



Ajuste de modelo do comportamento térmico de um reservatório acoplado a um refrigerador modificado

RESUMO

Ricardo Andreani Netzel
andeaninetzel@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Elizabeth Mie Hashimoto
ehashimoto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Ismael de Marchi Neto
ismaelneto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

OBJETIVO: Avaliar um sistema de armazenamento térmico via técnica de estratificação térmica acoplado a um refrigerador doméstico modificado por meio de métodos estatísticos. **MÉTODOS:** Os dados foram coletados experimentalmente por Marchi Neto (2007) durante três dias de hora em hora, e são referentes à temperatura da água dentro do reservatório de armazenamento em 31 pontos distintos da altura do tanque. Os dados foram analisados por meio de uma análise de agrupamento que visa determinar quais alturas de dentro do reservatório apresentam as mesmas características, e por fim utilizando um modelo de regressão não linear, o comportamento das curvas de temperatura foi modelado. **RESULTADOS:** Os resultados mostraram que sete termopares distribuídos em determinadas posições seria o número adequado para se avaliar o sistema de armazenamento térmico e o comportamento da temperatura da água no interior no sistema. Então, para o grupo de maiores alturas, a temperatura média estimada pelo modelo durante o regime permanente foi de aproximadamente 35C e o tempo estimado necessário para se atingir o mesmo foi em torno de 11 horas. **CONCLUSÕES:** A partir da análise de agrupamentos, observou-se um superdimensionamento no número de sensores de temperatura, e a previsão da temperatura média da água dentro do sistema de armazenamento térmico se mostrou interessante, ao se pensar na quantidade de energia armazenada.

PALAVRAS-CHAVE: Estratificação térmica. Análise de agrupamento. Modelo de regressão não linear.

INTRODUÇÃO

Os sistemas mais comuns de armazenamento térmico baseiam-se na utilização do calor sensível, onde a temperatura do material utilizado para o armazenamento varia conforme a quantidade de energia fornecida, o material utilizado na estocagem deve apresentar uma alta densidade de energia armazenada por volume e massa. Ao se procurar os possíveis materiais, encontra-se a água, que apresenta todas as propriedades desejáveis além de ser relativamente barata, de fácil manipulação e armazenagem, possui uma grande faixa de temperatura entre seu ponto de fusão e ebulição, sem contar na sua grande versatilidade para aplicação no meio doméstico.

Uma forma de aplicação dos sistemas de armazenamento de calor utilizando a água é através do acoplamento desse sistema a um refrigerador ou algo do gênero, onde o calor que antes era transferido para o meio ambiente pelo condensador e totalmente ignorado, passa a ser utilizado para aquecer a água no sistema de armazenamento, a qual posteriormente poderá ser utilizada para diversas aplicações. Um ponto importante do depósito de água quente é a taxa de transferência de calor entre a água e o sistema que estará fornecendo calor, pois a eficiência do sistema não pode ser reduzida com o aumento da temperatura do fluido, prejudicando assim a sua troca de calor. Tal problema pode ser contornado através da estratificação térmica do fluido de armazenagem.

A estratificação térmica como citado é uma importante variável do sistema de armazenamento, e seu comportamento deve ser minuciosamente estudado. Dessa forma, prevendo o seu comportamento, pode-se saber se a troca de calor entre a água e o gás refrigerante, por exemplo, estará ocorrendo de uma maneira correta, ou seja, aproveitando todo o calor disponível sem afetar negativamente o coeficiente de performance do refrigerador. Nesse contexto, uma análise de regressão pode ser utilizada para estudar a temperatura das camadas da estratificação térmica com o passar do tempo.

Então, para analisar a estratificação térmica, primeiramente será utilizado uma análise de agrupamento (BARROSO e ARTES, 2003) afim de se determinar quais conjuntos de dados apresentam as mesmas características, em seguida um modelo de regressão não linear (ZEVIANI et al., 2013) será utilizado para modelar o comportamento da temperatura da água em uma das camadas da estratificação térmica. Os dados a serem analisados nesse trabalho foram coletados experimentalmente por Marchi Neto (2007). O experimento consistiu em acoplar um sistema de armazenamento da energia térmica a um refrigerador. O conjunto de dados são referentes a temperatura da água dentro do reservatório de armazenagem em 31 pontos distintos da altura do tanque, sendo os dados coletados durante três dias.

MÉTODOS

O experimento consistiu na utilização de um refrigerador doméstico cuja capacidade era de 263 litros. O refrigerador foi modificado de modo que seu condensador aletado foi substituído por um trocador de calor do tipo casco tubo, cuja função é condensar o gás refrigerante durante os ciclos de refrigeração, utilizando-se da água do sistema de armazenamento térmico. O sistema de armazenamento era composto de um cilindro com 122 litros de capacidade, construído com um tubo de PVC de 1,75 metros de altura e um diâmetro de 0,30

metros, onde a água seria estocada via técnica de estratificação térmica. Os dados foram coletados utilizando-se termopares, os quais foram distribuídos em uma sonda em 31 posições, os termopares estavam igualmente espaçados e distribuídos por toda altura do armazenador.

A análise dos termopares foi realizada através do método de agrupamento K-means, o valor do parâmetro K que deve ser fornecido, foi selecionado com a ajuda do método de Elbow, porém através das observações dos resultados fornecidos pelo método e do conhecimento do pesquisador, um valor de K adequado foi selecionado. O algoritmo utilizado na análise pertence ao *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

O modelo não linear (BRANDÃO, 2015) utilizado para modelar o comportamento da temperatura na camada da estratificação térmica é expresso por:

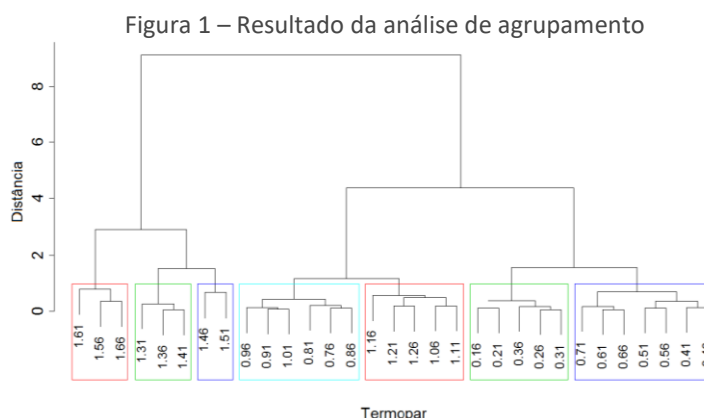
$$f(x) = A + B * \tanh\left(\frac{X - D}{C}\right)$$

Sendo que parâmetro A do modelo pode ser interpretado como a temperatura média entre o regime permanente e transiente, já $2B$ é a amplitude térmica registrada entre os dois regimes, $2C$ corresponde ao intervalo do ponto de inflexão, e D equivale ao intervalo de tempo do parâmetro A .

Para realizar a estimação dos parâmetros do modelo foi utilizado o método da máxima verossimilhança, os valores iniciais foram selecionados através de um estudo prévio do comportamento do modelo utilizado, junto da observação do diagrama de dispersão referente ao conjunto de dados a ser analisado.

RESULTADOS

O método de Elbow juntamente do conhecimento do pesquisador, foram utilizados para se determinar o número de grupos a serem formados pela análise de agrupamento, sendo o método K-means utilizado na análise, o número de grupos K escolhido foi igual a sete, como ilustra a figura 1.



Fonte: Autoria própria (2017).

As estimativas obtidas para os parâmetros do modelo através do método da máxima verossimilhança, referem-se a temperatura média registrada no grupo que contém as alturas de 131, 136 e 141 cm, além da estimativa do erro padrão e

do intervalo de confiança, com nível de significância de 95%, estão representados na tabela 1.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros, erro padrão e intervalo de confiança

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Intervalo Inferior	Intervalo Superior
A	29,6925	0,2188	29,2636	30,1213
B	5,6532	0,2223	5,2174	6,0889
D	8,9706	0,2151	8,5490	9,3921
C	1,6251	0,3717	0,8965	2,3536

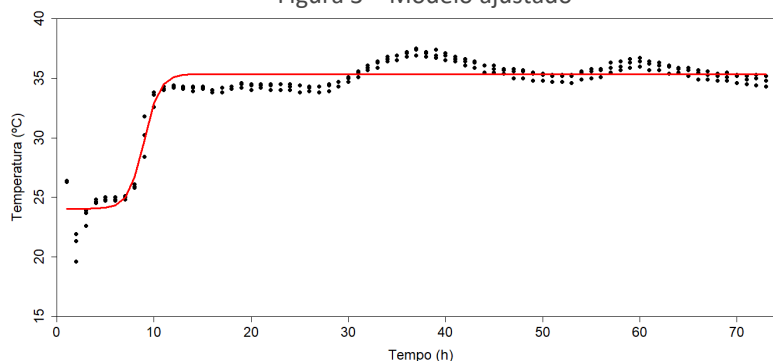
Fonte: Autoria própria (2017).

DISCUSSÃO

Os agrupamentos dos dados ocorreram de maneira satisfatória e coerente, pois todas as curvas de um mesmo grupo apresentam um perfil muito similar e com um desvio padrão muito pequeno, já quando se compara dois grupos pode-se ver claramente que há diferença no perfil e na amplitude das curvas.

Através dos parâmetros estimados, pode-se obter alguns pontos importantes. A temperatura média durante o regime permanente pode ser determinada somando-se o parâmetro *A* com o *B*, o que resulta em um valor de temperatura igual a 35,3457°C. Já o período de tempo correspondente ao regime transiente obtém-se somando o parâmetro *D* com *C*, logo observa-se que o experimento em suas 10,5957 primeiras horas se encontra em regime transiente. A figura 3 apresenta o modelo ajustado ao conjunto de dados disposto.

Figura 3 – Modelo ajustado



Fonte: Autoria própria (2017)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, analisou-se a distribuição dos termopares no interior do armazenador térmico, através de uma análise de agrupamento utilizando-se o método K-means, onde os 31 termopares foram agrupados em sete grupos. Em seguida, um modelo não linear foi utilizado para modelar o comportamento da temperatura média registrada no grupo contendo as alturas de 131, 136 e 141 cm. Através dos parâmetros estimados e de suas interpretações físicas foi possível determinar a média de temperatura durante o regime permanente de operação e o tempo necessário para se atingir o regime permanente.

Adjustment of the thermal behavior model of a reservoir coupled to a modified refrigerator

ABSTRACT

OBJECTIVE: To evaluate a thermal storage system using thermal stratification technique coupled to a modified refrigerator using statistical techniques. **METHODS:** The data analyzed were collected experimentally by Marchi Neto (2007) For three days an hour, and are referring to the temperature of the water inside the storage tank at 31 different points from the height of the tank. The data were analyzed through a cluster analysis to determine which heights within the reservoir have the same characteristics, and finally using a non-linear regression model, the behavior of the temperature curves was modeled. **RESULTS:** The results showed that seven thermocouples distributed in certain positions would be the adequate number to evaluate the thermal storage system and the behavior of the water temperature inside the system. Then, for the group of higher elevations, the mean temperature estimated by the model during the permanent regime was approximately 35°C and the estimated time needed to reach it was around 11 hours. **CONCLUSIONS:** From the analysis of clusters, an oversized number of temperature sensors was observed, and the forecast of the average temperature of the water inside the thermal storage system was interesting, considering the amount of energy stored.

KEYWORDS: Thermal stratification. Cluster analysis. Nonlinear regression.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica concedida para realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise Multivariada**. Universidade federal de Lavras, 2003.

CABEZA, L . F. **Advances in ThermalEnergy Storage Systems: Methods and applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015.

BRANDÃO, B. P. **influência do tempo de imersão em solução aquosa contendo H₂S sobre a tenacidade de tubo API 5L X65 sour avaliada a partir de ensaio de Charpy**. Universidade Estadual de São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16062016-084316/pt-br.php> >. Acesso em: 26 Ago. 2017

MARCHI NETO, I. **Levantamento de Coeficientes de desempenho de refrigeradores domésticos associados a armazenador térmico**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. **R Development Core Team**, 2015 R. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0.

ZEVIANI, W. M.; RIBEIRO Jr, P. A.; BONAT, W. H. **Curso em modelos de regressão não linear**. Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2013. Disponível em: < <http://www.leg.ufpr.br/~walmes/cursoR/mrnl2013/master.pdf> >. Acesso em: 26 Ago. 2017

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

NETZEL, R. A. et al. Ajuste de Modelo do Comportamento Térmico de um Reservatório Acoplado a um Refrigerador Modificado. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Ricardo Andreani Netzel

Avenida dos Pioneiros, número 3131, Bairro Jardim Morumbi, Londrina, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

