

UTILIZAÇÃO DE MODELOS VIRTUAIS DE AFLORAMENTOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL, APLICADA À RECURSOS NÃO CONVENCIONAIS

Karina Assumpção da Costa Nóbrega ¹

Daniele Martins ²

Mateus Kroth ³

Sissa Kumaira ⁴

Rodrigo Duarte ⁵

Felipe Guadagnin ⁶

Resumo:

Na natureza recursos de hidrocarbonetos ocorrem como reservatórios convencionais ou não convencionais. A extração de hidrocarbonetos não convencionais, exige o uso de técnicas de execução mais caras e complexas, quando comparadas a reservatórios convencionais. O fraturamento hidráulico é um método de estimulação, amplamente usado para extrair hidrocarbonetos não convencionais, aumentando sua produção. Consiste na introdução de fluidos em alta pressão em um poço, a fim de gerar fraturas em determinada formação rochosa com permeabilidade baixa, possibilitando o escoamento para que haja um adequado controle de tensões da rede de fraturas geradas e suas interações com as redes de fraturas naturais. Grande parte das fraturas naturais ocorre em escala sub-sísmica, limitando os estudos à perfis de poços e testemunhos de sondagem, resultando em uma alta incerteza das análises. Outra problemática, é que o mecanismo de fraturamento, pode acarretar perda de reservas e, eventualmente, contaminação ambiental. Desta forma, o estudo de análogos é necessário para a compreensão das variáveis que controlam o fraturamento hidráulico em sistemas naturais. Assim, este trabalho se destina em realizar a confecção de Modelos Virtuais de Afloramento (MVA) em três dimensões, com alta resolução, de rochas carbonosas da Formação Rio Bonito, onde há potencial para ocorrência de coalbed methane. Os MVA servirão como ferramenta para análise das estruturas presentes nas rochas. Desta forma, para a realização deste trabalho, primeiramente foram coletadas medidas estruturais e foram tiradas fotografias através de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em campo. As fotos foram utilizadas para realização de fotogrametria digital, que possibilitaram a construção dos MVA. Para a construção dos MVA, as fotos foram processadas utilizando o software Agisoft PhotoScan 1.4.2, que utiliza um algoritmo chamado Structure From Motion, que calibra os conjuntos de imagem e recupera a estrutura 3D do objeto ao mesmo tempo. Posteriormente, os MVA foram importados no software MOVE 2018, onde as estruturas da rocha foram interpretadas no modelo, gerando superfícies em 3D. Tais superfícies foram ajustadas quanto a sua orientação e direção de forma manual, utilizando medidas estruturais adquiridas em campo com bússola, ou de forma automática, em pontos onde não foi possível realizar a coleta de dados. Assim, foram realizadas interpretações com base no tipo e orientação das estruturas, e através de esterogramas gerados pelo programa. Este estudo permite extrair uma série de informações que servirão como parâmetro para posteriores estudos úteis para a prática de fraturamento hidráulico.

Palavras-chave: Geologia Estrutural, Modelos Virtuais de Afloramento, Recursos Não Convencionais

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

UTILIZAÇÃO DE MODELOS VIRTUAIS DE AFLORAMENTOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL, APLICADA À RECURSOS NÃO CONVENCIONAIS

¹ Aluno de graduação. karinanobrega@id.uff.br. Autor principal

² Graduanda. danieliems26@gmail.com. Apresentador

³ Graduando. krothmateus@gmail.com. Co-autor

⁴ Pesquisadora. sissakumaira@unipampa.edu.br. Co-autor

⁵ Pesquisador. rodrigo.duarte@crm.gov.br. Co-autor

⁶ Docente. felipeguadagnin@unipampa.edu.br. Orientador

UTILIZAÇÃO DE MODELOS VIRTUAIS DE AFLORAMENTOS PARA ANÁLISE ESTRUTURAL, APLICADA À RECURSOS NÃO CONVENCIONAIS

1 INTRODUÇÃO

Recursos de hidrocarbonetos podem ocorrer na natureza como reservatórios convencionais ou não convencionais. Reservatórios convencionais são caracterizados por serem rochas naturalmente porosas e por conterem acumulações de hidrocarbonetos em armadilhas abaixo de rochas selantes (LAW; CURTIS, 2002). Atualmente, estes reservatórios constituem a principal fonte de hidrocarbonetos a nível mundial, devido a maior facilidade e economicidade de extração e produção (LAW; CURTIS, 2002). Contudo, com o desenvolvimento de tecnologias, aliado ao declínio das descobertas de novos reservatórios convencionais e o aumento dos custos de produção, as pesquisas de reservatórios não convencionais tem aumentado significativamente (ALLEN, P; ALLEN, J, 2013; ANP, 2010).

Recursos petrolíferos não convencionais são todas as acumulações de hidrocarbonetos que não são classificadas como convencionais. Considera-se que tais reservatórios são caracterizados por apresentarem permeabilidade inferior a 0,1 mD e extensas acumulações regionais, independentes de armadilhas estruturais e estratigráficas (ANP, 2014; LAW; CURTIS, 2002). Ainda, podem ser definidos quanto à sua viabilidade econômica, pois os métodos de extração são demasiadamente complexos e caros (ALLEN, P; ALLEN, J, 2015; ANP, 2010).

Em reservatórios não convencionais são usualmente aplicadas duas técnicas de extração associadas: faturamento hidráulico e perfuração de poços horizontais (COLOMER; ALMEIDA, 2015; PONTES, 2015). O faturamento hidráulico é um método que consiste na introdução de fluidos em alta pressão em um poço a fim de gerar fraturas em determinada formação rochosa com baixa permeabilidade, possibilitando a extração de hidrocarbonetos (ANP, 2014). Assim, para definir o ponto ótimo de perfuração é preciso um estudo detalhado do comportamento de fraturas para cada reservatório (COLOMER; ALMEIDA, 2015).

A realização de uma pesquisa detalhada quanto ao comportamento das estruturas, é uma dificuldade, porque o alvo de estudo se localiza em subsuperfície. As informações são coletadas apenas em escala sub sísmica ou em poços (BISDOM et al., 2016). Desta forma, o método indireto utilizado para a caracterização desses reservatórios não possui uma escala de detalhe que garanta o reconhecimento e a análise de estruturas em situações naturais. Assim, são realizadas tais análises em rochas análogas, técnica amplamente utilizada na indústria de Óleo & Gás.

Análogos de reservatórios, são formações rochosas que são geologicamente comparáveis em termos de litologia e propriedades dos fluidos, cujo estágio de conhecimento sobre suas características seja mais avançado do que o reservatório de interesse (HODGIN; HARREL, 2005). Assim, modelos análogos permitem uma maior compreensão de conceitos e padrões na interpretação de dados em locais onde as informações são limitadas (HODGIN; HARREL, 2005). Os modelos análogos devem corresponder a processos similares de sedimentação, diagênese, pressão, temperatura, história química e mecânica e deformação estrutural em relação aos reservatórios naturais (HODGIN; HARREL, 2005).

No Brasil, reservatórios não convencionais são encontrados em diversas bacias sedimentares, entre elas está a Bacia do Paraná (EPE, 2018). Segundo EIA (2016), no Brasil terá um aumento na produção de gás até 2040, e mais de um terço deste produto será proveniente de tipos de hidrocarbonetos não convencionais, como *shale gas*, *tigh gas* e *coalbed methane*.

Na região de Candiota, estado do Rio Grande do Sul, há ocorrência de rochas carbonosas pertencentes a Formação Rio Bonito e Palermo inseridas na Bacia do Paraná

(MILANI,2007). Lourenzi e Kalkreuth (2014) realizaram estudos na Formação Rio Bonito, que indicam a presença de camadas de carvão com potencial para geração e armazenagem de *coalbed methane*. As camadas de carvão mineradas, pertencentes a Companhia Riograndense de Mineração, permitem acesso direto às camadas carbonosas nas minas a céu aberto que são exploradas na região. Por esses motivos, a região pode ser utilizada para a construção de modelos análogos de reservatórios não convencionais.

Desta forma, o objetivo deste trabalho consiste na produção de Modelos Virtuais de Afloramento (MVA) em três dimensões, com alta resolução, de rochas carbonosas da Formação Rio Bonito. Os MVA servirão como base para a análise das estruturas rúpteis presentes no local.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A técnica de fotogrametria, permite a confecção de modelos Virtuais de Afloramentos em 3D, com alta resolução, a partir da sobreposição de fotos processadas por softwares livres ou de baixo custo (TAVANI et al.,2014). Para a realização da técnica, é necessário obter pares de fotografias de um mesmo alvo a partir de posições diferentes. Conhecendo a distância focal, a orientação e a posição de cada foto que compõe um par, é possível calcular a coordenada de cada ponto nas duas imagens (TAVANI et al.2014). As fotos podem ser tiradas por via terrestre ou aérea (aerofotogrametria), por meio de aviões, helicópteros ou de Veículos Aéreos Não Tripulados (TAVANI et al.2014).

Neste trabalho, primeiramente foram coletadas medidas estruturais em campo e fotografias para construção do modelo. A aquisição das fotos se deu através de um Veículo Aéreo Não Tripulado com câmera acoplada, modelo *Phantom 4*, da marca DJI.

A construção dos Modelos Virtuais de Afloramento, se deu através do processamento das fotografias utilizando o *software Agisoft PhotoScan 1.4.2*, cujo algoritmo utilizado, é chamado *Structure From Motion*, que calibra os conjuntos de imagem e recupera a estrutura 3D do objeto ao mesmo tempo.

A confecção dos MVA, segundo Tavani et al. (2014), se dá através de quatro etapas: alinhamento das fotos, construção da nuvem densa de pontos, triangulação e texturização. Primeiramente as fotos são alinhadas. Este processo se dá através do reconhecimento da posição de pontos iguais em imagens sobrepostas. Assim, o *software* reconhecerá a posição e orientação das fotos. Após o alinhamento das fotografias, é gerada uma nuvem de pontos densa. Os pontos que compõe a nuvem são unidos por um processo chamado de triangulação, gerando uma malha de triângulos irregulares. Por fim é feita a texturização, que consiste em reconstruir a textura sobre a malha triangulada. Neste estágio o programa associa as coordenadas U e V de cada vértice dos triângulos da malha criada, aos pontos de mesma coordenada nas fotografias. A textura da foto é então colada no triângulo correspondente.

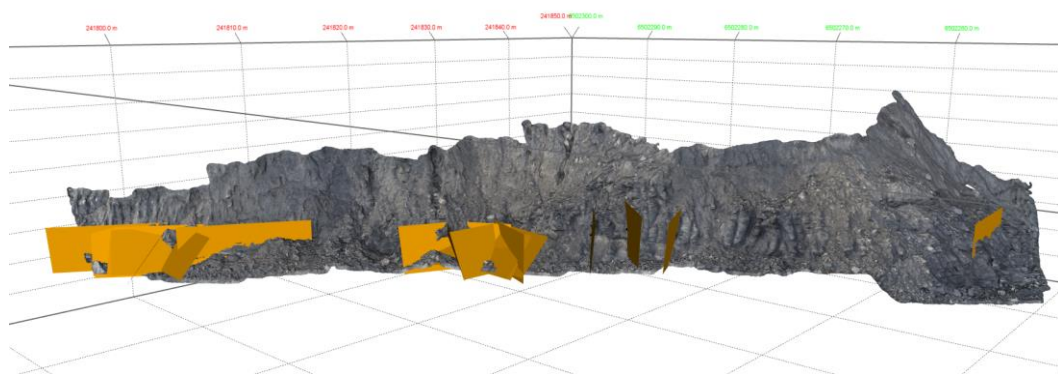
Após confeccionado, o MVA foi importado para o *software MOVE 2018*. Nesta fase, as estruturas da rocha foram interpretadas no modelo, através de pontos e linhas. A partir das linhas foram geradas superfícies. Tais superfícies foram ajustadas quanto a sua orientação e direção de forma manual, utilizando medidas estruturais colhidas em campo com bússola, ou de forma automática, em pontos onde não foi possível coletar medidas. Com base nesses dados foram elaborados estereogramas para análise da orientação das estruturas e os esforços responsáveis por sua formação.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os Modelos Virtuais de Afloramento interpretados (Fig. 1 e 2), possibilitaram extrair medidas das estruturas que não puderam ser coletadas em campo, e visualizar em 3 dimensões os planos de falha e fraturas. Medidas estruturais coletadas com bússola foram comparadas com medidas extraídas do modelo nos mesmos pontos, e em todos os casos, estas apresentaram atitudes muito semelhantes. Através da interpretação das estruturas, foi possível gerar esterogramas (Fig .3) e o sumário estatístico de suas atitudes.

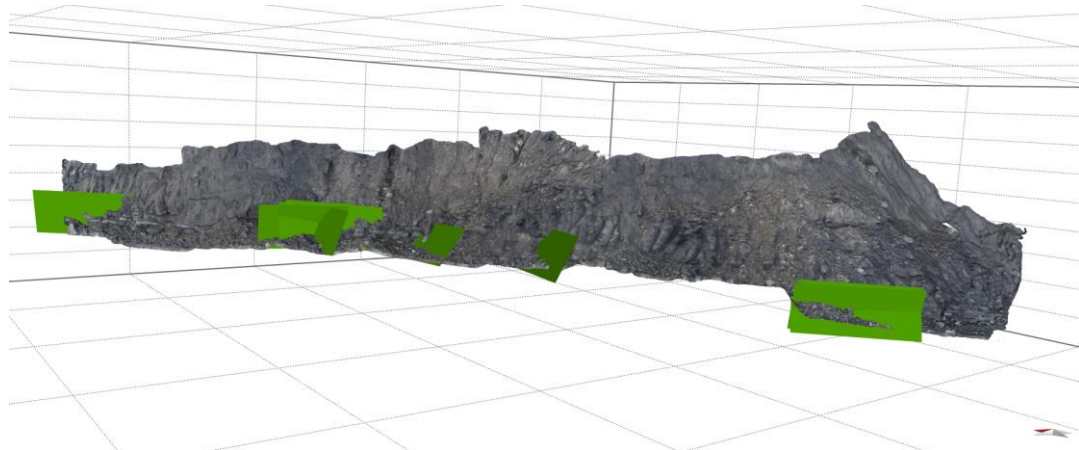
As estruturas eram, em geral, falhas normais, mergulhando predominantemente para SW e NW e famílias de fraturas mergulhando para SW e NE. Ainda, foram observadas estrias de falha, dobras de arraste e veios de pirita associados às falhas normais indicando movimento extensional, e estruturas do tipo splay.

Figura 1: MVA em 3D de alta resolução, com planos de falha interpretados em laranja



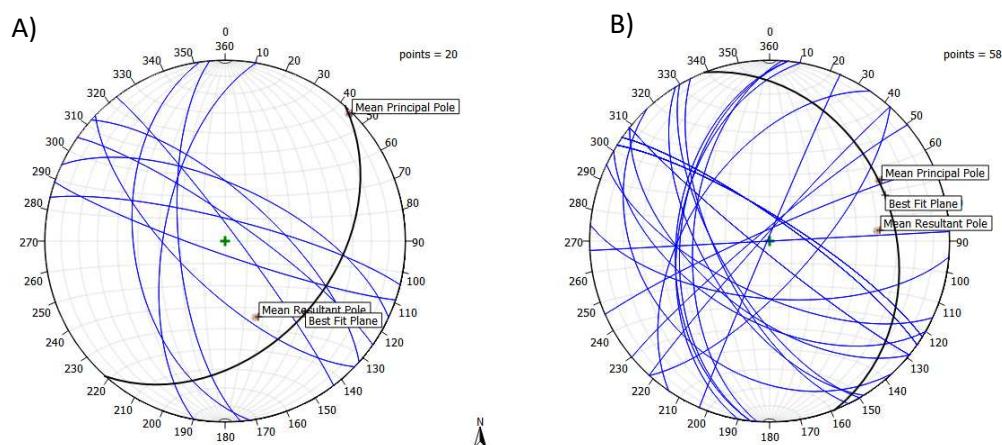
Fonte: autora

Figura 2: MVA em 3D de alta resolução, com fraturas interpretadas em verde



Fonte: autora

Figura 3: Esterogramas gerados, em A) estereograma das fraturas e em B) estereograma das falhas.



Fonte: autora

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos Modelos Virtuais de Afloramento em conjunto com o *software MOVE*, interpretar, possibilitou extrair e analisar as atitudes estruturas com precisão. O desenvolvimento de técnicas para análise estrutural através de plataformas digitais, torna o trabalho mais rápido, eficiente e menos custoso. Assim, os MVA permitem uma visualização do afloramento por tempo indeterminado, diminuindo o número de visitas ao campo, e além disso, proporcionam junto com outros softwares, técnicas de análise mais sofisticadas e exatas.

O reconhecimento dos tipos de estruturas presentes na rocha e os padrões quanto às suas orientações permitem extrair uma série de informações que servem como parâmetro para posteriores estudos úteis para a prática de fraturamento hidráulico. Assim, estes dados servirão como base para uma posterior Análise do Stress, no *software MOVE*, onde serão calculadas: tendência ao cisalhamento, tendência a dilatação, estabilidade de fratura, estabilidade de cisalhamento, fator de vazamento e capacidade de retenção.

REFERÊNCIAS

_____. Resolução ANP N° 21, de abril de 2014: Regulamenta os Requisitos a Serem Cumpridos pelos Detentores de Direitos de Exploração e Produção de Óleo e Gás Natural que Executarão a Técnica de Fraturamento Hidráulico. Publicado DOU de 11/4/2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acessado em: 19 fev. 2018.

ALLEN, Philip A.; ALLEN, John R. **Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessments**. 3ª. ed. [S.l.]: Wiley Blackwell, 2013. 373 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PETRÓLEO. **Gás natural não-convencional**. Superintendência de Comercialização e Movimentação de Petróleo, seus Derivados e Gás Natural. Nota Técnica nº09/2010-SCM. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/transporte-de-gas-natural/estudos-e-notas-tecnicas>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

BISDOM, K.; BERTOTTI, G.; HAMIDREZA M. N. The Impact of in-situ stress and outcrop-based fracture geometry on hydraulic aperture and upscale permeability in fractured reservoirs. **Tectonophysics**, v. 690, p. 64-75, 2016.

COLOMER, Marcelo; ALMEIDA, Edmar. **Desafios da Produção de Gás Não-Convencional no Brasil**. Rio de Janeiro: 5th Latin American Energy Meeting, 2015.10p. Deverão ser elencados somente os trabalhos citados ao longo do resumo. As referências situam-se no final do trabalho, em uma única lista em ordem alfabética, independentes de serem iniciadas pelo sobrenome do autor.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE; Ministério de Minas Energia. **Estudo Regional da Porção Gaúcha da Bacia do Paraná: Parte 1 – Análise do Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás**. Nota Técnica DPG-SPT nº01/2018. Rio de Janeiro, jan. 2018. 30 p.

LAW, Ben E.; CURTIS, John B. Introduction to unconventional petroleum systems. **AAPG Bulletin**, [S.l.], v. 86, n. 11, p. 1851-1852, nov. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1306/61EEDDA0-173E-11D7-8645000102C1865D>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

LOURENZI, Priscila dos Santos; KALKREUTH, Wolfgang. O potencial de geração CBM (Coalbed Methane) na jazida Sul Catarinense: 1. Características petrográficas e químicas das camadas de carvão da Formação Rio Bonito, Permiano da Bacia do Paraná. **Brazilian Journal of Geology**, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 471-491, set. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5327/Z2317-4889201400030009>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

MILLANI, Edison José et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 265-287, maio. 2007. Disponível em: <<http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/index.jsp>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

MOVE. (2018). UK: Midland Valley Exploration.

TAVANI, S. et al. Building a virtual outcrop, extracting geological information from it, and sharing results in Google Earth via OpenPlot and Photoscan: An exemple from the Khaviz Anticline (Iran). **Computers & Geosciences**, v. 63, p. 44-53, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.013>>. Acesso em: 15 jun. 2014

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. U.S. Departament of Energy. **International Energy Outlook 2016: With Projections for 2040**. Washington, mai. 2016. 276 p. Disponível em < <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.