

ELABORAÇÃO DE MALHAS TRIDIMENSIONAIS PARA APLICAÇÃO DE MÉTODOS NUMÉRICOS¹

Vanessa Faoro², Márcia Brondani³, Rodolfo França De Lima⁴, Manuel Osório Binelo⁵, Franciele Taís Fridhein⁶, Oleg Khatchatourian⁷.

¹ Trabalho de uma das etapas da dissertação, da mestra Vanessa Faoro, do Mestrado em Modelagem Matemática;

² Ex-aluna do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, vanefaoro@yahoo.com.br

³ Bolsista CAPES, aluna do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, marciabrondani@yahoo.com.br

⁴ Ex-aluno do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, rodolfofrancadelima@hotmail.com

⁵ Professor Doutor do curso do Mestrado em Modelagem Matemática –UNIJUI, manuel.binelo@gmail.com

⁶ Engenheira civil, da UNIJUI

⁷ Professor Doutor do curso do Mestrado em Modelagem Matemática –UNIJUI, olegkha@unijui.edu.br

Introdução

No campo de pesquisa, existem muitas aplicações que são tipicamente bidimensionais, tais como mapas, gráficos, processamento de imagens, dentre outros. No entanto, nosso mundo é tridimensional (3D) e visualização de modelos também tridimensionais permite uma análise mais eficiente seja na arquitetura, indústria, simulação, animação, entre outros. A modelagem 3D conta com uma enorme variedade de ferramentas genéricas, permitindo uma análise de estudo mais abrangente, através da criação de uma malha de segmentos que dão forma ao objeto, (BATISTA, 2005).

A modelagem tridimensional de um sólido é o processo de desenvolvimento da representação matemática de uma superfície 3D a ser estudado. Neste processo é discretizado o contorno do sólido (vértices, arestas e faces) gerando uma malha geométrica com informações do objeto de estudo.

As malhas geométricas são poderosas aliadas na modelagem de objetos 3D, sendo possível aproximar qualquer superfície ou volume de um objeto real. Um software utilizado para a construção de geometrias e malhas 3D é o TetGen, criado por Hang Si Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, em Berlin, Alemanha. O TetGen além de gerar geometria e malha, também subdivide-as em tetraedros utilizando algoritmos Delaunay, onde maximiza o menor ângulo de todo triângulo, evitando triângulos com ângulos muito pequenos. Esta subdivisão consiste no aumento da qualidade da malha tetraédrica. (SI H., 2006).

Ao estudar problemas envolvendo geometrias complexas, faz-se necessária a utilização de métodos numéricos (GHEDIN, 2010). O TetGen é um poderoso aliado em modelos matemáticos, pois seu refinamento e discretização da geometria e malha são adequados para realizar a implementação de métodos numéricos, tais como, o Método dos Elementos Finitos (MEF) e o Método dos Volumes

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

Finitos, em 3D. O MEF é uma ferramenta numérica poderosa para resolver Equações Diferenciais Parciais, usado em sistemas mais complexos envolvendo geometrias e condições de contorno mais sofisticadas.

Momente e Machado realizaram simulações com problemas em eletrohidrodinâmica, no qual utilizaram malhas tetraédricas criadas no TetGen, para a aplicação do MEF, no qual apresentou-se como uma alternativa confiável e robusta para simulação em um domínio tridimensional.

Devilla et al. (2005), argumenta que o MEF pode ser utilizada como uma ferramenta importante na determinação da distribuição do ar em silos providos de sistema de aeração, dotados de dutos. Abrange um problema da agricultura brasileira, no qual a otimização do sistema de aeração, é muito importante para que o Brasil se mantenha no mercado interno, atendendo com flexibilidade e velocidade às exigências da demanda do mercado.

Por essas e outras razões, este trabalho tem como objetivo contribuir para que o leitor aprenda a criar geometrias e malhas tetraédricas, sendo capaz de modelar um objeto de estudo proposto e sua discretização 3D, para aplicação de métodos numéricos e suas supostas simulações.

Metodologia

O TetGen é um programa independente, executado diretamente na Prompt de Comando (cmd), atua com diferentes arquivos de entrada criados no acessório Notepad (Bloco de Notas). Parâmetros são usados para controlar o comportamento de TetGen e para especificar a saída arquivos. Em correspondência com as diferentes opções, o TetGen gerará a qualidade conforme malha (Delaunay), seu download pode ser feito através do site: <http://wias-berlin.de/software/tetgen/>.

Neste trabalho foram utilizados os parâmetros de condições de fronteira (usados para diferenciar materiais da geometria), também foi empregado o parâmetro $-p$ no qual gerou uma malha tetraédrica em complexo linear com qualidade. Como também o parâmetro $-a$, com o intuito de refinar a malha tetraédrica.

Os arquivos foram criados no acessório Notepad, contendo uma lista de pontos tridimensionais, seguindo as regras das coordenadas (x, y, z), juntamente com seus respectivos índices de contagem e atributo de fronteira. Em sua primeira linha contem quatro informações da geometria criada, sendo que o primeiro elemento é o número de vértices, o segundo elemento é a quantidade de pontos e os outros dois últimos pontos são atributos de fronteiras, usados para identificar algum comando utilizado.

Foram construídas quatro malhas tridimensionais no TetGen: sendo a primeira, um cubo de dimensão 1x1; a segunda uma casa (da mesma dimensão do cubo, em telhado em forma de V); a terceira um armazém graneleiros horizontal; e a quarta um armazém graneleiro horizontal com as reais características de um sistema real de armazenagem de grãos da Cooperativa Tríticola Santa Rosa.

Para a visualização gráfica do sólido, foi utilizado o TetView, que consiste em um pequeno programa gráfico para visualização de malhas tetraédricas, com a finalidade de analisar os arquivos de entrada e saída do TetGen. O TetView exibe informações como contorno e materiais, permitido

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

o usuário manipular a geometria, estando disponível gratuitamente em <http://tetgen.berlios.de/tetview>.

Resultados e discussão

O primeiro resultado obtido no TetGen, foi a construção de um cubo 3D (Figura 01, b), um sólido com pontos das coordenadas simples de analisar, mas com o intuito de manejar o software. A primeira etapa para a construção do cubo no Notepad, foi definir pontos para as coordenadas, salvo como cubo.node (Figura 01, a).

Em decorrência, após chamar o comando TetGen com o respectivo nome do arquivo criado, temos como resultado, na própria página do cmd, a quantidade exata de pontos, tetraedros e faces, do cubo criado. De forma mecânica, o software cria três arquivos, contendo as características da geometria, referente a nodos (nó), elementos (tetraedros) e faces, salvos respectivamente, como: cubo.1.node;cubo.1.ele;cubo.1.face. Logo é obtido informações úteis da geometria com precisão, podendo ser implementado em métodos numéricos.

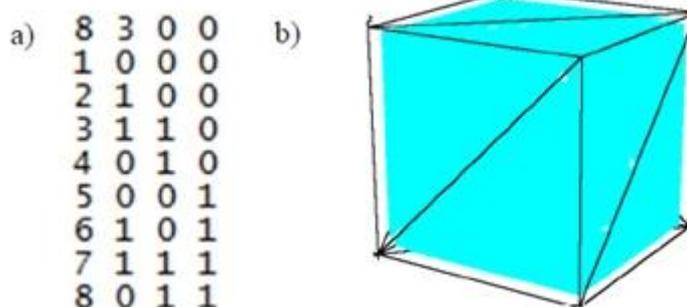


Figura 01: Malha da primeira superfície.

O segundo resultado, em formato de uma casa de mesmas dimensões do cubo, porém com um telhado em formato de V. Nessa geometria, foi acrescentado condição de fronteira no telhado (diferenciando parede e telhado). Para alcançar o novo resultado, foi criado um novo arquivo, chamado de casa.smesh, que possui as coordenadas e as condições “0 ou 1”,(Figura 02) nas faces que foram definidas para serem respectivamente parede e telhado.

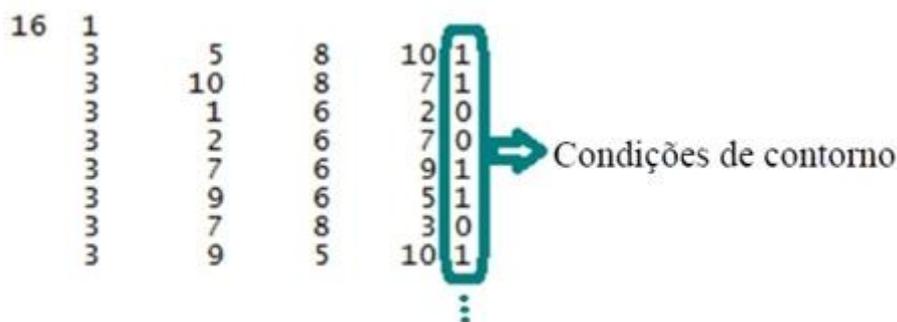


Figura 02: Condições de contorno.

Em sua visualização a parede e o telhado são de cores distintas, permitindo colocar quantas condições de contorno forem necessárias. Podendo ser aplicado em pesquisas que envolvem uma fonte interna (entrada e saída de ar, calor, etc).

Além das condições do contorno atribuídas, na segunda malha tridimensional criada, também foi utilizado o comando (-p) que implica em gerar malhas tetraédricas em complexo linear com qualidade. No primeiro momento sua malha possuía 9 tetraedros e 16 faces, após a utilização do comando -p, a malha passou a ter 26 tetraedros e 68 faces (Figura 03). Para a aplicação de um método numérico por exemplo o método dos elementos finitos, malha com qualidade, resulta na melhor precisão do resultado.

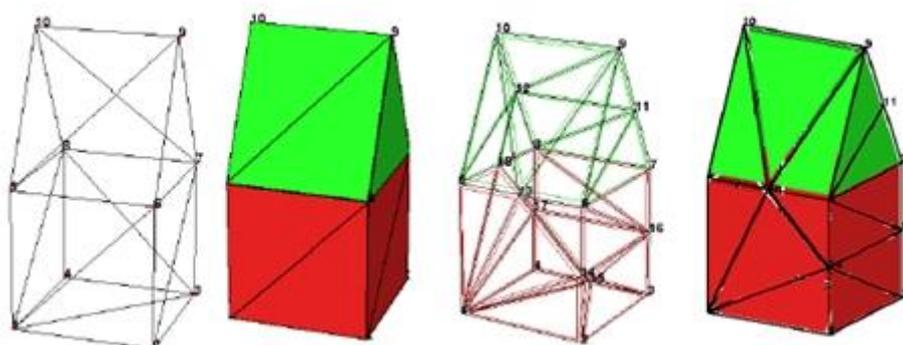


Figura 03: Malha da segunda superfície.

No terceiro resultado é apresentada a construção da terceira geometria, que consiste em um armazém graneleiros horizontal. É uma geometria mais ampla, que consiste na coleta de dados com mais pontos de coordenadas. Nesta construção, foram acrescentadas condições de contorno,

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

definindo parede e teto, como também malhas tetraédricas em complexo linear com qualidade (método da construção da segunda geometria).

O diferencial da construção da terceira malha tridimensional foi a aplicação de um comando para o refinamento da malha, utilizando o comando $-a$ (coeficiente de refinamento), que serve como uma restrição do volume máximo de tetraedros, impondo uma restrição de volume fixo, é útil para a refinação de um elemento finito. É importante observar que através do refinamento da malha com coeficiente 100, o armazém passou de 259 tetraedro (Figura 04, a), para 3.662 tetraedros (Figura 04, b). Já com coeficiente de refinamento 5, passou para 19193 tetraedros (Figura 04, c). Ou seja, quanto menor o número do coeficiente agregado no software, maior é o seu refinamento, resultando uma malha refinada com um número de tetraedros no qual desejamos.

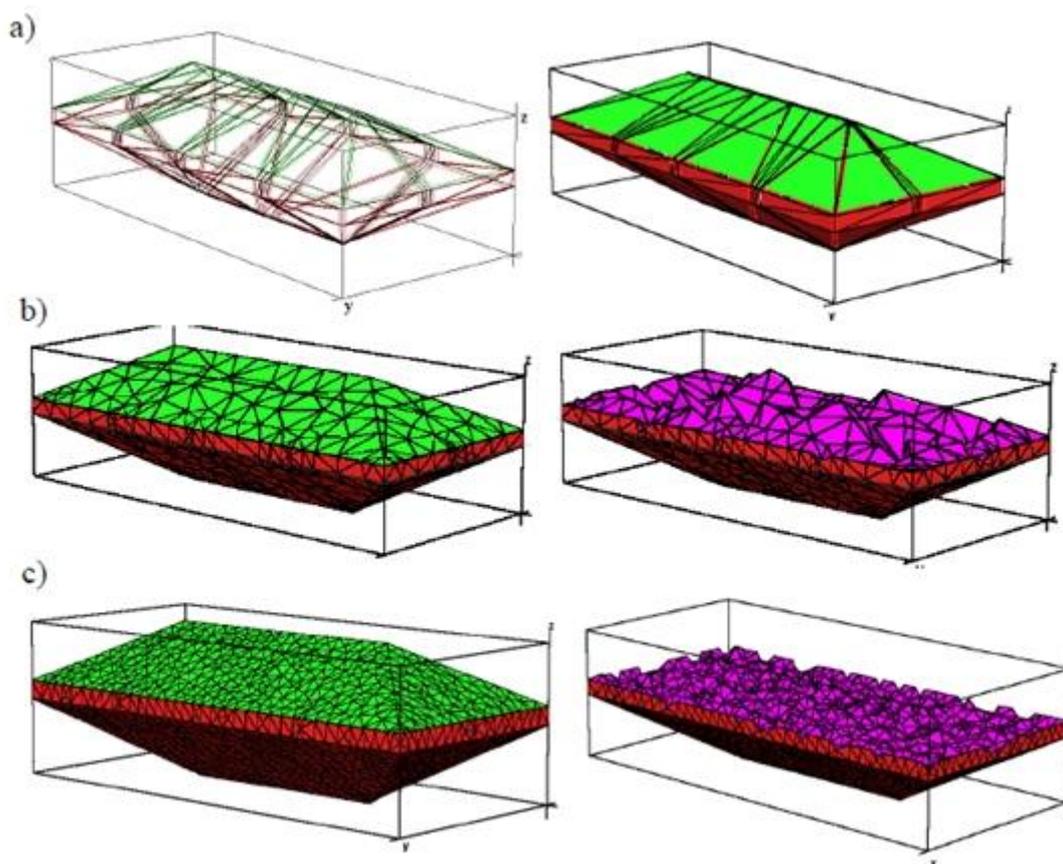


Figura 04: Malha da terceira superfície.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

O quarto e último sólido construído foi um sistema real de armazenagem de grãos. O armazém graneleiro investigado foi discretizado, conforme a Figura 05, em 31.866 nós e 125.530 tetraedros. A criação da malha tetraédrica provém das reais características da armazenagem de grãos da cooperativa Cotrirosa, do mês de Setembro de 2013, a discretização desta malha, foi utilizada em uma das etapas da dissertação do Mestrado em Modelagem Matemática, com o intuito de analisar a simulação tridimensional do fluxo de ar em armazéns graneleiros, através do MEF.

Sendo um sistema real, a Figura 05, ilustra a não uniformidade da massa de grão (cor verde), e as condições de contorno das paredes do armazém (cor vermelha), definidas na etapa das condições de contorno. Nesta malha tetraédrica também foram criadas as devidas condições das entradas de ar, segundo o sistema real analisado. A Figura 05, b mostra as condições de contorno criadas, a cor em azul representa o sistema de aeração da entrada de ar central, já a cor amarela, representa a entrada de ar lateral. Criaram-se condições de contorno diferentes para ambas as entradas, devido ao valor da pressão do ar ser diferente em cada entrada.

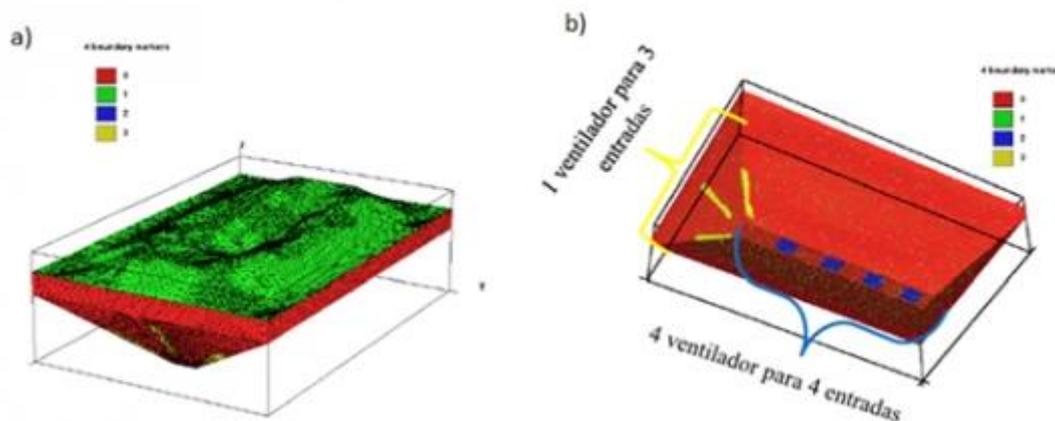


Figura 05: Malha da quarta superfície.

O tratamento da geometria e geração de malha para MEF permite encontrar uma solução numérica de um problema, (KRINDGES e MEYER, 2012). Uma boa discretização de um objeto de estudo, nos possibilita informação com qualidade, que influencia em determinados campos de pesquisas na modelagem matemática tridimensional, através da aplicação de métodos numéricos.

Os resultados, foram possíveis visualizar através do programa TetView, analisando e demonstrando as características da geometria criada, usufruindo o uso do manejo do sólido. É importante destacar, que os resultados das malhas construídas já estão, segundo as normas da triangularização de Delauney, no qual as informações dos arquivos gerados são adequadas para a implementação do método numérico dos MEF.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa

Conclusões

O TetGen mostrou um ótimo desempenho e estabilidade, e apesar de não possuir interface gráfica é possível visualizar as malhas geradas através do programa TetView do mesmo autor. Os resultados obtidos podem ser utilizados na modelagem matemática em métodos e simulações numéricas com condições de contorno mais complexas, com aplicações científicas e de engenharia. TetGen é um software regularmente atualizado e está sob uma licença do tipo MIT modificada. As restrições são de que o sistema seja utilizado apenas para fins de pesquisa, para utilização comercial, sendo necessário entrar em contato com o autor.

Palavras-Chaves: TetGen; Discretização; 3D; Simulação;

Agradecimentos

Agradecemos a UNIJUI pelas bolsas disponibilizadas. Ao professor Oleg Khatchaturian e ao professor Manuel Binelo, por ter nos proporcionado momento de pesquisa e aprendizagem.

Referências Bibliográficas

DEVILLA, I. A.; COUTO, S. M.; QUEIROZ. Airflow distribution in aerated silos: finite element analysis. Rev. bras. Eng. Agrícola. Ambiente. Vol.9, Campina Grande Apr./June 2005.

GHEDIN, F; Um ambiente para o desenvolvimento de aplicativos para simulação numérica baseado em software livre. Tese de doutorado da Universidade Regional de Blumenau, Blumenau/SC, 2010.

KHATCHATOURIAN, O. A; BINELO, M.O.Simulation of three-dimensional airflow in grain storage bins. Biosystems Engineering, p. 225-238, 2008.

KRINDGES, A; MEYER, J. F. C. A. Tratamento da geometria e geração de malha com Gmsh para elementos finitos. XXXIV Congresso Nacional de Matemática aplicada e computacional, Águas de Lindóia/SP, 2012.

MOMENTE, J. C.; MACHADO, J. M. Simulação de problemas de eletrohidrodinâmica usando o Método dos Elementos Finitos. Rev. Interciência e Sociedade – Coleção online. Vol.2, n1.

SI H. TetGen-A Quality Tetrahedral Mesh Generator and Three-Dimensional Delaunay Triangulator. January 18, 2006, Version 1.4

VICENTE, E. F. B; Geração de Malhas não estruturadas tetraédricas utilizando um método de avanço de fronteira. Tese de doutorado da Universidade Regional do Rio de Janeiro/RJ, 2005.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XIX Jornada de Pesquisa