

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

SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE AERAÇÃO EM UM ARMAZÉM GRANELEIRO HORIZONTAL¹

Vanessa Faoro², Oleg Khatchatourian³, Manuel Osório Binelo⁴, Rodolfo França De Lima⁵.

¹ Trabalho de uma das etapas da dissertação em Modelagem Matemática;

² Aluna do Curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

³ Professor Doutor do Curso em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

⁴ Professor Doutor do Curso em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

⁵ Aluno do Curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.

Introdução

Devido ao clima quente e úmido no Brasil, a armazenagem de grãos ao longo prazo só é possível com o uso de sistemas de aeração. A fim de compensar a deficiência de capacidade de armazenamento no país, a construção e exploração de grandes armazéns horizontais atinge dimensões adotadas amplamente significativas, tornando difícil e as vezes impossível a aeração no armazém graneleiro. Durante o tempo de armazenamento, a quantidade do produto armazenado não é constante (parte da massa de grãos pode ser extraído ou adicionado), que altera as condições de fluxo de ar.

Além disso, há presença da não homogeneidade da massa de grãos, devido à compactação e anisotropia da forma esférica das sementes, torna o problema da distribuição do fluxo de ar no armazenamento mais difícil. Sistema de aeração ineficiente pode causar problemas como migração de umidade de grãos, superaquecimento de grãos devido à atividade biológica, e a proliferação de fungos e insetos conforme Weber (2005).

Existem vários fatores que afetam a distribuição do fluxo de ar em armazéns graneleiros, por exemplo, o método de enchimento, a profundidade da massa de grãos, a morfologia dos grãos, velocidade dos ventiladores acionados, etc. Em obras de Khatchatourian; Oliveira (2006); Shedd (1953), e Weber (2005) o fluxo de ar através da massa de grãos sob a influência de algumas destas características foram estudadas. Em grandes armazéns, a não homogeneidade foi estudada por Khatchatourian; Binelo (2008) e anisotropia da massa de grãos por Hood (1992).

Os principais objetivos do presente trabalho foram: a) contribuição da implementação do modelo matemático e software para calcular a pressão estática da distribuição do fluxo de ar em 3D, com condições não homogêneas e anisotrópicas; b) realizar simulações numéricas 3D do fluxo de ar de um sistema real de armazenagem de grãos horizontal; c) detectar áreas de risco operacional.

Metodologia

O objeto de estudo deste trabalho é um sistema real de armazenagem de grãos de propriedade da Cooperativa Cotrirosa, localizada na cidade de Santa Rosa, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O armazém possui estrutura fundo V, com 60 metros de comprimento, 40 metros de largura e 10 metros de profundidade. Existem dois sistemas de entrada de ar: a) aeração central, b) aeração lateral.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Para simular o fluxo de ar tridimensional em meio particulado, foi utilizado o modelo matemático descrito por Khatchatourian; Toniazzo; Gortyshov (2009), definido pela expressão:

$$\text{grad}P = aV + b |V| V \quad (1)$$

onde V é o vetor velocidade em $m s^{-1}$; P é o gradiente de pressão em Pa ; a e b são constantes que dependem do tipo de grão.

Como resultado a equação diferencial parcial não-linear para a pressão tem a forma:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-K_z \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

onde K_x , K_y e K_z em $m^3 kg^{-1} s$, são os coeficientes de permeabilidade nas principais direções.

Para avaliar a aeração foi utilizado o critério criado por Khatchatourian; Bino (2008), chamado de vazão específica local, permitindo avaliar a qualidade da aeração em qualquer ponto do produto.

Para a implementação do modelo matemático o Método dos Elementos Finitos (SEGERLIND, 1976) foi usado para resolver a Equação 2. O software, desenvolvido em ANSI C ++ e Pascal, usa ferramentas de software livre sempre que possível.

Resultados e Discussões

Foi possível simular o fluxo de ar, de acordo com as características do sistema real de armazenagem. Os coeficientes apresentados no modelo matemático foram obtidos experimentalmente para a soja. Todavia, o modelo matemático pode ser adequado para vários tipos de grãos como milho, arroz e trigo.

O armazém graneleiro investigado foi discretizado, em 31.866 nós e 125.530 tetraedros. A Figura 1, nos mostra a não uniformidade da massa de grão (cor verde), condições de contorno nas paredes do armazém (cor vermelha), condições de contorno, aeração central (cor azul), condições de contorno, aeração lateral (cor amarela).

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

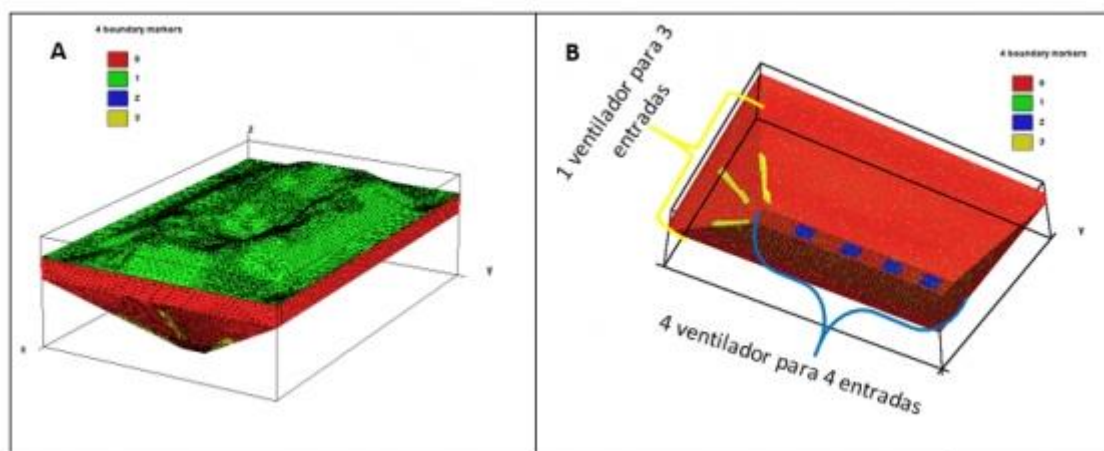


Figura 1 - Malha tetraédrica para análise pelo Método dos Elementos Finitos

Após a execução do programa, foi obtido como resultado (Figura 2) a simulação do fluxo de ar em armazém graneleiro de um sistema real onde a pressão é dada em Pascal (Pa). Verifica-se a instalação dos dutos centrais e laterais, que ajudam a equalizar o fluxo de ar na massa de grão. Através da análise da distribuição do ar, a simulação mostra que para o sistema de entrada de ar escolhido, existem os domínios tanto com baixo nível de aeração (azul escuro) como com alto nível (vermelho). Isso indica que poderia haver um sistema de aeração mais abrangente nas laterais do armazém, para não ocorrer aeração ineficiente nesses domínios.

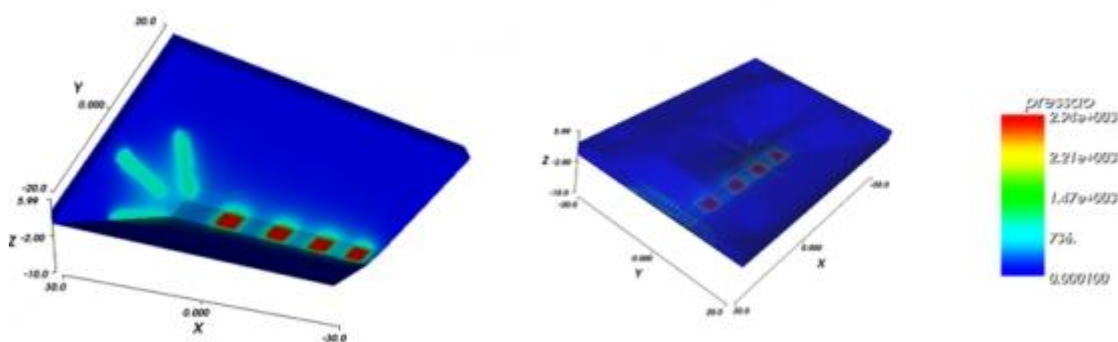


Figura 2 - Simulação do fluxo de ar do sistema real de armazenagem investigado (pressão em Pa)

As linhas de fluxo ilustram o trajeto percorrido do fluxo de ar no armazém graneleiro, as superfícies isobáricas apresentam uma ideia da distribuição espacial da pressão de ar. A Figura 3 mostra as superfícies isobáricas e linhas de fluxo na lateral do armazém em diferentes camadas da pressão do ar. Foram obtidas 11 secções de fluxo na lateral do armazém, com 5 metros de distância cada, percebe-se que a trajetória do ar no meio poroso se dá quando o ar se desloca de montante (nível mais alto de pressão) para jusante (nível mais baixo de pressão).

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

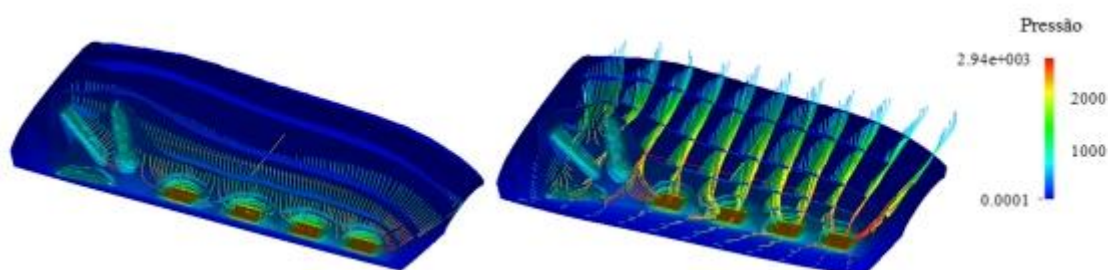


Figura 3 - Superfícies isobáricas e linhas de corrente em seção do armazém

O estudo da pressão é uma informação importante para análise da eficiência da aeração, como também a vazão específica local do ar. Zonas de armazenamento onde o fluxo de ar percorre uma grande camada do produto precisam maior pressão e velocidade do ar, já regiões onde o fluxo de ar percorre uma camada menor do produto não precisam de muita pressão, pois pode provocar secagem excessiva do produto.

Khatchatourian; Binelo, (2008), avaliaram a eficiência do sistema de aeração feita separadamente no armazenamento de grãos. As simulações indicam uma vantagem significativa quando a aeração é feita em turnos separados, para cada entrada, em comparação com o uso simultâneo de várias entradas.

Na Figura 4, no entanto, mostra a imagem da vazão específica local do ar na massa de grãos, em um corte na seção vertical central, em direção ao eixo x. Percebe-se que a massa central de grãos, possui um grande volume do escoamento do ar transportado em um intervalo de tempo, devido à menor resistência oferecida pela massa de grãos nesta direção.

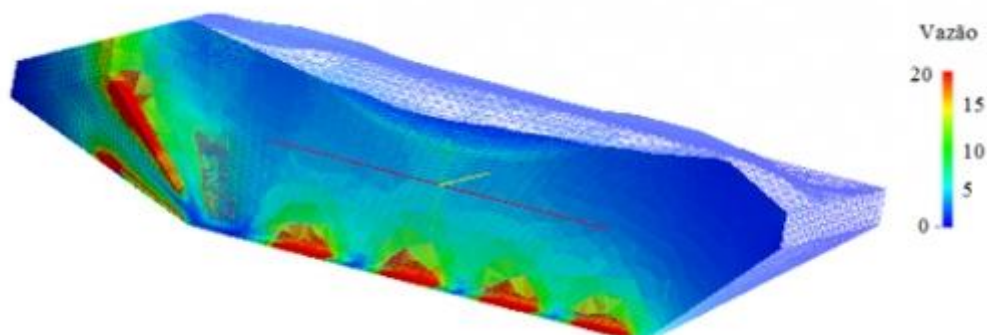


Figura 4 - Vazão específica local em seção vertical do armazém

As entradas de ar centrais são importantes para o sistema de aeração estudado, contudo, com a análise da vazão específica local do ar, pode-se perceber domínios centrais da massa de grãos com muita vazão, afastando-se do valor taxa recomendado pela literatura mundial de $Q = 13 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{t}^{-1}$. Devido ao volume e a não uniformidade significativa da massa de grãos do armazém, a eficácia do sistema de aeração deve ser melhorada. Para armazéns horizontais estas melhorias podem ser

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

alcançadas, em particular, através da otimização do controle do sistema de aeração, abrangendo um dimensionamento e pressão das entradas de ar adequados para um bom armazenamento.

Conclusão

Neste trabalho, foi desenvolvido um software e realizadas simulações numéricas da distribuição do fluxo de ar de um sistema real de armazenagem de grãos, sob condições não homogêneas e anisotrópicas. Foi realizada uma análise descritiva para detectar áreas de risco e, conseqüentemente melhorar a eficiência do processo de aeração. A análise da distribuição do fluxo de ar mostra que para o sistema de entrada de ar escolhido, existem domínios tanto com baixo nível de aeração tanto com alto nível. Com a análise da vazão específica local do ar, pode-se perceber domínios centrais da massa de grãos com muita vazão, afastando-se do valor taxa recomendado pela literatura mundial.

Palavras-chave: Modelagem Matemática; Método dos Elementos Finitos; Distribuição do Fluxo de Ar.

Referências Bibliográficas

- HOOD, T. J. A; THORPE, G. R. The effects of the anisotropic resistance to airflow on the design of aeration systems for bulk stored grains. *Agricultural Engineering Australia*, v.21. p. 18-23, 1992.
- SEGERLIND, L. J. *Applied Finite Element Analysis*. J. Wiley and Sons Inc, New York, USA: [s.n], 1976.
- SHEDD, C. K. Resistance of grains and seeds to airflow. *Agricultural Engineering*, St Joseph, Michigan. 1953.
- KHATCHATOURIAN, O; BINELO, M. O. Simulation of three-dimensional airflow in grain storage bins. *Biosystems Engineering*, v.101, p. 225-238, August. 2008.
- KHATCHATOURIAN, O; OLIVEIRA, F. A. Mathematical modelling of airflow and thermal state in large aerated grain storage. *Biosystems Engineering*, v. 95, n.2, p. 159-169, July, 2006.
- KHATCHATOURIAN, O; TONIAZZO, N; GORTYSHOV, Y. F. Simulation of airflow in grain bulks under anisotropic conditions. *Biosystems Engineering*. v. 104, p. 205-215, August, 2009.
- WEBER, Érico Aquino. *Armazenagem Agrícola: Kepler Weber Industrial*. 2. Ed. Porto Alegre: [s.n], 2005.