

Anais do
V Seminário Multidisciplinar ENIAC Pesquisa 2014
V Encontro Da Engenharia Do Conhecimento Eniac
V Encontro De Iniciação Científica Eniac
V Fábrica de Artigos

MODELAGEM DO SISTEMA TÉRMICO EM UM AQUECEDOR PARA SECAGEM DE MADEIRA

*MODELING OF THERMAL SYSTEM IN A HEATER FOR WOOD
DRYING*

CARVALHO, José A.D.
SILVA, D. O.
FURTADO, F. P.
GALVÃO, V. V.

José Antonio Dias de Carvalho é Engenheiro, Mestre em engenharia e Diretor da Faculdade de Tecnologia Eniac- FAPI.

SILVA, D. O. graduando da faculdade de Tecnologia Eniac- FAPI. Em 2013.

Furtado F. P. graduando da faculdade de Tecnologia Eniac- FAPI. Em 2013.

Galvão V. V. graduando da faculdade de Tecnologia Eniac- FAPI. Em 2013.

RESUMO

Pretende-se com este artigo desenvolver e analisar a modelagem matemática do sistema térmico de aquecimento para secagem de madeira. O sistema térmico discutido analisa a

variação de temperatura num sistema de aquecimento. Utiliza-se a ferramenta de análise, para simulação das equações diferenciais, auxiliadas pela técnica da transformada de Laplace. Os resultados obtidos neste artigo demonstram que o modelo matemático do sistema térmico é eficiente para análise dos fatores externos ou internos

que influenciam no tempo de resposta, requerido para o tratamento de madeira.

Palavras-chave: Aquecedor, Temperatura, Termodinâmica, Modelagem, Matlab

ABSTRACT

This article aims to develop and analyze the mathematical modeling of thermal heating system for wood drying. The thermal system discussed examines the variation in temperature in a heating system. The analysis tool for simulation of differential equations, assisted by the technique of the Laplace transform. The results obtained in this paper show that the mathematical model of thermal system is efficient for analysis of external or internal factors that influence the response time required for the treatment of wood.

Keywords: Heater, temperature, thermodynamics, modeling, Matlab

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver e analisar o modelo matemático do sistema térmico de um aquecedor para secagem de madeira através das equações diferenciais da termodinâmica, com auxílio da ferramenta Matlab. O estudo de modelos de sistemas térmicos vem sendo abrangentemente discutido nos tópicos de engenharia de sistemas de controle, com a finalidade de melhoria de eficiência e maior produtividade nos processos industriais.

Optou-se pela pesquisa bibliográfica e pesquisa de *in loco* na metodologia utilizada

para analisar a variação de temperatura de entrada e saída do sistema, em função da vazão mássica de ar através da câmara de aquecimento (OGATA, 2000).

A secagem é uma fase de grande importância no processo de industrialização da madeira, pois proporciona melhoria das características de trabalhabilidade e redução da variação dimensional, tais como aumento na resistência a fungos e melhoria das propriedades mecânicas (SIAU, 1995). Um dos métodos de secagem de madeira é a estufa industrial. Este processo forçado tem a finalidade de retirar umidade utilizando um fenômeno físico, a troca de calor por convecção, mediante alimentação constante de fluido.

A transferência de calor é a ciência da termodinâmica que trata a transição quantitativa da troca de calor. Existem três mecanismos de transferência, sendo: condução, convecção e radiação (KERN, 1999). A maneira mais eficiente de transferir calor para este processo é por convecção.

O controle ineficiente da temperatura pode acarretar em perda de rendimento do processo, na qualidade final do produto, gastos excessivos ou até mesmo perda total do produto por carbonização. O modelo matemático, portanto, faz-se necessário para garantir que estas condições de riscos não ocorram.

Para o modelo matemático adotam-se equações diferenciais lineares invariantes no tempo (LIT). Na teoria de controle, as funções de transferência são utilizadas para caracterizar as relações de entrada e saída dos componentes do sistema, e a função de transferência do sistema é obtida tomando-se a transformada de Laplace de ambos os

membros da equação (OGATA, 2000).

O artigo divide-se em quatro partes, sendo:

- estudo do processo: onde são desenvolvidas as fundamentações e as justificativas do trabalho
- desenvolvimento: onde estão descritas as equações dos sistemas;
- resultados: onde são desenvolvidas as análises dos resultados obtidos na ferramenta Matlab;
- considerações finais e conclusões: esta etapa descreve a principal parte do trabalho onde conclui-se todas as opiniões da equipe sobre o objetivo alcançado.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para demonstrar as fases da secagem os pesquisadores de reportaram aos teóricos desde meados da década de 1920, com avanço da indústria e a evolução da química orgânica, descobrindo novas substâncias sintéticas, o plástico. Acreditou-se no passado que o plástico iria substituir os artefatos de madeira, contudo nunca se produziu tanta madeira serrada na contemporaneidade (KEINE, 1997). A secagem a céu aberto além de requerer um longo tempo, várias semanas, e exigir grandes espaços físicos, expõe a madeira ao ataque de fungos que iniciam o processo de deterioração das camadas mais externas, produzindo manchas e outros problemas que reduzem o valor comercial das peças atacadas (FERNANDES, 2006). Nessas condições, as indústrias madeireiras investem cada vez mais em processos de secagem forçados via estufa de aquecimento exemplificados na figura 1 .



Figura 1. Estufa de secagem de madeira

Até o momento existem vários problemas relativos ao processo de secagem artificial controlada que ainda não foram resolvidos adequadamente. Ocorre que, tanto a fabricação das estufas, quanto seu uso pelas empresas é efetuado tendo como base o conhecimento empírico adquirido pela prática dos técnicos envolvidos na operação da secagem. Outra variável importante é a circulação de ar dentro da estufa. Os efeitos convectivos provocados pelas correntes de ar afetam diretamente a velocidade do processo de secagem, por isto merecem atenção e estudo com auxílio de Kern (1999), Ogata (2000) e SIAU (2000).

2. DESENVOLVIMENTO

Inicia-se o desenvolvimento adotando-se hipóteses simplificadoras para facilitar a resolução das equações diferenciais, sendo:

- *circulação do fluido como sendo de fluxo constante;
- *sem perdas térmicas e dinâmicas;
- *as equações diferenciais são lineares invariantes no tempo (LIT);
- *temperatura de regime estacionário nula;
- *temperatura de entrada tem valor constante.

Para transferência de calor por convecção

$$q = K\Delta\theta$$

onde:

$$q = \text{taxa de fluxo de calor, kcal/s}$$

$\Delta\theta$ = diferença de temperatura °C

K = coeficiente, $kcal / s^{\circ}C$

O coeficiente das propriedades térmicas (K) é dado por:

$$K = HA$$

H = coeficiente de convecção, $kcal / m^2 s^{\circ}C$

A = área normal ao fluxo de calor, m^2

Conforme (OGATA, 2000), a resistência térmica é dada por:

R = variação na diferença de temperatura, °C

variação na taxa de fluxo de calor, kcal.
 s^{-1}

A resistência térmica para transferência de calor por convecção é dada por:

$$R = \frac{d(\Delta\theta)}{dq} = \frac{1}{K}$$

Uma vez que os coeficientes de condutividade e de convecção térmica são aproximadamente constantes, a resistência térmica para convecção é constante.

A capacitância térmica C é definida por:

C = variação no calor armazenado, kcal
variação na temperatura, °C

ou

$$C = m.c$$

m = peso da substância considerada, kg

c = calor específico da substância, kcal.
 $(kg.^{\circ}C)^{-1}$

Considera-se que o reservatório seja termicamente isolado ilustrado na figura 2 de modo a eliminar as perdas de calor para o ar em volta do sistema. Também é suposto que não há armazenamento de calor do fluido seja uniforme. Consequentemente, uma temperatura única é usada para descrever a

temperatura no reservatório e do líquido da saída.

$\bar{\theta}_i$ = temperatura de regime estacionário do líquido de entrada, °C

$\bar{\theta}_o$ = temperatura de regime estacionário do líquido de saída, °C

G = vazão mássica de regime permanente, kg / s

M = massa do líquido no reservatório, kg

c = calor específico do líquido, $kcal / kg^{\circ}C$

R = resistência térmica, $^{\circ}Cs / kcal$

C = capacitância térmica, $kcal / ^{\circ}C$

H = valor estacionário da taxa de fluxo de calor de entrada, $kcal / s$

Suponha-se a temperatura do líquido entrante seja mantida constante e que a taxa de entrada de calor seja subitamente variada de \bar{H} até $\bar{H} + h_o$. A temperatura do líquido que sai também irá variar desde $\bar{\theta}_o$ até $\bar{\theta}_o + \theta$. Para este caso, h_o , C e R obtidos respectivamente, por:

$$h_o = Gc\theta \quad (1)$$

$$C = mc \quad (2)$$

$$R = \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc} \quad (3)$$

A equação diferencial para este sistema é

$$C \frac{d\theta}{dt} = h_i - h_o \quad (4)$$

Que pode ser descrita como

$$C \frac{d\theta}{dt} + \theta = Rh \quad (6)$$

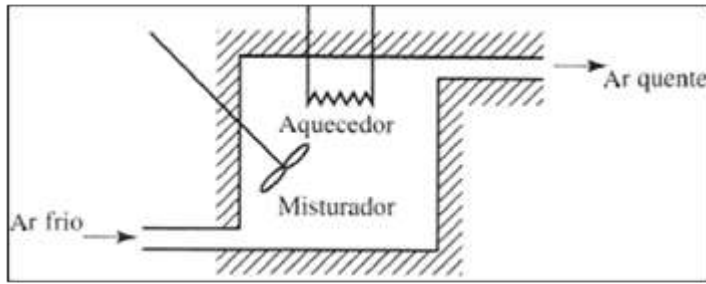


Figura 2. Diagrama do sistema térmico

Note-se que a constante de tempo do sistema é igual a RC ou M/G segundos. A função de transferência relacionando θ e h_t dada por

$$C \frac{\theta(s)}{H_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1} \quad (7)$$

Onde

$$\theta(s) = L[\theta(t)] e H_t(s) = L[h_t(t)] \quad (8)$$

Na prática a temperatura do líquido que entra pode flutuar como um distúrbio de carga. (Se for desejada uma temperatura de saída constante, um controlador automático pode ser instalado para ajudar a taxa de fluxo de entrada de calor de maneira a compensar as flutuações na temperatura do líquido de entrada.) Se a temperatura do líquido que flui na entrada for subitamente variada de $\bar{\theta}_t$ para $\bar{\theta}_t + \theta_o$, enquanto a taxa de entrada de calor H e a taxa de fluxo de líquido G são mantidas constantes, então a taxa de fluxo de saída de calor vaiará de \bar{H} para $H + h_o$, e a temperatura do líquido que flui na saída irá variar de $\bar{\theta}_t$ para $\bar{\theta}_t + \theta_o$. A equação diferencial para este caso é:

$$\frac{d\theta}{dt} = Gc\theta_t - h_o \quad (10)$$

Que pode ser reescrita:

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i \quad (11)$$

A função de transferência relacionando θ e θ_i é dada por:

$$\frac{\theta(s)}{\theta_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (12)$$

Onde:

$$\theta(s) = L[\theta(t)] e H_t(s) = L[h_t(t)] \quad (13)$$

Se o sistema térmico apresentado for sujeito tanto a variações na temperatura do líquido que flui na entrada como na taxa entrada de calor, enquanto a taxa do fluxo de líquido é mantida constante, a variação θ na temperatura do líquido que flui na saída pode ser dada pela seguinte equação:

$$\frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_t + R h_i$$

3. RESULTADOS

De acordo com (OGATA, 2000), o diagrama de blocos que representa o modelo das propriedades térmicas do fluido e propriedades térmicas do aquecedor está descrito no diagrama na figura 3.

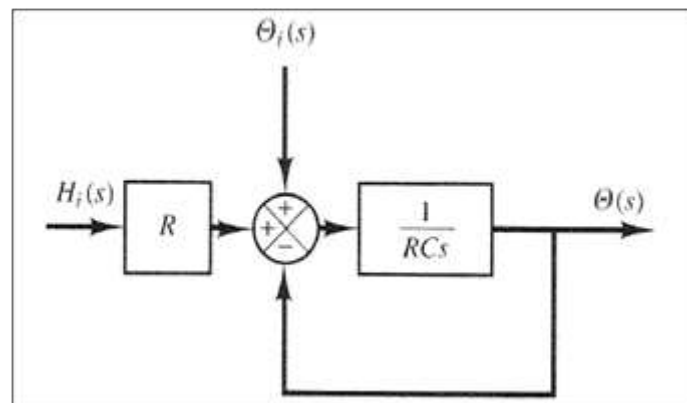


Figura 3. Diagrama em blocos do sistema térmico

No diagrama de blocos da figura 3, observa-se que a somatória da temperatura de entrada do fluido e calor gerado pela resistência, junto às propriedades térmicas da câmara do aquecedor, obtém-se a temperatura de saída. Utilizando a ferramenta SIMULINK do software MATLAB, simula-se a aplicação de um sinal rampa de entrada, ilustrado na figura 4.

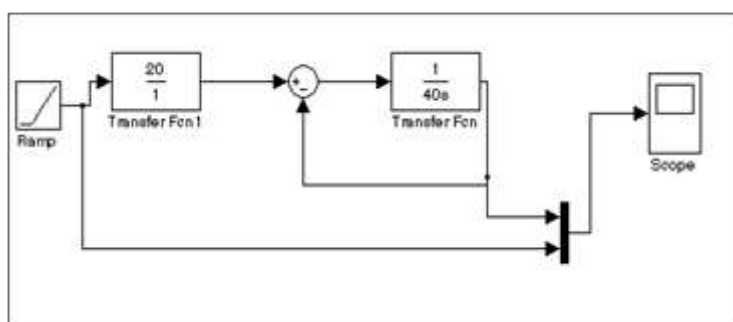


Figura 4. Diagrama em blocos SIMULINK sinal de rampa RC igual a 40

Aplicando-se um sinal de rampa com valor 10, obtém-se o gráfico da figura 5, a partir da leitura do osciloscópio.

Analisando o sinal gerado, conclui-se que em 4 segundos o aquecedor atinge uma temperatura de aproximadamente 50 graus celsius.

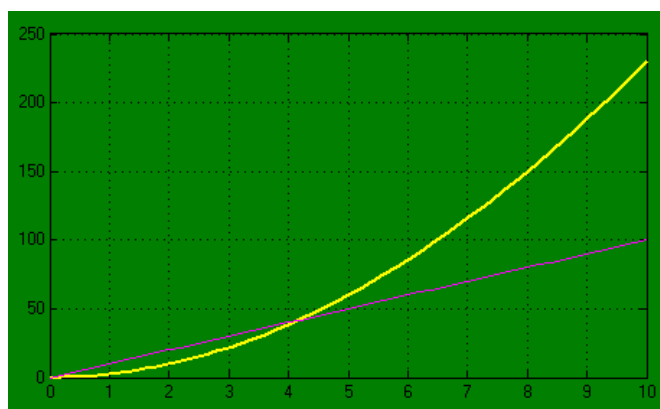


Figura 5. Gráfico gerado no SIMULINK sinal de rampa RC igual a 40

Aplicando-se um sinal degrau com valor 10, obtém-se o gráfico da figura 7, a partir da leitura do osciloscópio.

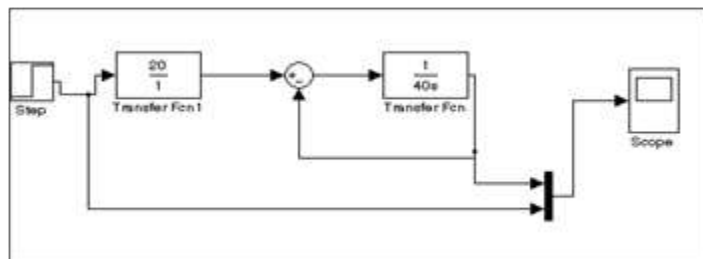


Figura 6. Diagrama em blocos SIMULINK sinal degrau RC igual 40

Analisando o sinal gerado, a partir da figura 6, conclui-se que em 10 segundos o aquecedor atinge uma temperatura de aproximadamente 40 graus celsius.

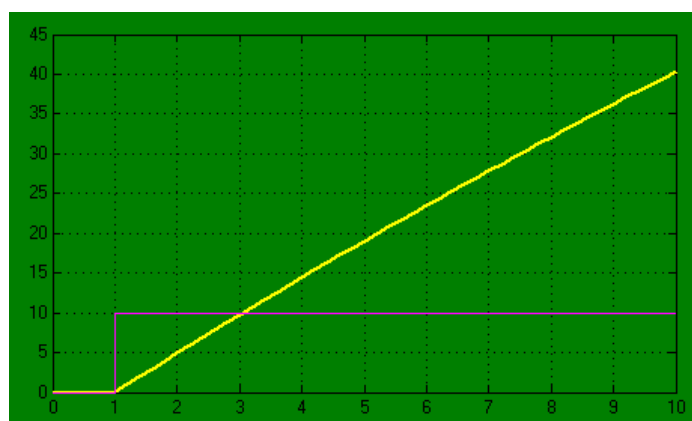


Figura 7. Gráfico gerado no SIMULINK sinal de degrau RC igual a 40

Aplicando-se um sinal de pulso com valor de amplitude 10 e período 1, obtém-se o gráfico da figura 9, a partir da leitura do osciloscópio.

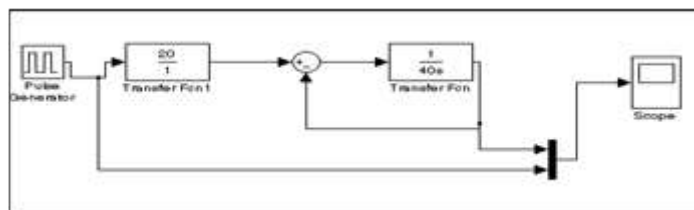


Figura 8. Diagrama em blocos SIMULINK sinal

pulso RC igual a 40

Analisando o sinal gerado, a partir da figura 8, conclui-se que a cada pulso, a temperatura aumenta gradativamente, obtendo-se um controle de temperatura mais eficiente.

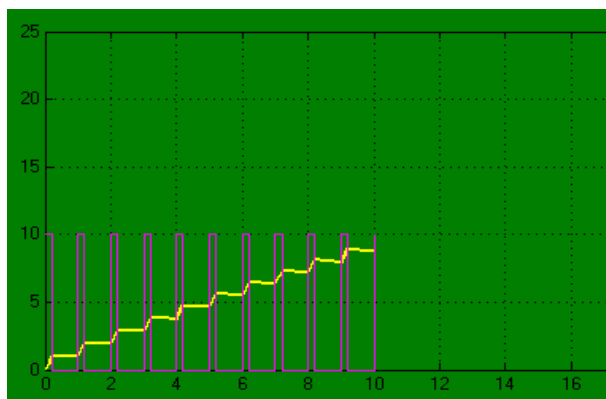


Figura 9. Gráfico gerado no SIMULINK sinal de pulso RC igual a 40

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Analisando a inserção de sinais do tipo rampa, degrau e pulso no sistema, que relaciona a resistência e capacitância térmica, concluímos que o principal fator de influência no controle da temperatura é a capacitância térmica. Devido à capacitância estar diretamente relacionada no comportamento do rendimento do sistema, concluímos que quanto maior o volume da câmara de aquecimento, maior o tempo requerido para a secagem da madeira.

Para um projeto futuro pretende-se desenvolver a modelagem matemática do

controle da inserção de calor em função da temperatura de entrada, e ter como resposta uma temperatura de saída constante. Desta forma, o controlador influencia no sistema na variação do seu sinal de saída do tipo pulso, por exemplo, variando a sua frequência ou até mesmo o seu duty cycle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERNANDES, Laudelino Pontes. *Modelagem Matemática da Secagem de Madeira em Estufas - Fase de Aquecimento*. Publicado no Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering -- ENCIT 2006. Acesso em: 2012.

Keine, S. *Avaliação do Processo de Secagem de Madeira em Estufa com Banho de Vapor*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 215p. Publicado em: 1997

KERN, Donald Q. *Processos de Transferencia de Calor*. Editora CEECSA 31ª Edição, 1999.

OGATA, Katsuhiko. *Engenharia de Controle Moderno*. Editora LTC 3ª Edição, 2000.

SIAU, J.F Wood: *Influence of Moisture on Physical Properties*. Dep of Wood Science 2000.