

GELADEIRA DO DESERTO: UMA INICIAÇÃO CIENTÍFICA FORJADA NAS AULAS DE TERMODINÂMICA DE UM CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Jomar Barros Filho – jomarbf@uol.com.br

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)
Rua dos Estudantes s/n, Cachoeira de Cima, Mogi Guaçu, SP
13843-971 – Mogi Guaçu – SP
Universidade Paulista (UNIP)

Tainá A. Vedovello Bombati – tavedovello@yahoo.com.br

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)

João Alexandre Bortoloti – jabortoloti@uol.com.br

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)
Escola Superior de Administração, Marketing e Comunicação (ESAMC)
Universidade Paulista (UNIP)

Lauro Cavallieri – laurocavallierei@hotmail.com

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)

Estéfano Vizconde Veraszto - estefanovv@gmail.com

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)
Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas/São Paulo/Brasil
Instituição de Ensino São Francisco/Mogi Guaçu/São Paulo/Brasil

José Tarcísio Franco de Camargo - jtfc@bol.com.br

Faculdade Municipal “Prof. Franco Montoro” (FMPFM)
Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal (UNIPINHAL)

***Resumo:** Este artigo surgiu da interação entre os alunos e o professor da disciplina Termodinâmica de um curso de Engenharia Ambiental. Após uma revisão da literatura, faremos uma discussão a respeito do funcionamento e das possibilidades do uso de um sistema de refrigeração evaporativa, “pot in pot”, utilizado para preservar alimentos. Tal sistema pode ser construído a partir de sucatas a um custo muito baixo e tem sido usado com sucesso por comunidades carentes de países da África. A falta de estudos em território nacional fez com que a nossa Instituição de Ensino fomentasse um projeto de iniciação científica com a finalidade de levantar as características físicas desta geladeira e dar início a*

um processo de otimização através de um sistema automatizado de aquisição de dados e sua análise com o uso de ferramentas estatísticas.

Palavras-chave: *Geladeira do deserto, Termodinâmica, Iniciação científica, Engenharia ambiental, Sustentabilidade.*

1 INTRODUÇÃO

Este artigo surgiu como resultado dos trabalhos apresentados pelos alunos na disciplina “Termodinâmica”, no curso de Engenharia Ambiental, de uma faculdade municipal do interior do estado de São Paulo.

Após a exposição e estudo dos principais conceitos que compõe essa disciplina, tais como temperatura, trocas de calor, primeira e segunda leis da termodinâmica e entropia, os alunos foram organizados em grupos de trabalho com a responsabilidade de apresentar pequenos seminários sobre alguns temas desta disciplina. Em especial, o grupo que apresentou o tema “geladeiras e refrigeradores”, trouxe a sala de aula um protótipo da “Geladeira do Deserto – *pot in pot*”. Trata-se de um dispositivo muito simples, em uso em algumas comunidades carentes de países da África, capaz de abaixar em vários graus a temperatura de seu interior quando comparada com a temperatura ambiente.

Após a apresentação deste grupo, várias questões vieram a tona, tais como: quais seriam as condições de funcionamento de tal “geladeira”? Como a sua temperatura varia em função da temperatura e umidade relativa do ar? Em síntese, quais seriam as características físicas deste artefato e até que ponto ele poderia ser utilizado com sucesso em nosso país. Outro fato que chamou bastante a atenção de todos é o de se tratar de um artefato produzido com sucatas, com um custo extremamente baixo. A partir disso, a Instituição ofereceu aos alunos proponentes deste grupo a participação em um projeto de iniciação científica com bolsa pesquisa.

Assim, neste artigo iremos discutir de forma crítica as possibilidades de desenvolvimento e de aplicações deste artefato em nossa sociedade. Além disso, discutiremos também a possibilidade da inclusão do tema sustentabilidade ambiental, através de equipamentos “ecologicamente corretos”, na disciplina Termodinâmica dos cursos de engenharia ambiental.

2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE

Mihelcic et al (2007) citando o Programa Ambiental das Nações Unidas, explica que para se alcançar o desenvolvimento sustentável os países menos desenvolvidos precisam ter acesso e estar capacitados para utilizar as tecnologias dos países mais desenvolvidos. Além disso, a sustentabilidade demanda uma parceria global, uma integração de conhecimentos, metodologias, técnicas, princípios e práticas entre todos os países. Da mesma forma, é preciso maior diálogo entre os processos naturais e antrópicos dos ambientes rurais com o meio urbano, devido ao crescimento acelerado da população nessa área.

Neste sentido, o conhecimento dos povos indígenas que habitam nações em desenvolvimento pode contribuir significativamente para este diálogo na busca do desenvolvimento sustentável. Um exemplo da importância da incorporação dos saberes populares para a civilização e para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia é o armazenamento dos produtos agrícolas após a colheita.

Conforme Sánchez-Mata et al (2003) apud Basediya et al (2011), a conservação destes alimentos requer um controle dos índices de temperatura e umidade que relaciona-se aos processos bioquímicos e fisiológicos, tais como a respiração e a emissão de calor, acelerando os processos metabólicos dos vegetais. Ao serem mantidos a baixas temperaturas e alta umidade, têm reduzidas suas taxas microbianas, resultando no aumento de sua vida útil.

Estudos realizados na Índia relatam que a maioria dos frutos e vegetais são mantidos em abrigos temporários de madeira e bambu perto dos locais de produção e captação. Em locais quentes, são armazenados em fossas ou quartos secos, com ventilação adequada durante cerca de alguns dias sem maiores danos e vendidos semanalmente.

Por outro lado, os métodos modernos de armazenamento de alimentos se baseiam no controle da refrigeração do ambiente através da refrigeração mecânica, que necessita, segundo Basediya et al (2011), de uma grande quantidade de energia, fornecimento de eletricidade, e altos custos além do longo período de instalação, tornando inacessível esse tipo de refrigeração às populações indianas e nigerianas. Odesola e Onyebuchi (2009) referem-se à vasta gama de aplicações que estas tecnologias possibilitam. Com o acesso à eletricidade, gás natural, e querosene, os sistemas de refrigeração comercial e de ar condicionado podem ser usados em qualquer ambiente, independentemente da temperatura e umidade relativa.

Porém, o fato destes sistemas utilizarem gases refrigerantes tem cada vez mais gerado estudos sobre suas toxicidades. Dentre os vilões, destacam-se a amônia, dióxido de enxofre, e cloreto de metileno, que foram amplamente explorados no início de 1900. Em 1920, a produção do *freon* e outros gases contendo CFC fortaleceu o uso de refrigeradores mecânicos até a descoberta do seu impacto sobre o ozônio estratosférico em 1980, que ocasionou o abandono progressivo do CFC e de seu substituto, o HCFC.

Atualmente, o maior desafio, no entanto, é o alto consumo de energia através da refrigeração mecânica, que viola o princípio do desenvolvimento sustentável. A refrigeração mecânica do ar utiliza anualmente cerca de 18% dos 39 quatrilhões de BTU's de energia em edifícios dos EUA e mais de 26 bilhões de litros de gasolina são usados para fornecer ar condicionado para veículos automóveis do mesmo país, segundo o Livro de Dados de Energia em Edifícios (MIHELIC et al. 2007).

2.1 Resfriamento evaporativo e conhecimentos populares

O refrigerador evaporativo, a partir de algumas modificações, pode ser uma alternativa na redução de custos de armazenamento, sem o uso de produtos químicos, tóxicos e na ausência de rede elétrica, de modo a proporcionar a subsistência dos agricultores, sendo mais acessíveis às comunidades rurais (IDAH et al, 2010).

Na Índia, assim como em locais nos quais as fontes de energia são inexistentes ou caras, e as condições ambientais são favoráveis, o resfriamento evaporativo deve ser considerado uma alternativa viável para o armazenamento de alimentos (BABARINSA, 2000 apud ODESOLA e ONYEBUCHI, 2009; BASEDIYA et al, 2011). Este tipo de resfriamento é considerado ambientalmente correto, pois não necessita de gás ozônio como os sistemas mecânicos, além de ter baixos custos. O sistema de refrigeração passou a inovar a tradicional tecnologia de resfriamento por evaporação nos países emergentes, nos quais é bem conhecido. A temperatura cai consideravelmente e a umidade aumenta o necessário para o armazenamento a curto prazo de produtos perecíveis (JHA e ALEKSHA, 2006 apud BASEDIYA et al, 2011).

Desenvolvido na Nigéria rural por Mohammend Bah Abba, o sistema em pequena escala, que funciona com uma panela de barro menor dentro de uma maior - refrigerador *pot-in-pot* (Figura 1)- têm o espaço entre elas preenchido com areia molhada, o que intensifica a eficiência do resfriamento (MIHELICIC et al, 2007).

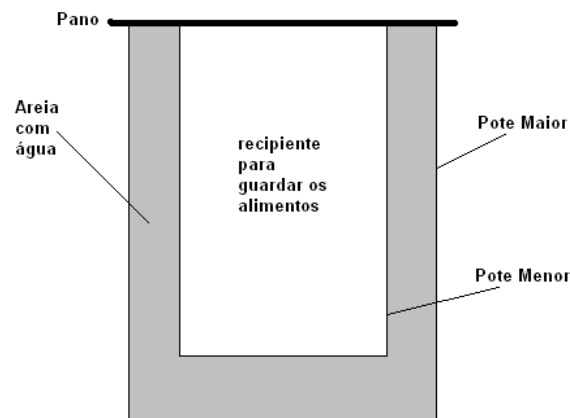


Figura 1: Diagrama da Geladeira do Deserto, pot in pot.

Idah et al (2010) descrevem o sistema desenvolvido pelo Instituto Nigeriano de Pesquisas de Produtos como um sistema de resfriamento passivo, por evaporação, constituído por uma tigela de argila queimada com cerca de 65 centímetros de altura e uma espessura de 8 milímetros. Dentro desta, um pote menor foi colocado, deixando um espaço de aproximadamente 7 centímetros entre eles, que foi preenchido com areia do leito do rio mantida úmida através da rega com frequência, e tampado o sistema.

Odesola e Onyebuchi (2009), relatam que a redução da temperatura retarda a deterioração dos alimentos. A evaporação não só reduz a temperatura do ar em torno da produção, mas aumenta o teor de umidade que evita o ressecamento do produto. Shanmugam et al (2004) notaram que nessas condições, os vegetais possuem vida útil de 3 semanas, enquanto que, os mantidos a céu aberto, se deterioram em uma semana. A principal vantagem desse sistema é a preservação por refrigeração sem eletricidade, sendo aplicado a áreas rurais.

No Sudão, a Associação das Mulheres da Indústria do barro têm experimentado o projeto de armazenamento de Maomé Abbah afim de descobrir a eficácia e viabilidade econômica do

armazenamento em “Zeer” na conservação dos alimentos. “Zeer” é o nome árabe para os vasos utilizados. Como resultado dos testes, houve produção e comercialização das panelas (LONGMONE, 2003 apud ODESOLA e ONYEBUCHI, 2009).

Uma adaptação desse desenho é o cooler Janata, desenvolvido pelo “Food and Nutrition Board” da Índia (ROY, 1985 apud ODESOLA e ONYEBUCHI, 2009), na qual um pote de armazenamento é colocado em uma tigela de barro contendo água. O pote é então coberto com um pano úmido que está mergulhado no reservatório de água. A água é drenada pelo pano e evapora, mantendo a panela de armazenamento fria. A taça é colocada sobre a areia molhada, para isolar o pote no chão.

2.2 Princípios da refrigeração evaporativa

Basicamente trata-se de um sistema de condicionamento de ar que opera com processos induzidos de transferência de calor e massa, onde a água e o ar são fluidos para trabalho (CAMARGO, 2007 apud BASEDIYA et al 2011). O resfriamento do dispositivo resulta na alta umidade relativa do ar dentro da câmara, a partir da evaporação em relação ao ar ambiente. As câmaras frias utilizam o princípio do resfriamento por evaporação, sendo capazes de manter a temperatura entre 10°C e 15°C abaixo da temperatura ambiente, e umidade de 90% dependendo da estação.

Mihelcic et al. (2007), afirmam que o princípio básico desta aplicação térmica baseia-se na evaporação de água e na conseqüente extração do calor latente de vaporização da superfície em que a evaporação ocorre. O resfriamento evaporativo acontece quando a temperatura da superfície do vaso é maior que a temperatura do ponto de orvalho do ar ambiente. Neste caso, a superfície da panela começa a esfriar.

O resfriamento é proporcionado pela troca de calor por evaporação que tira proveito dos princípios do calor latente de evaporação, onde o calor é trocado e faz a água evaporar. Quando a água evapora, retira energia do seu entorno. O ar seco, ao passar sobre uma superfície molhada, sofre aumento de umidade e redução de temperatura. (BASEDIYA et al, 2011; ODESOLA e ONYEBUCHI, 2009). Para aumentar as taxas de evaporação, deve-se aumentar a superfície de água. Por essa razão os potes de cerâmica porosos são cobertos por um tecido úmido.

Uma análise do sistema refrigerador *pot-in-pot* comprova que a tecnologia pode ser aperfeiçoada ou transferida para outras aplicações. O mesmo método do resfriamento evaporativo é utilizando pelas plantas e animais para abaixarem suas temperaturas. Para evaporar, a água extrai energia (calor) do seu meio e ocasiona diminuição da temperatura.

A eficiência de um refrigerador evaporativo depende das condições de umidade e temperatura do meio em que está inserido. Quanto menores as taxas de umidade do ar, maior a capacidade da água evaporar, do ar manter o vapor e do recipiente resfriar.

A evaporação será mais rápida, segundo Mihelcic et al. (2007), quando o vaso de barro estiver a uma temperatura elevada. A transferência de calor através do conteúdo do vaso para a superfície exterior acontece de modo mais eficiente, com uma pequena diferença de temperatura, o que requer uma condutividade térmica elevada para o reservatório. Assim, a

diminuição da espessura do vaso duplo e da camada de areia, provavelmente melhora a condutividade térmica do sistema pois, quando o ar quente e seco entra em contato com o material, ocorre a evaporação da água, aumentando a umidade do ar e reduzindo sua temperatura. Assim, quanto menor for a espessura, mais rápida será a refrigeração. Por outro lado, a desvantagem seria a redução da água armazenada. Isso implicaria no fato de haver necessidade de acrescentar água com maior frequência para que o sistema continue funcionando.

O aumento da circulação do ar ao redor da panela favoreceria o aumento do transporte da umidade para longe da superfície. No entanto, isso também aumentaria o transporte de calor para a superfície por convecção. O efeito líquido do aumento da circulação do ar favoreceria o resfriamento evaporativo sobre o aquecimento convectivo devido ao grande calor latente de vaporização da água em comparação com a capacidade térmica específica do ar. O fluxo de calor latente é normalmente de 2 a 5 vezes maior que o fluxo de calor sensível para superfícies úmidas. A evaporação ocorre quando a água absorve energia suficiente para mudar do estado líquido para o gasoso. Quanto maior a temperatura do ar, mais estímulo existe para o processo de evaporação e o ar será capaz de manter uma maior quantidade de vapor. Regiões de temperaturas altas, portanto, têm maiores taxas de evaporação e consequentemente, maior potencial de refrigeração (BASEDIYA et al, 2011).

Outro fator relevante está ligado a influência dos ventos próximos ao refrigerador. Ao evaporar na superfície do material, a água é mantida no ar em forma de vapor, tendendo a aumentar sua umidade. Se esse ar úmido continuar em vigor, a taxa de evaporação começará a diminuir com o aumento da umidade. Por outro lado, se esse ar úmido for soprado pelos ventos e substituído por um ar mais seco, a taxa de evaporação permanece constante, podendo inclusive aumentar.

3 À GUIA DE CONCLUSÕES

A partir desta primeira revisão da literatura, percebemos que uma das principais vantagens de tal sistema de refrigeração reside no fato de utilizar recursos simples de refrigeração passiva para atingir baixas temperaturas. Tal artefato não requer habilidade especiais para a sua operação e, portanto, mostra-se bastante adequado para aplicações em áreas rurais.

Por outro lado, faltam estudos que demonstrem as características físicas deste sistema de refrigeração. A simplicidade e o baixo custo deste sistema, amparados pelas suas curvas características, podem mostrar as suas reais potencialidades de uso em nossa região.

Hoje é muito comum as pessoas construírem churrasqueiras, fornos de pizza e fogões a lenha em alguma área reservada de suas casas. Tais artefatos são amplamente comercializados sendo possível encontrar uma ampla gama de tamanhos e modelos, inclusive em material pré-moldado que melhor atendam aos gostos das pessoas. De forma semelhante, poderíamos imaginar um sistema de refrigeração *pot in pot* capaz de complementar estes artefatos. Mais uma vez, a viabilidades desta idéia depende da realização de estudos técnico.

Neste contexto, estamos desenvolvendo vários protótipos deste tipo de geladeira. Iremos medir parâmetros tais como temperatura e umidade relativa do ar ao longo de um grande período, buscando caracterizá-la nas quatro estações do ano em nossa região no estado de São Paulo. Para isso, estamos implementando um sistema de aquisição de dados automatizado, capaz de gerar um grande banco de dados. Este será tratado estatisticamente, onde buscaremos modelos matemáticos com a finalidade de otimizar a geladeira.

Por fim, as disciplinas básicas dos cursos de engenharia, tais como as físicas, químicas e, em nosso caso específico a termodinâmica, são capazes de gerarem temas que podem fomentar projetos de iniciação científica. Mesmo dentro dos conteúdos tradicionais, um olhar atento do professor, com a participação efetiva dos alunos pode vir a revelar estratégias para o uso mais racional e sustentável da energia.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASEDIYA, A. L., SAMUEL, D. V. K., BEERA, V. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review. **J Food Sci Technol**. v.1, n.1, p. 1-14, 2011.
- IDAH, P. A., MUSA, J. J., ABDULLAHI, M. Effects of Storage Period on Some Nutritional Properties of Orange and Tomato. **AU J.T**, v.13, n. 3, p. 181-185, 2010.
- MIHELIC, J. R., ZIMMERMAN, J. B., RAMASWAMI, A. Integrating Developed and Developing World Knowledge into Global Discussions and Strategies for Sustainability. 1. Science and Technology. **Environmental Science & technology**. v.41, n.10, p. 3415-3521, 2007.
- ODESOLA, I. F., ONYEBUCHI, O. A Review of Porous Evaporative Cooling for the Preservation of Fruits and Vegetables. **The Pacific Journal of Science and Technology**. v.10, n.2, p. 935-941, 2009. Disponível em: <<http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>>. Acesso em 11 maio 2011.
- SHANMUGAM, G., JAWAHAR, G. S., RAVINDRAN, S. Review on the Uses of Appropriate Techniques for Arid Environment. **International Conf. on Water Resources & Arid Environment**. 2004.

DESERT REFRIGERATOR: AN UNDERGRADUATE STUDENT IN THE CLASSES OF THERMODYNAMICS DEVELOPED A COURSE IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Abstract: *This paper arose from the interaction of students and professor of a Thermodynamics course in an environmental engineering program. After a literature review, the operation and the possibilities of using an evaporative cooling system, "pot in pot", to preserve food was discussed. Such a system can be built from scrap at a very low cost and has been successfully used by needy communities in African countries. The lack of studies in Brazil has induced our educational institution to sponsor an undergraduate research project aimed at raising the physical characteristics of this kind of refrigerator and begin its optimization process through an automated data acquisition system and analysis using statistical tools.*

Key-words: Pot in pot, Thermodynamics, Scientific Initiation Engineering, Environmental Sustainability.