

MAPEAMENTO DE ESTRUTURAS INTERNAS DE ROCHAS RESERVATÓRIOS ATRAVÉS DE INVERSÃO TOMOGRÁFICA

Martins, Jorge L. (Doutorado)

Data de Aprovação: 15.12.92

Comissão Examinadora:

Dr. Ralph W. Knapp (Orientador), Dr. Marco A. B. Botelho, Dr. Reynam da C. Pestana, Dr. Wander N. de Amorim, Dr. Sérgio L. Moura Freire, Dr. Olivar A. L. de Lima.

A delimitação de estruturas internas de rochas reservatórios (aquíferos e petrolíferos), objetivo desta tese, é de extrema importância, porque tais feições exercem uma tremenda influência no fluxo de fluidos dentro da rocha. Tipicamente, na análise de reservatórios, estratificação paralela, isotropia e homogeneidade, são simplificações assumidas, isto é, fluxo laminar é considerado através dos espaços porosos sem levar em conta os obstáculos laterais ou os efeitos de tunelamento provocados pela estrutura interna. Quando da avaliação do relacionamento entre o fluxo de fluidos e permeabilidade, ou do empreendimento da recuperação secundária ou terciária de óleo (qualquer que seja o método), tais hipóteses conduzem a uma subestimativa da permeabilidade, ou a uma taxa de recuperação menor que a esperada. Para entender o movimento de fluidos através dos poros da rocha, uma representação mais precisa da estrutura interna é necessária. As técnicas comuns de inversão de velocidades, os Métodos de Dix e $r - p$, por exemplo, são generalizações incapazes de mapear complexas estruturas de velocidade. Por sua vez, a Tomografia Sísmica é teoricamente capaz de mapear com bastante precisão os detalhes das estruturas de velocidade de subsuperfície. Dentre os métodos de inversão do sistema tomográfico de equações lineares, o Método Conjugado Gradiente produz uma solução estável, demonstrada nos tomogramas resultantes. Um problema dos métodos de inversão propriamente dita é que a imprecisão (erros experimentais), esparsidade da amostragem (insuficiência) e inconsistência dos dados podem produzir inversões tomográficas com resultados vagos, imprecisos e não-únicos. Em particular, a deficiência na varredura angular pode manchar a imagem invertida. Estabilidade, precisão e não-unicidade são

aprimorados pelo uso de restrições severas (derivadas a partir de dados de poço) à estimativa da solução. Face à satisfatória aplicação da inversão tomográfica em modelos sintéticos, os quais simularam feições internas dentro de um reservatório, foi possível aplicar a técnica a dados reais. Eles continham informações de um arenito petrolífero localizado numa profundidade média de 2850 m. Da inversão, foi possível derivar um modelo da distribuição espacial de velocidades primárias (ondas P) no reservatório. Então, as distribuições espaciais de porosidade, densidade e permeabilidade foram empiricamente estimadas. Também foi possível construir o sistema estrutural interno, exibindo cada unidade identificada. Os resultados demonstram a aplicação da inversão tomográfica na interpretação sísmica, e o seu uso como uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento de reservatórios. O Método do Raio consumiu muito tempo de computador e alocação de memória, e possui limitações peculiares que interferem na definição (resolução) da imagem final. Não obstante estes inconvenientes, a boa qualidade dos dados favoreceram o mapeamento das feições do reservatório investigado. Finalmente, salienta-se que nenhum pesquisador ligado à exploração sísmica, principalmente aqueles da área de desenvolvimento de reservatórios, de nenhum modo tratou do mapeamento do sistema estrutural de tais rochas, ainda que alguns tenham mencionado, em seus trabalhos, a influência do tal sistema no fluxo de fluidos dentro da rocha. Ao lado desta contribuição original, destaca-se também o uso da Tomografia Sísmica na determinação das velocidades de forma bastante local, isto é, na região do corpo reservatório, pois que a estimativa global daquelas grandezas foi sempre o alvo maior da técnica tomográfica aplicada à sísmica.

ABSTRACT

MAPPING OF INTERNAL STRUCTURES OF RESERVOIR ROCKS USING TOMOGRAPHIC INVERSION – *Delineation of internal structures in aquiferous or petroliferous reservoir rocks, goal of this thesis, is important because they exert a tremendous influence on the flow of fluids within the rock. Typically, in the analysis of reservoirs, parallel layering, isotropy and homogeneity, are assumed, that is, laminar flow is considered through porous spaces without regard for lateral barriers or the channeling effects of internal structure. When evaluating the relationship of fluid flow and permeability, or undertaking secondary or tertiary recovery of oil (by whatever method) such assumptions lead to an underestimation of permeability, or a recovery rate less than expected. To understand the movement of fluids through the porous or the rock, a more accurate representation of its internal structure is needed. Common velocity inversion techniques, Dix's and $r - p$ methods for example, are generalizations and are not able to image complexities of velocity structure. On the other hand, Seismic Tomography is theoretically capable of accurately imaging subsurface velocity detail. Among the methods of inversion of the linear equations tomographic system, the Conjugate Gradient Method provides a stable solution, demonstrated by the resulting images. One problem of tomographic inversion methods is that data inaccuracy (experimental errors), sparseness of sampling and inconsistency can make tomographic inversions results vague, inaccurate and non-unique. In particular, failure to sample from all angles can smear the inverted image. Stability, accuracy and uniqueness*

were improved by the use of hard constraints (derived from well log data) to the solution estimate. In addition to the satisfactory application of tomographic inversion to synthetic models that simulated internal features within a reservoir, it was possible to apply the technique to real data. The data was from a petroliferous sandstone located at an average depth of 2850 m. The inversion derived a model of the spatial velocity distribution in the reservoir. Spatial distributions of porosity, density and permeability were then empirically estimated. It was also possible to construct the internal structural system, exhibiting each identified unit. The results demonstrate the application of tomographic inversion to seismic interpretation and to the use of it as an auxiliary tool of reservoir development. Ray tracing (Ray Method) uses much computer time and memory allocation, and has peculiar limitations that interfere with the definition (resolution) of the final image. Despite these shortcomings, the good quality of the data has favoured the mapping of features of the reservoir investigated. Finally, it is pointed out that no one researcher of seismic exploration, mainly those related to reservoir development, nowise has treated about mapping the structural system of such rocks, even if some of them have mentioned, in their works, the influence of such system on fluid flow within the rock. Besides of this original contribution, it is also pointed out the use of Seismic Tomography in the determination of velocities in a rather local way, that is, in the reservoir body region, for that global estimation of those quantities was always the major goal of the tomographic technique applied to seismic.