

USO DO ABAQUS/CAE COMO FERRAMENTA DE ENSINO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DA ENGENHARIA DE PETRÓLEO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4162

Débora Santos Moreira - debora.moreira@ctec.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas

ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA - aline@lccv.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas

Francisco de Assis Viana Binas Júnior - binasjunior@gmail.com
Universidade Federal de Alagoas

Jéssica Pontes de Vasconcelos Valença - jessica.jpvasconcelos@gmail.com
Universidade Federal de Alagoas

Resumo: A utilização de ferramentas de engenharia auxiliada por computador, do inglês Computer Aided Engineering (CAE), agilizam a resolução de problemas analíticos que anteriormente exigiam muito tempo para serem resolvidos e detalham com maior precisão a simulação de modelos matemáticos. Dessa forma, faz-se o uso de softwares de modelagem numérica como o Abaqus, que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF) para verificar o desempenho de mecanismos e, quando aliado ao CAE possibilita visualização gráfica do problema. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar a resolução de um problema real da engenharia, a partir da modelagem de uma conexão utilizada em tubos de perfuração de petróleo e, para isso, fez-se uso do software Abaqus/CAE. Uma pesquisa bibliográfica sobre o uso do software no contexto da perfuração de poços foi conduzida, fornecendo insumos para construção da metodologia adotada. Os resultados da análise mostraram como a aplicação da simulação computacional é essencial para promover um ensino didático dos fundamentos do MEF além de motivar os estudantes de graduação.

Palavras-chave: Simulação computacional, Método dos elementos finitos, CAE.

USO DO ABAQUS/CAE COMO FERRAMENTA DE ENSINO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DA ENGENHARIA DE PETRÓLEO

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento adquirido pelo estudante de engenharia durante os anos de graduação fornece a ele a capacidade de aplicar modelos matemáticos para um melhor entendimento dos fenômenos físicos. À medida em que há o distanciamento dos problemas acadêmicos e aproximação dos problemas reais de engenharia, estes vão se tornando cada vez mais complexos, sendo necessário a adoção de ferramentas que ajudem tanto na análise do problema quanto no processo de ensino e aprendizagem.

Nesse cenário, uma forma de incentivar e capacitar os estudantes é adotar uma metodologia de ensino aliada à aplicação de conceitos advindos das disciplinas do curso de graduação em engenharia utilizando o *software* Abaqus, que consiste em uma ferramenta de elementos finitos com capacidade de modelar diversos problemas. O Abaqus possui uma interface gráfica (CAE) que é intuitiva e integra modelagem, análise, gerenciamento de trabalho e visualização de resultados em um ambiente consistente e fácil de usar.

O conceito de engenharia assistida por computador (CAE) engloba uma série de sistemas que auxiliam na análise e aplicação de fundamentos teóricos em modelos computacionais. Seu uso permite aumentar a velocidade da análise dos projetos e melhorar a precisão dos resultados a partir da redução de simplificações impostas à geometria do objeto (MIRLISENNA, 2016). Também é possível visualizar figuras tridimensionais da área de petróleo, uma vez que alguns problemas são complexos para serem entendidos na modalidade bidimensional.

Além disso, o Método dos Elementos Finitos (MEF) é muito utilizado na engenharia por permitir analisar o comportamento de vários sistemas físicos definidos por equações diferenciais ou integrais, para isso, o MEF substitui os infinitos graus de liberdade do modelo contínuo por um número finito de parâmetros ou graus de liberdade. Dessa forma, as equações diferenciais que antes poderiam ter alta complexidade de solução são substituídas por um sistema de equações algébricas (SORIANO, 2009).

Apesar da simulação simplificar o processo de análise do problema, a correta aplicação dos métodos numéricos citados requer conhecimento nas ciências físicas e capacidade de abstração, para assim, criar um modelo computacional a partir do objeto real. Esse conhecimento teórico é necessário para inserir a geometria e os parâmetros correspondentes à realidade. Cabe ressaltar, então, a necessidade de um ambiente que incentive e instrua os estudantes a utilizarem softwares para análise de casos reais do mercado, relacionando-os com os conhecimentos adquiridos durante a graduação.

Desse modo, a Universidade Federal de Alagoas (UFAL) realiza atividades de pesquisa voltadas à resolução de problemas da Engenharia de Petróleo, destacando-se os trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV) da UFAL em parceria com empresa do setor de óleo e gás. Essas atividades incentivam a comunidade acadêmica a resolver desafios encontrados na indústria, a partir da modelagem numérica e da simulação de modelos simplificados que representam as

condições reais do ambiente, uma vez que, recursos tecnológicos como o Abaqus/CAE são utilizados.

2 O USO DO ABAQUS NA ENGENHARIA DE PETRÓLEO

O *software* Abaqus é uma ferramenta fundamental para auxiliar os engenheiros na resolução de problemas de falhas nos componentes e estruturas envolvidas no processo de perfuração de poços de petróleo. Com ele torna-se possível modelar processos complexos envolvendo geometrias diversas e condições de contorno que a partir de representações gráficas descrevem as características físicas do meio.

Os problemas podem demandar recursos de análise linear e não linear; análise multifísica, incluindo estresse térmico e estresse de pressão de poros; tipos de carga, incluindo onda, fluutuabilidade, corrente e carregamento de vento. Além de possibilitar a simulação de objetos com materiais complexos, em contato, com fratura e falha advindas de impactos e eventos dinâmicos.

O uso do *software* na resolução de desafios da engenharia de petróleo abrange diversas áreas, como por exemplo, a geomecânica de reservatórios permitindo a visualização e a localização do reservatório de petróleo, para assim melhorar as estimativas de produção de hidrocarbonetos e evitar falhas no poço. Ademais, no segmento de fraturamento hidráulico é possível verificar os efeitos da fratura na produção de hidrocarbonetos.

Na área de revestimento de poços pode-se projetar revestimentos levando-se em consideração cargas térmicas cíclicas e movimentos de formação e, desse modo, reduzir possíveis falhas. Para a parte de análise de conectores rosqueados pode-se determinar mecanismo de falha da junta sendo capaz de auxiliar no desenvolvimento de projetos e soluções para conexões submetidas a alta pressão.

Além disso, a ferramenta colabora para o desenvolvimento de pesquisas e análises a serem aplicadas no cotidiano da operação de poços devido a rapidez do cálculo, a complexidade e a precisão dos resultados. Dessa forma, encontra-se na literatura trabalhos produzidos pela comunidade acadêmica da UFAL que utilizaram o Abaqus para a modelagem e simulação de diferentes desafios encontrados na indústria de petróleo.

O trabalho de Miranda (2022) propôs a modelagem numérica da interação entre elos em um trecho de amarra, empregado em plataformas e outros equipamentos flutuantes nas operações de perfuração e produção, para esse objetivo fez-se uso do *software* para lidar com cálculos nos regimes elástico e plástico, além da condição de contato.

Valença (2020) realizou um estudo paramétrico sobre vida a fadiga de dutos em vãos livres submetidos às vibrações induzidas por vórtices e o Abaqus foi utilizado na análise estática e modal para obter frequências naturais da estrutura do duto.

Em seu estudo, Santos (2022) também utilizou a ferramenta para analisar a influência de estratégias numéricas de perfuração na simulação do fechamento de poços verticais no pré-sal. Rodrigues (2021) realizou estudos numéricos de ensaios aplicados à perfuração de poços em rochas salinas.

O trabalho de Lins (2022) investigou casos de falhas em poços de petróleo relacionados ao fenômeno do APB (*Annular Pressure Build-up*), por meio de modelagem numérica da expansão térmica em um modelo de geometria simplificada, possibilitando a verificação analítica dos resultados.

3 PROBLEMÁTICA

Durante a perfuração de um poço de petróleo é necessário a concentração de energia, em forma de rotação e peso, aplicada à broca para promover a desagregação de diversas formações rochosas. Sendo assim, a coluna de perfuração é a responsável direta por todo este processo (THOMAS, 2001).

Essas colunas de perfuração apresentam quilômetros de extensão assim como os tubos de revestimento, necessitando de conexões para fazer a ligação entre os tubos. As conexões são utilizadas quando há a necessidade de montar e desmontar a coluna de tubos e são formadas pelo conjunto do pino e pelo acoplamento externo ou luva com a função de unir dois tubos através de suas juntas rosqueadas (COSTA, 2016).

As preocupações com a segurança das conexões é justificada pela grande responsabilidade envolvida na perfuração e exploração de poços de petróleo. De acordo com Schwind (2006) cerca de 85% a 95% de todas as falhas ocorridas nas colunas de revestimento estão relacionadas às conexões.

Dessa forma, as conexões são responsáveis por grande parte das falhas durante a perfuração do poço e, conseqüentemente, geram grandes custos em relação aos gastos com produtos tubulares. No caso de colunas de perfuração, que são usadas em aplicações de exploração de petróleo e gás, as cargas cíclicas durante a perfuração podem levar a fadiga nas conexões das colunas. Segundo Wittenberghe (2011) as conexões de tubos são os pontos mais fracos da coluna devido a rachaduras de fadiga que podem iniciar nas roscas da conexão.

De acordo com Cabral (2017) as conexões falham apenas por dois regimes de carga, pressão interna e tensão axial, onde estes são calculados de forma independente, sem interferência de um regime no outro. Além disso, esses conectores devem suportar uma variedade de condições de carregamento que, por sua vez, geram equações diferenciais complexas para serem resolvidas analiticamente.

Existem diversas conexões utilizadas em poços de petróleo, cada uma com suas próprias características e aplicações. As conexões API (*American Petroleum Institute*) são as mais utilizadas em poços de petróleo, elas são projetadas para suportar altas cargas axiais e torcionais e podem ser utilizadas em colunas de perfuração, revestimento e produção.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é modelar a conexão 7-5/8 REG, geralmente fabricada em aço carbono ou em ligas de aço de alta resistência que são capazes de suportar cargas axiais, torsionais e de flexão. Esse tipo de conexão é projetada para ser facilmente montada e desmontada durante as operações de perfuração, permitindo a troca de brocas e outros componentes da coluna de perfuração.

O termo "REG" significa "regular" e refere-se a uma rosca padrão usada em muitas aplicações de perfuração e produção de petróleo. No entanto, como todas as conexões de rosca, a conexão 7-5/8 REG também pode estar sujeita a problemas de fadiga, especialmente quando submetida a cargas repetitivas ou ciclos de tensão.

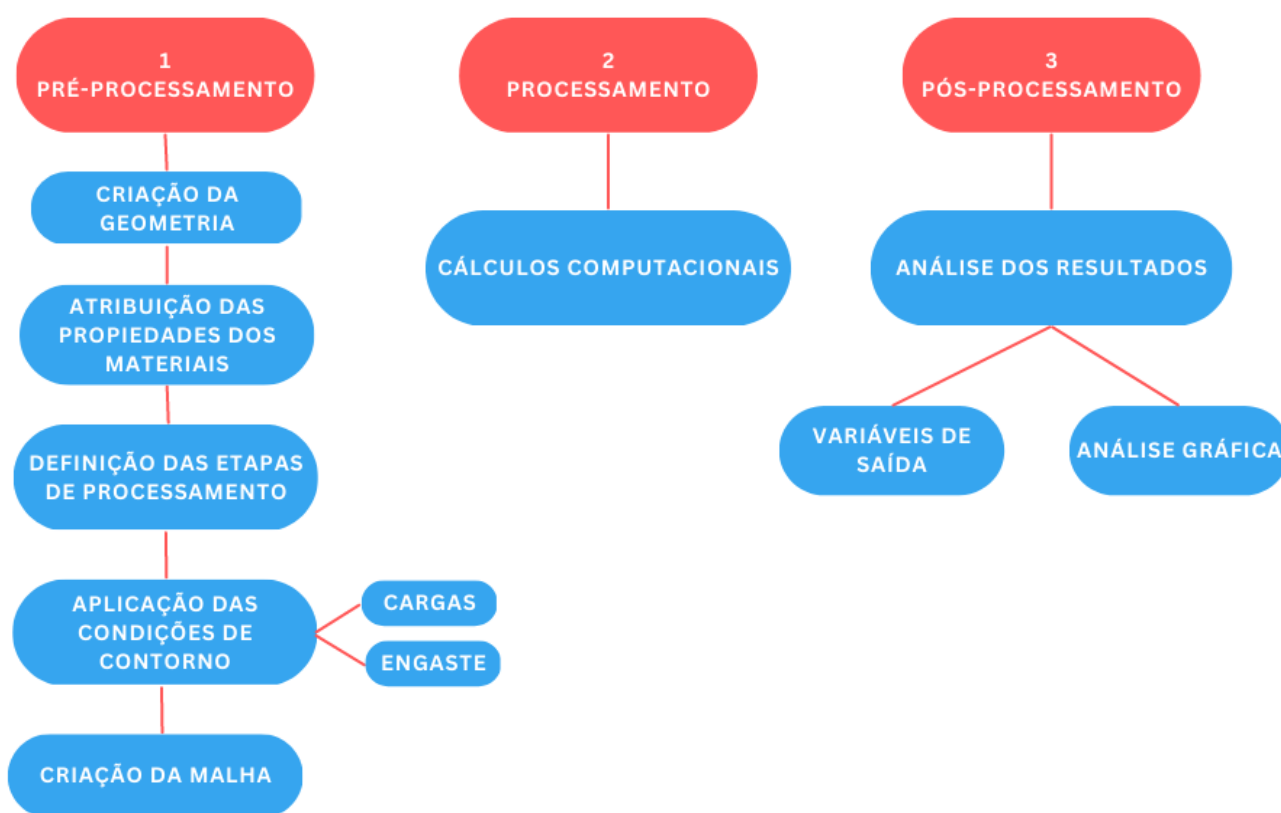
Ao utilizar a simulação computacional espera-se melhorar os projetos e desenvolver soluções para conexões submetidas a uma alta pressão interna, uma vez que, pode-se determinar o mecanismo de falha da junta roscada a partir da construção da geometria do modelo e inserção dos parâmetros relativos ao problema, como por exemplo, as cargas em que essas conexões estão submetidas.

4 METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca da produção de trabalhos acadêmicos da área de engenharia de petróleo que fizeram uso do Abaqus/CAE. A busca foi realizada nos periódicos do repositório e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFAL.

Em seguida, um desafio da área de engenharia de petróleo foi simulado no software Abaqus/CAE com a finalidade de analisar as condições de carga impostas a conectores rosqueados. A resolução do problema foi dividida em três etapas distintas (Figura 1): pré-processamento, processamento e pós-processamento.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da simulação computacional.

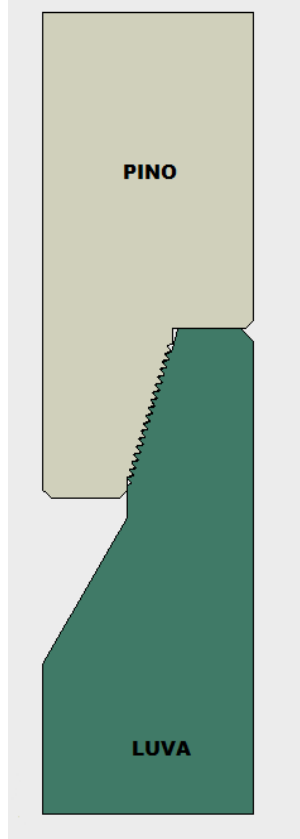


Fonte: Autores, 2023.

De forma a ilustrar esse processo de análise numérica, foi feito um estudo de uma conexão com dimensões iguais às da conexão 7-5/8 REG, listadas nas normas do Instituto Americano de Petróleo (*American Petroleum Institute - API*). Com o objetivo de reduzir o custo computacional da simulação, os modelos numéricos são construídos em duas dimensões (2D) e com simetria axial.

Em relação às propriedades do material foi atribuído para o aço um módulo elástico de Young $E = 30 \times 10^6$ psi e um coeficiente de Poisson $\nu = 0.3$. Para representar a perda de energia ao deslizar uma superfície em contato com a outra, foi utilizado um coeficiente de fricção tangencial $\mu = 0.08$. A partir disso, uma luva e um pino foram modelados de forma axissimétrica (Figura 2).

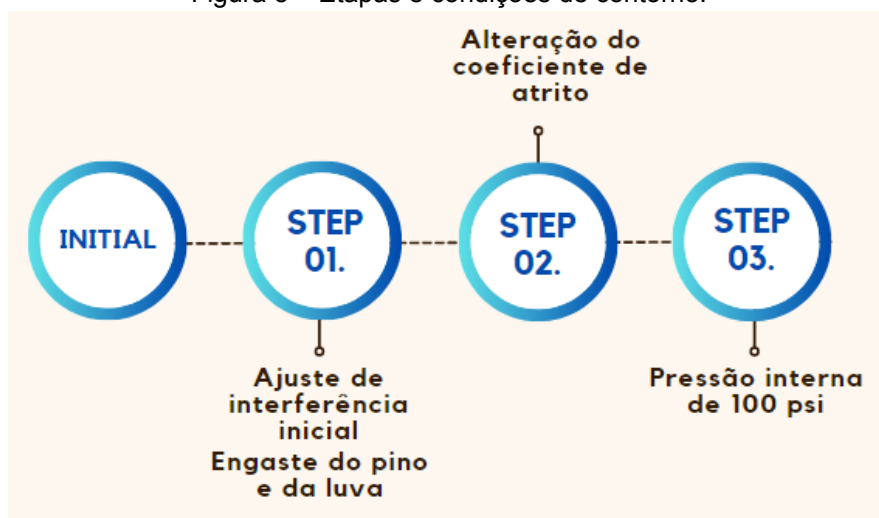
Figura 2 – Conexão acoplada.



Fonte: Autores, 2023.

As etapas de processamento foram divididas em três partes, conforme Figura 3, em que são aplicadas as condições de contorno na simulação incluindo o ajuste de interferência inicial, o contato entre as superfícies, a pressão e as restrições de movimento.

Figura 3 – Etapas e condições de contorno.



Fonte: Autores, 2023.

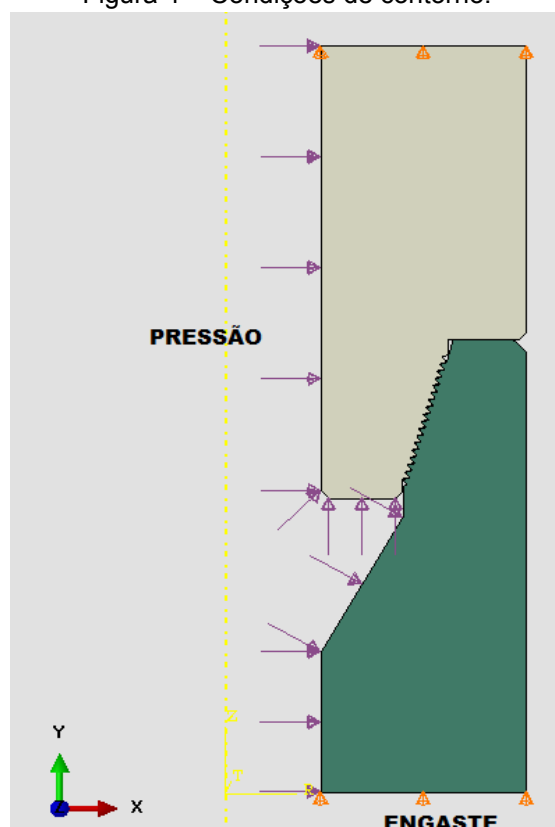
Em seguida uma malha de elementos finitos foi escolhida no Abaqus, a CAX4R. Essa malha é composta por elementos hexaédricos com redução de integração, o que significa que são realizados menos cálculos matemáticos para determinar a resposta estrutural do material.

Após criar o modelo, gerar a malha e definir as condições de contorno, o processamento da simulação é executado. Nesse passo, o Abaqus usa um algoritmo iterativo para resolver o problema de elementos finitos e obter soluções numéricas. Por fim, tem-se a etapa de pós-processamento em que os resultados são analisados a partir da visualização gráfica e das variáveis de saída.

5 RESULTADOS

Para proceder com a análise são considerados muitos fatores, a geometria da peça e todos os possíveis parâmetros que serão utilizados em sua simulação. Sendo assim, após a definição da geometria e dos parâmetros do material, foram definidas as condições de contorno apresentadas na Figura 4, como o engaste da luva com deslocamento axial zero e pressão interna de 100 psi sob condições de operação e sobrecarga.

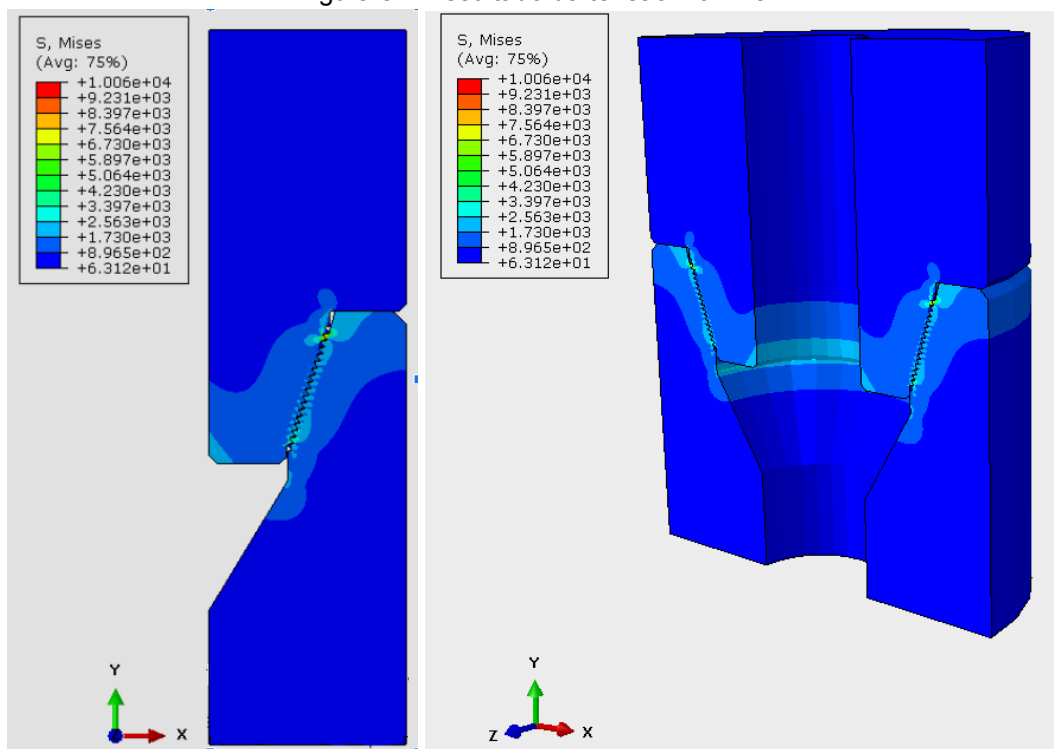
Figura 4 – Condições de contorno.



Fonte: Autores, 2023.

Após a etapa de processamento obteve-se os resultados apresentados na Figura 5, nota-se a distribuição da tensão ao longo da conexão. No Abaqus, os resultados são apresentados em uma escala de cor, onde o maior valor está sendo destacado em vermelho e o menor valor em azul.

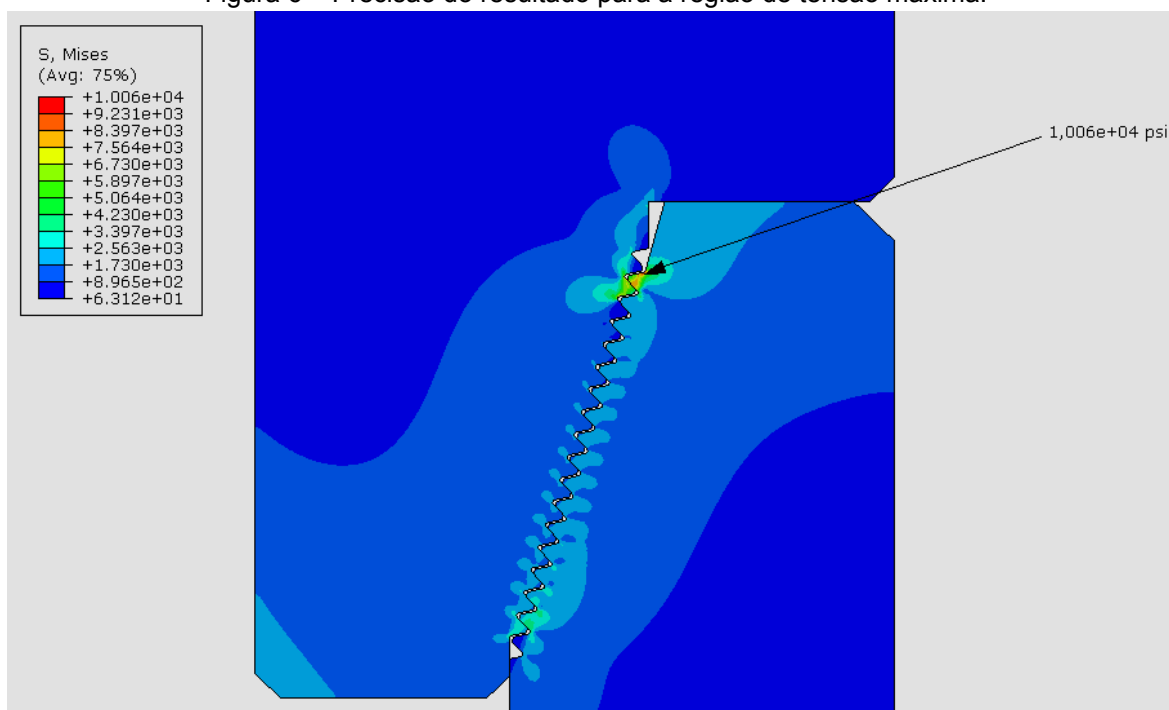
Figura 5 – Resultado da tensão máxima.



Fonte: Autores, 2023.

Na Figura 6, tem-se em destaque o primeiro filete da luva com o valor correspondente a maior tensão registrada de $1,006 \cdot 10^4 \text{ psi}$.

Figura 6 – Precisão do resultado para a região de tensão máxima.



Fonte: Autores, 2023.

6 CONCLUSÃO

O estudo realizado no *software* comercial Abaqus, aliado às condições de contorno aplicadas, proporcionou agilidade na análise e bom desempenho por aproximar o modelo virtual do real, prevendo as regiões com maior concentração de tensões na conexão, além de permitir a visualização tridimensional do problema.

Desse modo, os resultados da simulação da conexão rosqueada reforçam a viabilidade em unir o conhecimento teórico com ferramentas tecnológicas e métodos computacionais, como o CAE e o MEF. O uso dessas ferramentas no contexto de problemas reais da engenharia de petróleo possibilita a compreensão mais aprofundada dos fenômenos físicos e cria um ambiente interativo entre o estudante e o objeto a ser analisado, tornando-o parte ativa do processo de ensino e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABAQUS. **Abaqus/CAE User's Manual**. Disponível em: http://130.149.89.49:2080/v6.11/pdf_books/CAE.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

American Petroleum Institute, "Recommended Practice 7G: Drill Stem Design and Operating Limits," API Publishing Services, 1220 L Street, N.W., Washington, D.C. 20005, 2015.

American Petroleum Institute, "Specification 7: Specification for Rotary Drill Stem Elements," API Publishing Services, 1220 L Street, N.W., Washington, D.C. 20005., 2002.

CABRAL, Camila de Paula. **Performance de Conexões API em Revestimentos de Poços**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Petróleo. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

COSTA, Jeremias Christian Honorato. **Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo (Saep)**: Módulo poço. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Petróleo. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

LINS, Gleide Karolayne Melo. **Modelagem computacional do APB para previsão de esforços em revestimentos de poços de petróleo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

MIRANDA, Matheus Amancio. **Modelagem numérica da interação entre elos em um trecho de amarra**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

MIRLISENNA, G. **Método dos Elementos Finitos: o que é?** Disponível em: <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>. Acesso em: 19 abr. 2023.

RODRIGUES, Otávio Bruno de Araújo. **Estudo numérico de ensaios triaxiais aplicado à perfuração de poços em rochas salinas**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2021.

SANTOS, Gilberto Lucas Leandro dos. **Influência de estratégias numéricas de perfuração na simulação do fechamento de poços verticais no pré-sal**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2022.

SORIANO, Humberto Lima. **Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas**. Ciência Moderna, 2009.

SCHWIND, B. E. **Project Aims to Qualify Tubular Connections**. Drilling Contractor. p.60, 2006.

THOMAS, J. E. (Org.). **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 271 p.

VALENÇA, Jéssica Pontes de Vasconcelos. **Estudo paramétrico sobre vida a fadiga de dutos em vãos livres submetidos a VIV**. 2020. Dissertação - Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2020.

WITTENBERGHE, J. V. **Experimental Analysis and Modelling of the Fatigue Behavior of Threaded Pipe Connections**. Tese de PhD. Ghent University, Bélgica, 2011.

USE OF ABAQUS/CAE AS A TEACHING TOOL TO RESOLVE PROBLEMS IN PETROLEUM ENGINEERING

Abstract: *The use of Computer Aided Engineering (CAE) tools speed up the resolution of analytical problems that previously required a lot of time to be solved and detail with greater accuracy the simulation of mathematical models. In this way, numerical modeling software such as Abaqus is used, which uses the Finite Element Method (FEM) to verify the performance of mechanisms and, when combined with CAE, allows graphical visualization of the problem. In this context, the present work aims to present the resolution of a real engineering problem, based on the modeling of a connection used in oil drilling pipes and, for this, the Abaqus/CAE software was used. A bibliographic research on the use of the software in the context of well drilling was carried out, providing inputs for the construction of the adopted methodology. The results of the analysis showed how the application of computer simulation is essential to promote didactic teaching of the fundamentals of the FEM, in addition to motivating undergraduate students.*

Keywords: *Computer simulation, Finite Element Method, CAE.*