IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR DE REFRIGERAÇÃO EM HOSPITAL DE SÃO LUÍS-MA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL

Thiago dos Santos Maia 1 (TSM_Autor)[1]

Jorge Bertoldo Junior (JBJ_Autor) [2]

Paulo Henrique da Silva Leite Coelho (PHSLC_Autor) [3]

Palavras-chave: Refrigeração solar1; Eficiência energética2; Sustentabilidade3; Sistemas de ar-condicionado4, Resfriamento por absorção5.

1. Introdução

A energia utilizada para iluminação, aquecimento e resfriamento representa as principais fontes de gasto energético em uma edificação. Os edifícios são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo global anual de energia (Zhao *et al*., 2017). Neste contexto, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), por meio do Sexto Relatório de Avaliação, aponta para cenários de aumento médio das temperaturas globais entre 1 e 5 °C até 2100 (IPCC, 2022). Esse aumento nas temperaturas globais torna urgente a necessidade de repensar o consumo de energia e buscar alternativas mais sustentáveis nos diferentes setores.

Nesse sentido, alguns dos principais sistemas de refrigeração incluem compressores de vapor, refrigeração por absorção, sistemas de refrigeração termoelétrica e refrigeração solar. Cada um desses métodos possui características, aplicações e eficiências distintas, sendo escolhidos de acordo com as necessidades específicas (Sarbu; Sebarchievici, 2013). Nessa vertente, as tecnologias de refrigeração desempenham um papel importante na vida humana, como a utilização do ar-condicionado para a obtenção de um conforto térmico (Wang *et al*., 2023).

Tratando-se dos ambientes hospitalares, enquanto prestadores de serviços, esses devem estar preparados para oferecer uma ampla gama de serviços de saúde ao longo de 24 horas. Essa operação contínua resulta em um padrão de consumo de energia distinto e exigente dentro dessas instalações (Zahedi *et al*., 2022). As pesquisas e estatísticas sobre o consumo de energia nos hospitais mostram que o consumo por m² é consideravelmente maior do que em outras instituições de serviços (Mohammadi *et al*., 2014).

Esta pesquisa é considerada relevante, tendo em vista a escassez de informações na literatura sobre a utilização de energias renováveis, especialmente sobre a refrigeração solar em hospitais, onde se observa um aumento expressivo do consumo energético. No contexto hospitalar, este estudo é considerado relevante para o setor de saúde, já que os hospitais enfrentam uma demanda crescente por energia em decorrência do funcionamento contínuo de equipamentos médicos, sistemas de climatização e à manutenção de condições adequadas de conforto térmico.

[1] TSM. Mestrando em Energia e ambiente, Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA),thiagomaiamm33@gmail.com.

[2] Autor 2: Doutor, JB Junior, Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA) e jorge.bertoldo@ufma.br.

[3] Autor 3:Doutor, PHSL Coelho, Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA) e coelho.paulo@ufma.br.

Enquanto para a cidade de São Luís-MA, as condições climáticas tropicais se caracterizam por altas temperaturas e umidade, o que torna a necessidade de sistemas de refrigeração eficientes ainda mais evidente para o âmbito hospitalar. Assim, a implementação de refrigeração solar em climas tropicais como São Luís contribui para a mitigação de custos operacionais, já que diminui o consumo de eletricidade e promove uma solução econômica.

2. Objetivos

Investigar a viabilidade do sistema de absorção como uma alternativa sustentável para a implementação de ar-condicionado em um ambiente hospitalar em São Luís-MA.

3. Metodologia

Nesta pesquisa, utilizou-se a abordagem quantitativa, aplicada e exploratória acerca de dois sistemas de climatização com o acionamento de energia solar térmica na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) Adulta do Hospital Universitário do Maranhão (HUUFMA), situado na região central de São Luís-MA. A proposta de pesquisa concentra-se na análise do acionamento de um chiller de absorção de vapor com capacidade de 15 TR, alimentado pela geração de calor proveniente de um coletor solar comparado a um sistema de compressão de vapor.

Para a realização do estudo, foi simulado um sistema de refrigeração baseado no ciclo de absorção para assegurar a confiabilidade e redundância necessárias quanto às demandas específicas de uma UTI. Assim, o sistema de absorção foi acionado por coletores solares, que geraram a quantidade de calor requerida pelo gerador de vapor.

Quanto aos procedimentos da pesquisa, realizou-se um levantamento das condições termo-higrométricas da cidade de São Luís do Maranhão. Em seguida, foi realizado um levantamento das particularidades do prédio com base no memorial descritivo e na planta baixa, ambos pertencentes ao arquivo técnico do Hospital Universitário do Maranhão (HUUFMA).

Os resultados apresentados nesta pesquisa são preliminares e trata-se de um levantamento que foi executado em agosto de 2024, quando foram coletadas as dimensões da área de estudo, as características construtivas do piso e do forro, assim como a quantidade de portas e as dimensões das paredes internas e externas. Essa análise teve como finalidade fornecer informações detalhadas acerca da potência útil consumida pelos dois sistemas, averiguando o impacto nos custos mensais de energia elétrica. Esta pesquisa foi autorizada pelo Hospital Universitário do Maranhão através da Rede de Pesquisa da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh).

4. Resultados e Discussão

Esta pesquisa concentrou-se na análise do acionamento de um chiller de absorção de vapor com capacidade de 15 TR, alimentado pela geração de calor proveniente de um coletor solar em comparação com o sistema de compressão de vapor.

Para selecionar o equipamento de climatização para ambos os cenários propostos, realizou-se uma mensuração detalhada da carga térmica do ambiente, levando em consideração as rotinas de ocupação, os equipamentos instalados, as características construtivas do edifício e as condições climáticas da cidade de São Luís, MA. De acordo com o Atlas Solarimétrico, São Luís apresenta um potencial anual de geração de irradiação global horizontal de 5,490 Wh/m². dia.

Os sistemas de climatização (compressão e absorção) apresentam um coeficiente de performance, que representa uma medida avaliativa de eficiência de sistemas de refrigeração.

Nesse entendimento, Otanicar, Phelan e Taylor (2012) consideram que para os sistemas de resfriamento por absorção com a utilização do fluido de trabalho LiBr, o Coeficiente de Performance (COP) varia entre 0,76 e 0,86, enquanto os sistemas de compressão de vapor apresentam um COP que oscila entre 3 e 6. Apesar de a performance do resfriamento por absorção ser inferior comparado aos modelos convencionais (compressão de vapor), esse sistema oferece vantagens significativas em termos de redução de custos e soluções mais sustentáveis.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dois cenários simulados de operação de um sistema de climatização de 15 TR para atender a demanda por climatização da UTI, um apresentando o acionamento tradicional por compressão a vapor e outro com o acionamento por resfriamento por absorção. Assim sendo, a Tabela 1 considerou o funcionamento do sistema convencional de compressão a vapor, com a operação de 6 horas ao dia, com um COP de 3 e a tarifa fora de ponta aplicada para a cidade de São Luís, conforme apresentado pela simulação enérgica para sistema de compressão a vapor:

Tabela 1- Simulação energética para um sistema de compressão de vapor

Potência do Ar-Condicionado	47,55 kW
Energia elétrica consumida (diária)	95,1 kWh
Custo com a tarifa fora de ponta (diário)	R$ 76,08
Custo mensal	R$ 2.282,40

Fonte: Elaboração própria (2024).

Nesse entendimento, os resultados acerca da simulação energética para um sistema de compressão a vapor demonstraram que o uso do sistema consume uma energia significativa e implica em uma ordem de custo mensal de R$ 2.282,40.

Por outro lado, a Tabela 2 apresenta os resultados para o chiller de absorção de uma simulação energética para um sistema de compressão a vapor, também com a operação de 6 horas diárias, mas com um COP de 0,86 e ao considerar a taxa de irradiação solar para São Luís ao longo de 30 dias:

Tabela 2 - Simulação energética para um sistema por absorção

Potência do Ar-Condicionado	47,55 kW
Energia consumida (diária)	285,3 kWh
Energia elétrica consumida (diária)	331,86 kWh
Área dos coletores solares necessária	60,4 m²

Fonte: Elaboração própria (2024).

Para a segunda simulação energética do sistema de compressão a vapor, constatou-se que a inferência da geração de energia a partir de fonte solar, cobre totalmente a demanda da UTI do hospital, evidenciando um custo zero mensal de consumo de energia elétrica, uma vez que o sistema é alimentado pela energia solar, sem dependência da rede da concessionária

Nesse âmbito, observou-se que apesar do maior consumo de energia pelo sistema de absorção, os custos associados à energia elétrica podem ser considerados praticamente nulos, uma vez que o sistema é alimentado pela energia solar. Ao simular a geração de energia a partir da fonte solar, constatou-se que essa produção sustentável cobre totalmente a demanda energética do chiller de absorção, eliminando, assim, a necessidade fonte alternativa de energia.

Esse achado corrobora com os estudos de Sokhansefat *et al.* (2017) em Teerã, em que foi simulada uma planta de resfriamento solar por absorção, que incluía 49,86 m² de coletores de tubo evacuado, um chiller de absorção de 5 toneladas e um tanque de armazenamento de água quente de 1000 L. O estudo indicou que a fração solar no sistema aprimorado poderia ser

elevada em 28%, o que ressalta a importância dos sistemas de resfriamento por absorção para reduzir a demanda elétrica em dias quentes.

Nesta pesquisa, a comparação entre os sistemas de resfriamento por absorção e compressão de vapor demonstraram a viabilidade do uso de energia solar, não apenas como uma fonte de energia sustentável, mas também como uma alternativa que pode reduzir os custos operacionais e minimizar o impacto ambiental do consumo de energia elétrica convencional.

5. Conclusão

No cenário do presente estudo, constatou-se que a implementação de um sistema de resfriamento por absorção de 15 TR, operando por 6 horas diárias, necessitaria de uma geração de energia equivalente a 331,86 kWh/dia. Na prática, essa demanda energética poderia ser totalmente suprida pelo uso de energia solar a partir dessa implementação, o que resultaria em um custo mensal de operação zero em termos de energia elétrica, desde que a área necessária dos coletores solares (aproximadamente 60,4 m²) seja instalada e apresente o desempenho esperado.

Assim, concluiu-se que a viabilidade do uso de energia solar como fonte para sistemas de resfriamento por absorção, mostrando-se uma alternativa promissora em termos de sustentabilidade e eficiência econômica. Essa eficácia é considerada relevante para reduzir custos operacionais em ambientes hospitalares, especialmente em unidades, como a UTI, alinhando-se às práticas de desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, sugere-se que novos estudos possam investigar sobre a otimização do desempenho dos coletores solares em diferentes condições climáticas e como integrar sistemas de resfriamento por absorção a outras fontes renováveis de energia.

6. Agradecimentos

Agradeço ao apoio do Hospital Universitário do Maranhão (HUUFMA) por disponibilizar os dados para a coleta desta pesquisa.

7. Referências

IPCC. PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Mudança do clima 2023**: relatório síntese. [S.l.: s.n.], 2023. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023.

MOHAMMADI, K. *et al*. The pattern of consumption of energy carriers before and after implementation of subsidies targeting plan in selected hospitals of Kurdistan university of medical Sciences. *In*: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECONOMICS, ACCOUNTING, MANAGEMENT AND SOCIAL SCIENCES**, 2024, Szczecin, Poland. Proceedings… Szczecin: University of Szczecin, International Center of Academic Communication (ICOAC), 2024.

OTANICAR, T.; TAYLOR, R. A.; PHELAN, P. E. Prospects for solar cooling–An economic and environmental assessment. **Solar energy**, v. 86, n. 5, p. 1287-1299, 2012.

SARBU, I.; SEBARCHIEVICI, C. Review of solar refrigeration and cooling systems. **Energy and buildings**, v. 67, p. 286-297, 2013.

SOKHANSEFAT, T. *et al*. Simulation and parametric study of a 5-ton solar absorption cooling system in Tehran. **Energy Conversion and Management**, v. 148, p. 339-351, 2017.

ZAHEDI, R. *et al*. Analysis and evaluation of thermal-cooling loads of office buildings using carrier software in Iran. **Journal of Smart Buildings and Construction Technology**, v. 4, n. 2, p. 61-74, 2022.

ZHAO, X. *et al*. The substitution of wind power for coalfired power to realize China's CO2 emissions reduction targets in 2020 and 2030. **Energy**, v. 120, 164e178, 2017.

WANG, Z. *et al*. Dynamic variation of bed parameters and time optimisation of solar adsorption refrigeration system based on CFD simulation. **Applied Thermal Engineering**, v. 235, p. 121405, 2023.