbonetos em um campo petrolífero é de extrema importância para a indústria do petróleo e isto implica na realização da mais realista avaliação das propriedades petrofísicas dos reservatórios, que variam segundo as diversas fácies geológicas atravessadas pelo poço (SERRA, 1985). A descrição precisa das fácies reduz significativamente o erro na predição das propriedades petrofísicas com impacto no cálculo dos volumes de hidrocarboneto.

A identificação das fácies atravessadas por um poço petrolífero é uma das mais importantes atividades executadas pelo geofísico de poço e pelo geólogo de petróleo. Este último de modo direto, durante a análise de testemunhos (QI & CARR, 2006), mas a descrição geológica de testemunhos para a identificação das fácies apresenta um alto fator HH (homem/hora). Como na grande maioria dos poços *onshore*, a operação de testemunhagem é rara e a recuperação das amostras de rocha ou testemunhos, durante este tipo de operação, é

frequentemente inferior a 100% (ELLIS, 1987). Por outro lado, nos poços *offshore*, normalmente com alto ângulo ou do tipo horizontal, pois constituem a forma mais conveniente para o desenvolvimento dos campos marítimos. Neste caso, a sua geometria não possibilita a realização de operações de testemunhagem (ELLIS, 1987).

Considerando a interpretação qualitativa dos perfis geofísicos mensurados em um poço, apenas em um único caso a identificação de fácies ou da litologia pode ser realizada, como quando o poço atravessa uma camada de rocha homogênea, como um evaporito. Neste caso, o perfil de densidade convencional pode identificar esta fácies pelo seu particular valor de densidade ($\rho_b = 2.1 \text{ g/cm}^3$). Na grande maioria das situações práticas, este tipo de ocorrência é de pouca importância para a exploração de petróleo.

Apresenta-se neste trabalho uma abordagem para a solução do problema da identificação das fácies reservatório em um poço não testemunhado, com a utilização de múltiplos perfis geofísicos de poço aberto. A abordagem será através do desenvolvimento de uma estratégia conveniente para o treinamento de uma rede neural direta multicamadas, com o algoritmo da retropropagação do erro para a produção de um mapeamento da informação geológica extraída dos testemunhos obtidos em um poço, em termos das propriedades físicas registradas nos perfis.

Busca-se aqui, utilizar a habilidade e a capacidade de generalização de uma rede neural treinada com o algoritmo da retropropagação do erro para produzir um mapeamento da informação geológica extraída dos testemunhos em termos das medidas de propriedades físicas registradas nos perfis geofísicos de poço aberto e, ainda, possibilitar o transporte da informação geológica obtida em poço testemunhado, tomado como referência, para outros poços perfilados, mas não testemunhados, perfurados nas vizinhanças ou no mesmo cenário geológico do poço de referência.

A aplicabilidade desta metodologia foi verificada com a utilização dos perfis de raios gama natural (RG), resistividade profunda (RESt), sísmico (DELt), densidade (RHOb) e porosidade neutrônica (PHIN) mensurados em poços *offshore*, testemunhados e perfurados no Campo de Namorado, Bacia de Campos, Brasil

Método

A identificação de fácies é uma das fundamentais atividades realizadas na indústria do petróleo, de modo a estabelecer o sistema petrolífero e consequentemente as estratégias de exploração e produção do campo. Tradicionalmente, a descrição geológica ou a identificação de fácies provém da

observação direta do testemunho. Na grande maioria dos poços *onshore*, a operação de testemunhagem é rara e a recuperação das amostras de rocha é frequentemente inferior a 100% (ELLIS, 1987). Além disso, descrição geológica de testemunhos para a identificação das fácies apresenta um alto fator HH (homem/hora). Por outro lado, a grande maioria dos poços *offshore*, são do tipo horizontal, que é o componente fundamental o conveniente desenvolvimento dos campos marítimos e não permite a realização de operações de testemunhagem (SAGAFF e NEBRILJA, 2000).

Quando uma camada de rocha sedimentar não possui porosidade ou é constituída por um único material homogêneo, a identificação da fácies através da interpretação dos perfis geofísicos de poço aberto é imediata, como por exemplo, considere o caso de uma rocha evaporítica, como a halita (NaCl). Neste caso, o perfil de densidade é suficiente para diagnosticar presença deste mineral, a partir de seu valor característico de densidade ($\rho_b = 2.1 \text{ g/cm}^3$). Infelizmente, os evaporitos não têm interesse como rocha reservatório. As rochas reservatório, importantes para a exploração de fluidos em subsuperfície, apresentam, na grande maioria dos casos, uma constituição mineralógica bastante complexa, como no caso dos arenitos, que na grande maioria das ocorrências, não é composto exclusivamente por quartzo, mas por variadas combinações de quartzo, argilominerais, calcita e outros minerais.

A identificação de fácies através da interpretação de perfis é uma tarefa complexa, onde se assume que fácies iguais apresentem semelhantes propriedades físicas e consequentemente, apresentem semelhantes respostas dos perfis geofísicos (SERRA, 1985).

Neste trabalho apresenta-se uma solução computacional para o problema da identificação de fácies reservatório em um poço não testemunhado, com a utilização de múltiplos perfis geofísicos de poço aberto, na forma de um problema de decisão, através do desenvolvimento de uma estratégia conveniente para o treinamento de uma rede neural direta, com a utilização do algoritmo da retropropagação do erro, para a produção de um mapeamento da informação geológica extraída do testemunho em termos das propriedades físicas registradas nos perfis.

A questão pertinente que se impõem à rede neural é determinar como diferentes fácies apresentam diferentes propriedades físicas registradas nos perfis ou que, fácies iguais apresentem respostas semelhantes. A resposta a esta questão é não trivial. A abordagem para responder a esta questão, adotada neste trabalho, é a de apresentar uma rede neural treinada em um poço testemunhado onde tem se a descrição das fácies de interesse e as correspondentes respostas dos perfis. Deste modo, busca-se uma codificação conveniente que produza o mapeamento da informação geológica extraída do testemunho em termos das propriedades físicas registradas nos perfis.

O projeto da rede neural utilizada neste trabalho envolve três estágios:

1. A definição do número de camadas e do modo de interconexão entre elas.

2. A definição do número de neurônios em cada camada e as suas respectivas funções de ativação.
3. A definição de um conveniente conjunto de treinamento.

A arquitetura da rede neural para a identificação de uma fácies reservatório utilizando múltiplos perfis é formada por três camadas. A primeira camada possui um número de neurônios igual ao número de perfis a serem utilizados. Assume-se que foram efetuadas todas as correlações ambientais e que os intervalos dos perfis contenham o trecho testemunhado. A segunda camada é composta por 15 neurônios processadores, com a função sigmóide como função de ativação. A camada de saída é composta por um único neurônio com uma função linear como função de ativação e a cada intervalo de profundidade produzirá uma saída. Deste modo, como a rede é treinada para produzir um mapeamento da informação geológica extraída do testemunho em termos das propriedades físicas registradas nos perfis de poço, o sinal ideal de saída da rede neural será associado o valor igual a 1 (um), quando produzir a identificação da fácies siltito argiloso, fácies de referência, e associado um valor igual a 2 (dois) quando produzir a identificação da fácies arenito também considerada como fácies de referência, para a aplicação da rede é necessário não codificar as outras fácies que por ventura pareçam ao longo da profundidade do poço de referência e não sejam de interesse para efeito de identificação nos outros poços. Esta é uma forma razoável de convivência com os ruídos presentes nos dados. Assim valores diferentes dos valores da função de mapeamento são descartados. Espera-se assim, que seja possível a determinação das espessuras das diversas ocorrências das fácies de referência, tanto no poço de treinamento, quanto nos outros poços do campo petrolífero, que cruzam o mesmo cenário geológico. Espera-se ainda que o processamento da rede neural seja suficientemente robusto, para de forma independente da espessura da fácies de treinamento, que define o número de pontos no conjunto de treinamento, a rede neural treinada seja capaz de corretamente identificar as duas fácies de referência tanto o arenito reservatório quanto o calcário nos outros poços independente das espessuras nas quais elas ocorrem.

O conjunto de treinamento, para a identificação das fácies de referência utilizando múltiplos perfis, possui as seguintes características:

1. O conjunto de estímulos é formado por um intervalo de profundidade para todos os perfis, tal que contenha o intervalo testemunhado da fácies reservatório de referência, na forma de uma matriz em que cada linha corresponda a um tipo perfil e cada coluna corresponda aos valores das propriedades físicas mensuradas em cada ponto de profundidade do poço, no intervalo de profundidades adotado.
2. O conjunto de respostas desejadas é formado pela função escada ou função de mapeamento, que apresenta um valor constante para cada intervalo de profundidade de ocorrência das fácies de interesses

A operação da rede neural trata da sua aplicação com dados de entrada, ou perfis mesurados em outro poço não testemunhado. Em outras palavras, trata do estabelecimento de uma função resposta semelhante à função de mapeamento a partir da aplicação dos novos dados de entrada. O poço teste ou não testemunhado, obrigatoriamente deve possuir, no mínimo, os perfis utilizados para o treinamento da rede que são os dados de entrada. Caso o poço teste não possua o conjunto de perfis usado no treinamento a rede neural não poderá ser aplicada para a identificação das fácies de interesse. A arquitetura da rede neural aqui utilizada é mostrada na Figura 1.

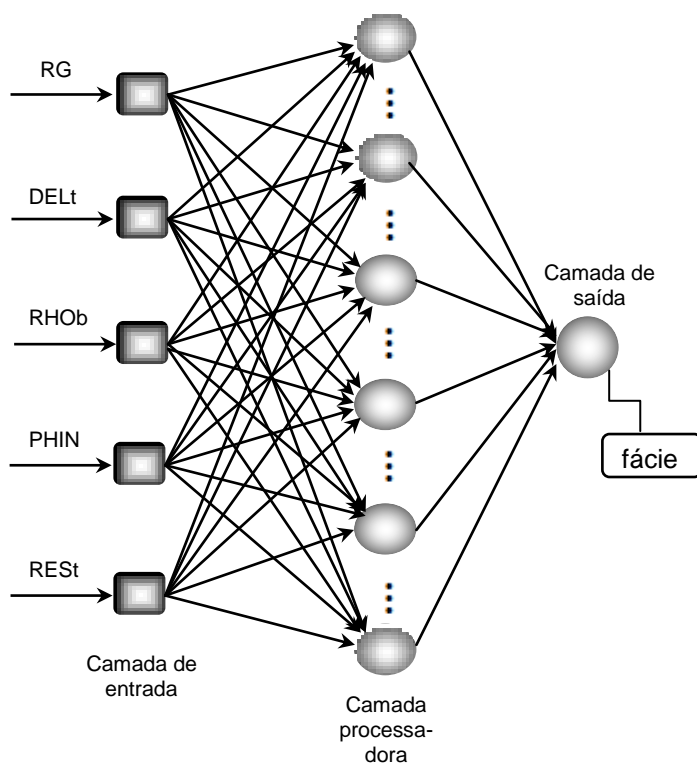


Figura 1- Arquitetura da rede neural

Resultados

A aplicação da rede neural aqui apresentada ocorrerá com a utilização de cinco perfis, que são raios gama natural (RG), resistividade profunda (RES), Perfil Sônico (DELt), perfil de densidade (RHOb) e o perfil de porosidade neutrônica (PHIN), registrados em poços offshore perfurados na Bacia de Campos/RJ Brasil. Estes poços foram testemunhados e cruzam uma camada de siltito e outra camada de arenito tomadas como fácies de referência a modo de produzir o treinamento da rede. O poço, aqui denominado como, Poço-A é tomado como poço de referência para o treinamento da rede. Na Figura 2 mostra-se o conjunto de perfis tomado no Poço-A,

juntamente com a descrição faciológica determinada pela análise de testemunho apresentado na sexta trilha. As fácies de referência são destacadas nos conjuntos dos perfis nas cores azul e vermelho. Nas profundidades de 3015m a 3030m aparece o siltito e nas profundidades de 3030m a 3055m aparece o arenito.

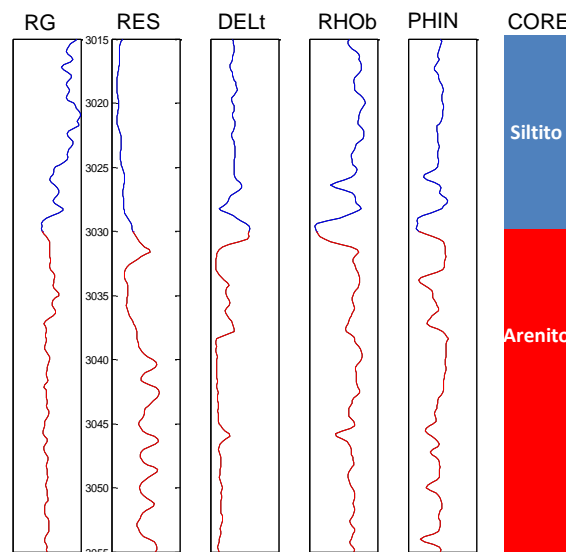


Figura 2- O conjunto de perfis tomado no poço-A

Os intervalos de 3015m a 3030m descritos como siltito e 3030m a 3055m como arenito, foram tomados como intervalo de treinamento. Este intervalo de profundidade define a matriz de estímulos para o treinamento e o número de colunas define a dimensão do conjunto de respostas desejadas. A primeira avaliação do comportamento da rede neural treinada ocorre quando apresentamos todo o trecho perfilado do Poço A. Na Figura 3 mostra o resultado do treinamento da rede neural em comparação ao perfil de raio gama natural do trecho perfilado do Poço A, de modo a possibilitar a interpretação das fácies de referência destacadas na terceira trilha.

A figura 4 mostra o conjunto dos perfis aqui denominado de Poço B ou poço teste, que serão apresentados para a aplicação da rede neural como dados de entrada. As espessuras das fácies siltito e arenito são condizente com a espessura das mesmas fácies no testemunho. A figura 5 mostra o resultado da aplicação da rede neural no perfil de raio gama, destacando em azul a fácies de siltito e em vermelho a fácies arenito, reproduzindo a análise de testemunho representada na terceira trilha validando assim a aplicação da rede neural utilizada. Observa-se que a rede incluiu a parte basal do perfil, não incluída no intervalo de treinamento. Para a avaliação da capacidade de transporte da informação geológica extraída do poço A através do mapeamento da informação geológica produzida pela análise de testemunho em valores de propriedades físicas registrados nos perfis realizados pelo treinamento da rede neural para outros poços, que em uma aplicação

prática seriam não testemunhados ou ainda para a verificação da geometria de poços horizontais no interior da camada reservatório.

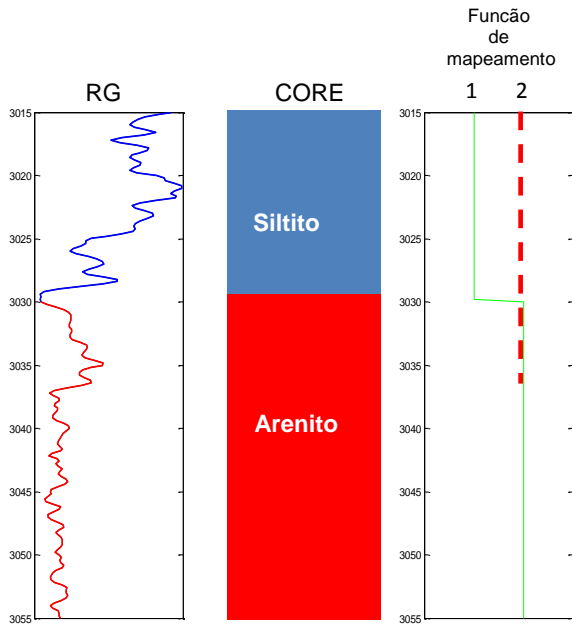


Figura 3 - Resultado do treinamento da rede neural

Conclusões

A importância para a geofísica de poço do conhecimento das fácies atravessadas pelos poços reside na importância da dependência entre as fácies e as propriedades físicas registradas nos perfis, que conduzem a uma avaliação de formação mais realista.

Para a sedimentologia, principal produto da avaliação geológica dos testemunhos é a descrição de fácies, que é fundamental para a produção da carta estratigráfica de uma bacia sedimentar e para a produção do modelo geológico do sistema petrolífero. No entanto, estas importantes atividades para a exploração do petróleo são restritas aos poços testemunhados. A ausência e ou a dispersão de poços testemunhados ao longo da área superficial de um reservatório implicam na impossibilidade da utilização direta das informações geológica produzidas nesses poços.

Este trabalho mostra, a possibilidade da utilização de uma rede neural treinada com o algoritmo da retropropagação do erro de produzir um mapeamento da informação geológica extraída dos testemunhos em termo das medidas das propriedades físicas registradas nos perfis geofísicos, assim a utilização da rede neural pode possibilitar o transporte da informação geológica obtida em poço testemunhado para outros poços não testemunhados, perfurados nas vizinhanças do poço de referência. Para os casos aqui avaliados a rede neural apresentou resultados compatíveis com a análise de testemunho e de forma completamente independente da dimensão do conjunto de treinamento

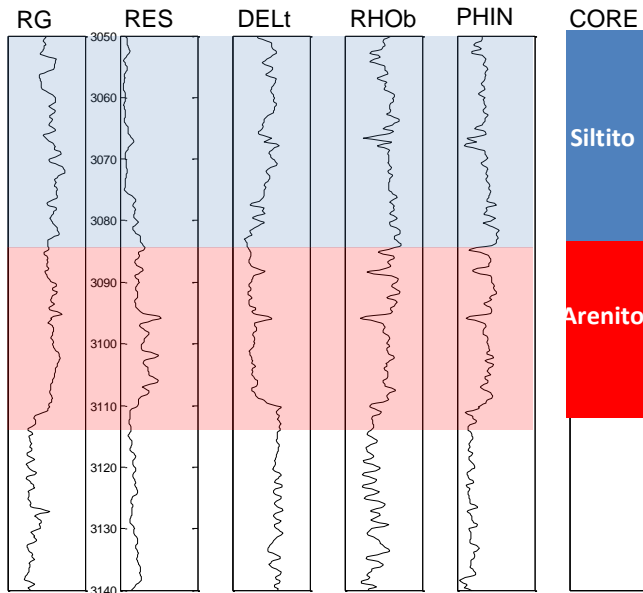


Figura 4 - Conjunto dos perfis do Poço B

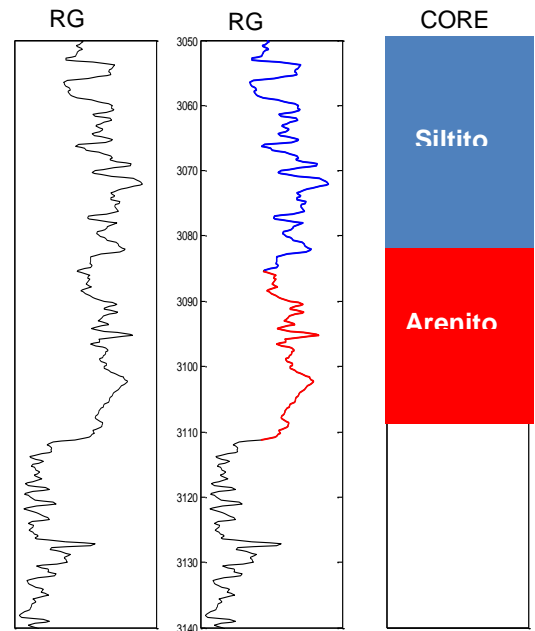


Figura 5 –Identificação das fácies de referência pela rede neural.

Agradecimentos

Os autores expressam seu agradecimentos pelo apoio financeiro a este trabalho ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Petrobras..

Referências

ELLIS, D. V.; Well logging for earth scientists. USA, Elsevier. 1987.

Cruz, M. M. Aplicação de Perfilagem Geofísica e Sísmica na Caracterização da Faciologia do Reservatório de Namorado. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil. 2003

HAYKIN, S.; Redes neurais: princípios e práticas. São Paulo, Bookman. 2001.

HECHT-NIELSEN, R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. In: IEEE International Conference on Neural Networks, 1. V. 3, p. 11-14. 1987.

LUTHI, S.; Geological well logs: their use in reservoir modeling. Springer. 2001

QI, L.; CARR, T. R.; Neural network prediction of carbonate lithofacies from well logs, Big Bow and Sand Arroyo Creek fields, Southwest Kansas [artigo científico]. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/cageo> Acesso em 14 fev 2006.

SAGGAF, M.M.; NEBRIJA, E. L. Estimation of Missing Logs by Regularized Neural Networks. APPG Bulletin, 8. V.87, p.1377-1389. 2003.

SERRA, O.; Fundamentals of Well Log interpretation. Vol. 1. The Acquisition of Logging Data. [S.l.] – Schlumberger. 1984.

SERRA, O.; Sedimentary environments from Wireline logs. [S.l.] – Schlumberger. 1985.

SUGUIO, K. . Rochas Sedimentares: Propriedades, Gênese e Importância Econômica. São Paulo, SP: Editoras Edgard Bucher