

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTUFA DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE SÓLIDOS PARTICULADOS

Lais Sakai Pacheco (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mônica Ronobo Coutinho (Orientadora), Wagner André dos Santos Conceição (Coorientador). E-mail: mrcoutinho@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharias / Engenharia Mecânica / Fenômenos de Transporte

Palavras-chave: Estufa convectiva. Análise Térmica. Baixo custo.

RESUMO

A determinação da umidade em materiais, feita em estufas convencionais, é lenta e propensa a erros, pois exige interrupções para pesagens manuais — o que causa variações de temperatura e interferências. Para superar essas limitações, foi desenvolvida uma estufa convectiva natural de baixo custo e alta eficiência térmica. A estrutura, construída em MDF com isolamento de lã de vidro e um volume interno de 25 litros, utiliza uma lâmpada de 200 W como fonte de calor. O sistema foi automatizado com placa Arduino UNO, que controla os parâmetros e coleta dados em conjunto com uma célula de carga de 500 g, realiza a pesagem contínua da amostra sem necessidade de abertura. Os resultados demonstraram uma redução de 97,45% no tempo de ensaio em comparação ao método convencional, com um custo total de apenas R\$ 599,95, aproximadamente 80% mais barato que estufas comerciais. Conclui-se que a estufa desenvolvida é uma alternativa viável, acessível e termicamente eficiente para determinação confiável de umidade em sólidos.

INTRODUÇÃO

O processo de desumidificação consiste em converter um líquido, sólido ou semi-sólido em um produto sólido final que apresenta significativa redução da porcentagem de umidade (ERBAY e ICIER, 2010). Atualmente, além de ser utilizada frequentemente no âmbito alimentício, a desumidificação é difundida em diversas indústrias, como na farmacêutica, da agricultura, em processos químicos e cerâmicos (ERBAY e ICIER, 2010).

Para o processo de determinação da umidade, tem-se como uma prática comum a utilização de estufas. Porém, o processo apresenta uma considerável duração de tempo e apresenta erros experimentais inerentes ao ensaio.

O objetivo deste trabalho é projetar e construir uma estufa para aferição da umidade de sólidos particulados, utilizando materiais de baixo custo, que seja termicamente eficiente e promova a redução do tempo de ensaio em relação a um ensaio convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia consistiu no dimensionamento da estufa e na seleção de célula de carga adequada, organizando o projeto em duas áreas: estrutural e elétrica.

Projeto Estrutural

A estufa foi planejada para acomodar, em seu interior, suporte para célula de carga, cadinho da amostra, termopar, material isolante e fonte de calor, elementos essenciais para seu funcionamento e aferição da umidade. Externamente, possui bases de apoio que elevam a bancada, permitindo posicionar o cadinho de forma a afastar a célula de carga da lâmpada, reduzindo interferências térmicas e garantindo dados precisos.

A estrutura é composta por três camadas (duas estruturais e uma de isolante) nas paredes laterais, enquanto tampa e base utilizam duas camadas (uma estrutural e uma isolante), configuração escolhida para reduzir o peso e facilitar a construção.

A análise estrutural envolve a seleção dos materiais para a bancada de modo que apresentem maior resistência à passagem do calor, visando a eficiência térmica. Ao selecionar um intervalo de espessura para os materiais é possível por meio da Equação 1, realizar o cálculo da geometria da estufa e seleção da potência da fonte de calor que promova uma menor dissipação do calor, utilizando como base o fenômeno de condução de calor unidimensional por paredes planas.

Equação 1 - Taxa de condução do calor em paredes planas

$$Q = \frac{k \cdot A}{L} \cdot (T_{1} - T_{2}) \quad [1]$$

Projeto Elétrico

O projeto elétrico exige a avaliação e integração dos componentes necessários ao funcionamento da estufa. Esses componentes devem permitir o acionamento da fonte de calor e, após atingir a temperatura adequada, controlar o sistema para manter o ambiente em regime permanente, garantindo a desumidificação da amostra particulada. Além disso, o sistema inclui uma célula de carga responsável por aferir a massa da amostra em intervalos pré-determinados, possibilitando a análise contínua do processo de perda de umidade.

A célula de carga é selecionada com base na estimativa do peso dos componentes, definindo a força média a ser suportada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o projeto estrutural prospectou-se materiais estruturais que apresentam baixo custo e baixo coeficiente de condutividade térmica, sendo eles: aço, concreto, madeira e MDF. Selecionou-se o MDF por apresentar boas características em reter calor, baixo custo e menor peso. Para o material isolante, selecionou-se os isolantes mais comuns no mercado, sendo eles: lã de rocha, lã de vidro e poliestireno expandido (isopor). Selecionou-se a lã de vidro por apresentar menor peso e menor condutividade térmica em relação à lã de rocha e não ser inflamável como o isopor.

Com a seleção das espessuras dos materiais e com volumes pré-selecionados para a estufa com base no disponível no mercado, aplicou-se os conceitos de transferência de calor visando obter uma geometria para a estufa que apresente eficiência térmica e retenha o calor. Convergiu-se em uma geometria de 18mm de espessura para o MDF e 50mm para a lâ de vidro, obtendo uma configuração de 25 L, as dimensões da caixa interna são de 250 x 250 x 400 mm.

De modo a obter uma melhor estimativa do comportamento da estufa na prática, realizou-se a simulação computacional das paredes da estufa por meio do software Ansys. Definiu-se a temperatura da parede interna como a temperatura do ensaio para desumidificação dado pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008) aplicado um fator de segurança de 40% (147 °C), parede externa com convecção à 25 °C e condução unidimensional do calor, como condições de contorno. Obteve-se da simulação que após 2000 segundos é obtida uma variação de 1,258 °C na temperatura da parede externa e retenção do fluxo de calor em 3,8 vezes, esses resultados evidenciam a boa eficiência térmica da bancada.

Com isso, realizou-se a construção da estufa, sua configuração final é apresentada na Figura 1.

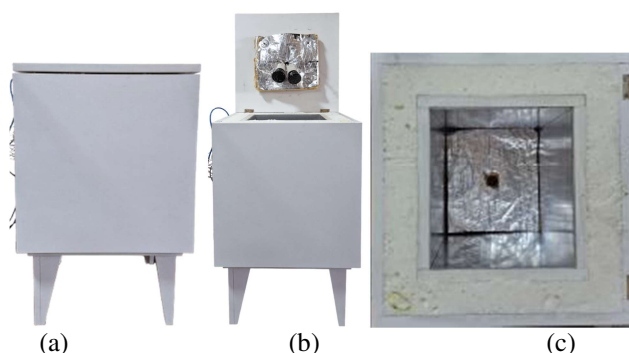


Figura 1 - (a) Vista lateral (b) Vista lateral com tampa aberta (c) Vista superior com tampa aberta

O circuito elétrico construído para a coleta de dados da estufa e aquecimento está presente na Figura 2. Sendo o aquecimento realizado por uma lâmpada infravermelha de 200 W e coleta de dados por uma célula de carga de 500 g. O controle do processo foi realizado por uma placa de Arduino UNO.

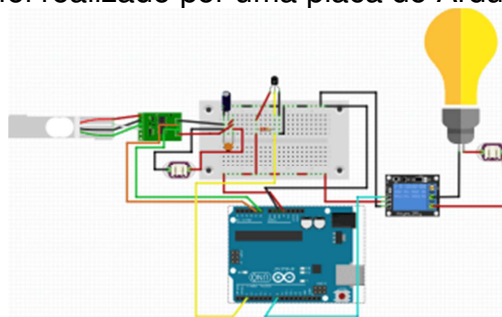


Figura 2 - Circuito elétrico

Realizou-se três ensaios na estufa de modo a poder validá-la utilizando amostras de soja particulada com aproximadamente 12% de teor de umidade (TU), as configurações do ensaio e resultados estão presentes na Tabela 1

Tabela 1- Dados dos ensaios

Número	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	TU (%)	Tempo de Desumidificação (s)
1	9,7	8,8	10,2	2000
2	9,1	8	13,8	2500
3	9,4	8,2	12,7	1800

Dos ensaios, o tempo de desumidificação médio é de 2200 segundos, apresentando uma redução do tempo de 97,45% em relação aos ensaios utilizando estufas convencionais (24 h). O teor de umidade em base seca médio obtido foi de 12,2%, os valores não apresentam grande variação e evidenciam a replicabilidade do ensaio e bom funcionamento da estufa.

Ao realizar o cálculo dos custos da estufa, obtêm-se um valor de R\$599,95, apresentando redução de 80,02% em relação ao custo médio de uma estufa comercial (R\$3.000,00).

CONCLUSÕES

A partir dos estudos conduzidos e testes realizados conclui-se que é possível construir uma estufa para determinação da umidade de sólidos particulados com baixo custo e boa eficiência térmica, sendo capaz de reduzir o tempo de ensaio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Araucária pelo financiamento desta pesquisa, assim como à Professora Mônica e à UEM pela oportunidade.

REFERÊNCIAS

ERBAY, Z.; Icier, F., "A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 50, no. 5, pp. 441–464, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição Digital), p. 97, 2008.

RAHMAN, M. M.; *et al.* "The optimization of solar drying of grain by using a genetic algorithm," *International Journal of Green Energy*, vol. 12, no. 12, pp. 1222–1231, 2015.