

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

MODELAGEM GEOLOGICA 3D EM ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS NA PEDREIRA TATU, FORMAÇÃO FELIZ DESERTO, BACIA SERGIPE-ALAGOAS.

AUTORES:

José Arthur Oliveira Santos¹, Misael F.S. Félix², Lucas de Santana Menezes², Rodrigo Augusto², Antônio Jorge Vasconcellos Garcia

INSTITUIÇÃO:

¹PROGEOLOGIA/NUPEG, Universidade Federal de Sergipe; ²PROGEOLOGIA/NUPEG, Universidade Federal de Sergipe

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPEURO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. 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 8º PDPEURO.

MODELAGEM GEOLOGICA 3D EM ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS NA PEDREIRA TATU, FORMAÇÃO FELIZ DESERTO, BACIA SERGIPE-ALAGOAS.

Abstract

The Feliz Deserto Formation is located in Sergipe-Alagoas basin, related to Pré-Rift stage of his tectonostratigraphic evolution. This formation comprises to a lacustrine sedimentation with some fills of sand's bodies, installing a deltaic system. This work is focused in producing of a 3D geological model of portion corresponding to sand's bodies. For this, were made multi scalar studies in an outcrop denominated Tatu quarry, located in Japoatã city state of Sergipe, which is considered an analogues outcrop of actives reservoirs within of Sergipe-Alagoas basin. The development of reservoirs models through analogues outcrops has great dependence of reability of input data as geometric attributes and distribution of petrophysical properties of each facies within of reservoir. The grid reservoir model built has 32400 cells showing good values for porosity and permeability, with the best reaching 28.73% for porosity and 1060.8 mD for permeability.

Introdução

A Formação Feliz Deserto está localizada na Bacia Sergipe-Alagoas, correspondendo ao estágio Pré-Rifte de sua evolução tectonoestratigráfica. Esta Formação compreende a uma sucessão pelítica, correspondendo a uma sedimentação lacustre com eventuais entradas de corpos areníticos, instalando um sistema deltaico (Feijó, 1994). O foco deste trabalho é reproduzir um modelo geológico 3D da porção correspondente as partes areníticas. Para isso, o afloramento utilizado foi a Pedreira Tatu, localizado no município de Japoatã-SE (Figura 1), que é considerado como um afloramento análogo dos reservatórios em produção na Bacia Sergipe-Alagoas desta mesma Formação.

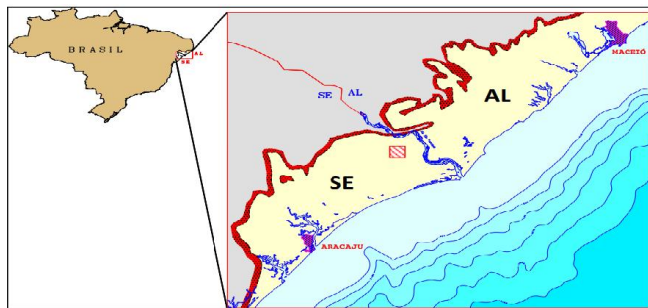


Figura 1: Localização da Bacia Sergipe-Alagoas no contexto geográfico do Brasil. Município de Japoatã sinalizado pelo quadrado vermelho (Garcia *et al*, 2011).

O desenvolvimento dos modelos de reservatórios a partir dos análogos de afloramento e sua subsequente aplicação para simulação de fluxo em profundidade de campos de petróleo, tem grande dependência da confiabilidade dos parâmetros críticos dos dados de entrada, onde se incluem os atributos geométricos e das distribuições das propriedades permo-porosas de cada uma das fácies presentes no reservatório (Paim *et al*, 2004).

Para tal, foram feitas campanhas de campo para aquisição dos dados, tais como descrição de 13 perfis litológicos, descrição das fácies existentes, escaneamento do afloramento utilizando o aparelho *LaserScanner*, além da coleta de amostras. Das amostras foram feitas análises petrofísicas, visando caracterizar suas heterogeneidades afim de se ter uma representação consistente destas propriedades em três dimensões. As porosidades mostraram resultados variando entre 2,31 a 28,73%,

e para a permeabilidade, obtiveram-se valores entre 54 a 1608,8mD. Com isso foi construído um *Grid* 3D do afloramento com um total de 32.400 células, no qual os principais conceitos da metodologia CAMURES (Caracterização Multiescalar de Reservatórios) puderam ser integrados ao modelo.

Metodologia

A metodologia CAMURES consiste na integração de dados obtidos em estudos feitos nas diferentes escalas de observação, representando as heterogeneidades existentes em cada uma delas e a partir destas obter um modelo geológico ideal.

Para isso, foram feitas saídas de campo objetivando caracterizar o afloramento alvo, que foi a Pedreira Tatu, uma pedreira ativa com quatro Frentes de Lavras bem expostas, porém apenas uma delas com um bom acesso, visto que as outras três estão em constante atividade de exploração. Foram descritos 13 perfis litológicos, onde nestes foram identificados as principais litofácies e estruturas sedimentares. Afim de descrever a variação vertical da pedreira, foi necessário utilizar-se de técnicas de rapel, com um profissional coletando amostras e medindo espessura de camadas com o auxílio da fita métrica, onde o maior perfil descrito tinha aproximadamente 14 metros. Das amostras coletadas, foi possível descrevê-las e organizá-las em grupos de litofácies, discretizadas como Arenito Fino, Arenito Médio, Arenito Conglomerático e Pelitos (Figura 2).

À medida que o rapel ia sendo feito, as amostras iam sendo coletadas, com um intervalo de aproximadamente 50 centímetros. Um total de 45 amostras foram enviadas para serem feitos testes petrofísicos, realizados no laboratório da Universidade Federal de Campina Grande. Para que os testes pudessem ser realizados, as amostras tinham que ser cortadas em *plugs* com 5 centímetros de comprimento e 1,5" de diâmetro. Para contabilizar a porosidade, foi injetado nitrogênio nas amostras, utilizando como parâmetro o valor do nitrogênio que foi perdido do recipiente onde o gás estava armazenado, obtendo-se assim a porosidade total de cada amostra.

Em uma etapa final, foi feito o escaneamento do afloramento, utilizando o aparelho LaserScanner. O laser scanner é capaz de gerar modelos digitais de superfície e segundo Bellian *et al*, 2005, este mapeamento estratigráfico do afloramento pode ser associado a outros dados permitindo assim a caracterização das suas fácies com alta resolução, e posteriormente a produção de um Modelo Geológico Digital.



Figura 2: Fluxograma mostrando as fases de trabalho, com a utilização do rapel para coleta e descrição das amostras, seguido da caracterização do afloramento separando-o por camadas, e por fim, confecção de perfis litológicos integrando todas as informações obtidas.

O equipamento apresenta em média uma velocidade de medição de 2000 – 900.000 pontos/segundo. Utiliza a tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) para executar a sua rápida medição através de um laser que possui uma faixa espectral localizada no intervalo do verde visível e possui precisão de 0,1 mm a 50 mm. A disposição espacial do equipamento em relação às Frentes de Lavra podem ser vistos na Figura 3, onde cada um do alvo é colocado em uma extremidade da Frente de Lavra e o equipamento faz o imageamento entre estes alvos.

Uma vez adquiridas às imagens será o feito o processamento de cada uma das frentes, bem como seu georreferenciamento para junção das nuvens em um só ambiente 3D. Esta ferramenta contribuirá para modelagem das geometrias externas e extração de atributos que possam ser utilizados no modelo geológico 3D, como por exemplo, superfícies estratigráficas e planos de interesse (planos de fraturas e de acamamento) além de uma análise de reflectância das camadas.

Em uma etapa pós campo, foi feito a correlação dos perfis estratigráficos, definindo os principais marcadores em cada perfil e obtendo uma noção da distribuição espacial das camadas. A partir de então, foi criado para cada perfil um arquivo com a extensão *.las, que é o formato que será utilizado para a importação dos perfis no modelo geológico, onde contém coordenadas, variação vertical das fácies, valores de porosidade e permeabilidade, que são as principais informações a serem inseridas no modelo geológico 3D.



Figura 3: Fotografia do *Google Earth* apresentando a disposição das estações e alvos na pedreira Tatu.

Para a criação do modelo, o Software utilizado foi o RMS, produzido pela ROXAR. De posse de todos os dados, os perfis foram importados e o modelo foi criado, onde a partir das propriedades obtidas em cada perfil, foi feita a extrapolação das propriedades e definidos volumes de interesses para potenciais zonas de reservatórios.

Resultados e Discussão

A modelagem geológica 3D de reservatórios é uma ferramenta relativamente nova na qual através de *softwares* especializados, consegue-se integrar uma grande quantidade de dados e interpretações, desde aquelas que foram resultadas de trabalho de campo, como às que resultaram de atividades laboratoriais, objetivando assim reproduzir um reservatório de uma forma em que suas heterogeneidades fiquem bem definidas, reduzindo ao máximo as incertezas associadas à complexidade geológica do modelo (Roxar, 2012).

Para a Pedreira Tatu a modelagem teve caráter determinístico onde existiam informações que permitissem reproduzir fielmente as características geológicas ali presente através da correlação feita dos perfis em cada Frente de Lavra, principalmente a Frente de Lavra 1, que era a frente mais exposta e de maior heterogeneidade de fácies, gerando limites de intervalos bem definidos para serem preenchidos pelas fácies existentes.

Vale ressaltar que para alcançar um resultado satisfatório, o *software* permite que alguns ajustes manuais sejam feitos, como a edição de determinada fácies que ficou em um local indesejado, podendo ser alterada e substituída por outra mais satisfatória.

A nuvem de pontos feita pelo escaneamento do afloramento foi de suma importância, uma vez que a partir desta pode ser visto as heterogeneidades da pedreira dentro do modelo em construção, facilitando no processo de quantificar deterministicamente a extensão das camadas existentes (Figura 4).

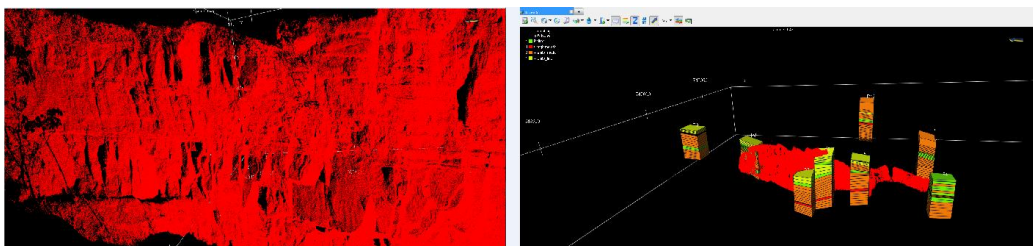


Figura 4: Nuvem de pontos importada no *software*. À esquerda percebe-se como a imagem consegue marcar bem as feições, como limites de camadas e fraturas presentes. À esquerda pode-se ver a nuvem junto aos perfis, fazendo assim uma correlação de fácies mais precisa, dando uma maior confiabilidade ao modelo.

O *Grid* do afloramento gerado possui um total de 32.400 células, onde este foi separado em sete zonas de interesse que estão relacionadas com os ambientes e sub-ambientes deposicionais (Figura 5).

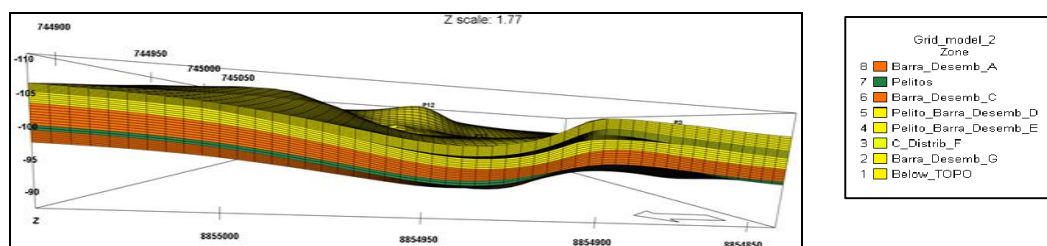


Figura 5: Modelo do *Grid* representando a extensão das zonas existentes na Pedreira Tatu, notar que o número de células varia de acordo com a heterogeneidade de cada camada.

Com o *Grid* das zonas construído, chega o momento de distribuir as fácies e as informações de porosidade e permeabilidade, que são informações pontuais em cada perfil, ou seja, as variações são verticais e é preciso extrapolar essas propriedades na horizontal, preenchendo todo o volume do *Grid* e a partir de então podem ser feitas as análises da qualidade do seu reservatório.

Como dito anteriormente, as quatro frentes de lavra foram modeladas com o auxílio das ferramentas manuais que o *software* dispõe, buscando representar fielmente a distribuição das fácies nestes locais mais acessíveis (Figura 6).

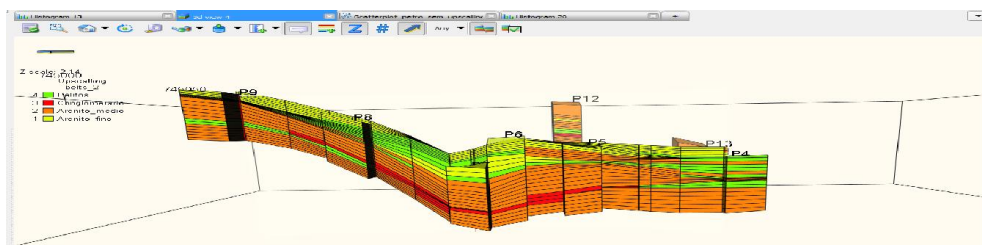


Figura 6: Representação das Fácies presentes na Frente de Lavra 1 após os ajustes manuais visando um maior caráter determinístico para o modelo.

A partir das quatro principais Frentes de Lavras modeladas, foram feitas as extrapolações dos dados e preenchimento de todo o volume 3D. Foram utilizados métodos estocásticos a partir dos algoritmos de distribuição, principalmente *krigagem*, onde tinham uma maior heterogeneidade das fácies e *Trend* para a zona pelítica homogênea, representando bem o modelo idealizado através das correlações feitas dos perfis litológicos (Figura 7).

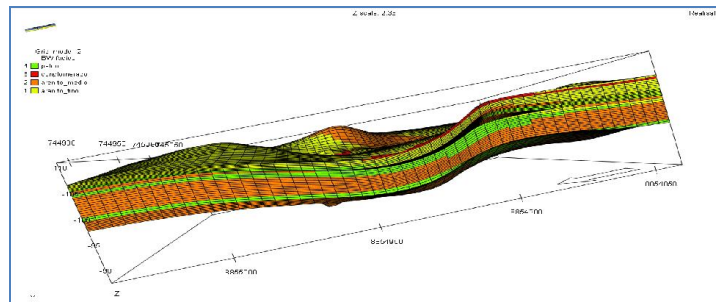


Figura 7: Grid com as fácies distribuídas em suas respectivas zonas.

Com as fácies distribuídas, pode-se de extrapolar os valores das propriedades permo-porosas existentes em cada perfil, uma vez que tais características estão condicionadas às fácies.

A modelagem petrofísica busca representar no modelo 3D as heterogeneidades permo-porosas das rochas modeladas, uma vez que os valores de porosidade e permeabilidade estão diretamente ligados aos aspectos texturais e composicionais de cada fácies, o que reflete a qualidade do reservatório modelado. Uma vez construído o modelo de fácies, este é populado com as respectivas propriedades petrofísicas oriundas de ensaios petrofísicos realizados nas amostras coletadas.

Os intervalos que não possuem dados petrofísicos cobrem a área do modelo que é modelada estocasticamente, como por exemplo área entre perfis. Nestas, as propriedades petrofísicas são inseridas com base em cálculos geoestatísticos que incluem variogramas e seus ranges de alcance. A importância da correta representação das heterogeneidades permo-porosas se dá pelo fato de que as mesmas influenciarão o padrão de fluxo observado na simulação.

Nesta etapa serão escolhidas as zonas que a serem modeladas, e em um próximo passo, escolhe-se os padrões deposicionais específicos para cada zona, a depender do contexto deposicional de cada uma.

Para as zonas mais basais, que sofreram um maior efeito compactacional foram escolhidos os algoritmos associados à tendência compactacional e para as zonas mais superiores foram utilizados uma combinação dos processos compactacionais e deposicionais este último utilizado quando tem uma diminuição dos grãos na direção do topo

A partir de então, foi feita a correlação automática das propriedades a partir de todas as fácies existentes, e após esse processo pode-se gerar os *Grids* 3D de porosidade e permeabilidade (Figuras 8 e 9)

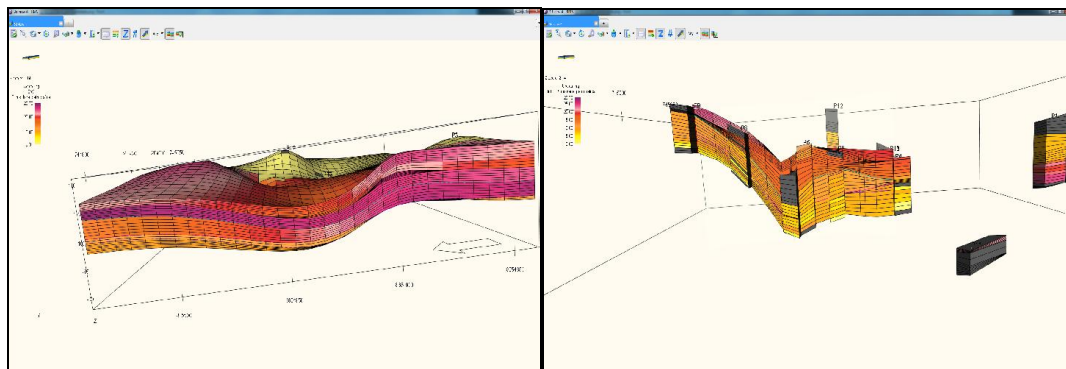


Figura 8: *Grid* com os valores de porosidade, notar valores mais altos em direção ao topo das camadas

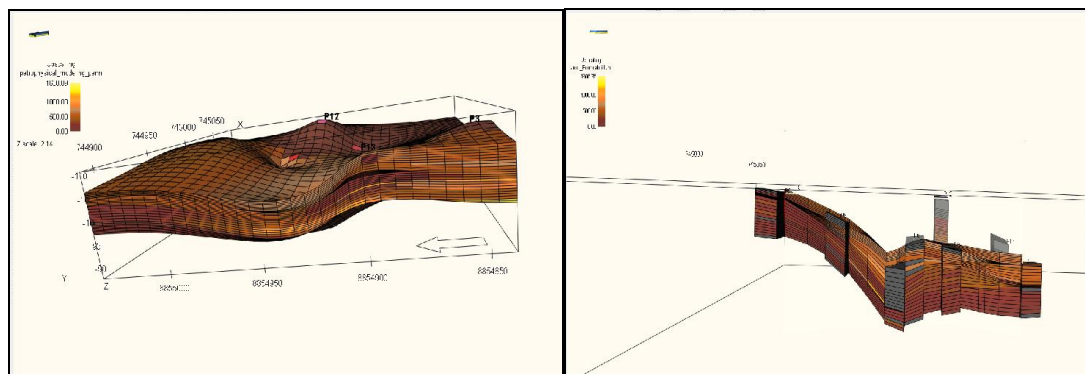


Figura 9: *Grid* com os valores de permeabilidade.

Vale ressaltar que os maiores valores estão localizados nas camadas mais superiores dos afloramentos, o que pode ser relacionado com a baixa compactação destas camadas, e também à influência da infiltração meteórica nas porções mais expostas, gerando dissolução de grãos e aumentando a porosidade.

Conclusões

A utilização da metodologia CAMURES mostrou-se bastante satisfatória, uma vez que está presente em todas as etapas da construção do modelo geológico. As fácies descritas foram classificadas como arenito fino, arenito médio, arenito conglomerático e pelitos. O *Grid* apresentou bons valores de porosidade e permeabilidade alcançando 28,73% para a porosidade e 1608 mD para a permeabilidade, principalmente nas zonas mais superiores. De posse destas informações, este modelo geológico de um afloramento considerado análogo de um reservatório real, pode ser utilizado para a simulação de fluxo, prevendo as melhores estratégias de produção aumentando assim sua recuperação e analisar a curva de produção ao longo dos anos, afim de que quando o reservatório apresentar um declínio da produção, já se tenha opções bem elaboradas para tornar o reservatório produtivo economicamente.

Agradecimentos

Agradecemos a oportunidade de estágio dado pelo Laboratório Progeologia/UFS por meio da FAPES, a qual foi responsável por todo apoio no que diz respeito aos custos com trabalhos de campo e acesso aos *Softwares*, sem os quais este trabalho não poderia ser desenvolvido. Agradecemos também ao corpo técnico do Progeologia e em nome do professor Dr. Antônio Jorge Vasconcellos Garcia gostaríamos de deixar os agradecimentos para toda a equipe, que sempre se mostrou prestativa nos momentos de dúvidas.

Referências Bibliográficas

BELLIAN, J. A., KERANS C. & JENNETTE D. C. 2005. Digital outcrop models: applications of terrestrial scanning LIDAR technology in stratigraphic modelling. *Journal of Sedimentary Research*, **72** (2): 166-176.

FEIJÓ, F.J. 1994. Bacias de Sergipe-Alagoas. Boletim de Geociências da Petrobrás, (Boletim 8) (1).

GARCIA, A. J. V., NOWATSKI, A. C., TOMÉ, M. E., PEREIRA DA SILVA, E. (2008). PROJETO CAMURES – Caracterização Multiescalar de Reservatórios com foco na qualidade de reservatório na região do Alto de Aracaju, Bacia Sergipe-Alagoas.UFS/FAPES/Petrobras, Relatório Interno de Projeto, Aracaju, SE, Brasil.

PAIM, P. S. G., GARCIA, A. J. V., FACCINI, U. F., LAVINA, E. L. C. (2004). GEOARQ, uma abordagem integrada e aplicada da geologia sedimentar. In P. S. G. Paim, U. F. Faccini & R. G. Netto (eds.), Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares, Estudo de Casos. UNISNINOS, São Leopoldo: 13-23.

ROXAR, *Instruction Manual*, RMS. 2012