Estudo do escoamento do ar em produtos agrícolas sujeitos a armazenagem

Adriano José Lentz, Oleg Khatchatourian– adriano.lentz@bol.com.br, olegkha@unijui.tche.br
UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Sabemos que o Brasil é um dos grandes produtores de grãos do mundo e levando em conta que o cultivo destes produtos leva muito tempo do plantio até a industrialização, é fundamental a existência de estoques para atender a necessidade de consumo por mais tempo.

Dois dos principais fatores que alteram as características físicas, químicas e biológicas dos grãos são a sua temperatura e umidade. Por isso é necessário que se faça a secagem dos grãos antes do armazenamento e a manutenção da temperatura em níveis não muito elevados, o que é feito através da aeração das massas de grãos.

A aeração se constitui na passagem forçada do fluxo de ar através da massa de grãos, isto só é possível por ser a massa de grãos um material poroso.

Atualmente existe uma tendência de se construir silos de grande porte. Para essas condições, onde a massa de grãos pode atingir 50 metros, o peso e o despejo dos grãos no silo, provocam uma significativa compactação nas camadas inferiores do silo.

Esse fato determina uma não uniformidade da massa de grãos, fazendo com que se criem obstáculos à passagem do ar, implicando na variação do coeficiente de permeabilidade.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DO MODELO A SER UTILIZADO

A conservação dos grãos depende de um eficiente sistema de aeração para manter um fluxo de ar uniforme em todas as regiões do silo. A massa de grãos em silos de alturas elevados sofre uma significativa compactação nas camadas mais profundas. Isto altera o coeficiente de permeabilidade e o fator de porosidade da massa de grãos, que são parâmetros principais no modelo matemático de escoamento do ar em silos.

Este modelo foi desenvolvido por Khatchatourian et al. (2004) e consiste da seguinte equação diferencial parcial não linear:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(-k\frac{\partial P}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(-k\frac{\partial P}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(-k\frac{\partial P}{\partial z}\right)=0 \qquad (1)$$

com condições de fronteira:

$$P = P_e \qquad \text{(Condição de Dirichlet)} \qquad (2)$$

$$n\,\mathrm{grad}P=0 \qquad \text{(Condição de Neuman)} \qquad (3)$$

onde P_e é a pressão de entrada e saída de ar do silo e n é um vetor unitário normal à parede ou a superfície do chão do silo.

O coeficiente de permeabilidade K de acordo com o modelo se apresenta pela equação:

$$k=\exp(\ln 10(\{[\ln 1+U^2)-2U\arctan(U)]/\pi+3U\}/4a+C))/|\mathrm{grad}P| \qquad (4)$$

onde C é a constante de integração que depende do tipo de grão e

$$U=a\log(|\mathrm{grad}P_H/(1+c)+b|) \qquad (5)$$

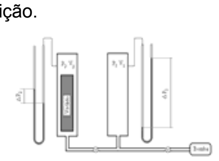
e

$$c(H)=D(1-e^{(-qH)}) \qquad (6)$$

onde a e b são constantes e c(H) é função de compactação que depende da profundidade da camada considerada e do tipo de grão.

O objetivo deste trabalho é determinar os coeficientes D, q e C do modelo.

Para isto foi desenvolvido um equipamento baseado na Lei de Boyle-Mariote que permite medir a porosidade de vários tipos de massas de grãos. Foi criado um modelo matemático do funcionamento do equipamento que inclui os parâmetros geométricos e físicos dos elementos do sistema, e permite estimar os erros de medição.



Esquema do equipamento para medir o fator de porosidade

Onde:

- V_1 e V_2 são volumes dos compartimentos 1 e 2, constantes;
- V é o volume vazio do compartimento 2, variável, desconhecido;
- $V_{sólido}$ é o volume bruto de amostra colocado no compartimento 2, constante e conhecido;
- q = $V_{sólido}/V_2$ é a parte relativa do volume bruto da amostra no compartimento 2, constante, onde q = (0.75, 1);
- k = V_2/V_1 é a razão entre os compartimentos 2 e 1, constante, conhecido, onde k = (0.75, 2.5);

Usando a Lei de Clapeyron, temos as seguintes equações para o momento inicial:

$$P_1^{(0)}V_1=m_1^{(0)}RT \qquad (7)$$

$$P_2^{(0)}V=m_2^{(0)}RT \qquad (8)$$

Para o momento final, as equações são:

$$P_1^{(f)}V_1=m_1^{(f)}RT \qquad (9)$$

$$P_2^{(f)}V=m_2^{(f)}RT \qquad (10)$$

onde:

$$V=V_2-V_{sólido}(1-\varepsilon) \qquad (11)$$

e ε é a porosidade.

Usando a equação da conservação das massas de ar , temos:

$$m_1^{(0)}+m_2^{(0)}=m_1^{(f)}+m_2^{(f)} \qquad (12)$$

Isolando m nas equações (7), (8), (9), e (10) e substituindo na equação (12), chegamos que:

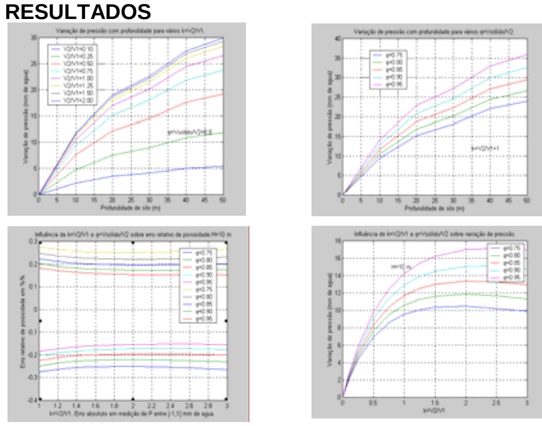
$$V=\frac{\left(P_1^{(0)}-P_1^{(f)}\right)V_1}{P_2^{(f)}-P_2^{(0)}} \qquad (13)$$

Isolando ε na equação (11) e substituindo (13), temos que:

$$\varepsilon=1-\frac{1}{q}\left(1-\frac{\left(\Delta P_1^{(0)}-\Delta P_1^{(f)}\right)}{\Delta P_2^{(f)}}\frac{1}{k}\right) \qquad (14)$$

$$\Delta P_1^{(f)}=\Delta P_2^{(f)}=\frac{\Delta P_1^{(0)}}{1+k[1-q(1-\in)]} \qquad (15)$$

RESULTADOS



- Os cálculos mostraram que os melhores valores são k =2.5 e q → 1, isto é, $V_2 = 2.5V_1$ e $V_{sólido} \to V_2$.
- Caso q = 1 e k = 2.5 ocorre o menor erro que é de 0,134%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAR, J. **Dinamics of fluids in porous media.** Elsevier, 1972;
- PUZZI, D. **Manual de armazenamento de grãos.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1977;
- SAVICKI, D. **Modelagem matemática do processo de aeração em condições não-homogêneas da massa de grãos de soja.** Dissertação de mestrado, Ijuí, 2001.
- KHATCHATOURIAN, O.; SAVICKI, D. **Mathematical Modelling of Airflow in an Aerated Soya Bean Store under Non-uniform Conditions.** Biosystems Engineering, 2004, 88(2), pag 201-211.