

Modelagem de Fácies com Dados Sísmicos e de Poço Considerando suas Diferenças de Escala e Precisão.

Guenther Schwedersky¹, Marcella M.M. Cortez², Clayton V. Deutsch³,
Marcos Fetter Lopes¹

PETROBRAS, Brasil¹, Unicamp, Brasil², University of Alberta, Canada³

ABSTRACT

Neste trabalho, mostramos os resultados da aplicação de uma nova metodologia de simulação estocástica onde a informação sísmica é tratada de uma forma mais adequada no que se refere à escala (suporte) e precisão, na geração de modelos de fácies do reservatório Arenito Namorado, Campo de Albacora. Estes modelos caracterizam-se por apresentar propriedades em termos de resolução e variabilidade comparáveis às informações obtidas nos poços.

A metodologia consiste basicamente de uma simulação seqüencial da indicatriz cujo algoritmo núcleo é uma cokrigagem de bloco com janela móvel. Desta forma, a informação sísmica é tratada como uma média representativa de uma região (ou bloco) cujo centro é o ponto a ser simulado. Os modelos variográficos, nas diferentes escalas, foram inferidos à partir da informação sísmica e de poço e com a aplicação de técnicas de mudança de suporte.

INTRODUÇÃO

Cada vez mais a informação sísmica tem contribuído para geração de modelos mais confiáveis de reservatório. A forma mais comum de sua utilização tem sido na geração de modelos 2D (ou pseudo-3D) de reservatórios através de algoritmos que utilizam a sísmica como informação secundária representativa de grandes intervalos verticais de reservatório. Estes modelos caracterizam-se por uma baixa resolução vertical, nem sempre adequados aos estudos de comportamento de fluxo essenciais para a otimização do gerenciamento do campo.

O grande desafio na utilização de sísmica como dado condicionante na modelagem 3D de propriedades de reservatório se deve à diferença de suporte de medida em relação à informação de poço. Em geral, as metodologias propostas desconsideram estas diferenças de suporte ou não as consideram de forma adequada.

A impedância acústica derivada da sísmica pode fornecer informações quanto a tipo de fácies ou porosidade. Os tipos faciológicos são em geral mais importantes, uma vez que eles se relacionam com determinados valores de porosidade, permeabilidade e permeabilidade relativa.

Existem várias técnicas baseadas em células que permitem a modelagem de fácies. A simulação da indicatriz, utilizada neste trabalho, fornece uma grande flexibilidade, particularmente para integração da informação sísmica. O algoritmo núcleo da simulação da indicatriz é o da krigagem que determina a probabilidade condicional de cada fácies. Na presença de dados sísmicos, as equações de krigagem devem ser modificadas para ponderar a informação sísmica (cokrigagem). Esta cokrigagem requer um modelo de covariância espacial dos tipos de fácies, da informação sísmica e da covariância cruzada entre a sísmica e as fácies. A inferência destes modelos de covariância, em especial a cruzada, constituem o ponto crítico do problema. Além das restrições matemáticas impostas a tais modelos de correionalização, um fator agravante é o fato da informação sísmica se caracterizar por uma escala de medida (suporte) muito maior do que aquela derivada da informação de poço (pequena escala). Neste trabalho é apresentada uma metodologia para inferência dos modelos de correionalização.

O algoritmo convencional de simulação seqüencial da indicatriz (SIS/GSLIB 2.0) foi modificado para executar a cokrigagem com o dado sísmico de grande escala e a informação de poço de pequena escala. O dado sísmico 3-D utilizado foi a impedância acústica obtida por inversão sísmica (figuras 1 e 2).

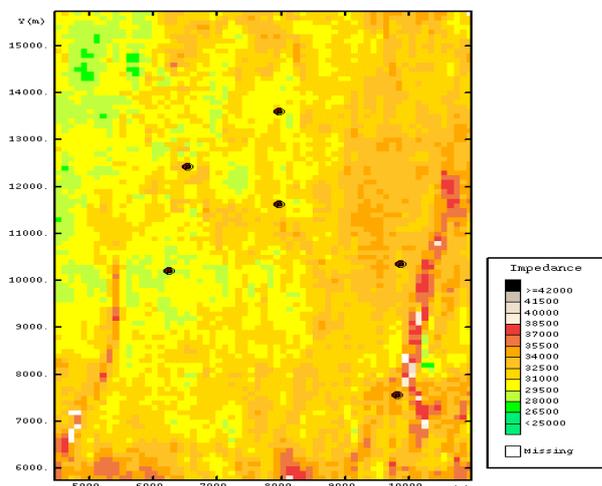


Figura 1. Seção estratigráfica XY de impedância acústica

CONTEXTO GEOLÓGICO

O reservatório Namorado do Campo de Albacora é composto por arenitos turbidíticos e pode atingir espessuras de até 120m. Os arenitos reservatório são predominantemente finos a muito finos e maciços e ocorrem freqüentemente associados a rochas não-reservatórios, principalmente diamictitos, folhelhos, margas e calcilutitos. A porosidade dos arenitos reservatório é controlada por fatores texturais e diagenéticos. Os arenitos mais grosseiros e pior selecionados apresentam porosidade menor do que aqueles mais finos e melhor selecionados. O cimento calcítico está amplamente disseminado nos arenitos (Bruhn et al., 1996). O Arenito Namorado no Campo de Albacora apresenta freqüentes intercalações de litologias pelíticas (calcilutitos, margas, folhelhos e diamictitos). Adicionalmente, são freqüentes níveis cimentados por calcita (concreções).

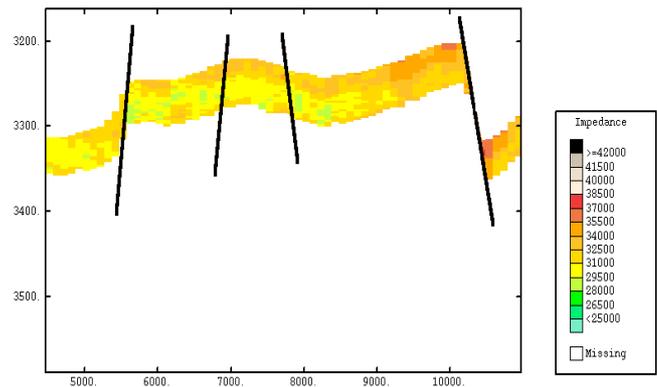


Figura 2. Seção estrutural XZ (EW) de impedância acústica

FÁCIES SÍSMICAS

Os tipos litológicos foram agrupados em quatro “fácies sísmicas” (Sombra e Sarzenski, 1998) por apresentarem similaridades acústicas e terem impacto na definição dos modelos para simulação de fluxo. As fácies foram assim definidas:

- Fácies 1. Arenito limpo ou com até 15% de cimento
- Fácies 2. Arenito com até 30% de cimento
- Fácies 3. Arenito com até 30% de cimento e com intercalações de rochas não-reservatório
- Fácies 4. Arenito totalmente cimentado e rochas não-reservatório.

As fácies 2 e 3, apesar de apresentarem valores de impedância muito similares, foram individualizadas devido à presença um pouco maior de rochas não-reservatório, com grande continuidade lateral, na fácies 3.

CALIBRAÇÃO

Os atributos sísmicos ou impedância acústica (IA) devem ser calibrados com as proporções de fácies. Deve-se ressaltar que a cokrigagem não necessita desta calibração. As unidades de IA poderiam ser mantidas como tal e a calibração aconteceria através do variograma cruzado entre o dado *hard* i e o *soft* IA . Neste trabalho optou-se por calibrar as probabilidades por diversas razões: (1) o variograma cruzado pode estar pobremente definido com um número limitado de poços (como no nosso caso), e (2) o dado de proporção/probabilidade é mais fácil de interpretar.

O procedimento de calibração consiste na determinação das probabilidades *a priori* derivadas da sísmica $p(u_\beta)$ para cada valor IA de impedância acústica. Neste procedimento é necessário considerar uma janela vertical compatível com a resolução sísmica.

Neste trabalho foram calculadas médias móveis das indicatrizes de cada fácies, regularizadas para 2.5m, com diferentes janelas (10m, 15m e 20m). Em seguida foram calculadas as correlações entre as proporções de fácies dos poços, obtidas para cada janela, e a impedância acústica do traço mais próximo. Considerando todas as fácies, a janela de 20m é a que apresenta o melhor resultado.

Definida a janela de correlação, no caso 20m, o próximo passo é calcular as probabilidades derivadas da sísmica. A calibração propriamente dita é feita dividindo-se o intervalo de variabilidade de IA em uma série de classes, por exemplo, 10 classes baseadas nos decis do histograma de IA . Para cada dado ia , na posição do poço, há uma proporção de fácies correspondente, para cada fácies. O resultado desta calibração é uma tabela com as probabilidades *a priori*.

Para cada decil da distribuição de impedância obteve-se uma pdf (função densidade de probabilidade) de ocorrência de fácies. A partir desta informação o volume de impedância foi transformado em um volume de pdf e esta informação derivada da sísmica constitui a variável secundária para a análise variográfica e para o método de simulação estocástica.

METODOLOGIA

Existem $k=1, \dots, K$ fácies com proporção global p_k , $k = 1, \dots, K$ onde $\sum_{k=1}^K p_k = 1$. O dado de poço na posição u é representado por uma série de K dados indicatrizes dados por:

$$i(u, k) = \begin{cases} 1, & \text{se a fácies } k \text{ predomina} \\ 0, & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

Os valores esperados (médias) do dado indicatriz correspondem às proporções globais p_k , $k = 1, \dots, K$.

A notação $p(u_\beta; k)$, $k = 1, \dots, K$ será utilizada para as probabilidades da fácies k derivadas da sísmica e relativas à posição de bloco u_β . A escala de modelagem (associada à escala do dado *hard* de poço) será denotada com um v e a escala da sísmica com um V . A notação $|v|$ e $|V|$ se referem à medida ou dimensão do dado de poço e sísmico respectivamente.

Simulação Sequencial Indicatriz

A simulação seqüencial indicatriz (SIS) é uma abordagem que fornece flexibilidade para integrar o dado sísmico e padrões de correlação espaciais. A metodologia da SIS envolve:

1 – Percurso por todas as células do modelo 3D em uma ordem aleatória.

2 – Em cada posição:

Busca dos dados próximos (poço, sísmicos e posições já simuladas anteriormente)

Estima a probabilidade de cada fácies por krigagem e monta uma distribuição acumulada (cdf)

Sorteia um número aleatório entre 0 e 1 e lê o código k de fácies correspondente.

Atribui o código k de fácies para posição u .

3 – Retorna a 2) até que todas as células sejam simuladas.

4 – Repete todo processo com diferentes sementes de números aleatórios para obtenção de múltiplas realizações equiprováveis.

Este procedimento é clássico. O passo chave para nossos objetivos é como obter os pesos corretos a serem atribuídos aos dados sísmicos e de poço. A cokrigagem de bloco foi adotada por permitir uma integração de dados mais rigorosa.

Inferência do Variograma da Indicatriz

Em geral, a maior dificuldade para a inferência dos variogramas é a determinação dos variogramas horizontais, uma vez que a amostragem horizontal dos reservatórios, principalmente em situações *off-shore*, é bem restrita. No nosso caso, este problema foi contornado com a utilização do dado sísmico para guiar a seleção dos parâmetros horizontais dos variogramas da indicatriz.

Cada variograma da indicatriz de fácies pode ser calculado individualmente. O primeiro passo é calcular o variograma vertical com o dado de poço e normalizar para patamar unitário dividindo pela variância $p_k(1 - p_k)$. A seguir, calcula-se o variograma horizontal das proporções sísmicas das fácies correspondentes. Este variograma também é normalizado para patamar unitário. Finalmente, os variogramas vertical e horizontais são modelados com a forma do variograma vertical. Somente os alcances horizontais e anisotropia zonais eventuais são inferidos a partir dos variogramas da sísmica.

Inferência do Variograma Cruzado $i - s$

A premissa deste trabalho é que um tratamento adequado do dado sísmico quanto a escala e precisão leva a modelos de reservatório mais precisos. Para isto, precisamos do variograma da sísmica e o cruzado sísmica-poço em pequena escala. A inferência destes modelos variográficos é crítica para o método proposto.

A cokrigagem requer os variogramas i , $i-s$ e s em pequena escala para todos os tipos de fácies. Até agora temos apenas os variogramas i que foram definidos a partir dos dados sísmicos e de poço. A cokrigagem requer um modelo de correção regionalização positivo definido. Em particular, o modelo linear de correção regionalização (LMC) é usado quase que exclusivamente na geoestatística.

No presente contexto, temos as estruturas básicas dos modelos do variograma i . O próximo passo é relacionar o variograma s,s e o cruzado i,s de grande escala (V) com os modelos de pequena escala (v) que foram ajustados com o modelo linear de correção regionalização. As relações básicas para o *downscaling* de um variograma são amplamente conhecidas e foram utilizadas neste trabalho. O mesmo procedimento pode ser adotado tanto para o variograma $s-s$ como para o cruzado $i-s$ cruzado. A aplicação deste procedimento leva a um modelo LMC completo de correção regionalização que pode ser usado na cokrigagem de bloco com dados sísmico e de poço. Obviamente, o modelo deve ser checado quanto ao fato de ser positivo definido e ajustado se necessário.

Simulação estocástica da indicatriz (cokrigagem de bloco)

A cokrigagem de bloco leva em conta a escala da informação sísmica. O formalismo da cokrigagem é clássico. Entretanto, a maioria das aplicações de modelagem geoestatística consideram os diferentes tipos de dados como estando na mesma escala espacial.

Nesta nova abordagem a informação sísmica é tratada como uma média representativa de uma região (ou bloco) cujo centro é o ponto a ser simulado. Cada valor de probabilidade derivado da impedância sísmica foi considerado como representativo de uma média vertical de 20m. Na estimativa das pdf (função densidade de probabilidade), cada valor de probabilidade da sísmica, neste caso, representa um volume de 100m X 100m X 20m e a malha de simulação foi de 100m X 100m X 2.5m.

Após a construção das pdf o procedimento é o mesmo descrito anteriormente para a simulação seqüencial da indicatriz.

Para este trabalho foram realizadas 101 simulações estocásticas. Com o objetivo de alimentar o simulador de fluxo Eclipse, três modelos (melhor, pior e intermediário) foram selecionados com base no NTG (net to gross ratio) calculado através da proporção de fácies reservatório.

As figuras 3 e 4 mostram o resultado de uma das realizações onde pode-se notar a preservação das altas freqüências.

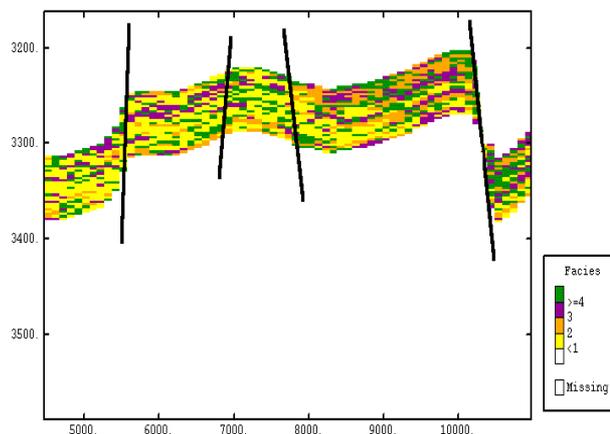


Figura 3. Seção estrutural XZ (EW) de uma realização da simulação estocástica de fácies

CONCLUSÕES

Uma nova abordagem de krigagem de bloco foi desenvolvida para estimativa de probabilidades necessárias para simulação seqüencial indicatriz. A aplicação na modelagem de fácies do Campo de Albacora (Arenito Namorado) mostrou a aplicabilidade prática da metodologia.

A grande dificuldade para aplicação da krigagem de bloco é a inferência de um modelo válido de correlogramação entre a indicatriz *hard* baseada em poço e a indicatriz *soft* baseada na sísmica. A inferência do variograma é difícil na prática devido, (1) ao fato dos dados de poço serem esparsos e, (2) o grande suporte vertical do dado sísmico, o que torna difícil o ajuste do modelo de correlogramação de pequena escala. Estes problemas foram tratados com uma abordagem híbrida para inferência variográfica e o uso de equações clássicas de mudança de escala de variogramas.

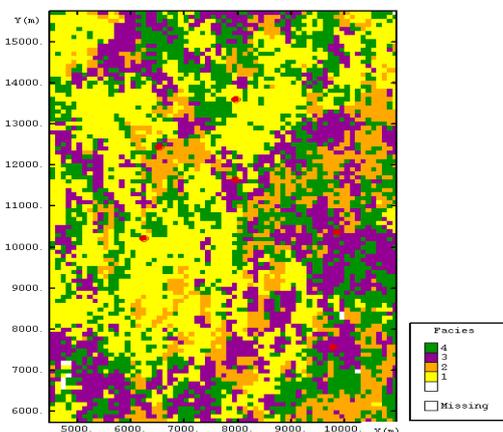


Figura 4. Seção estratigráfica XY de uma realização da simulação estocástica de fácies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bruhn, C. H. L., Barroso, A. S., Abreu, C. J., Suarez, C. R., Stank, C. V. e Sarzensky, D. J. - 1996; *Arcabouço Geológico do Arenito Namorado no Campo de Albacora, Bacia de Campos; I Publicação Especial Interna da PETROBRAS do PRAVAP 2*

Sombra, C.L., e Sarzenskil, D.J., 1998. *Modelo Hierárquico de Fácies no Arenito Namorado do Campo de Albacora. PETROBRAS, II Publicação Especial Interna da PETROBRAS- Projeto PRAVAP 02 (no prelo).*

Schwedersky, G., Cortez, M.M.M & Andrade, D.E., 1998. *Modelagem Tridimensional de Fácies do Arenito Namorado, Campo de Albacora (método de Markov-Bayes). I Publicação Especial Interna da PETROBRAS do PRAVAP 2*