POTENCIAL ECONÔMICO E ENÉRGICO DO APROVEITAMENTO DO CALOR REJEITADO POR CONDICIONADORES DE AR

David Coverdale Rangel Velasco [(1)] (davidc.r.v2014@gmail.com), José Alexandre Tostes Linhares Júnior[(1)] (tosteslinhares@gmail.com), Felipe Perissé Duarte Lopes[(1)] (felipeperisse@gmail.com), Carlos Maurício Fontes Vieira[(1)] (vieira@uenf.br), Afonso Rangel Garcez de Azevedo[(1)] (afonso.garcez91@gmail.com)

[(1)] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF); Laboratório de Materiais Avançados.

RESUMO: *Pesquisas apontam um crescimento exponencial da demanda de energia per capita, no decorrer da história. Mediante este cenário, cresce a necessidade por estudos que tenham por objetivo otimizar a utilização da energia pela sociedade, possuindo impactos econômicos e socioambientais positivos. O presente trabalho, utilizou dados oficiais atualizados, para realizar um estudo do potencial aproveitamento energético do calor dissipado por condicionadores de ar, objetivando assim um ganho econômico pautado no desenvolvimento sustentável. Parâmetros como carga térmica, eficiência energética, trabalho e calor rejeitado foram utilizados, bem como detalhamento de tarifas envolvidas no custo de energia atualmente. O estudo arbitrou percentuais de aproveitamento, como 25, 50, 75 e 100% da energia dissipada e concluiu que existe um real potencial de aproveitamento da energia. Ressalta-se ainda que a quantidade de calor liberada pelo ar condicionado está mais associada a carga térmica do ambiente refrigerado do que eficiência do mesmo. Assim, mesmo que sejam desenvolvidos aparelhos mais eficientes não seria expressiva a redução da quantidade de calor rejeitada, visto a maior parte provem da energia que é retirada do ambiente refrigerado.*

PALAVRAS-CHAVE: *AR CONDICIONADO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ENERGIA, SUSTENTABILIDADE.*

ECONOMIC AND ENERGY POTENTIAL OF THE REUSE OF HEAT REJECTED BY AIR CONDITIONERS

ABSTRACT: *Research shows an exponential growth in the demand for energy per capita, throughout history. Against this backdrop, there is a growing need for studies that aim to optimize the use of energy by society, with positive economic and socio-environmental impacts. The present work used updated official data to conduct a study of the potential energy use of the heat dissipated by air conditioners, thus aiming at an economic gain based on sustainable development. Parameters such as thermal load, energy efficiency, work and rejected heat were used, as well as details of tariffs involved in the cost of energy today. The study arbitrated utilization percentages, such as 25, 50, 75 and 100% of the energy dissipated and concluded that there is a real potential for using the energy. It should also be noted that the amount of heat released by the air conditioner is more associated with the thermal load of the refrigerated environment than its efficiency. Thus, even if more efficient devices are developed, the reduction in the amount of heat rejected would not be significant, since most of it comes from the energy that is removed from the refrigerated environment.*

KEYWORDS: *AIR CONDITIONING, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY, SUSTAINABILITY.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da raça humana está diretamente relacionado com a energia demandada sociedade. Assim, desde o início da humanidade até a atualidade, a demanda de energia *per capita* cresceu cerca de 130 vezes. Segundo Goldemberg (1998), em países mais desenvolvidos o consumo anual é superior 2 Toneladas Equivalente de Petróleo (TEP) *per capita*, sendo uma barreira essencial para o desenvolvimento em países subdesenvolvidos ultrapassar o consumo de 1 TEP/*capita*. Acrescenta-se ainda que em países subdesenvolvidos a expectativa de vida é 30% menor, a mortalidade infantil é mais do que três vezes superior aos países industrializados e o analfabetismo supera 20%.

No Brasil, estima-se que a demanda de energia elétrica cresça em 3,6% ao ano na próxima década. Espera-se que esta demanda resulte numa maior participação de termoelétricas na matriz energética (https://www.istoedinheiro.com.br/epe-preve-crescimento-da-demanda-de-energia-de-36-ao-ano-ate-2029/). Assim, mesmo com o crescimento da utilização de fontes renováveis, somente as mesmas não serão suficientes para atender as demandas de energia elétrica da sociedade. Outro efeito de uma maior participação das termoelétricas está associado ao custo de geração de energia pelas mesmas que tende a tornar o valor mais alto da energia elétrica brasileira.

Neste sentido, a importância da utilização de métodos com melhor aproveitamento energético tem sua importância associada tanto a aspectos econômicos, quanto a aspectos socioambientais. Numa perspectiva global, a *Energy Information Administration* (EIA, 2019) estima que o consumo de energia elétrica aumente em aproximadamente em 50% até 2050. A *International Energy Agency* (IEA, 2018) prevê que o uso de ar-condicionado será um dos principais itens da demanda global por eletricidade, triplicando sua demanda de energia até 2050.

Neste sentido, o IEA destaca a importância de estabelecer padrões mínimos globais para a eficiência de ares condicionados. Estima-se que o benefício financeiro desta medida, seria uma economia de US$ 2,9 trilhões em investimentos, combustíveis e custos operacionais, o que demonstra um grande potencial de economia dos sistemas de condicionamentos de ambientes; uma vez que sua eficiência varia muito de produto para produto e a escolha adequada pode aumentar consideravelmente a rentabilidade de uma empresa (IEA, 2018).

Além do emprego de equipamentos eficientes, a utilização do calor rejeitado por condicionadores de ambientes são outra vertente que pode reduzir a quantidade de energia de energia elétrica utilizada. Neste sentido, Alves (2016) aponta que esse tipo de energia pode ser aproveitada de diversas formas como: descongelamento, secagem, aquecimento de ambientes, piscinas, pisos radiantes, bem como aquecimento e preaquecimento de fluídos de processos.

Neste sentido, este trabalho avalia o potencial do calor gerado e não aproveitado por ares condicionados como substituto ao aquecimento por resistência elétrica. Desta forma foi possível estimar a quantidade de energia elétrica que pode ser economizada, bem como qual o impacto financeiro que esta economia pode gerar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir será apresentada a metodologia deste trabalho. A mesma apresenta os procedimentos adotados para estimar a quantidade de energia que é liberada nos condensadores de ares condicionados, bem como seu potencial de utilização de acordo com a eficiência e aproveitamento da mesma. Avaliou-se também os potenciais ganhos econômicos que o aproveitamento desta energia pode resultar.

2.1. Banco de dados

A metodologia deste trabalho consiste numa avaliação do potencial de utilização da energia rejeitado por ares condicionados por meio dos dados disponíveis no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Os dados utilizados estão disponíveis aos consumidores no site do INMETRO na seção de Tabelas de consumo/eficiência energética, sendo a versão utilizada neste trabalho referente a que foi publicada no dia 02 de julho de 2020. Os condicionadores que não possuem informações sobre a eficiência energética não foram utilizados neste trabalho, diante disto a amostra utilizada foi composta por 714 ares condicionados.

A Tabela 1 apresenta os valores máximos e mínimos da carga térmica e eficiência energética, assim como a média e mediana dos valores encontrados na amostra supracitada.

Tabela 1. Consolidação da amostra de dados utilizada.

	Carga térmica (BTU/H)	Eficiência energética (W/W)
Máximo	60000	4,01
Média	26265	3,21
Mínimo	7000	2,65
Mediana	22000	3,24

Fonte: INMETRO (2020).

2.2. Potencial de economia energético

Para a realização deste trabalho foram considerados três cenários de aproveitamento do calor rejeitado, que são, 25, 50, 75 e 100%; bem como a eficiência máxima, mínima e média encontrada no banco de dados. Visando facilitar a comparação entre resultados em função das eficiências de diferentes equipamentos, considerou-se para todas as eficiências uma carga térmica igual a mediana da amostra utilizada neste trabalho (22.000 BTU/h). Considerou-se também o funcionamento do ar condicionado em plena carga, uma hora por dia, no decorrer do período de um ano, ou seja, 365 horas de funcionamento.

O trabalho necessário para movimentar o fluído (W) quando o ar condicionado está em plena carga foi calculado de acordo com a Eficiência Energética (E_E) e Carga Térmica (C_T) do ar condicionado por meio da Equação 1. Já a quantidade de Calor Rejeitado por hora (CR) foi determinada por meio da Equação 2.

$$W = \frac{C_T}{E_E} \quad (1)$$

$$C_R = C_T + W \quad (2)$$

2.3. Potencial de economia financeiro

A quantidade de energia economizada depende não só do valor base estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para as concessionárias, mas também das condições de geração (bandeira tarifária) e os impostos. Assim, partes destas variáveis dependem da região a ser estudada, sendo necessário desta forma realizar um recorte geográfico. Neste trabalho, foi utilizado como referência o município de Campos dos Goytacazes, localizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro.

O valor da tarifa base cobrado pela concessionária depende da classe de consumo. Neste trabalho, utilizou-se como referência a classe residencial, visto que é a classe com maior consumo cativo, 44,7%, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020). Assim, considerou-se neste trabalho o valor da tarifa base igual a R$ 683,67/MWh. Isto é, o valor cobrado em Campos dos Goytacazes para consumidores residenciais normais (B1) sem a incidência de impostos e acréscimos referentes a bandeira tarifária (ANEEL, 2020).

O valor a ser acrescentado pela bandeira tarifária varia mensalmente de acordo com as condições de geração de energia. A Tabela 2 apresenta os valores a serem acrescentados na tarifa base de acordo com as condições de geração de energia, bem como a média ponderada destes valores, cujo o peso foi igual a quantidade de meses que cada bandeira ficou vigente em 2018 e 2019. Devido as excepcionalidades geradas pela COVID 19, o ano de 2020 teve a bandeira verde fixada pela ANEEL e por este motivo foi desconsiderado.

TABELA 2. Bandeiras tarifárias.

BANDEIRA	VALOR		QUANTIDADE
Verde	R$	0,00	10
Amarela	R$	13,43	6
Vermelha - p1	R$	41,69	3
Vermelha - p2	R$	62,43	5
Média ponderada	R$	21,575	-

Fonte: ANEEL (2020).

Os impostos que incidem sobre a tarifa de energia podem ser divididos em estaduais e federais. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é um imposto estadual cuja a alíquota varia de acordo com o consumo. A alíquota utilizada do Estado do Rio de Janeiro pode ser observada na Tabela 3. Neste trabalho utilizou como alíquota de ICMS 18%, visto que não só o consumo médio das residências do Rio de Janeiro, mas de todos os Estados do Brasil estão dentro dessa faixa (EPE, 2020).

TABELA 3. Alíquotas de ICMS do Estado do Rio de Janeiro incidentes sobre a energia elétrica.

FAIXA	ALÍQUOTA
0 A 50 kWh	0%
51 A 299 kWh	18%
300 A 450 kWh	31%
450 kWh ou superior	32%

Fonte: Rio de Janeiro (1996, 2002, 2017).

Já o Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) são impostos federais que cujo valor varia mensalmente de forma não previsível.

Assim, considerou-se neste trabalho o valor do PIS e CONFINS como uma média do valor que foi cobrado em 2019 e 2018, 4,69%. Devido a excepcionalidades que a COVID 19 pode ter causado na alíquota destes impostos, o ano de 2020 não foi contabilizado.

O valor da tarifa final (T_F) foi calculado por meio da Equação 3, de acordo com os valores dos impostos (ICMS, PIS e CONFINS), tarifa base (T_b) e o acréscimo ocasionado pela bandeira tarifária (B_t).

$$T_F = \frac{T_b + B_t}{1 - (ICMS + PIS + CONFINS)} \quad (3)$$

Por fim, a quantidade de recursos financeiros economizados foi calculada por meio do produto entre a energia economizada nos cenários mencionados na subseção anterior e a tarifa final calculada de acordo com a metodologia nesta subseção.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Diante dos cenários propostos por este trabalho, com percentuais de aproveitamento de energia arbitrados em 25, 50, 75 e 100% e as devidas eficiências térmicas provenientes do banco de dados utilizado, foi possível mensurar o quantitativo de energia com potencial de ser aproveitada, bem como os potenciais valores financeiros de economia.

O potencial energético de aproveitamento de calor pode ser observado na Tabela 4. Por meio desta tabela é possível observar que o potencial anual de economia de energia variou entre 736 e 3244 kWh/ano conforme os cenários propostos. Já o potencial de economia de recursos financeiros pode ser observado na Tabela 5. O valor da tarifa utilizado para este cálculo foi R$ 912,23/MWh, valor calculado pelas premissas detalhadas neste trabalho.

TABELA 4. Potencial de aproveitamento energético (KWh/ano).

Aproveitamento de energia / Eficiência Energética (W/W)	25%	50%	75%	100%
4,01	736	1.471	2.207	2.942
3,21	772	1.544	2.316	3.089
2,65	811	1.622	2.433	3.244

TABELA 5. Potencial economia financeira (R$).

Aproveitamento de energia / Eficiência Energética (W/W)	25%	50%	75%	100%
4,01	671	1.342	2.013	2.684
3,21	704	1.409	2.113	2.818
2,65	740	1.479	2.219	2.959

Pode-se observar tanto na Tabela 4, quanto na Tabela 5 que a variação do potencial de aproveitamento energético sofre expressiva influência do percentual de energia que será aproveitado. Em contrapartida, mesmo que a eficiência dos condicionadores de ar varie entre +24,9% e -17,4% do valor médio, isto não se reflete no aproveitamento de calor e economia de recursos financeiros com a mesma intensidade. Os últimos variam entre +5,0% e -4,7% do valor médio, sendo possível aproveitar mais calor dos aparelhos de ar condicionado menos eficientes, podendo isto ser visualizado de forma mais fácil no Figura 1 que expressa de maneira sucinta os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5.

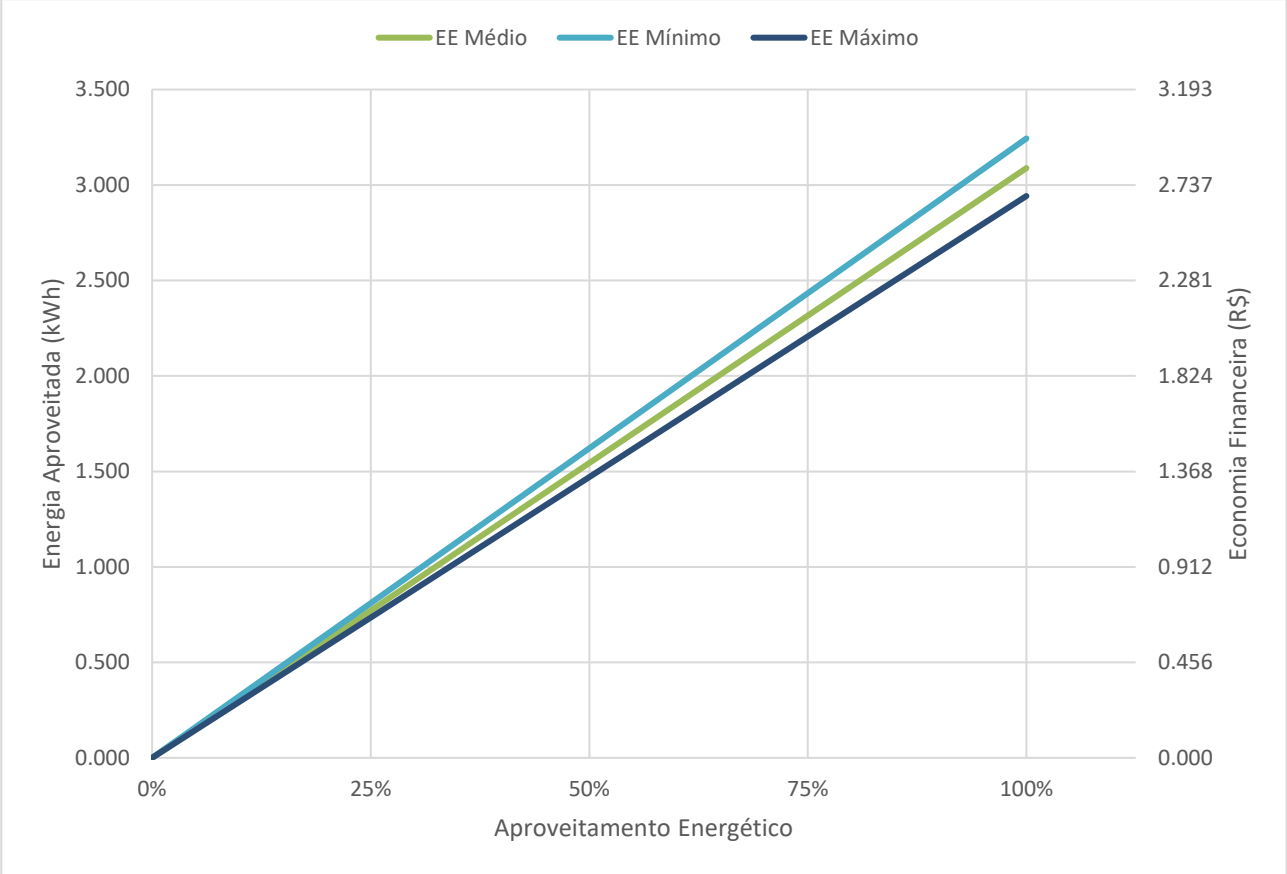


FIGURA 1. Representação gráfica, com a variação do percentual de aproveitamento energético, energia aproveitada e economia financeira.

Em relação a influência da eficiência energética do ar condicionado, pode-se observar que mesmo que em ares condicionados com uma maior eficiência energética ocorra uma redução da quantidade de calor rejeitado, a redução é mínima quando comparado com a quantidade total de calor rejeitado. Isto ocorre, pois a maior parte do calor rejeitado no condensador provem da energia que é retirada do ambiente, sendo assim mais influenciado pela capacidade do equipamento. Desta forma, mesmo que ocorra um desenvolvimento de novas tecnologias que aumentem a eficiência energética destes equipamentos, não se espera que ocorra uma grande variação na quantidade de calor liberado pelo condensador.

Acerca do potencial de economia financeira, considerou-se o mesmo significativo, pois em um cenário com aproveitamento de 75% da quantidade de calor rejeitado pelo condensador seria possível economizar um valor próximo ao salário médio do brasileiro, R$ 2.323 (IBGE, 2020). Contudo, embora demonstrado o potencial de econômico desta medida, isto não significa que qualquer forma de aproveitamento de calor será viável. Assim, além de desenvolver um sistema de aproveitamento, será necessário verificar a quantidade de energia que pode ser aproveitada pelo mesmo, considerando não só aspectos técnicos do sistema desenvolvido, mas também questões relacionadas aos hábitos do publico alvo do equipamento a ser desenvolvido. Ressalta-se também que é necessário observar se haverá algum consumo energético extra associado a utilização do sistema desenvolvido, bem como a influência que este sistema poderá gerar na eficiência energética dos ares condicionados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução homologatória Nº 2.666. Brasília, ANEEL, 2020.

ALVES, H. A. C. Aproveitamento de Calor Rejeitado em Sistemas de Refrigeração. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 73 p., 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2020: Matriz Energética Nacional 2020 - Ano Base 2019. Rio de Janeiro, EPE, 2020.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. Estudos avançados, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua trimestral – 1º trimestre de 2020, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5431>. Acesso em 20 out. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Tabelas de consumo/eficiência energética: condicionadores de ar, 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>. Acesso em: 22 set. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The Future of Cooling: Opportunities for energy efficient. Paris, IEA, 2018.

ISTOÉ DINHEIRO. EPE prevê crescimento da demanda de energia de 3,6% ao ano até 2029. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/epe-preve-crescimento-da-demanda-de-energia-de-36-ao-ano-ate-2029/>. Acesso em: 20 set. 2020.

RIO DE JANEIRO. Lei estadual 2.657, dispõe sobre o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 1996.

_____. Lei estadual 4.056, autoriza o poder executivo a instituir no exercício de 2003, o fundo estadual de combate à pobreza e às desigualdades sociais. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

_____. Lei estadual 7.786, dispõe sobre o imposto sobre a transmissão causa mortis e doação de quaisquer bens ou direitos (ITD), de competência do estado do rio de janeiro. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International Energy Outlook 2019, with projections to 2050. Government Printing Office, Washington, EIA, 2019.