

Reaproveitamento de Energia em Sistemas Convencionais de Ar Condicionado I: Detalhamento de Projeto e Construção

Hélio Bilibio Jr.¹, Robson Schoffel¹, Felipe Milbauer¹, Wesley Felipe Vieira Rodrigues¹, Diego Alves de Miranda¹

¹Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE),
CEP 89.288-385 - São Bento do Sul, SC - Brasil.

contatoheliobj@gmail.com, robson.schoffel@hotmail.com,
felipemilbauer21@gmail.com wesley.rodriques8@outlook.com
diegoalves_klx@hotmail.com

Resumo. *O desenvolvimento de novas tecnologias voltadas ao ar condicionado, e os respectivos componentes que formam seu conjunto num todo, se dá através de muitas pesquisas e testes em protótipos, buscando sempre o melhor custo benefício, entre questões financeiras e ambientais. Neste trabalho foi desenvolvido um projeto e desenvolvimento de um protótipo de ar condicionado com reaproveitamento de energia, dividido em etapas e processos de construções, sendo idealizado por uma turma de acadêmicos que cursam a cadeira de refrigeração e condicionamento de ar, dentro do curso de Engenharia Mecânica. Este projeto visou reaproveitar a energia calorífica que é perdida no processo de condicionamento de ar convencional para o meio, podendo assim, utilizá-la para realizar pequenas atividades do cotidiano residencial, como aquecer pequenas porções d'água.*

Palavras Chave: Eficiência energética, Ar condicionado, Projetos de Engenharia.

Introdução

Com a demanda de melhorar o conforto térmico interno, os sistemas de ar condicionado desempenham um papel cada vez mais importante na criação de um ambiente agradável e garantem a qualidade de vida.

Os processos de remoção de calor de um ambiente onde ele não é desejado vem sendo cada vez mais procurado, tendo em vista as condições ideais de temperatura que eles proporcionam, tratando-se de condições de trabalhos segundo normas estabelecidas para indústrias e processos de laboratório, como exemplo, laboratórios de controle de qualidade, onde a temperatura interfere nas medições, ou até mesmo para proporcionar conforto térmico (TORREIRA, 2003).

Exemplo de dispositivo capaz de fazer esta troca de calor é o ar condicionado, que são equipamentos que realizam a remoção do calor não desejado em algum ambiente, ou estabilizam a temperatura em um nível confortável ou necessário. Sendo este equipamento composto por basicamente quatro componentes, compressor, condensador, evaporador, válvula de expansão, e um líquido refrigerante (GONG et al, 2019).

Segundo Garrido (2018), o fluxo do fluido refrigerante é criado pelo compressor, que o faz percorrer todo o sistema, responsável este também, por aumentar a pressão do fluido. Assim o calor do fluido refrigerante é transferido do ambiente interno ao externo pelo condensador, e o calor do ambiente interno do sistema se transfere para o fluido através do evaporador. Tendo na válvula de expansão o regulador da diminuição da

pressão do fluido refrigerante, oriundo do condensador. A válvula de expansão controla o fluxo do líquido de alta pressão para o evaporador de baixa pressão. Em circuitos de expansão direta os dois principais tipos são termostáticos e eletrônicos. A funcionalidade termostática da equalização interna e da equalização externa é descrita com referência aos diagramas. (HUNDY et al, 2016).

Estudos de sistema de refrigeração vem buscado economia de energia de diversas maneiras, assim como novo tipo de degelo (KRAKOW 1992), também vem sendo testados a utilização de válvulas eletrônicas para expansão, sub-resfriamentos, projeto e dimensionamento de tubulações, e mais além a utilização de micro controladores e outros. Há uma busca constante pela eficiência energética, principalmente nos sistemas envolvendo energia calorífica, estima-se que a eficiência de um motor a combustão interna (como é o caso da maioria dos automóveis convencionais) seja de aproximadamente 22% a 28%, logo, muito mais da metade da energia empregada no sistema ainda é desperdiçada, então, projetos científicos que visam inovação tecnológica para criar possibilidades de reaproveitamento de energia tornam-se extremamente necessários.

Hua et al (2009) realizaram um trabalho de controle com PI com modelo dissociado, modelando a capacidade térmica e o superaquecimento independentemente com válvula de expansão e controle de velocidade do compressor, para economia de energia e melhoria do COP, mas não foi dito qual o ganho que se obteve de consumo e do COP, e também não apresenta uma aplicação prática para sistemas HVAC-R.

Neste trabalho desenvolveu-se um protótipo envolvendo o processamento comum de um ar condicionado, com o objetivo de mensurar a energia cedida/perdida para o meio no condensador e assim utilizar a mesma, através de um dispositivo de engenharia, para realizar uma atividade residencial. A energia que é cedida ao ambiente através do condensador é do tipo calorífica, ou seja, é uma energia em trânsito entre dois sistemas em contato com diferença de temperatura, dessa forma, podemos mensurar a energia cedida ao meio através das equações envolvendo calor sensível, que apontam o calor gerado através de uma variação de temperatura, dessa forma, podemos quantificar a energia cedida afim de dimensionar o reaproveitamento dela aquecendo pequenas porções d'água para ser utilizada em rotinas residenciais.

Metodologia

Após um *brainstormg*, decidiu -se o objetivo principal do projeto, este que foi visto com entusiasmo e medo ao mesmo tempo, pois se trata do desenvolvimento de um sistema de reaproveitamento de energia desperdiçada em um ar condicionado, ideia esta que se levada a sério e elaborada com estruturação teórica e prática, pode trazer grandes resultados.

Etapas de Construção

Para melhor visualização das etapas do projeto, desenvolveu-se o fluxograma, detalhando cada etapa do projeto.

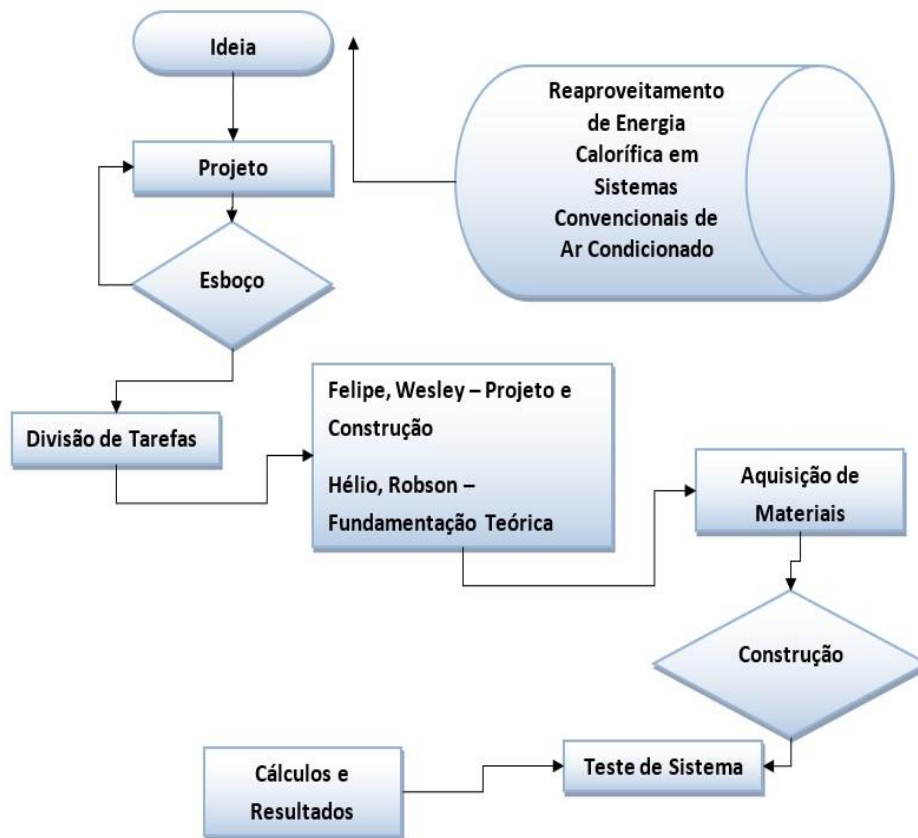


Figura 1. Fluxograma de construção. (Fonte Primária, 2019).

Conforme o fluxograma demonstra, iniciamos o trabalho com a ideia de reaproveitar a energia calorífica em sistemas de ares condicionados convencionais, em seguida prosseguimos para o projeto, onde analisamos a viabilidade de execução da ideia, em sequência fizemos um esboço em CAD para ter a noção de construção do projeto, nessa fase do projeto realizamos a divisão de tarefas, nas quais os acadêmicos.

Detalhamento do Projeto em CAD

Foi realizada a construção do protótipo de um ar condicionado visando o reaproveitamento de energia calorífica através do software de CAD Solidworks, chegando então ao seguinte projeto:

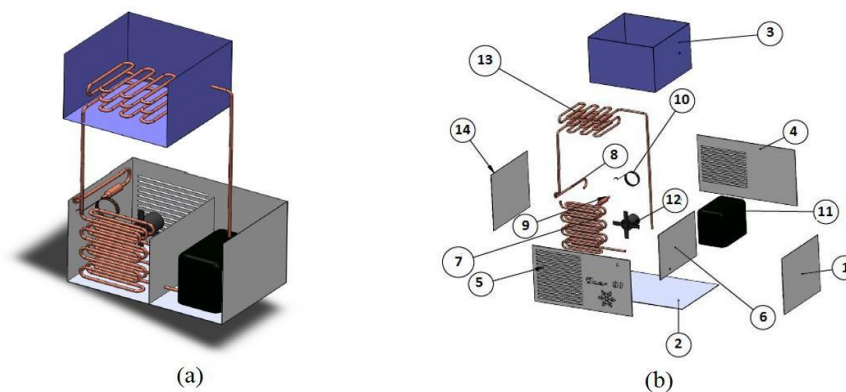


Figura 2. Ar condicionado com reaproveitamento de energia. a) Montagem do Reaproveitamento da energia do ar condicionado. b) Vista explodida do projeto. (Fonte Primária, 2019).

A Figura 2.b apresenta o projeto numa vista explodida, demonstrando todos seus componentes apresentados pela numeração e descrição conforme Tabela 1.

Tabela 1. Lista dos componentes do novo mini refrigerador portátil

Número	Descrição	Número	Descrição
1	Lateral Direita da Caixa	8	Tubulação
2	Fundo da Caixa	9	Filtro de Secagem
3	Caixa de Água	10	Válvula de Expansão
4	Traseira da Caixa	11	Compressor
5	Frente da Caixa	12	Ventilador
6	Divisória	13	Caixa Condensadora
7	Caixa Evaporadora	14	Lateral Esquerda da Caixa

(Fonte Primária, 2019).

Conforme demonstrado no desenho em CAD pretendeu-se aquecer a água no reservatório superior do equipamento através das serpentinas do condensador, pois em um sistema de ar condicionado ocorre a compressão do gás no compressor, esse gás em alta temperatura viaja pelas serpentinas do condensador, gerando assim, energia calorífica cedida ao meio, com o intuito de fazer com que a serpentina entre em contato com a água no reservatório superior e assim através da troca de calor, aqueça a água para uso residencial, podendo assim lavar louças, entre outras atividades, então o gás seguirá seu caminho, conforme um sistema convencional, através da serpentina até chegar ao filtro secador, após esse processo o fluido passará pela válvula expansiva e pela caixa evaporadora (que aplica ar gelado no ambiente) em seguida o gás volta ao compressor e o fluxo se reinicia.

Vale ressaltar que a aplicação padrão do modelo de ar condicionado convencional ainda atua no sistema, o processo de inovação se dá no fato de utilizar o sistema de serpentinas para aquecer uma porção d'água, gerando assim, conforto em atividades cotidianas e reaproveitando uma energia que antes era desperdiçada. Pesquisando sobre o assunto percebeu -se que não existe projetos práticos de baixo custo para este tema, e optou -se por buscar concluir este objetivo, levando este sistema aos ar condicionados convencionais.

Com o projeto em CAD realizado, dimensões criadas, croqui elaborado, começou a busca pelos materiais, com o objetivo de manter os custos baixos neste sistema por completo, mantendo o foco também em obter-se os ganhos de aproveitamento de energia desperdiçada pelo sistema. Criado a caixa do ar condicionado, utilizando chapas metálicas, cortando-as em máquina de corte a plasma, e soldando as mesmas nas posições desejadas, fez se a inserção do compressor e do ventilador, peças estas que foram adquiridas de equipamentos seminovos, mantendo o custo baixo.

Materiais

Para construção do projeto buscamos materiais que pudessem encaixar em um orçamento relativamente pequeno, mas que trouxesse o objetivo traçado, alcançando a eficiência no reaproveitamento de energia. Neste contexto, no desenvolvimento do projeto prático notou-se a dificuldade em se esquentar os canos condutores para se obter o

reaproveitamento de energia, esquentando a água que está contida na caixa superior, conforme esquema mostrado na Figura 2.a.

Tabela 2. Lista dos componentes do novo mini-refrigerador portátil.

Materiais	Função
Chapa metálica	Construção da caixa
Tubo de cobre 8 mm	Ligação de componentes
Tubo de cobre 3 mm	Fabricação válvula de expansão
Caixa evaporadora	Transmissão do ar gelado ao ambiente
Compressor	Circulação do fluído no sistema
Motor Elétrico com ventoinha	Arrefecimento do sistema
Chave de Contato	Ligar o ar condicionado
Termômetro	Medição da temperatura
Bomba de Água	Troca de Água
Chapa Acrílica	Criação de visores
Fio Elétrico	Condutores Elétricos
Parafusos	Fixação de componentes
Tintas	Acabamento

(Fonte Primária, 2019).

Após a instalação do compressor e ventilador, foi realizado a dobra e fixação dos tubos condutores, responsáveis pelo aquecimento da água na caixa superior. Nesta etapa do projeto percebeu -se a dificuldade em esquentar a água em quantidades maiores, para trazer a realidade de sistemas maiores em longo prazo de projeto.

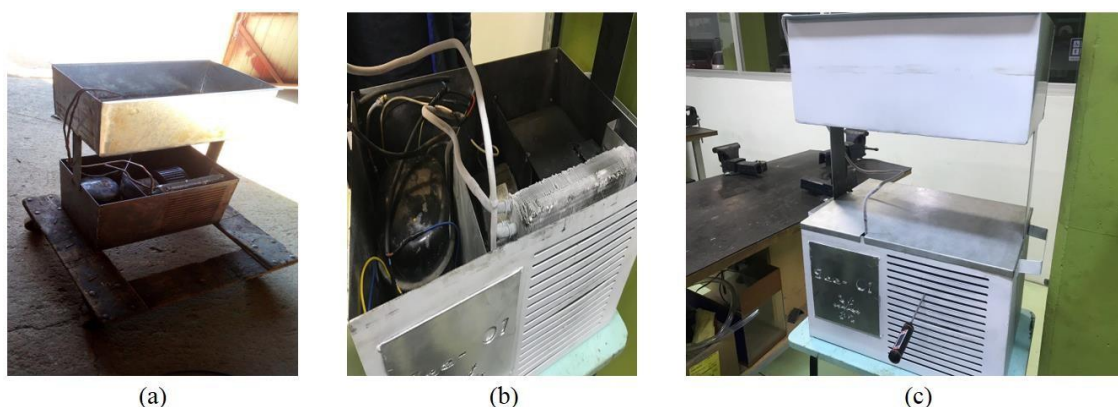


Figura 3. Ar condicionado com reaproveitamento de energia. a) Montagem do Reaproveitamento da energia do ar condicionado. b) Sistema de compressão, evaporação e condensação. c) Projeto pronto. (Fonte Primária, 2019).

Com os dispositivos trocadores de calor instalados, fez-se a ligação das partes elétricas, dando um novo semblante ao projeto, dando início agora aos testes do sistema de ar condicionado em sim, as medições de temperatura, tanto do ar condicionado como do sistema de reaproveitamento de energia, verificando todo estudo emplacando em cima do projeto.

Depois de realizada a montagem do equipamento, mediu-se através de um termômetro a temperatura próxima da serpentina, assim podemos mensurar a quantidade

de energia calorífica que pode ser utilizada para aquecer a água através de relações matemáticas.

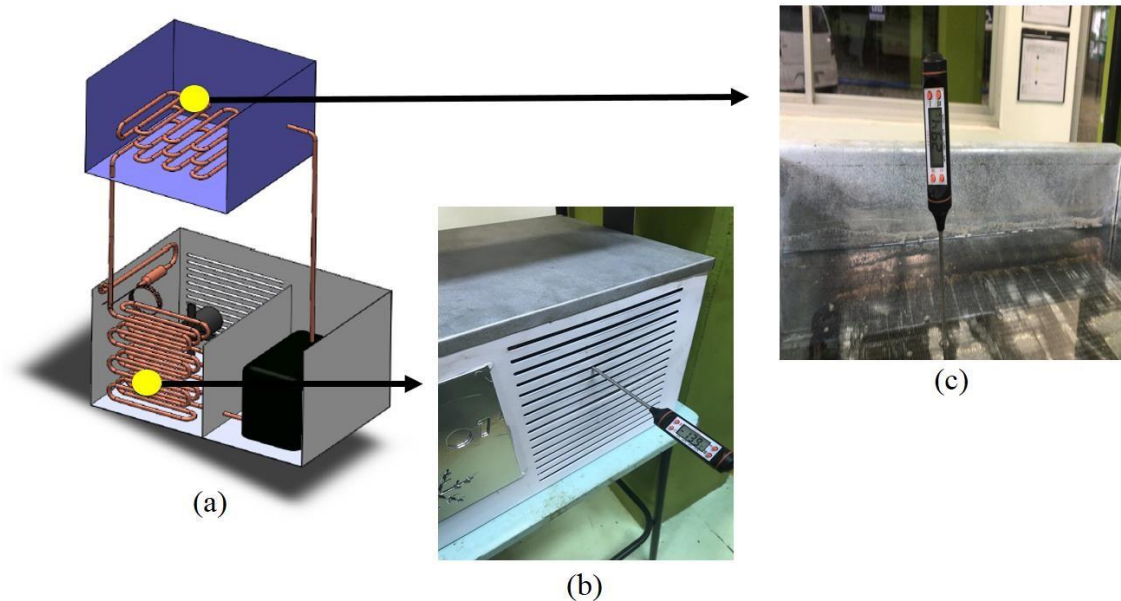


Figura 4. Posicionamento dos Termômetros. a) Montagem do ar condicionado. b) caixa evaporadora. c) Caixa superior contendo água aquecida. (Fonte Primária, 2019).

Em seguida iniciou-se a fase de testes, por tentativa e erro realizou-se a construção do protótipo e com o mesmo finalizado e os dados necessários coletados, fez-se os cálculos necessários para obter as conclusões de viabilidade e objetivos do projeto.

Energia Desperdiçada

Próximo ao condensador, (onde ocorre a dispersão de calor no ambiente) mediuse a temperatura próxima aos canos de metal, utilizando um termômetro, determinando assim a maior temperatura no processamento, dessa forma admitiu-se uma temperatura inicial (seja ela a temperatura ambiente ou a temperatura do gás em determinado passo do processo – a definir), então determinou-se a variação de temperatura entre o condensador e o meio, sabendo que onde há variação de temperatura, há energia na forma de calor sensível (MILLER, 2008).

Calor Sensível

Segundo (JUNIOR, 2019), Calor sensível é a energia em trânsito decorrente da diferença de temperatura entre dois sistemas em contato, pode-se supor então, que onde há diferença de temperaturas, há calor sensível, como é o caso da variação de temperatura entre o condensador e o ambiente, devido ao fato do condensador estar a uma temperatura superior a temperatura ambiente, observamos que existe uma quantidade de calor sensível decorrente dessa diferença de temperatura. Determinamos o calor sensível e a eficiência do sistema através das seguintes relações matemáticas respectivamente:

$$Q = mc_p\Delta T \tag{1}$$

$$n = \frac{\text{energia gasta}}{\text{energia total}} \times 100 \quad (2)$$

Onde Q é a quantidade de calor (J), m é massa total da substância (kg), c_p é calor específico da substância ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) e ΔT é variação de temperatura (K), n é a eficiência (%). No caso estudado neste artigo, a diferença de temperatura será determinada experimentalmente através de um termômetro, o calor específico é tabelado conforme o meio ou material do elemento estudado e a massa pode ser determinada através de relações presentes em tabelas termodinâmicas considerando o fluido refrigerante que será utilizado (provavelmente R134A), a temperatura e pressão relacionados ao processo. Unindo esses dados conseguimos mensurar a energia que é perdida ao ambiente no processamento. (HELERBROCK, 2019).

Obteve-se através da medição da temperatura por termômetros digitais inseridos no sistema de ar condicionado as seguintes temperaturas, no reservatório superior de água $29,4^\circ\text{C}$ e na caixa evaporadora de $-13,9^\circ\text{C}$. Foi inserido no sistema uma carga de gás R134A de 300g, e obteve-se com o auxílio de tabelas termodinâmicas, que segundo Marcel, (2007) o valor do calor específico do gás, que é de $1,44 \text{ KJ/Kg}$.

Resultados e Discussões

Determinação da energia total do sistema

Observamos que a maior temperatura no sistema é de $29,4^\circ\text{C}$, e a menor é de $13,9^\circ\text{C}$, desta forma fazendo uso da equação do calor sensível, podemos mensurar a energia total do sistema de acordo com a Eq. 1.

$$Q = 0,3 \text{ kg} \times 1,44 (29,4 - (-13,9)) = 8,7056 \text{ kJ};$$

Isto implica que em virtude da maior diferença de temperatura do sistema que a energia total gasta neste processo em relação ao calor sensível é mensurado em $18,7056 \text{ kJ}$.

Determinação da energia no reservatório superior de água

Medindo a temperatura da água no reservatório chegamos ao valor de $29,4^\circ\text{C}$, com este valor podemos mensurar a energia calorífica na forma de calor sensível no momento em que a água é aquecida, também utilizando a Eq. 1.

$$Q = 300\text{g} \times 1,44 \times 29,4 = 12,7008 \text{ kJ};$$

Conclui-se que em virtude da temperatura do sistema no momento em que aquece a água, a energia gasta para aquecer a água em relação ao calor sensível é mensurado em $12,7008 \text{ kJ}$.

Eficiência do aproveitamento de energia na forma de calor sensível

Com posse dos valores obtidos nos cálculos realizados com as determinadas temperaturas experimentais, obtivemos o valor numérico correspondente das duas situações de maior interesse no sistema na forma de energia, tempo posse do valor da energia total gasta e da energia utilizada para aquecer a água, podemos determinar a eficiência (Eq. 2) do uso da energia na forma de calor sensível. (FILHO, 2004).

$$n = \frac{12,7008}{18,7056} \times 100 = 67,89\%$$

Dessa forma, observou-se que em análise da energia na forma de calor sensível, a eficiência do sistema está na ordem de 67,89% , visto que é um sistema que segue a linha convencional de ares condicionados e que a serpentina do condensador gera uma boa condução de calor sensível para o meio, que nesse caso será a água no reservatório, podemos dizer que a eficiência de energia consumida na forma de calor sensível é muito satisfatória.

Supondo valores, calculamos a quantidade de energia na forma de calor sensível e a eficiência decorrente deste valor de energia encontrado, utilizando da equação geral do calor sensível (1), se conseguíssemos uma variação maior ou menor de temperatura, obtendo os seguintes resultados apresentados na Figura 5.

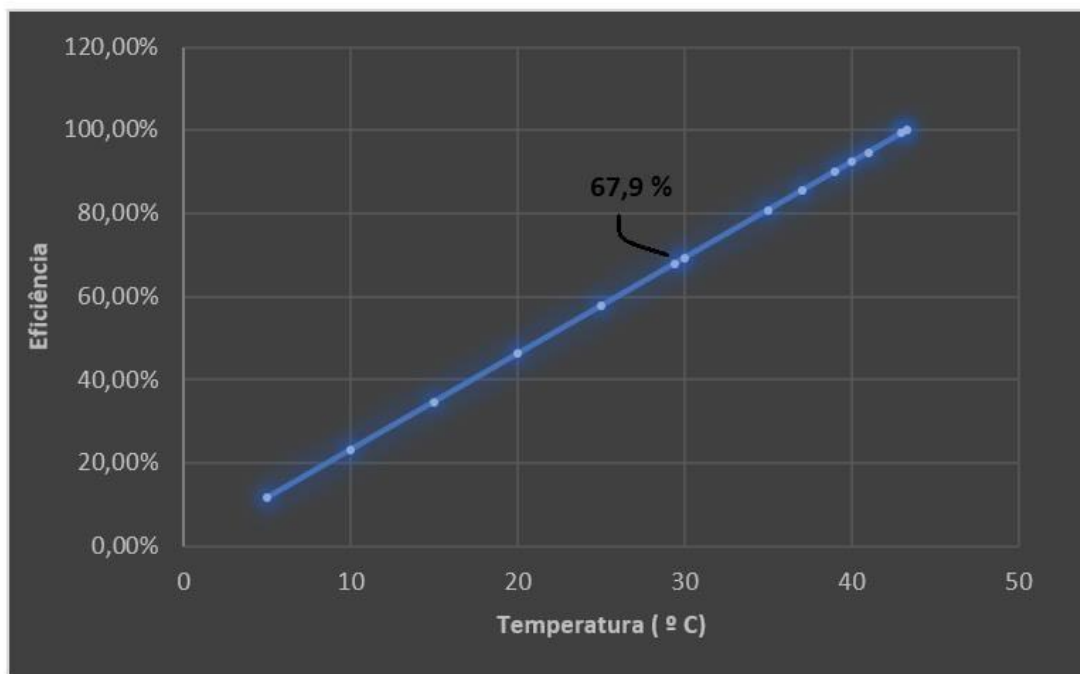


Figura 5. Relação de eficiência em função da temperatura (Fonte primária, 2019).

Dessa forma concluímos que para atingir uma eficiência de 100%, precisaríamos ter no sistema uma variação de temperatura na ordem de aproximadamente 43,3 °C, o que em situação prática, torna-se extremamente difícil. Nosso sistema alcançou uma eficiência de aproximadamente 67%, consideramos uma boa eficiência, mas com esse demonstrativo, observamos como poderíamos melhorar a eficiência da troca de calor sensível e uma forma de aproveitar melhor essa energia seria aumentar a variação de temperatura do sistema, talvez amenizando trocas de calor ou criando situações que nos proporcionassem maiores temperaturas.

Conclusão

Ao final deste estudo, pode-se concluir que foi alcançado o objetivo primário, que consistia em aquecer uma porção d'água em um reservatório para utilizar em usos residenciais, aproveitando a energia calorífica desperdiçada no sistema. Foi possível, com o auxílio de software e pesquisas realizar a montagem de um protótipo do dispositivo, bem como medir experimentalmente as temperaturas relevantes a análise, mensurando a energia calorífica nos pontos pertinentes do sistema na forma de calor sensível, medindo assim a eficiência do aproveitamento da energia.

Quanto a viabilidade do protótipo em tornar-se um instrumento aplicável em uma situação real de uso, seriam necessários mais testes, como instalar o dispositivo em uma residência, proporcionando a água uma saída de vazão para ser utilizada na atividade realizada, assim também mensurando as perdas de energia na forma de calor nesse processo, nesse artigo nos atentamos em provar que é possível aquecer uma porção d'água em um reservatório somente utilizando a energia desperdiçada em um sistema de ar condicionado padrão.

Constata-se então, que fazendo os devidos ajustes para uma situação real de uso, seria possível aproveitar a energia calorífica desperdiçada, em um sistema de ar condicionado para aquecer uma porção d'água e utilizar a mesma para determinados fins.

Referências

TORREIRA, Raul Peragallo. Elementos básicos de ar condicionado. São Paulo: RPA, 2003.

PENG Pei, GONG Guangcai, MEI Xiong , LIU Jia, WU , Energy Buildings, Volume 182, Pág. 51-60, Science Direct, 2019.

HUNDY, G.F. , A.R. Trott, T.C. Welch, Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor. EUA, BUTTERWORTH-HEINEMAN, Pág. 138-142, 2016.

HUA, L.; JEONG, S. K.; YU, S. S. Feedforward Control of Capacity and Superheat for a Variable Speed Refrigeration System. Applied Thermal Engineering, Volume 29, pág. 1067-1074, 2009.

KRAKOW, K.; YAN, L.; LINS, S. Modelo de degelo com gás quente para evaporadores. ASHRAE TRANSACTIONS, Volume 98, pág. 451-461, 1992.

GARRIDO, P. ANA, Boas práticas de refrigeração e o futuro do HCFH 22, disponível Em:

https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/wpcontent/uploads/sites/16/2014/02/ana_garrido.pdf, acesso em 29 Junho 2019.

JUNIOR, Joab Silas da Silva. “ O que é calor sensível”, Brasil Escola. Disponível em : <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-calor-sensivel.htm>. Acesso em : 29 Junho 2019.

HELERBROCK, Rafael. "Calorimetria", Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/calorimetria-i.htm>. Acesso em : 29 Junho 2019.

MARCEL, Igor Gomes Almeida, RUBENS, Cleiton Formiga Barbosa. "Avaliação de propriedades termodinâmicas e termo físicas de hidrocarbonetos para DROPP-IN do HFC-134a".

ALVES, HENRIQUE. Aproveitamento do Calor Rejeitado em Sistema de Refrigeração - Lisboa, 2016. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

ELETROBRÁS CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial - Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

FILHO, P. H. F. A.; DR. PADILHA, A.; DR. SCALON, V.L. Análise Teórica e Experimental da Captação e Utilização do Calor Dissipado no Condensador Sistemas de Refrigeração ABCM, Rio de Janeiro, Brasil, Nov. 29 -- Dec. 03, 2004.

FOGGIATTO, CLEO. Como utilizar o Calor Rejeitado Pelo Sistema de Refrigeração de um frigorífico de Aves do Sudoeste do Paraná: Monografia de Especialização em Engenharia de Produção- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

FRANK, P. Incropera. et al. Fundamentos de transferência de calor e de massa. Tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luís Pellegrini Pessoa. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 657 p.

FRICKE, B. RIDGE. Waste Recapture from Supermarket Refrigeration Systems. EUA 2011.

GENIÊR, FRANCIELLI S.; COSTA, ANDRÉA O. S.; JUNIOR, ESLY F. C. Ciclos de Refrigeração: Conceitos e Estudos de Eficiência - Artigo de Revisão, Publicado em: 01/07/2013 Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Brasil.

MILLER, R., MILLER, M. R., Refrigeração e Ar Condicionado. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

MUNDO MECÂNICO. Transferência de calor. Disponível em: <http://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2014/01/Trocadores-decalor.pdf> Acesso em: 29 Junho 2019.

STOECKER, W.F., JABARDO, J. Refrigeração industrial. 2ª ed. São Paulo, Brasil: Edgard Blucher LTDA, 2002.

WANG, S. Handbook o fair conditioning and refrigeration. 2ª ed. Macgraw-Hill Education. EUA, 2000.