

Estudo experimental e comparativo do desempenho técnico e consumo de energia de um ar-condicionado convencional e um inverter

Matheus Oliveira Gomes ¹, Isaias Oliveira dos Santos ², Rita de Cassia Souza de Queiroz ³, Anderson Oliveira Santos ⁴

¹Território, Educação e Sustentabilidade - TESSER, Departamento de Ensino (DEPEN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jequié, Brasil. Email: slamathyer@gmail.com

²Território, Educação e Sustentabilidade – TESSER, Departamento de Ensino (DEPEN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jequié, Brasil. Email: isaiasoliveira018@gmail.com

³Território, Educação e Sustentabilidade - TESSER, Departamento de Ensino (DEPEN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jequié, Brasil. Email: rita.queiroz@ifba.edu.br

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jequié, Brasil. Email: anderson_oliveira@ifba.edu.br

Resumo

Em muitas residências, grande parcela da conta de luz vem do uso de condicionadores de ar, a aquisição de um ar-condicionado, embora traga conforto térmico, traz consigo um aumento significativo no consumo de energia. O modelo de ar-condicionado inverter surgiu com a premissa de trazer uma redução no consumo em comparação ao modelo convencional, além de uma melhor performance para a refrigeração do ambiente. Contudo, até os dias de hoje os ar-condicionados do tipo convencional são comercializados. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar o desempenho técnico em relação a refrigeração do ambiente e o consumo de energia de um ar-condicionado do tipo convencional e um do tipo inverter, com o intuito de orientar melhor o consumidor na aquisição de um ar-condicionado. Na etiqueta nacional de conservação de energia o modelo convencional utilizado neste estudo possui consumo estimado menor que o do modelo inverter, o estudo foi realizado também para verificar a autenticidade dessa informação. O trabalho foi desenvolvido por meio dos métodos experimental e comparativo, foi feita uma coleta de dados de parâmetros elétricos dos dois tipos de ar-condicionados como a corrente, potência e consumo de energia em conjunto com a temperatura ambiente, e depois foi realizada a comparação descritiva desses dados. Os resultados permitiram demonstrar que a diferença no consumo varia em função das condições de uso e das condições do ambiente, e a partir desses resultados, foi possível demonstrar experimentalmente que o modelo inverter possui tecnologia que permite uma redução significativa no consumo de energia, em comparação ao modelo convencional.

Palavras-chave: Compressor; Conforto térmico; Economia de energia; Refrigeração.

Abstract

In many residences, a large portion of the electricity bill comes from the use of air conditioners. The purchase of an air conditioner, while provide thermal comfort, brings with it a significant increase in energy consumption. The inverter air conditioner model emerged with the premise of bringing a reduction in consumption compared to the conventional model, in addition to better performance for cooling the environment. However, to this day, conventional air conditioners are sold. Therefore, the present work aims to evaluate the technical performance in relation to environmental refrigeration and energy consumption of a conventional air conditioner and an inverter type, with the aim of better guiding the consumer in the acquisition of an air conditioner. On the national energy conservation label, the conventional model used in this study had an estimated consumption lower than that of the inverter model, the study was also carried out to verify the authenticity of this information. The work was developed using experimental and comparative methods, data was collected on electrical parameters of the two types of air conditioners such as current, power and energy consumption together with the ambient temperature, and then a descriptive comparison of these data was made. The results made it possible to demonstrate that the

difference in consumption varies depending on the conditions of use and environmental conditions, and from these results, it was possible to demonstrate experimentally that the inverter model has technology that allows a significant reduction in energy consumption, compared to the conventional model.

Keywords: Compressor, Energy saving, Refrigeration, Thermal comfort.

1. Introdução

A troca de calor entre dois corpos, ocorre em direção do corpo mais quente para o mais frio, até que ambos atinjam o equilíbrio térmico, um ar-condicionado tem o objetivo de transferir calor de um ambiente a baixa temperatura, para outro a uma temperatura maior, ele opera conforme um ciclo termodinâmico que precisa do fornecimento de trabalho, esse trabalho é obtido em troca de energia elétrica [1]. Em regiões quentes, como Jequié-BA, a cidade em que esse estudo foi realizado, conhecida também pelo nome de Cidade Sol pelos moradores da região, é um item essencial para o conforto térmico, e por isso é amplamente utilizada nessas regiões.

Uma ótima área para se buscar por economia de energia é na área de refrigeração, visto que, grande parcela do consumo de energia de residências vem do uso de condicionadores de ar, e no setor comercial esse consumo corresponde a 47% do consumo final de energia [2]. Devido a economia de energia proposta até mesmo pelos fabricantes, a venda de condicionadores de ar com tecnologia inverter cresceu bastante, contudo ainda são vendidos muitos do modelo convencional, em alguns casos, isso se dá pela economia financeira no momento da compra e a economia de energia é muitas vezes ignorada, em outros casos, o consumidor até já ouviu falar que um modelo inverter pode trazer economia, mas acredita que esse modelo de ar-condicionado seja muito mais caro que um convencional, sendo que na verdade é muito comum encontrar modelos inverter mais baratos que os convencionais nos dias atuais.

Existem diversos trabalhos que se propõe a realizar uma comparação entre ares-condicionados do tipo convencional com os do tipo inverter, alguns autores realizam essa comparação a partir de informações fornecidas pelo fabricante e por meio de estimativas feitas a partir do estabelecimento de alguns critérios [3], há também comparações feitas por meio de simulações utilizando considerações de normas [4], e ainda, comparações que consideram o consumo obtido a partir do uso de um medidor de qualidade de energia [2], em todos esses trabalhos foi concluído que o modelo inverter apresenta consumo menor do que o modelo convencional. Um fator que também serviu de motivação para o desenvolvimento dessa pesquisa, foi o de que na etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE), a estimativa de consumo do ar-condicionado convencional era menor do que a

estimativa do inverter, e ambos se enquadravam na mesma classificação, o que é o oposto do indicado pela literatura.

Faz-se necessário que existam estudos que demonstrem experimentalmente a diferença no consumo entre esses dois tipos de ares-condicionados. Embora [2] demonstre o consumo de energia desses dos tipos de ares-condicionados de forma experimental, algumas condições, como a temperatura ambiente, não foram levadas em consideração, e elas influenciam muito no consumo de energia como será visto neste trabalho. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho técnico em relação a refrigeração do ambiente e o consumo de energia de um ar-condicionado do tipo convencional, e um do tipo inverter. Com a divulgação destes dados, espera-se orientar melhor o consumidor no momento da tomada de decisão para a aquisição de um novo ar-condicionado.

2. Método(s), metodologia

A metodologia apresentada neste artigo partiu da junção de dois métodos, o experimental e comparativo. A manipulação de variáveis causa um determinado efeito em um objeto e isso constitui no método experimental, que por sua vez atua em verificar os efeitos, enquanto que o método comparativo busca investigar quais são as similaridades e diferenças entre um objeto de estudo [5].

As variáveis analisadas neste estudo foram temperatura (°C) do ambiente externo e do espaço refrigerado, a umidade relativa do ar (%) do ambiente externo, a corrente (A), potência (W) e consumo de energia (Wh) do compressor. Para fazer a verificação da temperatura e umidade, foram utilizados dois sensores de DHT11, eles foram posicionados conforme visto na Figura 1.

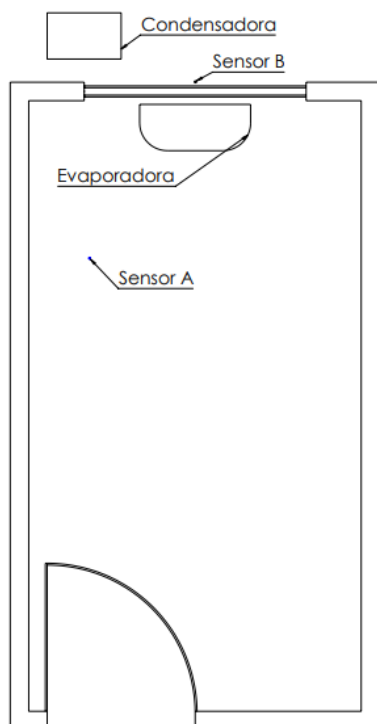


Figura 1. Posicionamento dos sensores na sala e na área externa. Fonte: elaboração própria.

Os sensores foram alimentados por uma placa UNO R3, que possuía o microcontrolador Atmega328. Através da programação inserida nele, o microcontrolador convertia o sinal digital recebido do sensor nos valores de temperatura e umidade relativa do ar, e registrava esses valores em uma planilha do Excel por meio da porta serial. Foram utilizados fios, jumpers e uma protoboard para realizar a conexão entre os dispositivos, e um cabo USB tipo A – B para alimentar a placa e transferir os dados pela porta serial ao Excel, a leitura era atualizada a cada 30 segundos, conforme definido na programação.

Para fazer o acompanhamento dos parâmetros elétricos do compressor, foi utilizado o medidor de qualidade de energia VEGA 78, ele permite variar o intervalo de integração em que faz o registro das variáveis, sendo utilizado o de 30 segundos. O VEGA 78 foi instalado no quadro de distribuição em que o disjuntor dos ar-condicionados estava instalado (Figura 2).

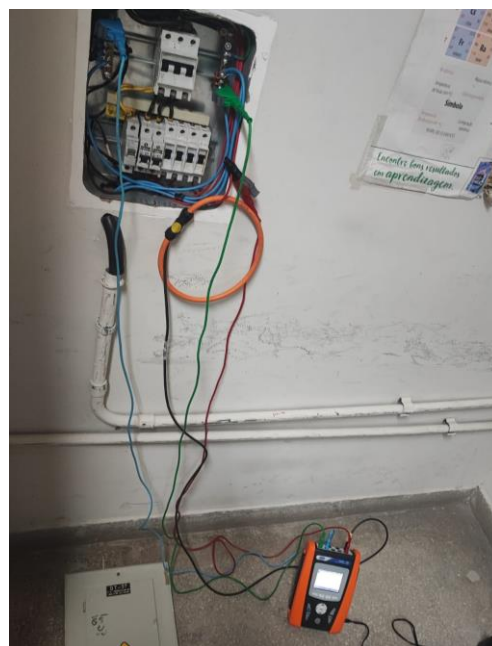


Figura 2. Instalação do VEGA78 no quadro de distribuição. Fonte: elaboração própria.

Para que a comparação fosse justa, todo o experimento foi feito em uma única sala, sem a variação de carga térmica, foi feito o estudo com um tipo de ar-condicionado, depois ele foi substituído pelo outro modelo. Inicialmente, o ar-condicionado que estava presente na sala era do tipo convencional, modelo ECS18FR4-02, de capacidade de refrigeração de 18.000 Btus/h, o estudo foi iniciado com ele, e depois ele foi substituído pelo modelo inverter HVFI18B2IA, que também possuía capacidade de refrigeração de 18.000 Btus/h.

O período de coleta de dados foi do dia 22/04/2024 até o dia 04/06/2024, pouco mais de 2 semanas para cada tipo de ar-condicionado, isso porque, como as condições de ambiente não podiam ser manipuladas diretamente, essa variação foi feita realizando o experimento em dias diferentes. Durante esse período, foi realizado o registro das variáveis indicadas, com os ar-condicionados configurados para refrigerar o ambiente para as temperaturas de 18 °C e 23 °C, para que os seus comportamentos fossem verificados em duas condições de trabalho diferentes. Cada registro abrangia um período de cerca de 16 horas, de aproximadamente às 18:00 até às 10:00 do dia seguintes. Foram escolhidos 4 dias para as comparações diretas do desempenho e consumo, 2 dias em que o experimento havia sido realizado com o modelo convencional, e 2 dias em que o experimento havia sido feito com o modelo inverter, sendo um com o ar-condicionado configurado para 18 °C, e o outro para 23 °C, a escolha das análises desses dias foi feita com base na média da temperatura ambiente, para demonstrar o efeito que ela tem no consumo de energia.

Buscando não ter interferência nos processos comparativos, a manutenção e limpeza dos ar-condicionados foram realizadas antes do início da pesquisa, garantindo as condições ideais de funcionamento para ambos os equipamentos. Além disso, a sala em que o ar-condicionado estava instalado foi a do servidor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jequié, e ela não foi utilizada durante o período de experimento, ela foi isolada para que a carga térmica dela não variasse ao longo do estudo.

O funcionamento de um condicionador de ar se dá pelo uso de um fluido refrigerante em conjunto com quatro componentes, o compressor, condensador, válvula de expansão ou tubo capilar e evaporador. O compressor, fornece trabalho ao fluido refrigerante, o que faz com que ele ganhe pressão e temperatura, de forma que ao chegar ao condensador, unidade em que troca calor com o ambiente externo, a temperatura do fluido seja maior que a temperatura ambiente, o que faz com que o fluido perca calor para o ambiente. Ao escoar pela válvula de expansão, o fluido perde pressão e temperatura, e ao chegar no evaporador, a sua temperatura é menor do que a do ambiente refrigerado, o que faz com que ele ganhe calor do ambiente, e então segue novamente ao compressor e o ciclo se repete, esse ciclo pode ser visto na Figura 3 [1].

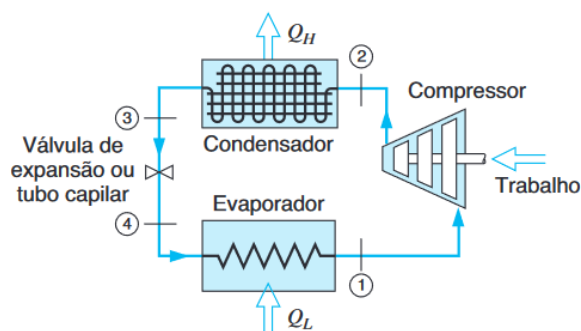


Figura 3. Ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor. Fonte: Adaptado de Borgnakke e Sonntag, 2018.

O funcionamento do ar-condicionado tanto do convencional quanto o inverter podem ser descritos pelo ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor, a diferença entre os dois tipos é na forma que o trabalho é adicionado ao fluido. No modelo convencional, o compressor funciona até que a temperatura no ambiente refrigerado esteja em torno da temperatura desejada, então ele desliga, e quando a temperatura sobe, ele liga novamente, dessa forma ele mantém o ambiente refrigerado com uma leve variação de temperatura em torno da temperatura desejada. Já no modelo inverter, em vez de desligar o compressor, ele é capaz de variar a sua velocidade, fazendo com que inicialmente ele trabalhe a uma velocidade maior para que a temperatura desejada seja alcançada rapidamente, e quando chega próximo a temperatura

ambiente, ele diminui essa velocidade e mantém o compressor funcionando em uma velocidade menor para que a temperatura desejada seja mantida, ou seja, o modelo inverter é capaz de variar a quantidade de trabalho fornecida ao fluido refrigerante, a capacidade de variar a velocidade do compressor permite que a temperatura desejada seja alcançada mais rapidamente, e que a variação de temperatura em relação a temperatura desejada seja menor, como pode ser visto na Figura 4.

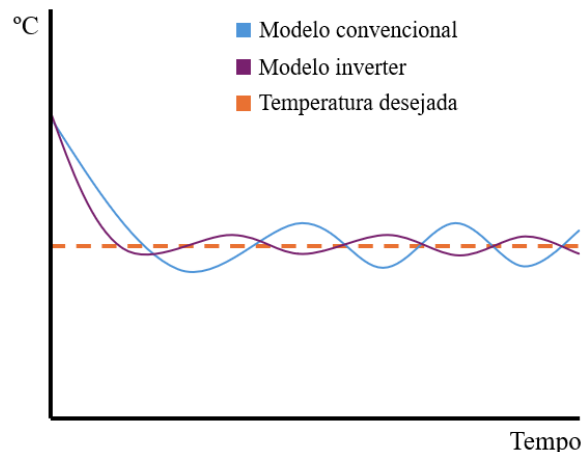


Figura 4. Comportamento dos compressores em relação a temperatura. Fonte: Elaboração própria.

As características de construção do motor elétrico de corrente alternada fazem com que ele se comporte como um sistema subamortecido, isto é, no momento de partida, a corrente do motor ultrapassa a sua corrente nominal, essa corrente é denominada de corrente de pico [6]. Esse comportamento, apresentado pelo ar-condicionado convencional, resulta em consumo desnecessário de energia, além de ser prejudicial a instalação elétrica dependendo do quanto ultrapasse a corrente nominal, este é um dos motivos que em instalações industriais o circuito de força é separado do circuito de comando, para que a corrente não prejudique os equipamentos de controle.

3. Resultados

A Tabela 1 mostra a média da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar dos dias escolhidos para fazer as comparações, esses valores foram medidos pelo sensor B (Figura 1), posicionado na área externa a sala de teste, próximo a unidade condensadora para verificar a que temperatura o fluido refrigerante trocava calor com o ambiente. Como não há diferença significativa na umidade entre os dias escolhidos, ela não foi levada em consideração nas comparações.

Tabela 1. Médias das temperaturas ambiente e umidade relativa do ar.

Análise	Modelo	Temp. (°C)	Umi. (%)
1 ^a	Conven.	21,43	92,02
2 ^a	Conven.	23,92	88,41
3 ^a	Inverter	24,11	90,68
4 ^a	Inverter	22,53	89,10

Fonte: Elaboração própria.

3.1. Ar-condicionado convencional

A Figura 5 apresenta o gráfico de temperatura na sala da 1^a análise, onde o ar-condicionado convencional estava configurado para refrigerar o ambiente para 18 °C, a temperatura na sala inicialmente estava em 23 °C pois ela já estava sendo refrigerada, o ar-condicionado apenas havia sido desligado por um tempo para que a temperatura da sala aumentasse um pouco e o comportamento inicial do ar-condicionado pudesse ser visto, o mesmo aconteceu nos outros dias.

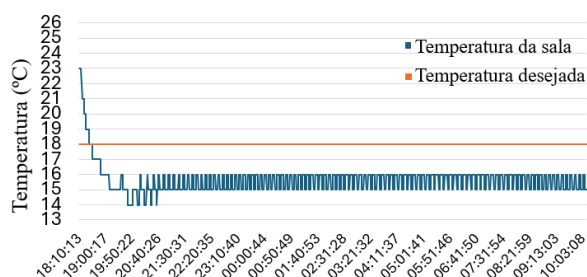


Figura 5. Gráfico da temperatura na sala com o ar-condicionado convencional (1^a análise). Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que, o comportamento do ar-condicionado é parecido com o previsto na Figura 4, com exceção de que a temperatura não oscilou em torno da temperatura desejada (18°C), ela ficou oscilando entre 15 °C e 16 °C, isso ocorreu porque o ar-condicionado estava superdimensionado, 18.000 Btus/h era uma capacidade de refrigeração muito além do necessário para aquela sala, e também, o sensor estava posicionado próximo ao ar-condicionado, conforme visto na Figura 1, em uma sala com apenas um ar-condicionado split, a temperatura não é a mesma em torno de toda a sala, e é próximo ao ar-condicionado que temperatura é menor pois é onde ocorre a maior troca de calor.

O gráfico da potência do compressor (Figura 6) mostra que o compressor liga e desliga diversas vezes ao longo desse período, e como observado anteriormente, cada vez que o compressor é acionado no modelo convencional existe um pico de corrente, verificamos com os dados obtidos pelo VEGA 78 que a corrente de pico ultrapassava mais de quatro vezes a corrente nominal do compressor e embora a corrente de pico dure apenas um instante, o resultaria um consumo de

energia insignificante durante essas 16 horas de funcionamento, como o compressor liga e desliga diversas vezes (Figura 6), a quantidade de vezes em que tem-se a ocorrência da corrente de pico acaba tornando o valor significativo.

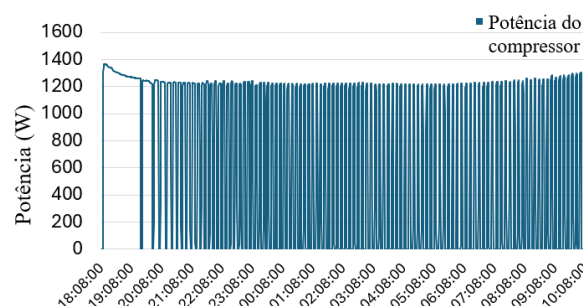


Figura 6. Gráfico da potência do compressor do ar-condicionado convencional (1^a análise). Fonte: Elaboração própria.

3.2. Ar-condicionado inverter

A Figura 7 apresenta o gráfico de temperatura na sala da terceira análise, onde tínhamos o modelo inverter configurado para 18 °C, se compararmos com o gráfico da temperatura do modelo convencional (Figura 5), observamos que a temperatura oscila muito menos, o que também está de acordo com o que vimos na Figura 4, o modelo inverter consegue ter um controle melhor da temperatura, por conta da sua capacidade de variar a quantidade de trabalho fornecida ao fluido refrigerante. Ele conseguiu manter a temperatura estável em 17 °C na maior parte do tempo, e somente próximo das 06:00 e 09:00 horas observamos algumas oscilações.

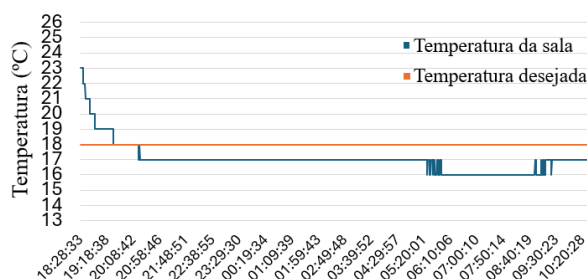


Figura 7. Gráfico da temperatura na sala com o ar-condicionado inverter (3^a análise). Fonte: Elaboração própria.

A Figura 8 mostra o gráfico de potência do compressor, com a ajuda desse gráfico fica claro o motivo de o modelo inverter conseguir ter um controle melhor da temperatura, diferente do convencional, que desligou e ligou o compressor diversas vezes durante o período de estudo (Figura 6), o inverter não desligou o compressor sequer uma vez, ele diminuiu a velocidade do compressor, e com isso conseguiu manter a temperatura na sala sem muitas oscilações.

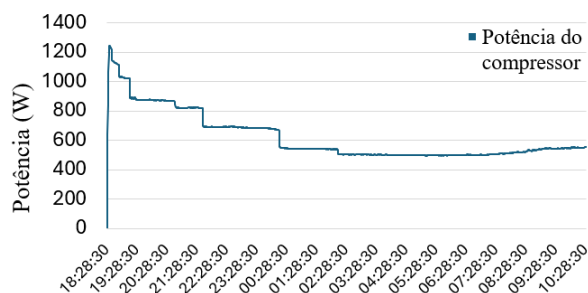


Figura 8. Gráfico da potência do compressor do ar-condicionado inverter (3ª análise). Fonte: Elaboração própria.

Outra questão que esse estudo possibilitou verificar, foi o comportamento do compressor do modelo inverter em um caso em que não precisaria de muito trabalho para manter o ambiente na temperatura desejada, pois no caso do modelo convencional, em um cenário como esse o compressor iria ficar desligado a maior parte do tempo, o que resultaria em um baixo consumo de energia, enquanto que o compressor do inverter ficaria funcionando em baixa rotação e não desligaria [4], com isso havia sido levantada a hipótese de que nesse cenário o consumo de energia do convencional poderia ser menor. Contudo, verificamos que o compressor do inverter também desligava em um cenário como esse, como pode ser observado na Figura 9, o compressor funcionava até uma potência mínima e então desligava, ficando também a maior parte do tempo desligado. Mesmo utilizando um medidor de qualidade energia para analisar o comportamento dos compressores, [2] também não observou que o compressor de um modelo inverter pode desligar quando a quantidade de trabalho necessária para manter o ambiente refrigerado é baixa, como foi observado na 4ª análise (Figura 9), e como os gráficos de corrente e potência do compressor do ar-condicionado convencional apresentados em seu estudo apresentam grandes variações, o que não está de acordo com o comportamento do ar-condicionado convencional, que trabalha ligando e desligando o compressor e não variando sua velocidade, significa que os gráficos apresentados em seu estudo não demonstram os valores instantâneos e sim alguma média dentro de um intervalo de integração.

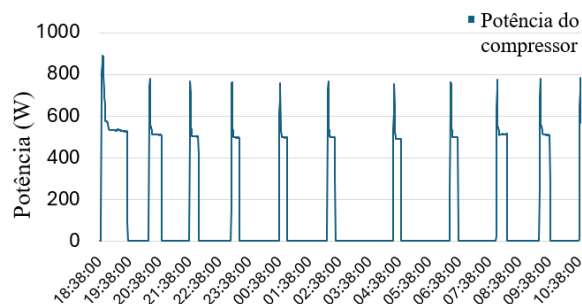


Figura 9. Gráfico da potência do compressor do ar-condicionado inverter (4ª análise). Fonte: Elaboração própria.

3.3. Consumo de energia

Quanto ao consumo de energia, observamos na Tabela 2 que o consumo de energia do convencional foi levemente menor, isso porque, a temperatura ambiente do nesse estava menor. A temperatura ambiente influencia muito no consumo de energia de um ar-condicionado, a Tabela 3 mostra a situação inversa, nesse caso, a temperatura ambiente estava menor dia que foi realizado o estudo com modelo inverter, e vemos que, o consumo de energia do inverter foi de menos da metade do convencional.

Tabela 2. Consumo de energia com a temperatura desejada de 18 °C.

Análise	Temp (°C)	Tipo	Consumo (Wh)
1ª	21,43	Conven.	9.802,23
3ª	24,11	Inverter	9.963,45

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3. Consumo de energia com a temperatura desejada de 23 °C.

Análise	Temp (°C)	Tipo	Consumo (Wh)
2ª	23,92	Conven.	4.081,78
4ª	22,53	Inverter	1.994,01

Fonte: Elaboração própria.

Uma boa prática que pode ser feita antes de adquirir um novo produto é verificar a sua classificação e estimativa de consumo na etiqueta ENCE, os dois ar-condicionados utilizados na elaboração desse estudo possuem a mesma classificação, como pode ser visto na Figura 10, a esquerda o modelo convencional e a direita o modelo inverter.



Figura 10. Etiqueta nacional de conservação de energia dos ares-condicionados. Fonte: Elaboração própria.

A estimativa do consumo na etiqueta ENCE é menor para o modelo convencional, 33,2 kWh/mês contra 34,2 kWh/mês, e na prática foi verificado o oposto, o que mostra que, embora a classificação do aparelho na etiqueta seja um costume útil para verificar a eficiência de um equipamento, a estimativa do consumo não deve ser um fator determinante na escolha de um ar-condicionado.

A Figura 11 demonstra o comportamento dos dois modelos no acionamento do compressor, calculando a área abaixo das curvas, e multiplicando essa integração pela tensão, que é a mesma nos dois casos, observa-se que a energia consumida pelo modelo convencional é bem maior no acionamento do compressor, e como visto na Figura 6, o compressor liga e desliga diversas vezes durante o período de análise.

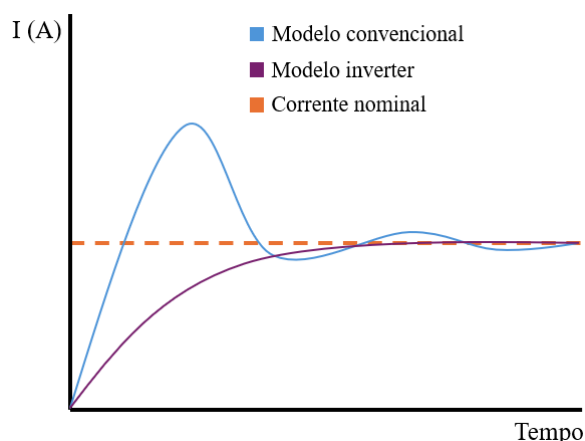


Figura 11. Gráfico da corrente em função do tempo no momento de acionamento dos compressores. Fonte: Elaboração própria.

Excluindo fatores como a vida útil do aparelho e custos de manutenção, a tecnologia do modelo inverter se sobressai em relação a convencional, por eliminar a corrente de pico e permitir um controle melhor da temperatura. Embora verificamos que em alguns casos o modelo convencional apresentou consumo menor que o inverter, nesses casos a média da temperatura

ambiente foi menor no dia que verificamos o consumo do convencional, e como já citado, as condições de ambiente influenciam muito no consumo de energia, no caso em que a temperatura ambiente estava mais favorável ao modelo inverter por exemplo, ele apresentou consumo muito menor do que o convencional.

4. Conclusões

No caso de uma nova aquisição, em que os ares-condicionados convencional e inverter possuam a mesma classificação na etiqueta ENCE, é vantajoso optar pelo modelo inverter, mesma que esse possa ser um pouco mais caro, pois a economia de energia com o tempo irá compensar a diferença no custo de aquisição.

Como foi discutido, até em um cenário em que o compressor precisa de pouco trabalho para manter o ambiente refrigerado, o consumo de energia do inverter é menor, sendo assim, o único cenário em que o consumo desses dois tipos de ares-condicionados possam ser semelhantes, é no caso de um mal dimensionamento de capacidade térmica, onde o compressor ficaria ligado o tempo todo e mesmo assim a temperatura desejada não seria alcançada, nesse caso como o compressor não irá ficar desligando e ligando, não haverá o consumo desnecessário no momento de partida do compressor no caso do convencional, pois ele irá permanecer ligado o tempo todo.

Não somente o consumo de energia, mas também o desempenho técnico em relação a refrigeração do ambiente do modelo inverter também é melhor, a capacidade a quantidade de trabalho fornecida pelo compressor faz com que a temperatura no espaço refrigerado seja mais estável e apresente menos oscilações.

5. Referências

- [1] C. Borgnakke, R.E. Sonntag. “Fundamentos da termodinâmica”. Blucher, São Paulo, 2018.
- [2] Rangel, M. “Análise do consumo e qualidade de energia em condicionadores de ar convencional e inverter”. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). IFG, Itumbiara, 2020.
- [3] Margoni, F., et al. “Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter”. 35º Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Enegep, Fortaleza, 2015.
- [4] Cecilio, W., Diniz, R., Romagnoli, F. “Análise energética de condicionadores convencionais e inverter

em habitações não adaptadas ao clima”. ES, Engineering and Science, vol. 12 (2023).

[5] A. C. Gil. “Métodos e técnicas de pesquisa social”. Atlas, São Paulo, 2008.

[6] N. Nise. “Engenharia de sistemas de controle”. 6^a ed. LTC, Rio de Janeiro, 2012.