



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE EXERGÉTICA DO CALOR REJEITADO POR UM CONDICIONADOR DE AR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Rangel, Victor Bitencour, victor_rancourt@hotmail.com¹
Souza, Leonardo Alves de, leonardo.alves95@hotmail.com¹
Duarte, Luiz Gustavo da Cruz, duarte@ifba.edu.br¹
Almeida, Francisco Souza, franciscoalmeida@ifba.edu.br¹
Almeida, Antônio Gabriel Souza, gabrielalmeida@ifba.edu.br¹
Rodrigues, Luanda Kívia de Oliveira, luandakivia@ifba.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Salvador, Barbalho, s/n, CEP 40301-15, Salvador –BA, Brasil

Resumo: A principal forma de aquecer água, hoje, é através da energia elétrica que se encontra em condições desfavoráveis de produção além do alto custo. Devido a estes problemas, pensou-se numa fonte alternativa para o aquecimento da água através do aproveitamento da energia térmica rejeitada pelos aparelhos condicionadores de ar. Com o objetivo de avaliar o potencial desses aparelhos foi feito um balanço energético e exergético nos condensadores. Em seguida foi comparado com os dados coletados de um protótipo montado com um trocador de calor duplo tubo, que substituiu o tubo-aleta do Ar-Condicionado Janela com capacidade de 18000Btu/h. Para a realização dos cálculos termodinâmicos foi utilizada a demanda de água quente levantada no IFBA-Campus Salvador. Os resultados foram satisfatórios. Com o protótipo foi possível verificar que é possível aquecer água a partir do calor rejeitado pelo condensador de um ACJ e as análises energética e exergética permitiram conhecer o real potencial do condensador, verificar as perdas e apresentar sugestões para melhorias e estudos futuros.

Palavras-chave: Análise Energética, Análise Exergética, Aproveitamento da Energia Térmica, Aquecimento de Água, Condicionador de Ar.

1. INTRODUÇÃO

Sendo a energia elétrica, hoje, a principal forma de aquecimento de água, mesmo com a grande demanda que é exigida, pois, geralmente, utilizam-se para esta finalidade as resistências elétricas. Com isso, ainda que com limitações, estão sendo usadas fontes alternativas como energia a gás e solar.

O problema é que a energia elétrica tem um custo elevado pelo fato de ser considerada uma energia nobre, e que atualmente se encontra em condições desfavoráveis de produção devido aos baixos níveis dos reservatórios nas hidrelétricas. Já as fontes alternativas citadas necessitam de grandes áreas, ainda possuem alto custo inicial, além de, como segurança, continuarem necessitando da energia elétrica como fonte auxiliar.

No IFBA - Campus de Salvador verificou-se a necessidade do consumo de água quente. No entanto, com a ampliação do número de cursos e o consequente aumento do número de aulas, o consumo de energia elétrica cresceu significativamente, o que tem preocupado os gestores. Assim, para equilibrar essa balança, consumo x necessidade, resolveu-se utilizar o calor rejeitado pelos aparelhos condicionadores de ar para aquecimento de água. Dessa forma a energia consumida será apenas pelo aparelho de ar-condicionado, evitando assim o alto consumo exigido pelas resistências dos chuveiros elétricos e com custo de adaptação menor do que as bombas de calor do mercado.

Portanto, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial energético e exergético de um aparelho de ar-condicionado do tipo Janela, através do ESS, como o trocador de calor tubo-aleta e tubo-tubo. Com isso, obter um produto final mais econômico, além de apresentar sugestões para melhoria em estudos futuros.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

O aquecimento de água é a elevação de temperatura da mesma. Esta forma de uso vai desde o conforto dos banhos até questões de higienização, como as lavanderias hospitalares. A água quente é utilizada em hospitais, laboratórios, restaurantes, na indústria alimentícia, em hotéis e para fins domésticos.

A água quente pode ser utilizada para fins como a remoção das sujeiras, ajudando na eliminação da carga bacteriana, até o conforto do banho. Diante das diversas finalidades do aquecimento da água é necessário, antes da instalação de uma central de aquecimento, fazer um levantamento da necessidade local para estabelecer a faixa de temperatura de trabalho.

2.1. A Importância do Aquecimento de Água

Sabe-se que o aquecimento de água demanda uma grande quantidade de energia, quer seja elétrica, solar ou até mesmo provida da combustão de um gás.

Segundo a Pesquisa de Posse e Hábitos (PPH), cerca de 80,9% dos domicílios brasileiros aquecem água de alguma forma para o banho e outros fins (2007, *apud* SOUZA *et al.* 2012). Das fontes alternativas tem-se a energia a gás e solar sendo responsável por 5,9% e 0,4%, respectivamente. No entanto, segundo Greening e Azapagic (2014) o uso do gás natural para gerar calor provoca um impacto ambiental elevado.

A energia elétrica é responsável por 73,5% desse aquecimento, de acordo com a Eletrobras Procel (2012, *apud* SOUZA *et al.*, 2007). O chuveiro elétrico é o meio mais utilizado para este fim com uma parcela de 99,6%, (SOUZA *et al.*, 2007) dos que utilizam aquecimento através da eletricidade. Para tanto, a energia elétrica, que é considerada uma forma de energia nobre, vem sofrendo uma série de aumentos significativos em detrimento das suas condições desfavoráveis de produção.

2.2. Sistema de Refrigeração por Compressão de Vapor

O ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor (RCV) é composto por quatro componentes básicos: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador.

O condensador é um trocador de calor cujo objetivo é rejeitar o calor do sistema resfriando o fluido refrigerante fazendo com que o mesmo mude de estado termodinâmico, de vapor superaquecido para líquido comprimido. Segundo Yumrutaş *et al.* (2002), nessa transformação é inevitável a queda de pressão no sistema.

Esses dispositivos podem ser classificados quanto ao fluido que o refrigera, podendo ser o ar ou água, e quanto ao tipo construtivo. Os trocadores de calor do tipo *tube and tube*, são constituídos, em geral, por dois tubos de seção circular, concêntricos, de diâmetros diferentes. Por dentro do tubo interno passa um dos fluidos denominados fluido do tubo ou fluido tubular. No espaço entre o tubo externo e o tubo interno passa o outro fluido, denominado fluido anelar. A permuta de calor entre os fluidos, devido à diferença de temperatura, ocorre na interface do tubo interior, (BARALDI, 2011).

O calor rejeitado ($\dot{Q}_h$) pelo condensador pode ser determinado através da equação geral da Primeira Lei da Termodinâmica aplicada a volumes de controles em sistemas que trabalham em regime permanente onde relaciona o fluxo do fluido refrigerante ($\dot{m}$) a entalpia (h) dos estados de entrada e saída, a variação de calor ($\Delta\dot{Q}$) e variação de trabalho ($\Delta\dot{W}$) do volume de controle conforme Eq. 1.

$$\Delta\dot{Q} - \Delta\dot{W} = \dot{m} \times (h_s - h_e) \quad (1)$$

2.3. Exergia e Análise Qualitativa

A análise qualitativa é desenvolvida com base na segunda lei da termodinâmica, também conhecida como análise exergética. A mesma considera as quantidades de energia perdidas e as irreversibilidades dos processos, e permite quantificar a disponibilidade de energia que ainda é possível se aproveitar em tal equipamento (CARMO JUNIOR, 2015).

A variação da exergia de um fluido ao passar por um processo do estado 1 para o estado 2, desprezando a variação das energias cinética e potencial, é definida pela Eq. (2).

$$\Delta ex = ex_2 - ex_1 = (h_2 - h_1) + T_0(s_2 - s_1) \quad (2)$$

Onde ex é a exergia específica, h a entalpia específica, s a entropia específica nos estados 1 e 2, e T_0 a temperatura ambiente.

Para um trocador de calor com duas correntes de fluido não misturadas, a exergia fornecida é a diminuição da exergia da corrente quente, e a exergia recuperada é o aumento da exergia da corrente fria, desde que a corrente fria não esteja a uma temperatura mais baixa do que a vizinhança (ÇENGEL, 2004).

A eficiência exergética para o trocador mencionado é definida pela Eq. (3).

$$\eta = \frac{\dot{m}_{frio}(ex_4 - ex_3)}{\dot{m}_{quente}(ex_1 - ex_2)} \quad (3)$$

Onde $\dot{m}$ é a vazão mássica.

3. METODOLOGIA

O Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia-Campus Salvador cedeu para esse estudo um aparelho de ar-condicionado do tipo Janela com capacidade frigorífica de 18000Btu/h. Inicialmente instrumentou-se o aparelho instalando manômetros e 2 canais de um termômetro penta na entrada e saída do condensado tubo-aleta para coletar medidas de pressão e temperatura. Com esses dados determinou-se o potencial energético e exergético para uma temperatura de entrada e saída condizente com os parâmetros de conforto para banho.

A aplicação foi determinada através de um levantamento realizado no Campus Salvador, onde questionários foram aplicados nos diversos setores. A partir dessas informações determinou-se não somente que a aplicação seria para banho como a vazão necessária para esse fim.

Como o objetivo do trabalho é aquecer água o trocador de calor tubo-aleta, utilizado na coleta de dados preliminar foi substituído por um duplo tubo sendo o fluido anelar a água e o fluido tubular R-22.

Para estudar o caso, foi desenvolvido um modelo matemático, com simulação através do *software Engineering Equation Solver* (EES). O EES foi utilizado em dois momentos. Primeiro no estudo preliminar com a média das pressões e temperaturas medidas no trocador de calor tubo-aleta, onde foi determinado o potencial energético do condensador e a vazão necessária para a água entrar a temperatura ambiente de 25 °C e sair a 45°C, temperatura considerada ideal para o banho. Além disso, foi determinado a irreversibilidade e eficiência do trocador para uma troca térmica com a água nas condições de entrada e saída utilizadas para determinar a vazão. As vazões mássicas do R-22 e da água foram determinados de acordo com Souza (2016).

Após o estudo preliminar foi realizada a instrumentação final do trabalho que consistiu na instalação de um reservatório de água com capacidade para vinte litros, isolado termicamente, equipado com bomba para realizar a circulação da água, manômetro de pressão na entrada e saída do trocador de calor, e com um termômetro penta instalado em cinco pontos distintos do sistema, conforme Fig. 1. Assim obtendo nestes pontos, a Temperatura de Entrada da Água, Temperatura de Saída da Água, Temperatura da água no Reservatório, Temperatura de Entrada do Fluido Refrigerante e Temperatura de Saída do Fluido Refrigerante. Essas informações foram recolhidas durante 267 minutos, com intervalos de cinco minutos nas quatro primeiras medições, e a cada minuto para as demais medições.

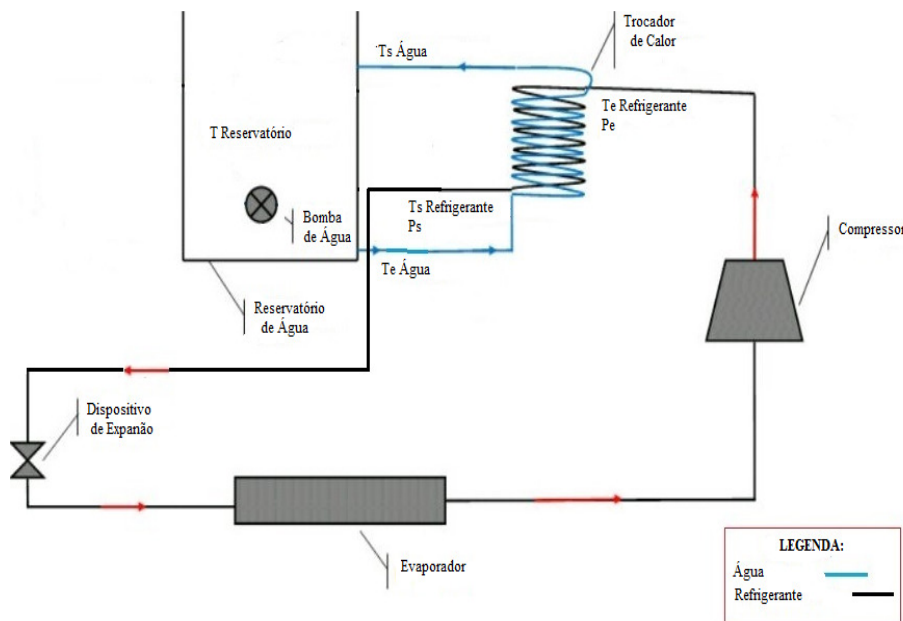


Figura 1: Montagem final do equipamento

Após a montagem do protótipo foram coletados os dados utilizados para determinar o potencial energético e exergético, agora com o trocador de calor duplo tubo, no ESS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos questionários aplicados determinou-se a demanda, de água quente para banho, mensal do Campus Salvador. O cálculo foi considerando um tempo estimado de 5min com um chuveiro de 4L/min, em vinte dias úteis ao mês, e estimados 200 alunos tomando banho no ginásio e 5 funcionários por departamento totalizando 335 pessoas por dia tomando banho, de acordo com o que está na Tab. 1.

Tabela 1: Consumo de água quente mensal – Campus Salvador

Ginásio (L/dia)	Departamentos (L/dia)	Total (L/dia)	Total (L/mês)
4.000	2.700	6.700	134.000

Com isso, foram obtidos os dados necessários para a determinação da disponibilidade energética existente no condensador, complementadas com informações do compressor do equipamento.

Tabela 2: Variáveis do processo coletadas e determinadas no trocador tubo-aleta

Fluido	Temperatura média (°C)		Pressão média (Psi)		Vazão mássica (kg/s)
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
R-22	102,1 ± 9,1	42,8 ± 0,7	370,8 ± 18,4	368,9 ± 19,2	0,1887

A Tabela 2 apresenta valores de pressão e temperatura coletados no trocador de calor tubo-aleta que trocou calor com o ar. A partir dos valores de entrada determinou-se, a partir de tabelas termodinâmicas, o volume específico do fluido refrigerante e relacionou com o valor de descolamento fornecido pelo fabricante do compressor. O compressor é do tipo Bristol, Model: H24B19QABC, com deslocamento de 7,8m³/h.

Em seguida todos os fatores foram inseridos no algoritmo do EES, onde o fluxo de calor disponível no condensador calculado foi de 38,96 kW. Esperava-se esse valor alto uma vez que as pressões medidas ficaram em média 100 Psi acima da pressão normal de trabalho para o R-22. Atribui-se esse fato a alguma possível obstrução no condensador cujas medidas foram coletadas. Por isso que quando comparado com Souza *et al* (2015) percebe-se uma diferença de 0,16 kW ou 160 W. Não é uma diferença considerável quando comparada ao valor bruto, de uma grandeza da ordem de 40 kW. Portanto os valores são aceitáveis e a simulação afere o experimento.

Além disso, com o fluxo de calor disponível pode-se determinar a vazão mássica da água e assim dimensionar as bombas a serem usadas no protótipo para garantir seu escoamento. Após a substituição do tubo-aleta pelo trocador duplo tubo, pode-se coletar os dados de temperatura de entrada e saída do fluido refrigerante, da água e a temperatura do reservatório, como pode ser visto na Fig. 2.

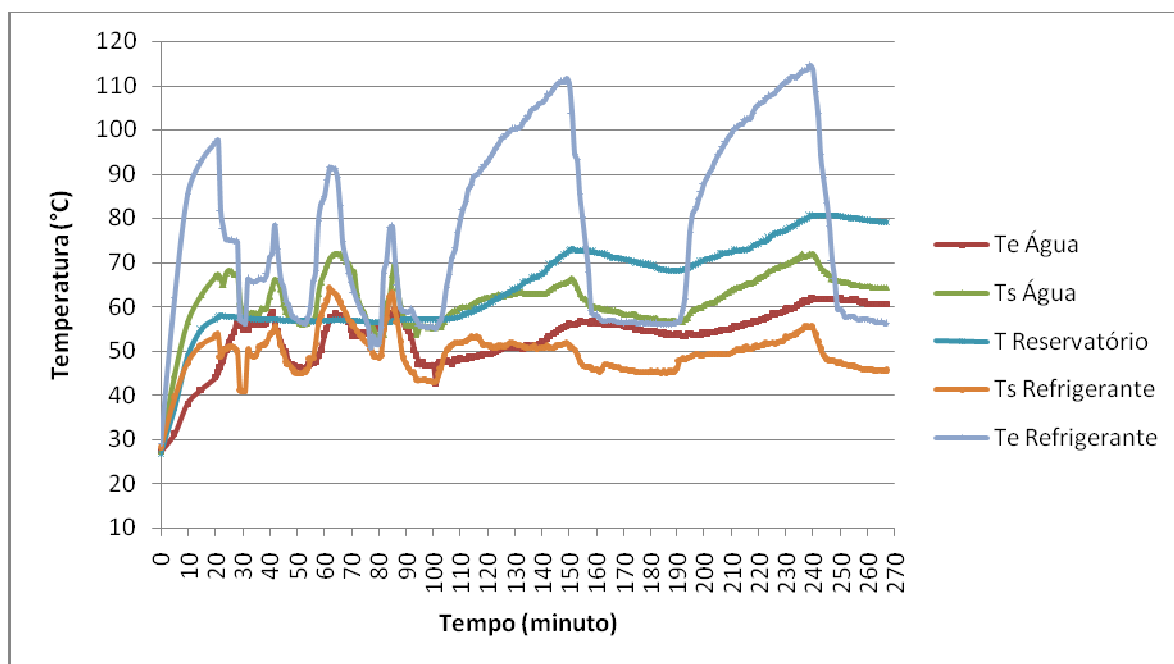


Figura 2: Gráfico de temperatura em função do tempo

Analisando a Fig.2 pode-se observar as oscilações no comportamento de todas as temperaturas de entrada e saída da água e do refrigerante, principalmente nos primeiros minutos, onde o sistema não tinha entrado em um regime mais uniforme. Já a temperatura da água no reservatório teve um comportamento quase que constante entre 10min e 110min,

no entanto, começou a subir acompanhando o crescimento da temperatura de entrada do refrigerante, que a partir de 100min apresentou um comportamento sazonal caracterizado por picos elevados de temperatura.

O compressor tem um dispositivo de segurança chamado pressostato. Este dispositivo desliga o compressor quando a pressão do sistema atinge níveis elevados e foram medidos pico de pressão de mais de 400 PSI

Após determinado tempo de trabalho a água entrou em equilíbrio térmico com o refrigerante adequado, assim, a temperatura de sub-resfriamento o fluido não estava sendo atingida, fazendo com que a pressão do sistema se elevasse, atingindo mais de 400 Psi, de acordo com o medidor de pressão. Assim, o compressor foi desligado através do pressostato e religado, pelo mesmo, quando a pressão foi reduzida. Isso causou uma grande oscilação na temperatura do refrigerante.

A Tabela 3 mostra as variáveis utilizadas nos cálculos do trocador duplo tubo, onde alterou os valores de temperatura de entrada e saída dos dois fluidos.

Tabela 3: Variáveis do processo coletadas e determinadas no trocador duplo tubo

Fluido	Temperatura média (°C)		Pressão média (Psi)		Vazão mássica (kg/s)
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
R-22	77,44± 20,51	49,70± 4,45	382,3 ± 22,4	373,3± 21,0	0,1887
Água	54,05±5,09	62,01±5,27	14,6488	14,6488	0,46

Os dados da Tab. 3 foram os parâmetros de utilizados na simulação, no EES, para determinar quanto de calor de fato foi rejeitado pelo fluido refrigerante e quanto foi absorvido pela água e comparado com o que foi idealizado no início do trabalho como pode ser visto na Tab. 4.

Tabela 4 – Troca térmica no condensador

	<i>Dados idealizados</i>	<i>Dados reais</i>
Água (kW)	38,48	15,31
Fluido Refrigerante (kW)	38,96	32,29
Eficiência (%)	98,77	47,41

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para a troca térmica no condensador. Pode-se observar que, para os dados de idealização do experimento, que consistia em uma temperatura de saída da água de 45°C, a água absorveria calor do condensador numa eficiência próxima de 99%. Entretanto, a eficiência real do processo de troca térmica foi próxima de 47%, o que gera uma diferença um pouco de 51%, o é uma diferença considerável. Isso acontece, pois com um tempo de experimento a água entrava com uma temperatura elevada diminuindo assim sua capacidade de absorver calor.

Comparando agora o balanço exergético das duas condições, a idealizada e a real medida no protótipo, pode-se observar que o fluido refrigerante apresentou uma variação exergética real de 3,712 kJ/s, um pouco inferior ao valor proveniente da idealização, de 4,577 kJ/s. Em contrapartida, a água obteve um desempenho melhor em sua variação exergética real, de 1,527 kJ/s contra 1,236 kJ/s, o que caracteriza um aumento na eficiência exergética em comparação com o esperado, como pode ser visto na Tab. 5.

Tabela 5 – Irreversibilidades do processo

	<i>Dados idealizados</i>	<i>Dados reais</i>
R-22 (kJ/s)	4,577	3,712
Água (kJ/s)	1,236	1,527
Condensador (kJ/s)	3,341	2,186
Eficiência (%)	27	41,12

Apesar da eficiência exergética ter aumentado com o trocador de calor duplo tubo, de 27% para 41,12%, existe ainda uma potência considerável de energia que não está sendo aproveitada. Como a eficiência energética do trocador diminuiu e foi identificado que o problema é a temperatura de entrada elevada da água, precisa-se pensar como evitar isso, seja por meio do uso contínuo da água quente pela demanda ou um sistema mais eficiente de armazenamento.

4.1 – Avaliação econômica

Para realizar o aquecimento o IFBA Campus Salvador poderia utilizar chuveiros elétricos e/ou bombas de calor, portanto foram analisadas fichas técnicas de um chuveiro e uma bomba de calor existente no mercado, conforme Tab 6 e Tab 7, afim de realizar um estudo de viabilidade econômica.

Tabela 2 - Especificações técnicas do chuveiro elétrico

CHUVEIRO ELÉTRICO	
Tensão (V)	Potência (kW)
220	6

Tabela 3 - Informações Técnicas do Aquecedor de Água

BOMBA DE CALOR	
Capacidade (BTU/h)	Valor unitário
50.000	R\$ 8.900,00
Parâmetros Técnicos	
Potência de Entrada (BTU/h)	50.000
COP (W/W)	5,5
Compressor	Scroll
Gás Refrigerante	R410A
Tensão (220V/60Hz)	Monofásica
Corrente Mínima do Circuito (A)	23
Corrente Máxima do Disjuntor (A)	35
Potência Elétrica (kW)	2,7
Trocador de calor	Titânio
Vazão (mínima – máxima) (L/min)	114 - 227

Baseados na demanda levantada o equipamento necessita de um tempo de trabalho de 558 horas/mês. Relacionando esse tempo de serviço com a potência apresentada na ficha técnica disponibilizada pelos fabricantes dos equipamentos têm-se um consumo mensal do chuveiro elétrico e da Bomba de calor de aproximadamente 3.350kWh/mês e 1.507kWh/mês, respectivamente. Logo, com base no valor estabelecido pela ANEEL, têm-se um custo com energia elétrica de cerca de R\$ 576,20 e R\$ 259,20, respectivamente. Além do custo inicial com aquisição dos equipamentos.

Em contrapartida, é possível atender a demanda de água quente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Salvador, utilizando o calor rejeitado pelos condensadores de condicionadores de ar, do tipo ar condicionado de janela, realizando a adaptação em quatro equipamentos funcionando onze horas por dia cada um. O custo destas adaptações é de aproximadamente R\$ 4.000,00. Como trata-se apenas do custo inicial, pois não há consumo de energia uma vez que o calor é rejeitado, o tempo de retorno do investimento é inferior a meses quando comparado ao chuveiro elétrico que é a opção de menor custo inicial, conforme Fig 3.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com os resultados obtidos conclui-se que é possível aquecer água a partir do calor rejeitado pelo condensador de um condicionador de ar do tipo janela, atingindo a temperatura ideal para banho com apenas 8min de ensaio e com o retorno de investimento de aproximadamente 7 meses.

A simples substituição do trocador de calor do ACJ estudado pelo duplo tubo apresentou problemas referentes às temperaturas e pressões de funcionamento. A água chegou a níveis bem acima do estabelecido como parâmetro de conforto para banho, interferindo nos parâmetros do ensaio uma vez que a vazão foi determinada com base na temperatura de 45°C e no desempenho do aparelho.

O aumento da temperatura da água acarretou em uma diminuição de eficiência do trocador de calor apesar do aumento da eficiência exergética.

Para relacionar melhor as eficiências energéticas e exergéticas precisa-se melhor o sistema de armazenamento por meio de um by-pass sendo atuado por solenóides.

Precisa-se testar outras configurações como volume de reservatório e vazões diferentes, outros modelos de aparelhos e outros fluidos refrigerantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baraldi, A. 2011. “Monitoramento do Desempenho Térmico de Trocadores de Calor Duplo Tubo de uma planta Slurry”. Term Paper. Chemical Engineering. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
2. Carmo Junior, J. W.; Rodrigues, L. K. O.; Almeida, A. G. S.; Torres, E. A.; 2015, “Análise Exergética de um Motor de Combustão Interna Operando com Misturas de Diesel com Biodiesel” Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Vol 12, Guayaquil, Equador, 966-973.
3. Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A. Termodinâmica. 5. ed.: Mc Graw Hill, 2004

4. Souza, R. C. *et al.*, 2012. *Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil*. Eletrobras, Rio de Janeiro, p. 28-34.
5. Souza, L. A.; Almeida, F. S.; Almeida, A. G. S; Duarte, L. G. da C.; Rodrigues, L. K. O; 2015, "Utilization of Thermal Power of Air Conditioners for Water Heating", Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Vol 23, Rio de Janeiro, Brasil.
6. Souza, L. A. 2016, "Aproveitamento de energia térmica de condicionadores de ar para aquecimento de água" Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador-BA.
- 7.
8. Greening, B. and Azapagic, A., 2014. "Domestic solar thermal water heating: A sustainable option for the UK?". *Renewable Energy*, Vol. 63, p. 23-36.
9. R. Yumrutaş *et al.* 2002. "Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems", *Exergy an International Journal*, Vol 2, p. 266–272.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo destetrabalho".

EXERGY ANALYSIS OF HEAT REJECTED AN AIR CONDITIONER FOR WATER HEATING

Rangel, Victor Bitencour, victor_rancourt@hotmail.com¹
Souza, Leonardo Alves de, leonardo.alves95@hotmail.com¹
Duarte, Luiz Gustavo da Cruz, duarte@ifba.edu.br¹
Almeida, Francisco Souza, franciscoalmeida@ifba.edu.br¹
Almeida, Antônio Gabriel Souza, gabrielalmeida@ifba.edu.br¹
Rodrigues, Luanda Kívia de Oliveira, luandakivia@ifba.edu.b¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Salvador, Barbalho, s/n, CEP 40301-15, Salvador –BA , Brasil

Abstract. *The main way to heat water today is through the power which is in unfavorable conditions of production and the high cost. Due to these problems, it was thought an alternative source for heating water through of thermal energy rejected by the air conditioning units. In order to evaluate the potential of these devices was made an energetic and exergetic balance in condenser. Then it was compared to data collected from a prototype fitted with a double tube heat exchanger, which replaced the tube-flap Air Conditioning Window with capacity 18000BTU / h. For the realization of thermodynamic calculations we used the hot water demand raised in the IFBA-Campus Salvador. The results were satisfactory. With the prototype we found that it is possible to heat water from the heat rejected by the condenser of a ACJ and energy and exergy analysis allowed to know the real potential condenser, to verify losses and make suggestions for improvements and future studies.*

Keywords: *Energy analysis, Exegertic Analysis, Use of Thermal, Energy, Water heating, Air Conditioner*