

Geração de Malha de Elementos Finitos Baseado em Dados de CT SCAN

Palavras-Chave: CT SCAN, Método dos Elementos Finitos, Geração de Malha

Autores:

Yan de Miranda Zimmermann Lobo, FECFAU – UNICAMP

Prof. Dr. Philippe Remy Bernard Devloo (orientador), FECFAU - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A tecnologia de tomografia computadorizada (CT Scan), utilizada inicialmente no setor de saúde (PETRIK et al., 2006), possui novos propósitos variados no campo da engenharia, voltada sobretudo para o estudo de materiais, por exemplo na análise de ruptura do concreto (LEI; HAN; DANG, 2018) ou partículas do solo (WANG et al., 2023). Este trabalho tem como foco as aplicações do CT Scan na indústria petrolífera, em que é necessário simular e analisar o escoamento em meios porosos.

Uma vez que a exploração de petróleo ocorre em solos de composição heterogênea, com índices de porosidade dispersos e fraturas irregulares e geometricamente complexas (SONG; LIU; CUI, 2017), a transformação de dados em modelos tridimensionais onde há a possibilidade de visualizar seus padrões de permeabilidade e seus valores médios (IRAJI et al., 2023) torna-se vantajosa.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo a criação de um programa computacional capaz de converter resultados extraídos de um CT Scan em uma malha de elementos finitos, para ser utilizada em problemas acoplados do tipo Stokes-Darcy (DURAN et al., 2019). Para tal, será utilizada uma metodologia similar à apresentada em Niu et al. (2014) para o reconhecimento da imagem e criação da malha, adaptando para tratar materiais heterogêneos, além de serem feitas simulações com a biblioteca NeoPZ (DEVLOO, 1997).

METODOLOGIA:

Inicialmente, a pesquisa teve como foco apenas a aplicação em imagens planas, que podem ser oriundas de cortes de um CT Scan, por exemplo. Portanto, para o reconhecimento computacional da imagem, utilizou-se a biblioteca *open source OpenCV* e sua interface com a linguagem de programação *Python*.

Para a identificação das formas presentes na imagem, utilizou-se uma função da biblioteca que reconhece o contorno das figuras, retornando os principais pontos que o compõem. Entretanto, vale ressaltar que é possível aplicar filtros na imagem antes de utilizar essa função, melhorando sua performance.

Desse modo, o programa disponibiliza algumas funções que atuam no pré-processamento da imagem, como o detector de bordas criado por John F. Canny (CANNY, 1986), a aplicação de uma máscara que delimita melhor as formas, a remoção de um elemento erodido, que diminui seu tamanho e realça o contorno ou a transformação da imagem para uma escala de cinza. Vale ressaltar que é possível utilizar uma imagem já pré-processada, e que os contornos duplicados, que podem ser causados por diversos motivos, tem sua cópia removida pelo programa.

Com os pontos retornados, é possível utilizar a integração do *Gmsh* com o *Python* para a criação da malha, uma vez que esse é um *software open source* especializado em criação de malhas para o método dos elementos finitos. Entretanto, são retornados muitos pontos, gerando uma malha muito fina e necessitando de elevado poder computacional para obter uma solução.

Portanto, buscou-se um algoritmo capaz de reduzir a quantidade de pontos sem alterar excessivamente a geometria do contorno. Inicialmente testou-se um algoritmo que testa remover um ponto e calcular a área após essa remoção, e remove o ponto de menor influência, até a área atual ser uma fração definida pelo usuário da área total. Entretanto, este algoritmo requer muitas iterações, prejudicando o tempo de execução.

Desse modo, faz-se necessário o uso de um algoritmo recursivo, que possui menor complexidade computacional. A alternativa adotada foi o algoritmo Ramer-Douglas-Peucker (DOUGLAS; PEUCKER, 1973), que reduz uma curva segmentada em uma similar, mas com um número menor de pontos.

Como esse algoritmo foi idealizado para polilinhas, algumas alterações foram feitas para adequá-lo a um contorno fechado, como uniformizar o ponto de início, sendo adotado como o ponto de maior coordenada cartesiana do eixo no qual a figura é maior e aplicá-lo duas vezes, para possivelmente remover um dos pontos iniciais, uma vez que o algoritmo não interfere no ponto inicial e final.

Com um número de pontos compatível para a geração da malha, o programa define os pontos, linhas, curvas e superfícies de cada forma identificada na imagem original utilizando o *Gmsh*. Além disso, uma delimitação retangular do tamanho da imagem também foi adicionada, de modo a simular os vazios do material sendo analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

As figuras abaixo mostram os pontos do contorno reconhecidos pelo programa e a malha gerada pelo *Gmsh* para duas imagens, uma feita pelo autor, a fim de testar o programa ao longo do desenvolvimento e a outra é uma seção de uma rocha presente em um reservatório de petróleo.

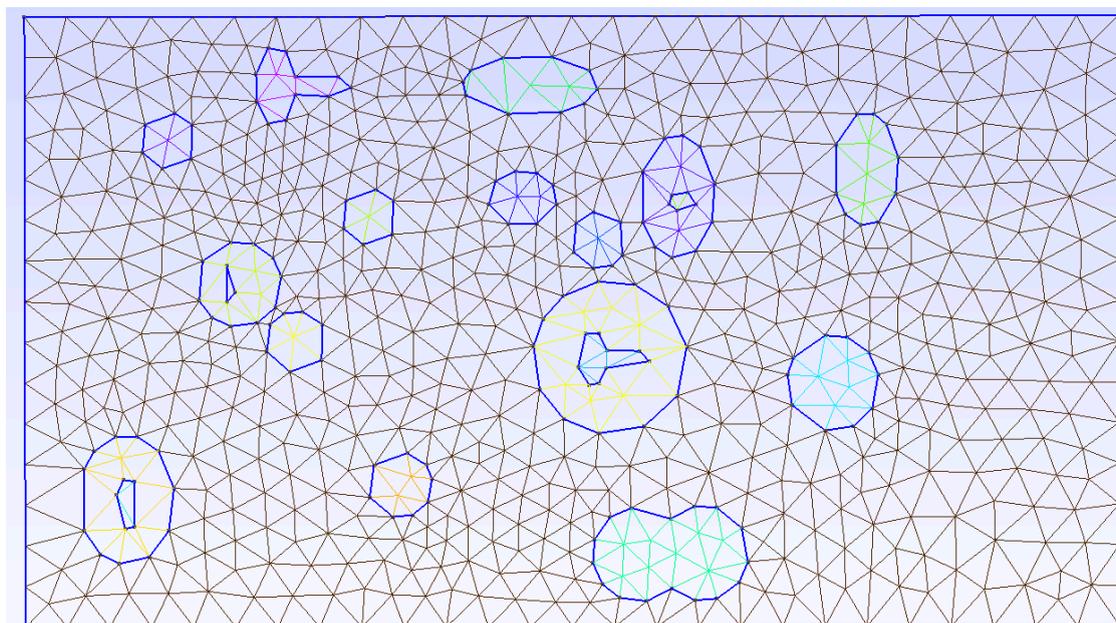
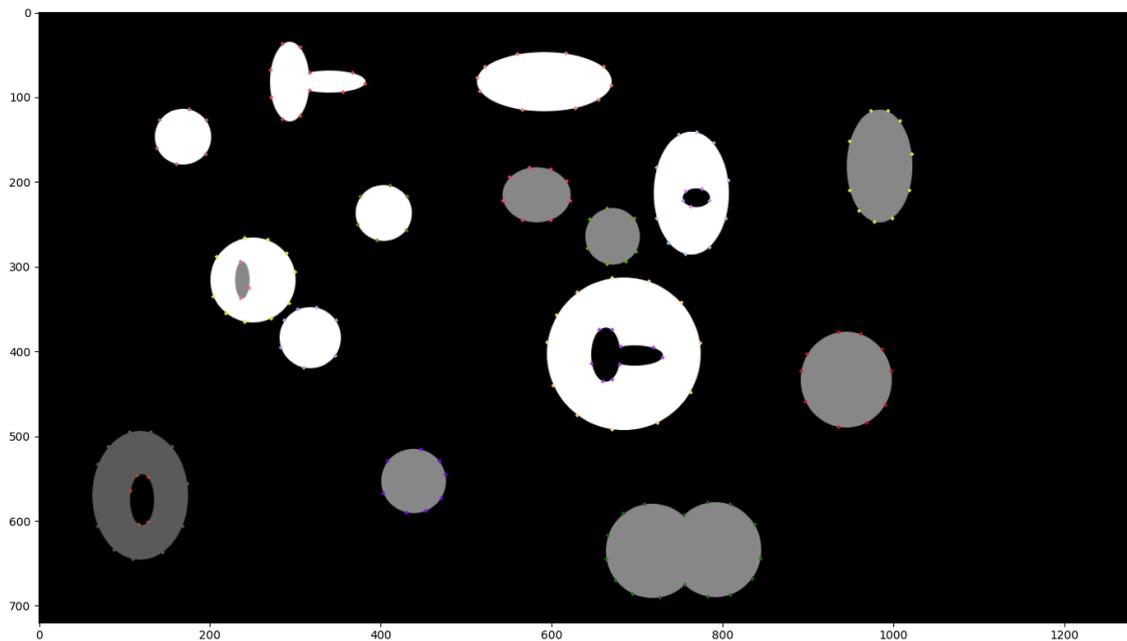


Figura 1: Imagem fictícia de um meio poroso.

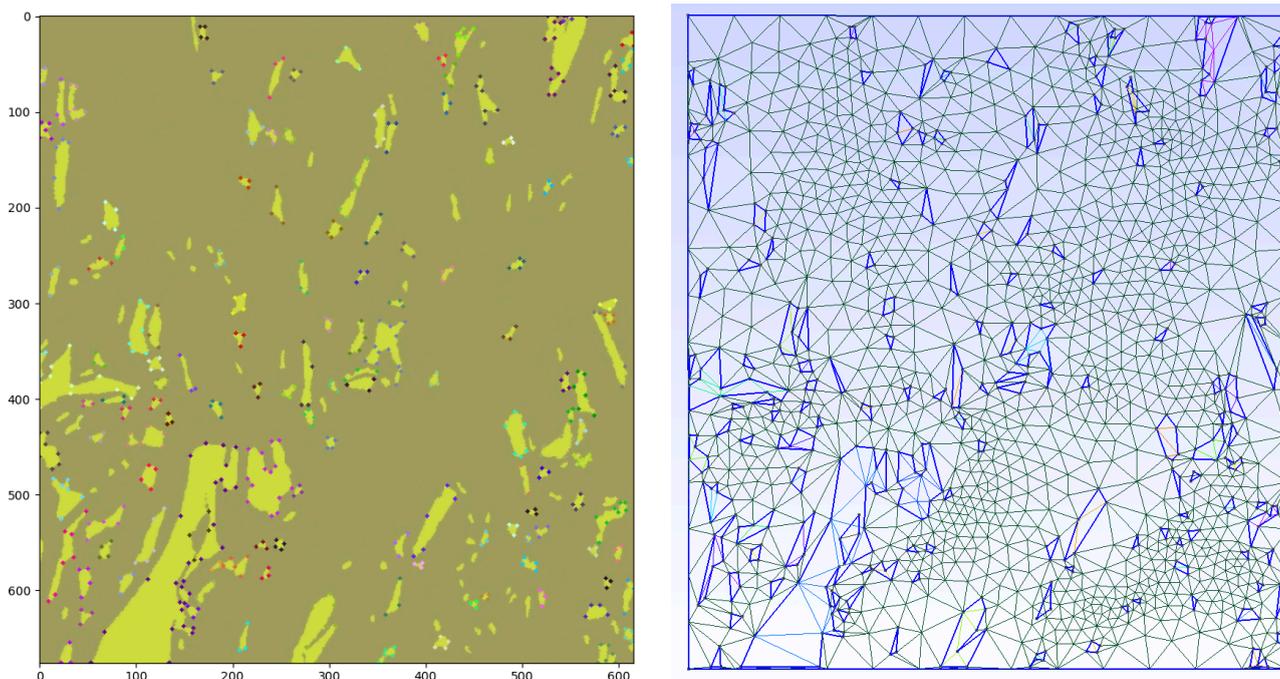


Figura 2: Seção de uma rocha sedimentar

Desse modo, percebe-se que o programa é capaz de gerar malhas para a simulação de elementos finitos. Entretanto, ainda é necessário realizar as simulações com o NeoPZ para validar a etapa de geração de malha, sendo a próxima atividade a ser realizada, em conjunto com o estudo da progressão do programa para reconhecer imagens volumétricas.

BIBLIOGRAFIA

- CANNY, John. A Computational Approach To Edge Detection, **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 8(6), p. 679–698, 1986.
- DEVLOO, Philippe Remy Bernard. PZ: An object oriented environment for scientific programming. **Computer methods in applied mechanics and engineering**, Elsevier, v. 150, n. 1-4, p. 133-153, 1997.
- DOUGLAS, David H; PEUCKER, Thomas K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 10, p.112-122, 1973.
- DURAN, Omar et al. A multiscale hybrid method for Darcy's problems using mixed finite element local solvers. **Computer methods in applied mechanics and engineering**. Elsevier, v. 354, p. 213-244, 2019.
- IRAJI, Shohreh et al. Core scale investigation of fluid flow in the heterogeneous porous media based on X-ray computed tomography images: Upscaling and history matching approaches. **Geoenergy Science and Engineering**, Elsevier, v. 225, p. 211716, 2023.

LEI, Guangyu; HAN, Jichang; DANG, Faning. Using X-Ray CT Scanning to Study the Failure Mechanism of Concrete under Static and Dynamic Loadings. **Advances in Materials Science and Engineering**, p. 1-9, 2018.

NIU, Zhenyu et al. Mesh generation of porous metals from X-ray computed tomography volume data. **Journal of Mechanical Science and Technology** . Springer, v. 28, p. 2445-2451,2014.

PETRIK, Vladimir et al. Godfrey Hounsfield and the dawn of computed tomography. **Neurosurgery**. v. 58(4), p. 780-787, 2006.

SONG, Rui; LIU, Jianjun; CUI, Mengmeng. A new method to reconstruct structured mesh model from micro-computed tomography images of porous media and its application. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. Elsevier, v. 109, p. 705-715, 2017.

WANG, Yu et al. A coupled FEM-DEM study on mechanical behaviors of granular soils considering particle breakage. **Computers and Geotechnics**, v. 106, p. 105529, 2023.