

MODELAGEM, PROJETO E SIMULAÇÕES DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA COM ENERGIA SOLAR

Fábio Hideki Ashikawa – fabio_ashikawa@ieee.org
Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira – marcelo@dee.feis.unesp.br
Edvaldo Assunção – edvaldo@dee.feis.unesp.br
Ary Franco Júnior – aryfranco@hotmail.com
Guilherme Baldini Campos – guilhermebaldini@gmail.com
UNESP – São Paulo State University
Department of Electrical Engineering
Campus of Ilha Solteira - SP
Brazil

2.3 Equipamentos e sistemas e aquecimento de ar e ambientes

Resumo. *Algumas vezes, em processos industriais, existem fontes baratas de calor e a necessidade do aquecimento de certos produtos ou equipamentos. Essas fontes baratas de calor não fornecem uma fonte de energia constante. Por outro lado, os produtos ou equipamentos não devem ser aquecidos aleatoriamente, exigindo assim uma especificação previamente definida em termos de aquecimento. Esses fatos usualmente levam à exigência de sistemas de controle automático, para a transferência de energia térmica destas fontes para os produtos ou equipamentos. Uma dessas fontes de energia barata e alternativa que pode ser ressaltada é a energia solar, que foi abordada neste trabalho, porém levando mais em conta a parte do controle no aproveitamento desta energia. Neste trabalho foi estudado o uso da energia solar, captada através de aquecedores solares residenciais para aquecer um fluxo constante de ar. A temperatura ambiente, e a temperatura do aquecedor solar, variam no decorrer do tempo, já que a energia solar não é uma fonte constante de energia. O projeto basicamente consiste em uma serpentina, que passa por dentro do aquecedor, onde o ar será aquecido devido às trocas de calor. Em seguida, a serpentina passa por uma válvula de mistura, onde o fluxo de ar já aquecido pode ser misturado ao ar à temperatura ambiente, caso a temperatura do ar aquecido seja maior do que a temperatura desejada. A seguir, o fluxo de ar passa por um aquecedor secundário que somente será ligado caso a temperatura do ar aquecido esteja abaixo de uma temperatura desejada. Uma aplicação deste sistema de controle de temperatura do fluxo de ar é no projeto de sistemas de desidratação de frutas.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Controle de Temperatura, Secador de Frutas, Sistemas com Atraso de Transporte, Controle de Aquecimento de Ar.*

1. INTRODUÇÃO

Em muitos processos industriais, existem fontes baratas de calor (por exemplo, energia solar e resfriamento de materiais pré-aquecidos) e a necessidade do aquecimento de certos produtos ou equipamentos. Em geral, essas fontes baratas de calor não fornecem uma fonte de energia constante, ou seja, as temperaturas das mesmas variam com o decorrer do tempo.

Por outro lado, os produtos ou equipamentos não devem ser aquecidos aleatoriamente, exigindo assim uma especificação previamente definida em termos de aquecimento. Esses fatos usualmente levam à exigência de sistemas de controle automático, para a transferência de energia térmica destas fontes para os produtos ou equipamentos.

Uma dessas fontes de energia barata e alternativa que pode ser ressaltada é a energia solar, que foi abordada neste trabalho, porém levando mais em conta a parte do controle no aproveitamento desta energia. Neste trabalho foi estudado o uso da energia solar, captada através de aquecedores solares residenciais para aquecer um fluxo constante de ar. A temperatura ambiente, e a temperatura do aquecedor solar, variam no decorrer do tempo, já que a energia solar não é uma fonte constante de energia.

O projeto basicamente consiste em uma serpentina, que passa por dentro do aquecedor, onde o ar será aquecido devido às trocas de calor. Em seguida, a serpentina passa por uma válvula de mistura, onde o fluxo de ar já aquecido pode ser misturado ao ar à temperatura ambiente, caso a temperatura do ar aquecido seja maior do que a temperatura desejada ou vice-versa, obtendo assim, a mistura de ar mais vantajosa para o processo. A seguir, o fluxo de ar passa por um aquecedor secundário que somente será ligado caso a temperatura do ar aquecido esteja abaixo de uma temperatura desejada. Vale lembrar que um dos principais objetivos deste projeto é obter o máximo de aproveitamento da energia solar e o mínimo uso da energia não-natural. Uma aplicação deste sistema de controle de temperatura do fluxo de ar é no projeto de sistemas de secagem de frutas. No processo estudado, projetou-se o sistema para a obtenção de um fluxo constante de ar (~3 m/s) à uma temperatura de 60°C.

O primeiro passo, antes de se projetar os sistemas de controle propostos, foi a modelagem matemática de todos os componentes do projeto, para o estudo dos seus comportamentos nas diversas situações a que seriam submetidos.

O diagrama do processo abordado está ilustrado na Fig. 1.

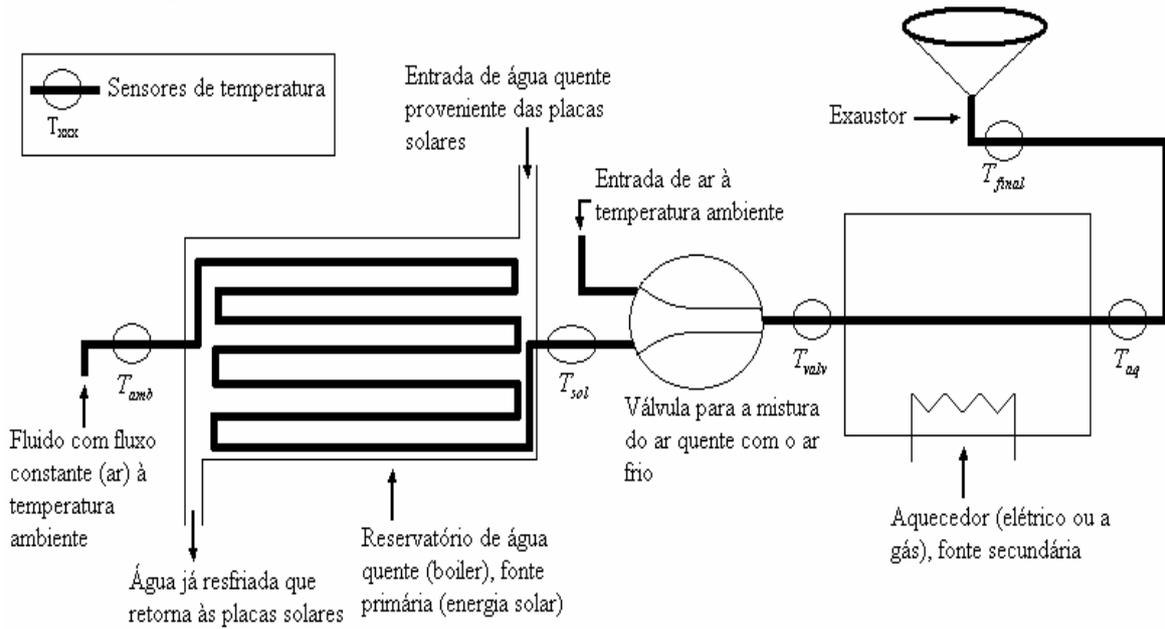


Figura 1 – Diagrama do Sistema de Controle de Temperatura.

Foi desenvolvida uma pesquisa sobre as características e modelos de equipamentos de energia solar residencial. Também foram pesquisados dados sobre o processo de secagem de frutas, uma das aplicações deste projeto. Dois controladores foram projetados: o da válvula de mistura e o do aquecedor secundário, de acordo com as necessidades do projeto. A atuação dos sistemas de controle pôde ser simulada através do software MATLAB.

2. TRABALHO DESENVOLVIDO

2.1 Válvula de mistura

O Misturador é, na verdade, uma válvula (mixing valve) que mistura ar quente, proveniente do aquecedor secundário, com o ar à temperatura ambiente, em proporções tais que a mistura tenha a temperatura desejada.

A válvula de mistura é apresentada em detalhes na Fig. 2 (Franklin et. al, 1998).

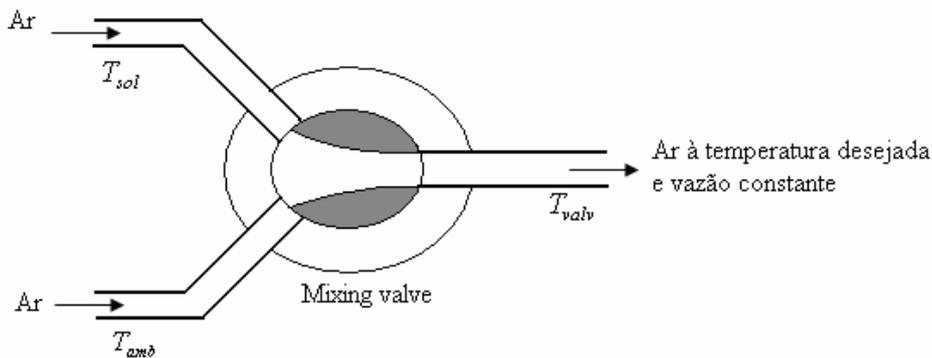


Figura 2 – Válvula de mistura.

A válvula funciona da seguinte maneira (Franco Júnior, 2006): a partir de sua posição central, seu núcleo pode girar tanto no sentido horário (aumentando a vazão do ar à temperatura T_{sol} e diminuindo a do ar à temperatura T_{amb}), como no sentido anti-horário (aumentando a vazão do ar à temperatura T_{amb} e diminuindo a do ar à temperatura T_{sol}). Desta forma, a vazão do fluxo de ar na saída da válvula é mantida constante. Supõe-se que o parâmetro responsável pelo giro do núcleo central da válvula seja a variável α , sendo que $\alpha \in [0,1]$. Foram adotadas as seguintes condições:

$\alpha = 1$ para $T_{valv} = T_{sol}$, e $\alpha = 0$ para $T_{valv} = T_{amb}$.

Logo, considera-se que a válvula apresenta a Eq. (1)

$$T_{valv}(t) = \alpha(t) \cdot T_{sol}(t) + (1 - \alpha(t)) \cdot T_{amb}(t) \quad (1)$$

No caso que $T_{sol}(t) = \bar{T}_{sol}$ e $T_{amb}(t) = \bar{T}_{amb}$, tem-se:

$$T_{valv}(t) = \alpha(t) \cdot (\bar{T}_{sol} - \bar{T}_{amb}) + \bar{T}_{amb} \quad (2)$$

Na análise acima foi considerado que $T_{sol} > T_{amb}$. Entretanto, a situação $T_{sol} \leq T_{amb}$ pode ocorrer e será considerada no projeto do sistema de controle.

Para projetar os sistemas de controle, analisou-se como cada componente do projeto deveria responder a uma dada situação, sempre visando o uso eficiente da energia. Esta lógica de controle está descrita na Tab. 1 (Franco Júnior, 2006).

Tabela 1 – Comportamento dos componentes a serem controlados.

Casos	T_{amb}	T_{sol}	Sistema de atuação da válvula	Sistema de atuação do aquecedor secundário
1	$>60^{\circ}\text{C}$	$>60^{\circ}\text{C}$	Situação não considerada	Situação não considerada
2	$>60^{\circ}\text{C}$	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	Situação não considerada	Situação não considerada
3	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$>60^{\circ}\text{C}$	ON ($\alpha \in [0,1]$)	OFF
4	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$\leq 60^{\circ}\text{C}$	$T_{sol} > T_{amb}$	ON ($\alpha \rightarrow 1$)
5		$T_{sol} \leq T_{amb}$	ON ($\alpha \rightarrow 0$)	ON

2.2 Modelagem da válvula de mistura e projeto de seu controlador

Na modelagem matemática da válvula, será considerado que as temperaturas T_{sol} e T_{amb} são constantes. Este fato pode ser justificado pela atuação rápida do sistema de controle da válvula tendo em vista que as variações nas temperaturas T_{sol} e T_{amb} são lentas.

Fazendo a transformada de Laplace da Eq. (2), considerando que $T_{sol}(s) = \frac{\bar{T}_{sol}}{s}$ e $T_{amb}(s) = \frac{\bar{T}_{amb}}{s}$, tem-se:

$$T_{valv}(s) = \alpha(s) \cdot (\bar{T}_{sol} - \bar{T}_{amb}) + \frac{\bar{T}_{amb}}{s} \quad (3)$$

O diagrama de blocos da válvula de mistura com um controlador integral é mostrado na Fig. 3 (Franco Júnior, 2006).

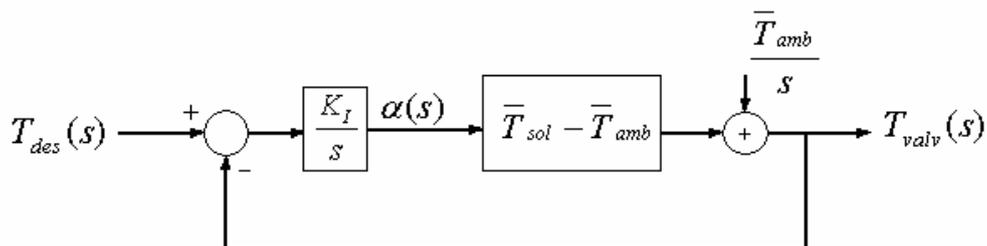


Figura 3 – Diagrama de blocos do controle do misturador.

Do diagrama, tem-se a Eq. (4):

$$T_{valv}(s) = \frac{K_I \cdot (\bar{T}_{sol} - \bar{T}_{amb}) \cdot \bar{T}_{desvalv} + s \cdot \bar{T}_{amb}}{s + K_I \cdot (\bar{T}_{sol} - \bar{T}_{amb})} \cdot \frac{1}{s} \quad (4)$$

Mantida a temperatura ambiente fixa em 30°C, e considerando $T_{des}=60^{\circ}\text{C}$, para $\bar{T}_{sol}>60^{\circ}\text{C}$, $T_{des}=\bar{T}_{sol}$ para $\bar{T}_{amb}<\bar{T}_{sol}<60^{\circ}\text{C}$ e $T_{des}=\bar{T}_{amb}$ para $\bar{T}_{sol}<\bar{T}_{amb}$, o sistema foi simulado no software MATLAB para diversas temperaturas de \bar{T}_{sol} (20°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C e 80°C), conforme mostra a Fig. 4 e a Fig. 5.

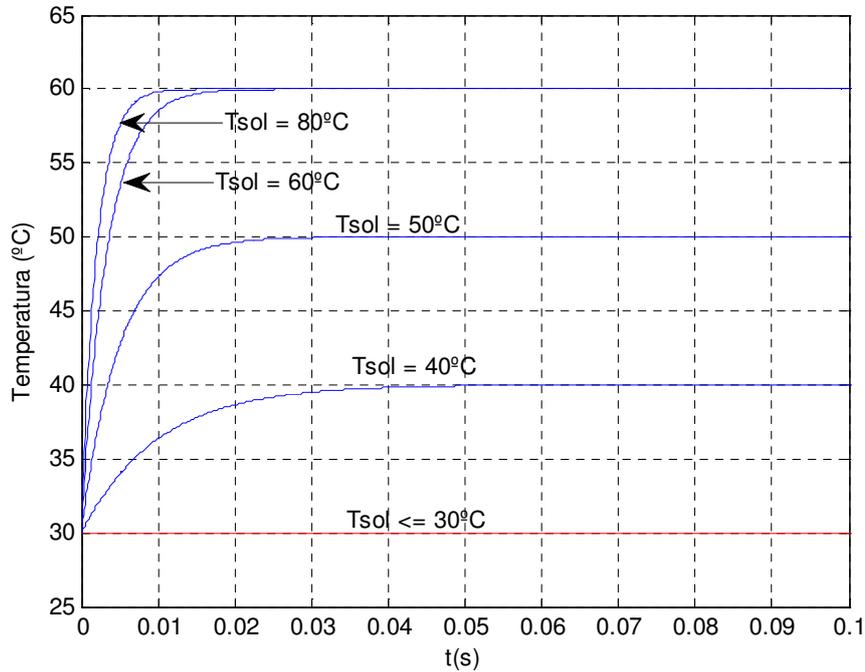


Figura 4 – Resposta do sistema de controle da válvula de mistura em relação à temperatura do aquecedor primário (T_{sol}).

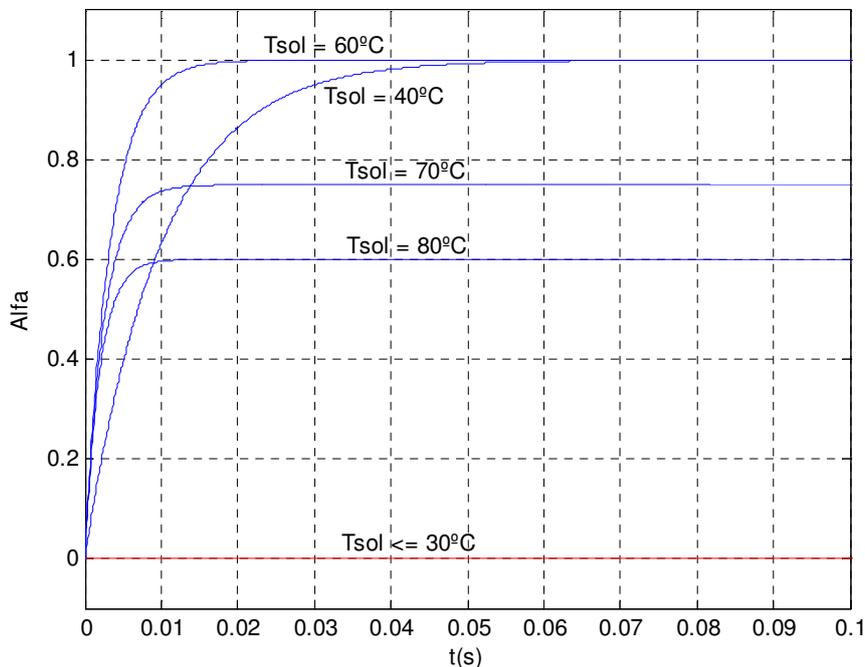


Figura 5 – Resposta do sistema de controle da válvula de mistura em relação ao parâmetro α .

Conforme previsto e agora comprovado com a simulação, o parâmetro α varia de acordo com as temperaturas de entrada da válvula. Dos valores de T_{sol} utilizados, pode-se afirmar que para $T_{sol}<60^{\circ}\text{C}$, α atinge o valor 1, o que quer dizer que fisicamente, a válvula está fixa na posição a permitir que todo o fluxo de ar seja proveniente do aquecedor solar. No caso em que $T_{sol}>60^{\circ}\text{C}$, α permanecerá em um valor entre 0 e 1, conforme a temperatura de T_{sol} , para que o ar atinja a temperatura desejada, ou seja, fisicamente a válvula estará numa posição em que seja permitida a mistura de

uma certa parte de ar à temperatura de T_{amb} e o restante de ar à temperatura de T_{sol} , sempre levando em conta que a vazão deve ser constante.

2.3 Modelagem do aquecedor secundário e projeto de seu controlador

O diagrama de blocos do sistema de controle do aquecedor secundário, com um controlador PI para que melhor fosse controlado este processo (Kurokawa, 2004), é descrito na Fig. 6.

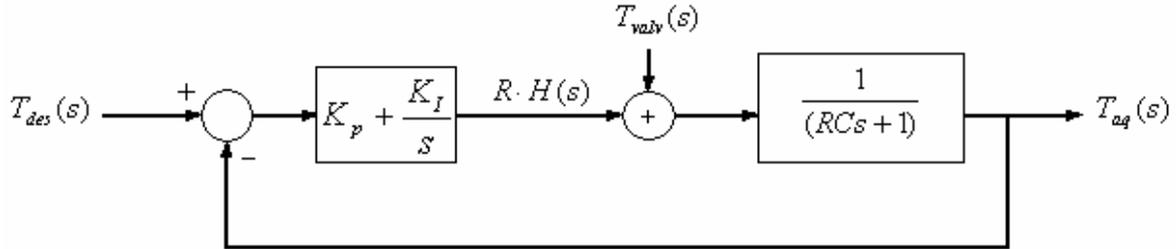


Figura 6 – Diagrama de controle do aquecedor secundário.

Do diagrama, considerando-se $T_{des}(s) = \frac{\bar{T}_{des}}{s}$ tem-se a Eq. (5):

$$T_{aq}(s) = \frac{s(K_p \cdot \bar{T}_{des} + \bar{T}_{valv}) + K_I \cdot \bar{T}_{des}}{RCs^2 + s \cdot (1 + K_p) + K_I} \cdot \frac{1}{s} \quad (5)$$

Como $RC > 0$ então, deve-se ter $(1 + K_p) > 0$ e $K_I > 0$ para garantir a estabilidade. O sistema foi simulado no software MATLAB conforme Fig. 7, considerando que $T_{des} = 60^\circ\text{C}$, $K_I = K_p = 10$ e $RC = 1$, para diversas temperaturas de T_{valv} (30°C , 40°C , 50°C e 60°C). O projeto foi feito procurando-se obter uma resposta transitória rápida e com um pequeno overshoot.

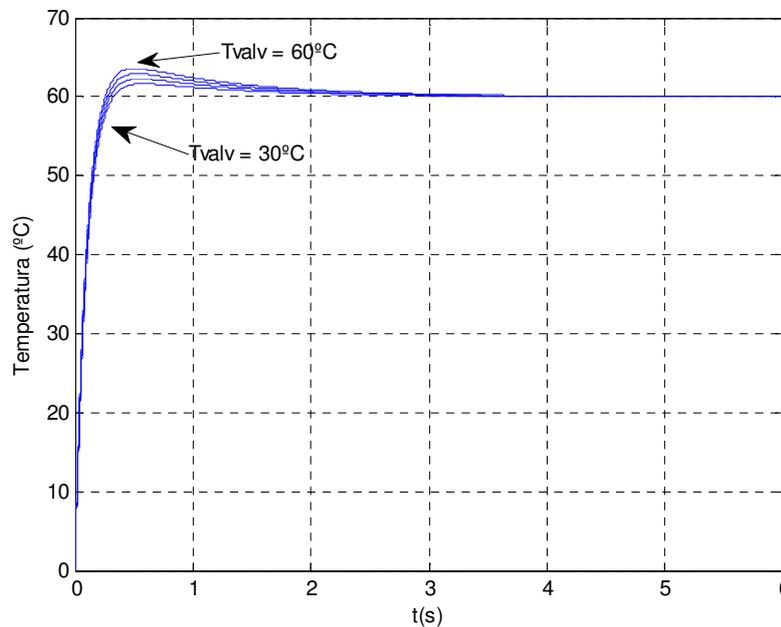


Figura 7 – Resposta do sistema de controle em relação à temperatura (T_{aq}).

Pôde-se simular também a resposta $H(s)$, que é o fluxo térmico de entrada, ou seja, o fornecedor de calor para o aquecedor.

A partir do diagrama da Fig. 6, obtém-se:

$$H(s) = \frac{s^2 \bar{T}_{des} \cdot RCK_p + s(K_p \bar{T}_{des} - K_p \bar{T}_{valv} + \bar{T}_{des} \cdot RCK_I) + K_I \bar{T}_{des} - K_I \bar{T}_{valv}}{R^2 Cs^2 + s \cdot R(1 + K_p) + RK_I} \cdot \frac{1}{s} \quad (6)$$

A partir da Eq. (6) foi feito um programa no MATLAB, nas mesmas condições da simulação anterior, cuja simulação está mostrada na Fig.8.

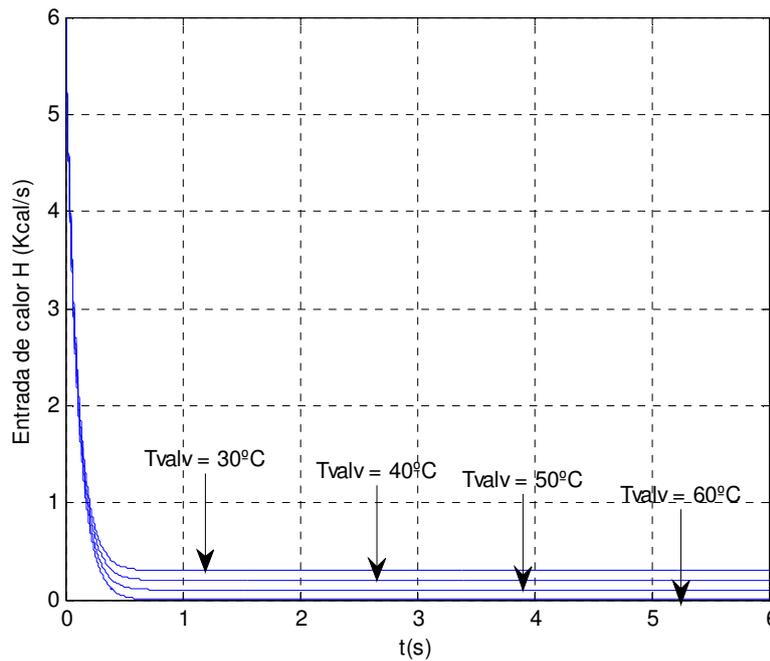


Figura 8 – Resposta do sistema de controle em relação à entrada de calor H.

É interessante notar que na situação em que $T_{valv} = 60^{\circ}\text{C}$, tem-se que $H(s) = 0$, ou seja, não há fluxo de calor de entrada, pois a temperatura do ar já se encontra na temperatura desejada (60°C). Nos demais casos, o fornecimento de calor se manteve constante conforme a necessidade de aquecimento. Nesta simulação, o tempo de estabilização do sistema foi menor que 1s.

2.4 Tempo de retardo ou tempo morto

Para uma análise mais realista do sistema considerou-se nesta pesquisa a existência de um atraso de transporte (T) na saída do aquecedor secundário, devido à distância entre a saída do aquecedor e o exaustor.

A função de transferência do retardo de transporte puro, sem atenuação, é dada pela Eq. (7):

$$G_d(s) = e^{-Ts} \tag{7}$$

O tempo morto T pode ser aproximado pela Eq. (8)

$$e^{-Ts} = \frac{1 - \frac{Ts}{2} + \frac{(Ts)^2}{8} - \frac{(Ts)^3}{48} + \dots}{1 + \frac{Ts}{2} + \frac{(Ts)^2}{8} + \frac{(Ts)^3}{48} + \dots} \tag{8}$$

O sistema de controle da Fig.6 foi modificado, como mostrado na Fig. 9:

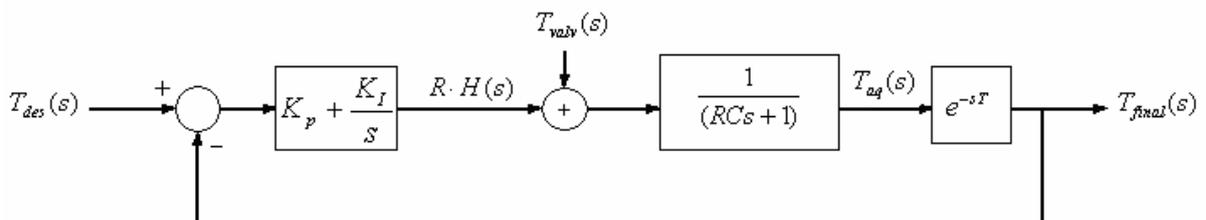


Figura 9 – Diagrama de controle do aquecedor secundário considerando atraso de transporte.

Vale ressaltar que, considerando o diagrama da Fig. 1, a medição de temperatura passa a ser na saída do sistema (T_{final}) e não mais na saída do aquecedor secundário (T_{aq}).

A partir do diagrama da Fig. 9, tem-se a Eq. (9):

$$T_{final}(s) = \frac{(sK_p + K_I) \cdot \bar{T}_{des} + s\bar{T}_{valv}}{RCs^2 + s + (sK_p + K_I)e^{-sT}} \cdot e^{-sT} \cdot \frac{1}{s} \quad (9)$$

A exponencial no numerador não é preocupante, pois pode ser considerada como um distúrbio, ou algo que comprometa apenas o desempenho do sistema. Contudo, a componente exponencial do denominador é o que dificulta o cálculo dos ganhos.

É necessário, portanto, o uso de aproximações do tempo de atraso como a expansão em serie de Taylor, aproximação Padé, transformação equivalente no domínio z, entre outras.

O MATLAB dispõe de uma função chamada *pade* que fornece o polinômio de aproximação Padé do tempo morto, bastando para isso informar o grau de aproximação desejado e o tempo de atraso (T). Esta aproximação Padé será utilizada neste trabalho, quando não for possível utilizar o valor exato do tempo de atraso.

Aproximação Padé de primeira ordem para tempo de atraso T=1s:

$$e^{-sT} = \frac{-s + 2}{s + 2} \quad (10)$$

Aproximação Padé de segunda ordem para tempo de atraso T=1s:

$$e^{-sT} = \frac{s^2 - 6s + 12}{s^2 + 6s + 12} \quad (11)$$

Simulou-se o sistema no software MATLAB conforme a Fig. 10 considerando o tempo de atraso, utilizando o valor exato e aproximações lineares do tempo morto (através do comando *pade* do MATLAB). A simulação foi feita considerando inicialmente $K_p=K_i=1$, $RC=1$, tempo de atraso de $T=1s$ e $T_{valv}=60^\circ C$ (caso extremo), que apresenta o maior overshoot possível. Também está mostrada na Fig. 11 a região de estabilidade para K_i e K_p obtida através de um programa feito no MATLAB (Teixeira et. al, 2007) que calcula a região de estabilidade utilizando o critério de Routh-Hurwitz.

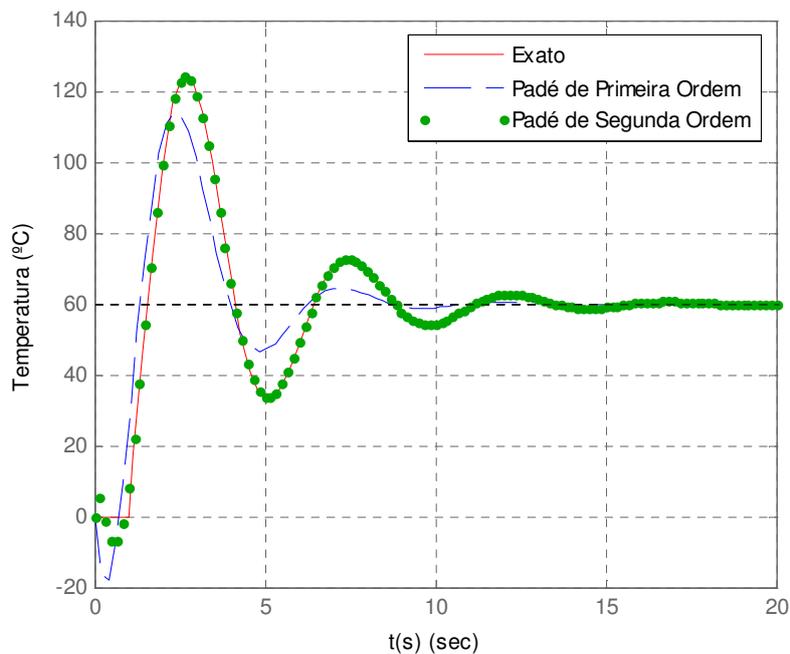


Figura 10 - Simulações do sistema da Fig. 9, com e^{-sT} (valor exato), usando aproximações pelo comando *pade* e região de estabilidade para K_p e K_i com aproximação de segunda ordem de e^{-sT} .

Observando a Fig. 10, nota-se que a resposta do sistema usando o valor exato do tempo de atraso é, para quase todo o tempo de simulação, visualmente idêntica à resposta que utiliza uma aproximação de ordem 2 para o tempo morto, diferindo apenas nos primeiros instantes de simulação ($t < 1s$). Logo, pode-se usar esta aproximação de segunda ordem, sem introduzir grandes erros nos cálculos. A aproximação de primeira ordem não foi adequada neste caso.

Nota-se também um overshoot consideravelmente alto para os ganhos K_p e K_i escolhidos (aproximadamente 100%). Portanto foi necessário ajustar novamente os ganhos do controlador. O projeto do novo controlador foi baseado na região de estabilidade obtida pelo critério de Routh-Hurwitz conforme Fig. 11 e no segundo método de Ziegler-Nichols. Tal método forneceu o passo inicial para a obtenção dos ganhos K_p e K_i e através de sintonia fina (ajustes dos ganhos), obteve-se $K_p=K_i=0.2$, que proporcionou overshoot relativamente baixo e tempo de estabilização razoável para o sistema considerado.

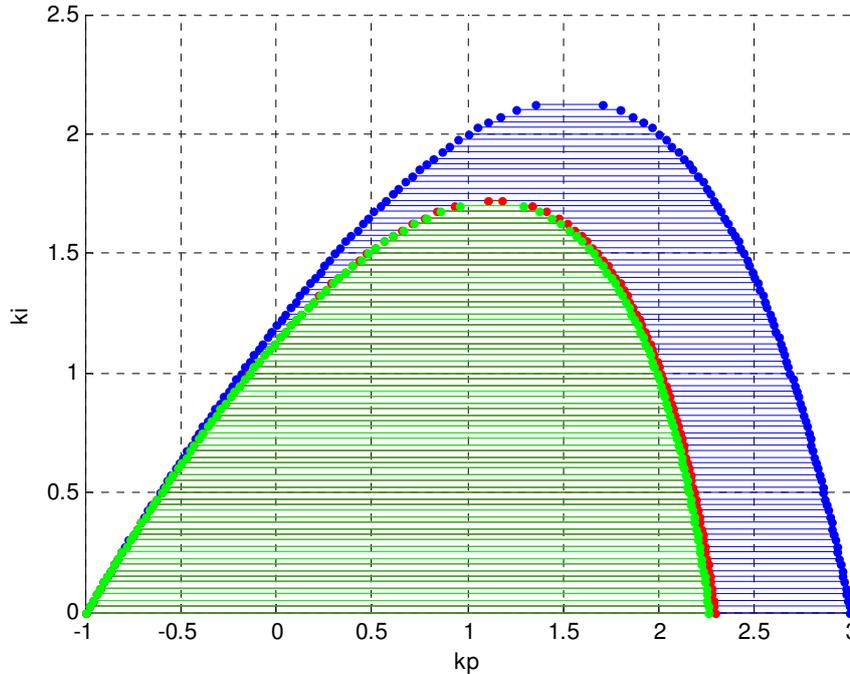


Figura 11 - Simulações do sistema da Fig. 9, com e^{-sT} (valor exato), usando aproximações pelo comando *pade* e região de estabilidade para K_p e K_i com aproximação de segunda ordem de e^{-sT} .

Nota-se que visualmente, as curvas de segunda ordem e de sétima ordem são muito semelhantes, o que justifica o uso da aproximação Padé de segunda ordem no cálculo da região de estabilidade. Porém, deve-se evitar a escolha de valores de ganhos (K_p e K_i) muito próximos dos limites do gráfico, pois como se trata do uso de uma aproximação e não do valor exato, a escolha de ganhos K_p e K_i muito próximos dos limites do gráfico pode causar instabilidade no sistema.

As simulações abaixo foram feitas no MATLAB, considerando $K_p=K_i=0.2$, $RC=1$, para diversas temperaturas de T_{valv} (30°C, 40°C, 50°C e 60°C), conforme mostrado nas Fig. 12 e Fig. 13.

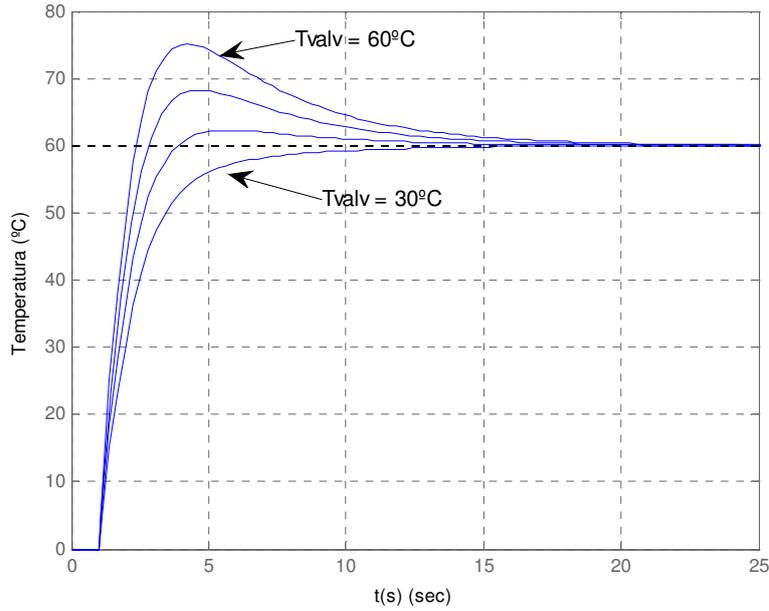


Figura 12 – Respostas do sistema de controle da Fig. 9, em relação à temperatura (T_{final}) e à entrada de calor H , considerando o tempo morto $T=1s$.

De forma análoga à simulação da Fig. 12, simulou-se a entrada de calor $H(s)$. A partir do diagrama da Fig. 9, obtém-se:

$$H(s) = \frac{(T_{des}(s) - T_{final}(s)) \cdot \left(K_p + \frac{K_I}{s} \right)}{R} \quad (12)$$

Sendo $T_{final}(s)$ igual à Eq. 9.

A partir da Eq. (12) foi feito um programa no MATLAB, nas mesmas condições da simulação anterior, cuja simulação está mostrada na Fig.13

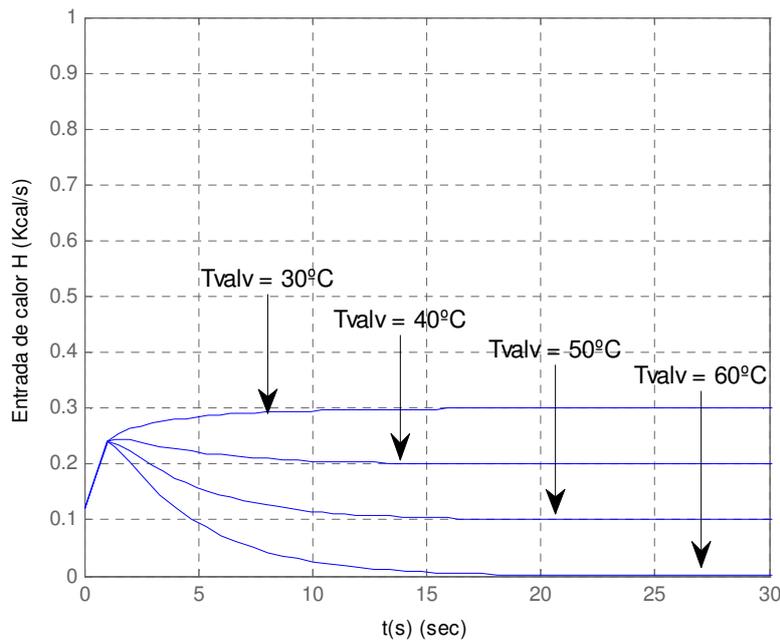


Figura 13 – Respostas do sistema de controle da Fig. 9, em relação à temperatura (T_{final}) e à entrada de calor H , considerando o tempo morto $T=1s$.

Notou-se, que a inclusão do tempo de atraso no sistema prejudica o comportamento do controle do aquecimento secundário conforme mostrado nas Fig. 12 e Fig. 13, sendo necessário reduzir os ganhos K_p e K_i de forma considerável para evitar elevados overshoots, ao custo de um tempo de estabilização maior. No entanto, o tempo de estabilização maior não acarreta em maiores problemas, pois o sistema atua de forma lenta, e o processo de secagem de frutas é bastante demorado.

2.5 Processo de secagem de frutas

Uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos utilizadas pelo homem é a remoção de umidade dos alimentos através do processo de desidratação.

A desidratação é um processo que consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. É necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do produto e um meio de transporte para remover o vapor de água formado na superfície do produto a ser seco. O processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto, de onde se evapora para o ambiente.

A velocidade do ar aquecido pode variar (0,5 a 3 m/s) conforme o sentido de movimentação em relação às bandejas que contém o produto. No caso do fluxo de ar perpendicular às bandejas, uma velocidade mais baixa pode ser empregada sem prejuízo ao processo de desidratação. Na Tab. 2, se encontra o produto a ser desidratado, o tempo de secagem e a temperatura do fluxo de ar (Canto et. al, 1987).

Tabela 2 – Características de desidratação de frutas.

Produto final	Matéria-prima	Tempo de secagem (horas)	Velocidade do fluxo de ar (m/s)	Temperatura do fluxo de ar (°C)
Banana-passa	Banana nanica	28 a 36	3	65
Abacaxi seco	Abacaxi pérola ou havaí	14	0,5 a 3	65
Manga seca	Manga	14	0,5 a 3	65
Maçã seca	Maçã	7 a 8	0,5 a 3	65 a 70
Caqui em passa	Caqui Taubaté	72 (24 p/ cada temperatura)	3	35, 40 e 45
Caqui em passa	Caqui Giombô	72 (24 p/ cada temperatura)	1,5	35, 40 e 45
Uva passa	Uvas s/ sementes	24	3	65
Ameixa seca	Ameixa Carmesim	11	3	65

3. Conclusão

No desenvolvimento deste projeto, foram abordadas, além das técnicas de controle automático e do uso do software MATLAB, assuntos de naturezas totalmente distintas, como por exemplo, a termodinâmica e o processamento de frutas.

Para facilitar a análise do sistema, o sistema foi separado em três etapas, sendo elas: Aquecimento Primário, Aquecimento Secundário e Misturador. Na análise do sistema de Aquecimento Primário, foi visto que o melhor modelo a ser empregado para estudo, senão o exato é o de um Trocador de Calor, que é um sistema já bem conhecido da termodinâmica. Foram estudadas suas características, equações, e particularidades deste processo.

Na análise do sistema de Aquecimento Secundário, foram feitos os mesmos estudos, porém utilizando um modelo mais simples.

Em termos de secagem de frutas, foi ressaltada a importância deste processo tanto para a valorização do produto quanto para a conservação do mesmo. Além disso, foi feito um levantamento de algumas das características deste processo.

Foi feita a inclusão do tempo de atraso no sistema de controle do aquecedor secundário, o que contribuiu para se obter um modelo mais realístico do mesmo. Porém notou-se que a inclusão do atraso de transporte no sistema prejudica o comportamento do mesmo, sendo necessário diminuir os ganhos do controlador PI, definidos através dos parâmetros K_p e K_i , de forma considerável para evitar elevados overshoots, ao custo de um tempo de estabilização maior. No entanto, o tempo de estabilização maior não acarreta em maiores problemas, pois o sistema atua de forma lenta, e o processo de secagem de frutas é bastante demorado.

Devido a tal particularidade foi possível continuar a utilizar o controlador PI no sistema de controle do aquecedor secundário, porém, para sistemas que exigem resposta mais rápida, é necessária a utilização de controladores mais sofisticados.

Um novo resultado desta pesquisa foi o uso do programa proposto em (Teixeira et. al, 2007), para o estudo da estabilidade e projeto de sistemas de controle com atraso de transporte.

REFERÊNCIAS

- Canto, W.L., Silveira, E.T.F., Leite, R.S.S.F., Maia, M.L., Gasparino Filho, J., Yotsuyanagi, K, 1987. “Processamento e Mercado de Frutas Secas”, Estudos Econômicos – Alimentos Processados, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas-SP.
- Franco Junior, A., 2006. Modelagem e Simulações de um Sistema de Controle de Temperatura com Energia Solar. Relatório Final de iniciação científica com bolsa UNESP-PIBIC (01.08.2005 a 31.07.2006). Ilha Solteira.
- Franklin, G. F.; Powell, J.D.; Workman, M., 1998. Digital Control of Dynamic Systems. 3rd ed. California: Addison-Wesley.
- Kurokawa, E. S., 2004. Modelagem, Projeto e Simulações de um Sistema de Controle de Temperatura. Relatório final de iniciação científica com bolsa UNESP-PIBIC (08.2003 a 07.2004). Ilha Solteira.
- Teixeira, M. C. M.; Assunção, E.; Covacic, M. R, 2007. Proportional Controllers: Direct Method for Stability Analysis and MATLAB Implementation. IEEE Transactions on Education, v. 50, p. 74-78.

Abstract. *Sometimes, in industrial process, there are cheap heat sources to heat certain products and equipments. The energy from these cheap heat sources is not usually constant. Otherwise, the products and equipments in industrial applications, must be heated considering a given required specification. These facts usually claim for an automatic control system, to transfer the heat from the cheap sources to the equipments. One of these cheap heat sources is the solar energy. This source of energy was studied in this work, to heat a constant flux of air. The environment temperature and the temperature of the solar heater changes with time, because the solar energy is not a constant source of energy. The project consists of a system where an air flux passes by the heater, and the air is heated because of the energy exchanges. Then, the air flux passes by a mixing valve, and the flux of air can be mixed with the environment air to produce a flux with the desired temperature. Finally, the flux of air passes through a secondary heater (for instance a gas heater or an electric heater), that is only turned on if the heated air temperature is smaller than a given desired temperature. One application of this control system, for the control of the temperature of a constant flux of air, is in the design of fruit dryers.*

Key words: *Solar Energy, Temperature Control, Fruit Dryer , Time Delay Systems, Control of Air Heating.*