

# PROPOSTA DE UM SISTEMA ESTATÍSTICO DE DESCRIÇÃO DE HETEROGENEIDADES INTERNAS DE RESERVATÓRIOS

Milton José de Souza<sup>(1)</sup>

**RESUMO** — Para a simulação de comportamento de produção, é fundamental uma descrição geológica dos reservatórios adequada. O reconhecimento de que as heterogeneidades internas exercem importante controle na recuperação final e nos processos de produção tem levado a Geologia de Reservatório a aprimorar metodologias para sua representação. A distribuição espacial de corpos de folhelhos cujas dimensões laterais sejam inferiores ao espaçamento dos poços pode ser obtida com o emprego de métodos probabilísticos. Já se encontra desenvolvido um programa para materializar, em seção, corpos de folhelhos distribuídos de maneira aleatória, de modo a reproduzir os dados dos mapas convencionais de fácies. Propõe-se adaptar o método para impor maior número de restrições, tais como isólitais, número de corpos e sua variabilidade vertical, no intuito de obter configurações que melhor se adaptem aos modelos geológicos.

(Originais recebidos em 11-XII-86.)

## 1 — INTRODUÇÃO

Para a simulação de comportamento de produção, compete à Geologia de Reservatório fornecer a descrição do meio físico em que se verificam os processos de transmissão de massa, energia e momento. Os resultados da simulação encontram-se, portanto, intimamente associados à adequada descrição dos modelos geológicos.

Atualmente, a geometria externa e as principais compartimentações dos reservatórios têm sido objeto de descrições no mais das vezes satisfatórias, uma vez que podem ser apreendidas não só através de métodos sísmicos como também através da extrapolação e interpolação de dados de perfis e dos históricos de produção. Constituem-se, portanto, em atributos mapeáveis e transferíveis aos simuladores.

A representação da geometria interna, no entanto, é um dos grandes desafios para a Geologia de Reservatório. Os atributos macro e microscópicos da seqüência vertical de fácies constatada nos poços testemunhados têm sido objeto de acurada descrição, e o conhecimento de suas respostas em perfis permite que esses atributos sejam identificados nos poços não testemunhados. Sua distribuição espacial entre os poços, no en-

tanto, não é descrita, em virtude de esses poços apresentarem comumente expressão areal muito inferior ao espaçamento da malha de drenagem.

Os mapas que visam a representar as variações da qualidade dos reservatórios hoje utilizados para simulação representam apenas propriedades médias, abstraindo o interrelacionamento das diferentes fácies reservatório, bem como a existência de intercalações de fácies impermeáveis. Algumas abordagens semi-quantitativas podem ser empregadas em função desses aspectos (mapas de fácies, mapas de variabilidade vertical, etc.), porém tais formas de descrição são de uso muito restrito na simulação, servindo apenas para orientar a delimitação de áreas com maior ou menor grau de complexidade.

O reconhecimento do importante controle exercido pelas heterogeneidades internas na recuperação final e nos processos de produção tem exigido o aprimoramento das metodologias que têm por objetivo a descrição de tais heterogeneidades.

## 2 — SIMULAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE PRODUÇÃO E HETEROGENEIDADES INTERNAS

Um simulador de comportamento de

1 - Setor de Integração de Geologia de Desenvolvimento e Reservatórios, Departamento de Exploração.

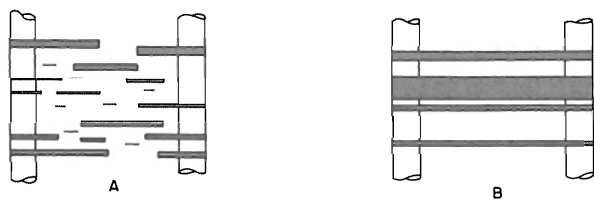


Fig. 1 - Distribuição de folhelhos estocásticos (A) e determinísticos (B) (HALDORSEN, 1983).

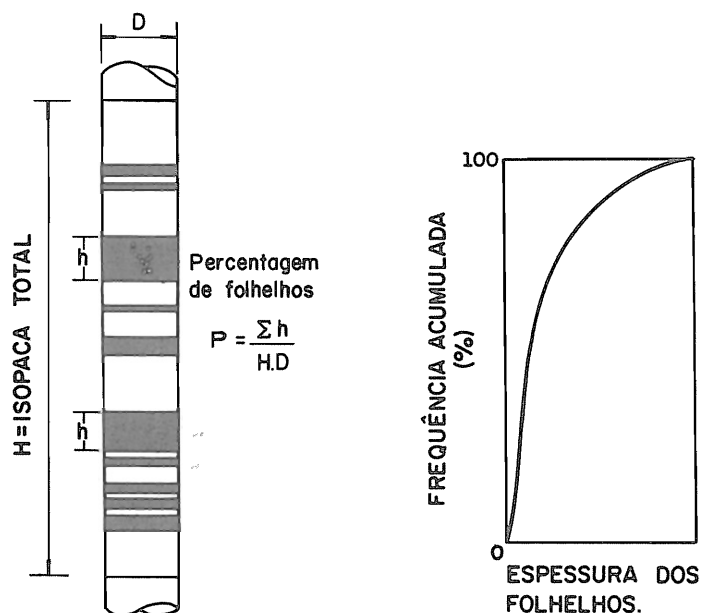


Fig. 2 - Distribuição empírica das espessuras dos corpos de folhelho constatados em poços e cálculo da percentagem de folhelhos (HALDORSEN, 1983).

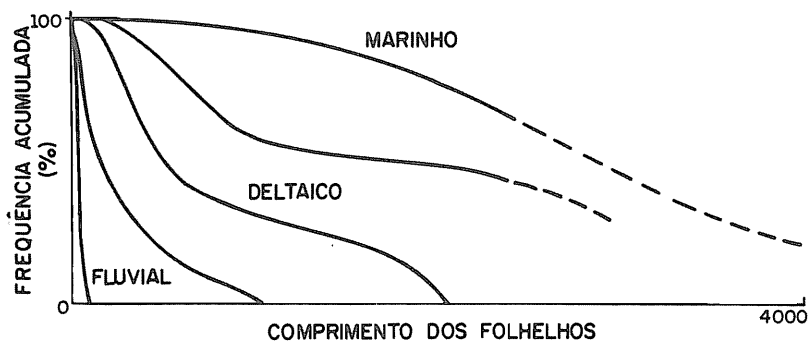


Fig. 3 - Distribuição de comprimento dos corpos de folhelhos em função do ambiente deposicional (WEBER, 1980).

produção que incorpora informações quanto à distribuição espacial de fácies impermeáveis dentro do reservatório foi apresentado em 1983 por HALDORSEN (1983) em sua tese de doutorado pela Universidade do Texas. É desenvolvido um sistema para gerar a posição dos corpos de folhelhos intercalados com os arenitos e, a partir daí, definir propriedades médias para células, que passam a representar o reservatório para o simulador.

De acordo com sua expressão areal, os folhelhos são subdivididos em determinísticos e estocásticos (fig. 1). Os folhelhos determinísticos são correlacionados através do campo, podendo-se estabelecer um zoneamento para o reservatório em função de sua continuidade. Para representar a distribuição dos folhelhos estocásticos, cuja amplitude horizontal é inferior ao espaçamento entre poços, é adotado um método probabilístico, cujas premissas iniciais são:

- Reservatórios geneticamente afins apresentam grande similaridade quanto à distribuição dos comprimentos dos folhelhos.
- A localização de cada folhelho constitui um evento randômico, uniforme e independente, exceto quanto à sua posição vertical, constatada nos poços.
- Os poços são representativos de sua área de drenagem.
- Não existe correlação entre espessura e comprimento dos folhelhos.
- Os folhelhos são impermeáveis.
- Os folhelhos podem ser representados em seção por retângulos com contatos abruptos.

Com base na seqüência vertical dos poços, são construídas curvas de frequência acumulada dos valores de espessura dos folhelhos (fig. 2) e, com dados obtidos em afloramentos considerados de sistemas deposicionais semelhantes, são obtidas estatísticas quanto à variação de seus comprimentos (fig. 3).

A geração da distribuição dos folhelhos obedece às seguintes etapas:

- As dimensões da seção são estabelecidas, e é marcada a posição e seqüência vertical de arenitos e folhelhos dos poços.
- Os folhelhos determinísticos são correlacionados e sua posição estabelecida na seção.
- Para o cálculo da posição do centro de cada folhelho estocástico, são gerados dois números aleatórios, entre zero e um, que são multiplicados pe-

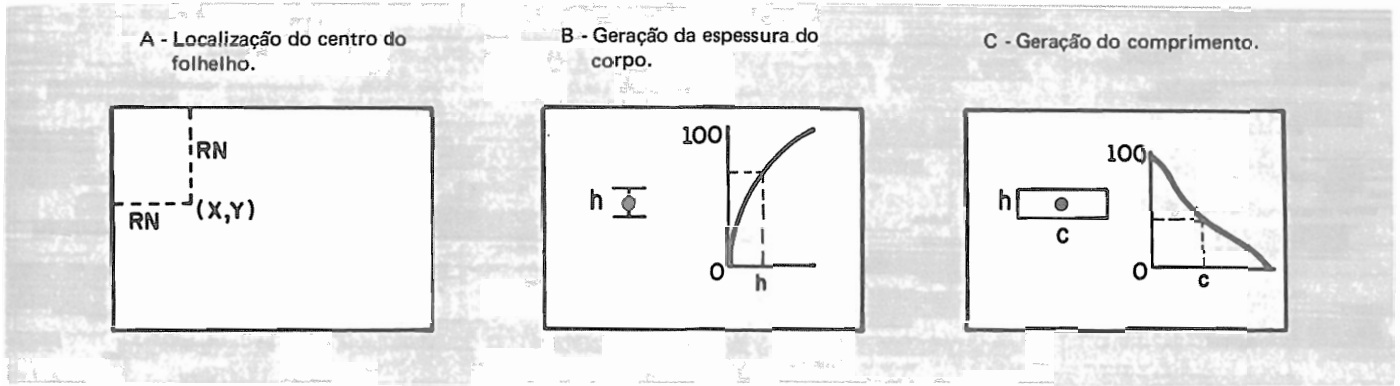


Fig. 4A-C - Esquema de geração dos corpos de folhelhos (HALDORSEN, 1983).

lo comprimento e espessura da seção, respectivamente. O par de coordenadas assim estabelecido é considerado o centro geométrico do corpo (fig. 4A).

- d) A espessura do corpo é encontrada amostrando-se a distribuição empírica de freqüência das espessuras dos folhelhos com um outro número aleatório (fig. 4B).
- e) Da mesma forma obtém-se o comprimento do folhelho, amostrando-se a distribuição empírica de freqüência dos comprimentos com um novo número aleatório (fig 4C).

Para a amostragem das distribuições empíricas de freqüência deve ser utilizada uma seqüência de números aleatórios de distribuição uniforme. O método consiste em gerar um número aleatório, considerá-lo como um valor de freqüência e obter o valor de comprimento ou espessura na curva de distribuição de

freqüência correspondente (fig. 5).

Pode ser permitida ou não a superposição — parcial ou total — dos corpos de folhelhos, prosseguindo a geração até que a seção reproduza a percentagem constatada nos poços. Caso não se permitam superposições, deve ser computada a área de cada corpo gerado, e cada uma dessas áreas deve ser adicionada à área total dos folhelhos para que, em seguida, se calcule o quociente da área da seção e da área de folhelho, até ser atingida a razão desejada. Para o caso de ser permitida a superposição, é desenvolvida uma abordagem probabilística para o cálculo do número de folhelhos necessários. Essa abordagem é baseada na probabilidade de encontrarem-se áreas isentas de folhelhos. O número de corpos é calculado por:

$$N_s = \frac{A}{A'} \ln(1 - P_f)$$

onde

A = área da seção

A' = área média dos corpos de folhelhos possíveis de serem gerados em função das distribuições de espessura e comprimento adotadas.

$P_f$  = percentagem de folhelhos.

Para o cálculo de A' é considerado suficiente tomar-se a média de 1 000 áreas obtidas das distribuições de espessura e comprimento.

A seqüência vertical constatada nos poços é respeitada, e o comprimento de seus folhelhos é gerado amostrando-se a distribuição de comprimentos com um número aleatório e multiplicando-se o resultado por um segundo número, entre zero e um, para obter-se a fração do comprimento situada à direita do poço. Pode ser permitida a superposição com os folhelhos do poço, mas são recusados

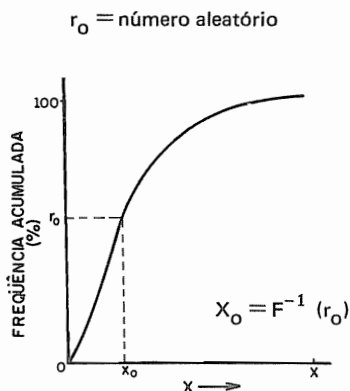


Fig. 5 - Amostragem de distribuição de freqüência com números aleatórios (HALDORSEN, 1983).

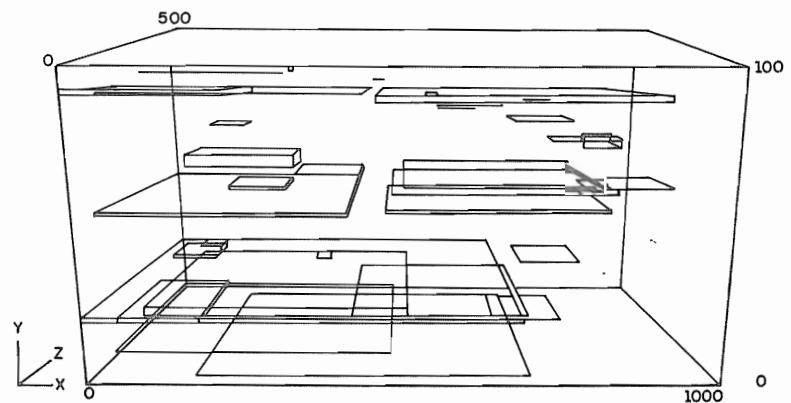


Fig. 6 - Extensão da geração de folhelhos a modelos tridimensionais (HALDORSEN, 1983).

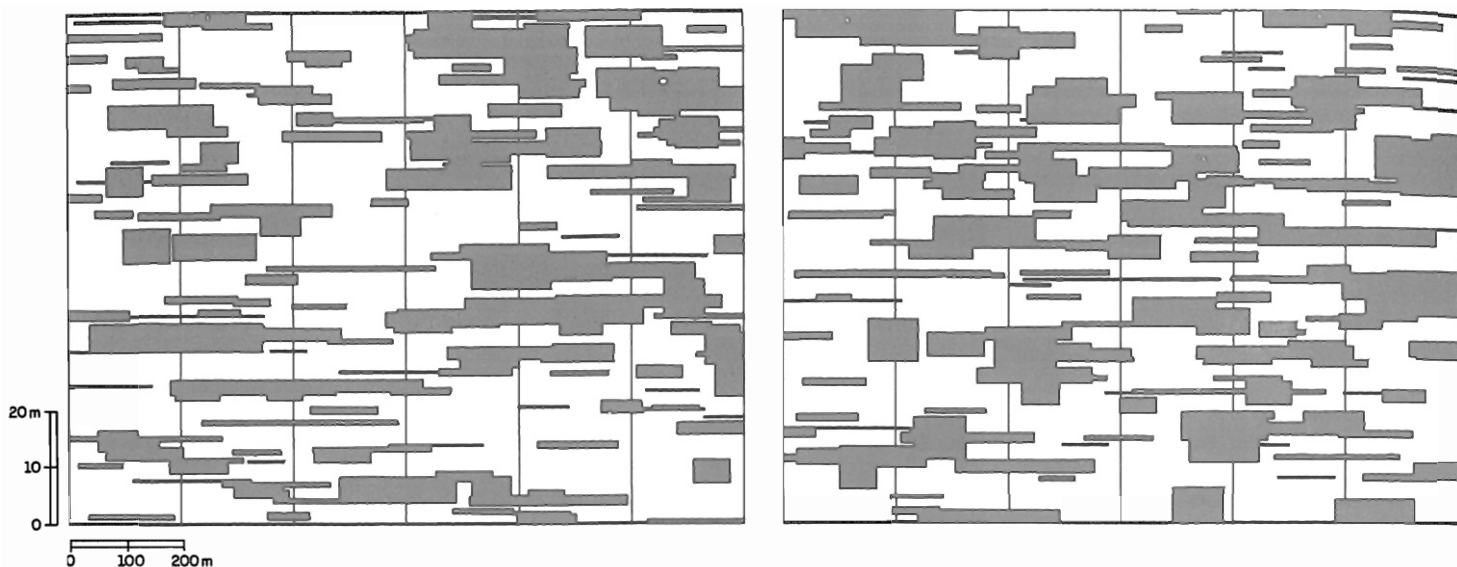


Fig. 7 - Seções com 30% de folhelhos geradas com diferentes sementes de números pseudo-aleatórios.

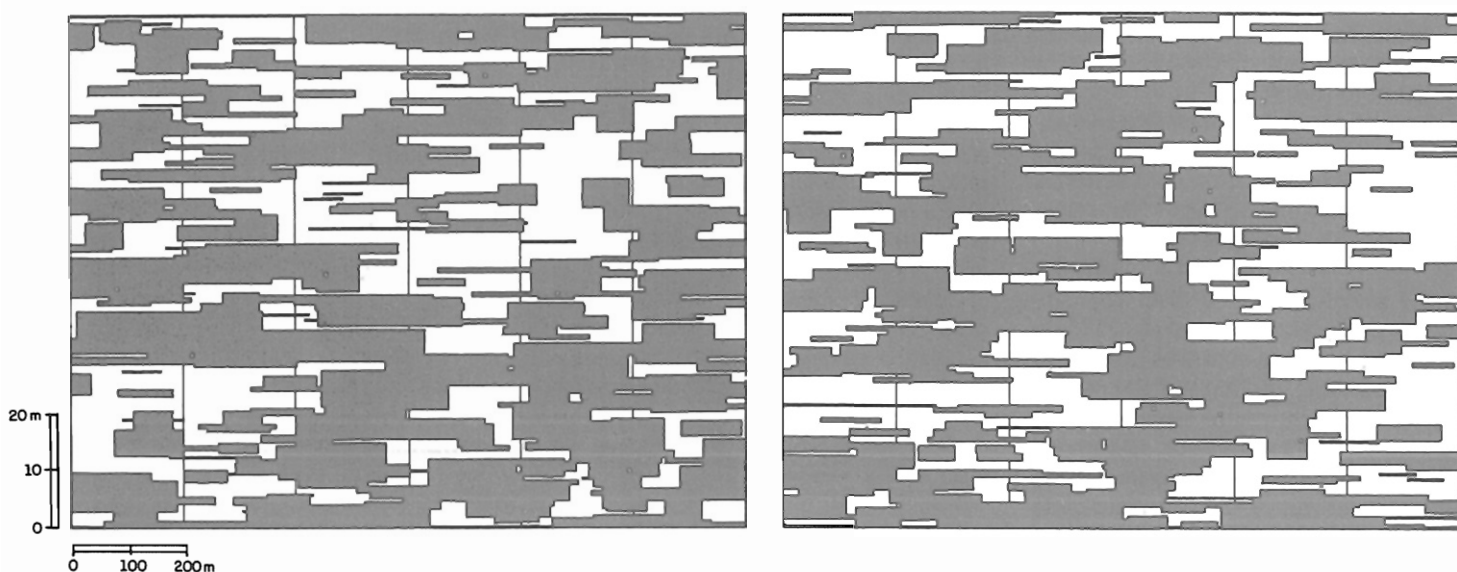


Fig. 8 - Seções com 50% de folhelhos geradas com diferentes sementes de números pseudo-aleatórios.

os folhelhos que se superponham ao poço.

Concluída a geração de folhelho, é superimposto um *grid*, e calculam-se as propriedades médias das células para simulação. É evidente que a principal alteração nas propriedades do reservatório, ao se considerar a presença de barreiras impermeáveis, constitui-se na redução da permeabilidade vertical.

No futuro, a representação de folhelhos em seções bidimensionais poderá ser estendida a modelos tridimensionais (fig. 6), caso sejam obtidas estatísticas referentes a suas distribuições de com-

primento e largura.

O programa para geração de folhelhos acima descrito foi convertido para linguagem Basic, e as figuras 7 e 8 apresentam configurações obtidas para percentagens de folhelhos de 30 e 50%, em que se utilizam as mesmas estatísticas da tese (HALDORSEN, 1983).

Como podem ser utilizadas diferentes seqüências de números aleatórios para gerar a distribuição de folhelhos, diversas configurações podem ser obtidas para uma mesma percentagem relativa (fig. 7 e 8). No entanto, segundo o autor do programa, essa variação mostra-se

pouco significativa para fins de simulação.

### 3 - SISTEMA ESTATÍSTICO PARA DESCRIÇÃO DE HETEROGENEIDADE INTERNAS

O sistema de descrição desenvolvido por HALDORSEN (*op. cit.*) mostra-se bastante adequado para materializar em seção as informações contidas nos mapas convencionais de fácies (KRUMBEIN, 1957), bastando para tanto que sejam estabelecidas estações de controle e que entre as mesmas sejam especificadas, por

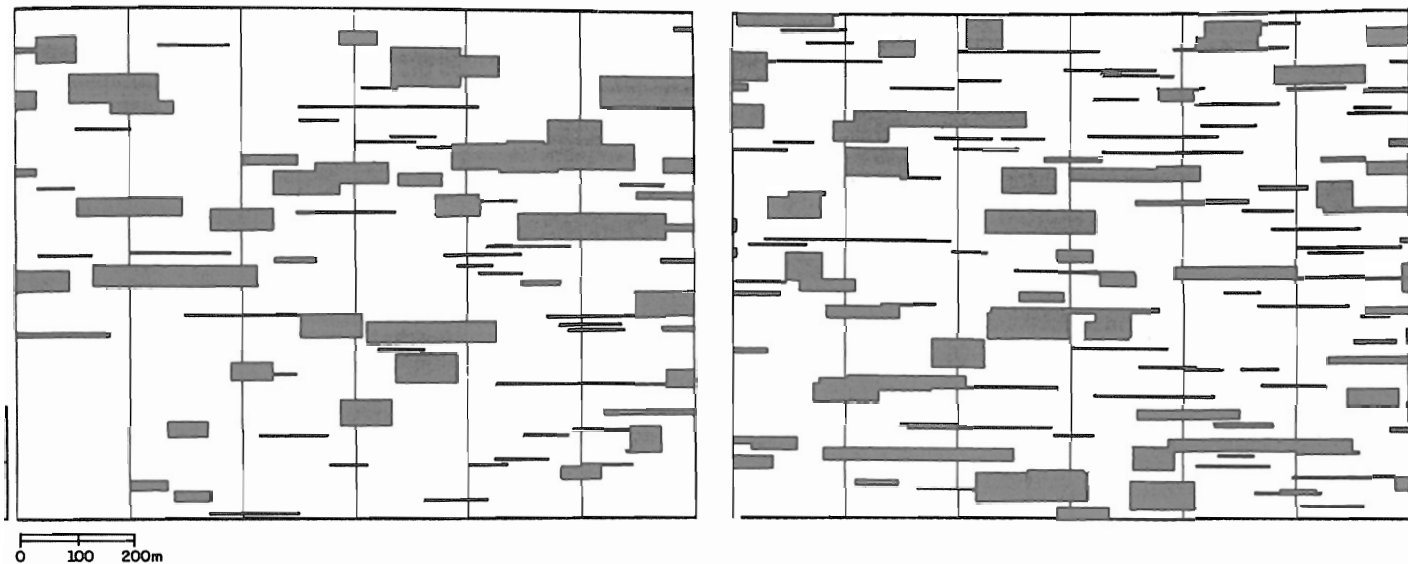


Fig. 9 - Seções com controle do número de corpos de folhelhos.

exemplo, quais as percentagens de folhelhos que devem ser geradas.

A quantidade relativa de tipos litológicos, no entanto, pode ser considerada como insuficiente para a caracterização de reservatórios. A isópaca, o número de corpos de folhelhos e sua posição relativa dentro da seção são informações passíveis de extrapolação e de relevante importância para a caracterização do reservatório.

Nesse sentido, procurou-se adaptar a metodologia acima descrita para que fosse possível:

- a) a obtenção do comprimento e espessura dos corpos através da amostragem com números aleatórios das suas distribuições de frequência;
- b) o posicionamento dos corpos na seção vertical através de números aleatórios, sendo apenas aceitas configurações que atendam as configurações dos mapas de isopacas, número de corpos e variabilidade vertical.

Numa primeira tentativa de esboçar um sistema com tais características foi desenvolvido um programa para controlar a variação do número de corpos de folhelhos entre poços (fig. 9).

Os comprimentos dos folhelhos dos poços são determinados a partir de sua distribuição de frequência e são estabelecidas estações de controle intermediárias. A partir do primeiro poço, inicia-se uma varredura da seção e, quando se constata falta de folhelhos, novos

corpos são gerados, mantendo-se entre as estações o número predeterminado. Ao final da seção, eventuais excessos decorrentes dos folhelhos do segundo poço são eliminados.

A extensão do sistema para controle do centro de gravidade e desvio padrão — que se mostrou pouco operacional para utilização em microcomputador em função do excessivo tempo de processamento necessário para encontrar-se uma distribuição adequada aos condicionamentos impostos — deverá ser adaptada para uso em computador de grande porte.

O projeto para aplicação da metodologia em nossos campos foi dividido em duas fases, competindo ao DEPEX desenvolver os modelos e procedimentos compu-

tacionais. Ao CENPES competirá fornecer, através dos estudos de afloramentos, as informações básicas para diferentes contextos geológicos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HALDORSEN, H. H. *Reservoir characterization procedures for numerical simulation*. Austin, University of Texas, 1983. Tese (Ph. D.).
- KRUMBEIN, W. C. & LIBBY, W. G. Application of moments to vertical variability maps of stratigraphic units. *AAPG Bull.*, 41 (2): 197-211, Feb. 1957.
- WEBER, K. J. *Influency of fluid flow of common sedimentary structures in sand bodies*. Dallas, Texas. SPE, Sept. 21-4, 1980. (SPE. Paper nr. 9247).

#### ABSTRACT

*The role of Reservoir Geology in production performance simulation is to provide a description of the physical environment where the processes of mass, energy and momentum transmission occur. Thus, the results of simulation will vary according to the adequate description of the geological models.*

*Nowadays, the external geometry and main reservoir compartments can be satisfactorily described. They have been determined through seismic methods, extrapolation and interpolation of log*

*data and production performance. So they are attributes that can be mapped and transferred to simulators.*

*On the other hand, representation of interior geometry is one of the greatest challenges to Reservoir Geology. The macro- and microscopic attributes of the vertical facies sequences found in the cored wells have been accurately described. The knowledge of their log responses permits their identification at other wells. Otherwise, their spatial distribution among wells is not described*

because their areal expression is generally far smaller than the well spacing.

Presently, in reservoir simulation we abstract the interaction of different reservoir facies intercalations. Some semi-quantitative approaches may be used for this purpose (facies maps, vertical variability maps, etc.), but this type of description is of very restricted in simulation.

The recognition that internal heterogeneities play an important role in the ultimate recovery and in production performance, has led Reservoir Geology to improve its methodologies for representing such heterogeneities.

A numerical reservoir simulator, that absorbs data on the spacial distribution of shale within the reservoir, was presented in 1983 by Helge H. Handorsen. Probabilistic methods were used to represent the spacial configuration of shale beds with lateral dimensions smaller than the well spacing (stochastic shales).

Empirical cumulative distribution functions of shale thicknesses and lengths are taken from the vertical facies sequence of the wells and from outcrops of similar depositional systems.

The steps involved in the generation of shale distribution are:

- 1) The section dimensions and the position and the vertical facies sequences of wells are established.
- 2) The deterministic shales are correlated and their position in the section is determined.

- 3) Two random numbers between one and zero are multiplied, respectively, by the length and width of the section in such a way that these coordinates are considered the geometric center of the body.
- 4) The thickness and length of the body are obtained by sampling their empirical frequency distribution of thicknesses and lengths with random numbers.

The vertical sequence of the wells is honored, and the length of the well shale is found, using random numbers to sample the empirical frequency distribution of shale lengths.

When the generation of the shales is finished, a grid is used and the physical properties of the grid blocks are calculated.

Due to the fact that several different sequences of random numbers can be used to generate shale distribution, several configurations can be found for the same section. However, according to Haldorsen, this variation has little significance in simulation.

The system described above is adequate to extend conventional facies maps into sections. In such a case, control stations for the management of the shale fraction should be created, for example.

However, the relative amount of lithologic types may be considered insufficient for reservoir characterization. The total thickness, the number of shales, and their relative positions within the section are

very important for reservoir characterizations that are subject to extrapolation.

In this sense, we have attempted to adapt the methodology described above, in order to:

- 1) determine the lengths and thicknesses of the shales by sampling their empirical frequency distributions with random numbers;
- 2) placing the shales in the section with random numbers, using only configurations which can fit the total thickness, number of bodies and vertical variability maps.

In a first attempt to outline a system with such characteristics, we have developed a program to control the variable number of shales at wells.

The lengths of the well shales are found by sampling their empirical frequency distribution with random numbers, and intermediate control stations are established. A scanning of the section is initiated and new bodies are generated from the first well when there is a lack of shales. In this way, a predetermined number of shales is maintained among the stations. Eventual excesses are eliminated at the end of the section, due to the presence of the second well's shales.

The expansion of the system for control of the center of gravity and standard deviations due to low performance, is for use by microcomputers and should be adapted for use by mainframes.