



ANÁLISE DIDÁTICA SOBRE O FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO SPLIT

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica: Samuel José Alves de Medeiros
Docente Orientador do Curso de Engenharia Mecânica: Cleiton Silvano Goulart

Universidade de Uberaba – Uniube, Uberaba – MG, Brasil
E-mail do autor correspondente: samuel.medeiros@edu.uniube.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma abordagem didática para a compreensão do funcionamento e da manutenção de condicionadores de ar do tipo split, unindo os conhecimentos teóricos da Engenharia Mecânica à experiência prática no setor de climatização. O objetivo é apresentar os diversos modelos de sistemas de ar-condicionado do tipo split, o dimensionamento da carga térmica para o ambiente e o funcionamento do equipamento, destacando a demonstração do ciclo termodinâmico, os tipos de fluidos refrigerantes utilizados e os procedimentos de verificação dos componentes. Além disso, aborda-se a realização das medições das variáveis de operação como pressão, temperatura e corrente elétrica, assegurando a conformidade com as especificações técnicas estabelecidas pelo fabricante. Para todos os procedimentos de manutenção, devem ser utilizados ferramentas e equipamentos de proteção individual (EPIs) conforme NR 6 e NR 12. Dessa forma, este estudo contribui para a formação de profissionais mais preparados e para a melhoria da manutenção dos equipamentos, promovendo maior eficiência, durabilidade dos sistemas de climatização e segurança nas intervenções técnicas.

Palavras-chave: Condicionador de ar; Ciclo de refrigeração; Manutenção; Verificação de componentes.

ABSTRACT

This article presents a didactic approach to understanding the operation and maintenance of split-type air conditioners, combining the theoretical knowledge of Mechanical Engineering with practical experience in the HVAC sector. The objective is to present the various models of split air-conditioning systems, the thermal load calculation for indoor environments, and the operation of the equipment, highlighting the demonstration of the thermodynamic cycle, the types of refrigerants used, and the procedures for verifying the components. In addition, it addresses the measurement of operational variables such as pressure, temperature, and electric current, ensuring compliance with the technical

specifications established by the manufacturer. All maintenance procedures must be performed using appropriate tools and personal protective equipment (PPE), in accordance with NR 6 and NR 12 standards. With that, this study contributes to the training of better-prepared professionals and the improvement of maintenance practices, promoting greater efficiency, durability of HVAC systems, and safety in technical interventions.

Keywords: Air conditioner; Refrigeration cycle; Maintenance; Component inspection.

1. INTRODUÇÃO

O condicionador de ar tornou-se um elemento essencial para o conforto e o bem-estar da população, com isso a necessidade de manter e inspecionar a manutenção adequada para garantir a qualidade do ar e eficiência energética é indispensável. Segundo um estudo da Daikin, "equipamentos mais eficientes consomem menos energia, o que não apenas reduz os custos operacionais para os usuários, mas também diminui o impacto ambiental associado à geração de energia"(Daikin, 2024). Além de proporcionar condições térmicas adequadas, esses sistemas desempenham papel fundamental na renovação e filtragem do ar, evitando a propagação de agentes contaminantes e assegurando ambientes mais saudáveis. De acordo com publicações técnicas da ASHRAE, a falta de manutenção adequada em sistemas de climatização reduz significativamente o desempenho dos equipamentos e aumenta os riscos à saúde dos ocupantes. A instituição destaca que a operação contínua sem limpeza e verificação pode elevar a presença de contaminantes biológicos, comprometer a qualidade do ar interior e provocar problemas respiratórios e desconforto ambiental (ASHRAE, 2023). Portanto, através desse trabalho, busca-se reunir informações com a finalidade de instruir a realizar os procedimentos adequados de manutenção conforme as normas e as diretrizes que os fabricantes exigem.

A justificativa para esse estudo reside na alta demanda de mão de obra de qualidade para o setor de climatização, uma vez que o crescimento do uso desses equipamentos tem exigido profissionais cada vez mais capacitados para realizar instalações, manutenções e inspeções. A formação de técnicos qualificados torna-se fundamental para assegurar que os procedimentos sejam executados de acordo com os padrões de segurança, eficiência e sustentabilidade exigidos pelo setor. Essa qualificação profissional está diretamente relacionada ao cumprimento das normas e legislações vigentes, conforme as Leis nº 13.589/2018 (BRASIL, 2018) para qualificação de profissionais, ABNT NBR 16401 (ABNT, 2008) para sistemas de ar-condicionado e RE nº 09/2003 (ANVISA, 2003) para qualidade do ar.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é elaborar um plano de orientação técnica que descreva de forma detalhada o princípio de funcionamento do sistema de ar-condicionado do tipo split, apresentando a identificação de seus

componentes, suas funções e os procedimentos adequados de medição e verificação. Além disso, busca-se assegurar que os parâmetros obtidos estejam em conformidade com as especificações técnicas e tolerâncias estabelecidas pelos fabricantes, garantindo o desempenho e a eficiência do equipamento.

2. CONDICIONADOR DE AR

2.1 Referencial teórico

O engenheiro norte-americano Willis Carrier desenvolveu em 1902 um processo mecânico para controlar a umidade e a temperatura do ar, criando o primeiro sistema de ar-condicionado contínuo por processo mecânico. Inicialmente, sua invenção foi aplicada em uma empresa de impressão em Nova York, com o objetivo de reduzir problemas causados pelo calor e pela umidade no processo industrial. Somente em 1914, o condicionador de ar foi instalado pela primeira vez em uma residência, em uma mansão localizada em Minneapolis (WebArCondicionado, 2010).

No Brasil, os primeiros sistemas de refrigeração foram introduzidos na década de 1920, inicialmente destinados a setores como a indústria alimentícia e hospitais. Entre as décadas de 1930 e 1940, o uso residencial começou a se expandir gradualmente. Com o aumento da demanda, iniciou-se posteriormente a produção nacional de refrigeradores, adaptando-os às condições locais (Revista do Frio, 2024).

Segundo dados da Abrava (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento), estima-se que o mercado de sistemas de ar-condicionado no Brasil alcance um faturamento na ordem de R\$ 54 bilhões em 2025.

2.2 Potência do condicionador de ar

A potência de um condicionador de ar é expressa em BTU/h (British Thermal Unit por hora), unidade que representa a quantidade de calor que o equipamento é capaz de remover de um ambiente em uma hora. Em termos práticos, quanto maior a potência em BTU, maior é a capacidade do aparelho de refrigerar áreas amplas ou com maior carga térmica.

Outra forma de expressar essa capacidade térmica é por meio da tonelada de refrigeração (TR), sendo que 1 TR equivale a 12.000 BTU/h, o que facilita a conversão e a comparação entre diferentes sistemas de climatização.

Para fins de comparação com o consumo elétrico, a potência térmica pode ser relacionada ao sistema internacional de unidades, sendo que 1 BTU/h equivale aproximadamente a 0,293 Watts. Dessa forma, um equipamento de 12.000 BTU/h corresponde a cerca de 3.516 W de potência térmica. Ressalta-

se que esse valor não representa diretamente a potência elétrica consumida pelo aparelho, a qual depende da eficiência do sistema.

A escolha da potência adequada é fundamental para o desempenho e eficiência do sistema. Um equipamento subdimensionado (com BTU abaixo do necessário) trabalha constantemente em carga máxima, aumentando o consumo de energia e reduzindo sua vida útil. Por outro lado, um aparelho superdimensionado pode provocar desconforto térmico e maior custo inicial de instalação.

A **Tabela 1** apresenta uma estimativa média da relação entre a potência em BTU/h e a área recomendada do ambiente, considerando condições residenciais padrão:

Tabela 1 – Relação entre potência e área

Potência (BTU/h)	Área aproximada
9.000	Até 12 m ²
12.000	13 a 20 m ²
18.000	21 a 30 m ²
22.000	31 a 40 m ²
24.000	41 a 45 m ²
30.000	46 a 55 m ²
36.000	Acima de 55 m ²

Fonte: Adaptado de catálogos técnicos (2025).

2.3 Modelos de condicionadores de ar Split

Entre os principais tipos de sistemas de ar-condicionado, destacam-se os modelos Split, que apresentam diferentes configurações conforme a potência e o tipo de aplicação. A seguir, são descritos os principais tipos utilizados em ambientes residenciais e comerciais.

High-wall: O termo de nomenclatura High-Wall se refere a “parede alta”, assim, esse equipamento é descrito para ser instado na parte superior próximo ao teto do ambiente presente para não ocasionar falhas prematuras de funcionamento.

Sendo o mais comum utilizado nas residências, esse aparelho fornece a capacidade de refrigerar o ambiente sendo o mais barato financeiramente na aquisição de instalação e manutenção.

Figura 1 - Split High-Wall



Fonte: WebArCondicionado (2020).

Piso-Teto: Como o nome já o descreve, esse equipamento foi projetado para operar tanto no piso do ambiente quanto no teto, por ser maior ele atende salas maiores e possui um grau de instalação e manutenção mais complexo.

Figura 2 – Split Piso-teto



Fonte: WebArCondicionado (2020).

Cassete: Projetado para atender de forma eficiente às exigências de estética e de alta capacidade de climatização, esse equipamento se destaca por poder ser instalado embutido no teto ou no forro, proporcionando ao ambiente um aspecto mais sofisticado. Normalmente, é utilizado em escolas, salas comerciais, bancos e em residências.

Possui 4 vias de corrente de ar na qual pode-se controlar cada uma delas variando de acordo com a fabricante.

Figura 3 - Split Cassete



Fonte: WebArCondicionado (2020).

Multi Split: Sendo composto por 1 condensadora (unidade externa) e múltiplas evaporadoras (unidade interna), o multi split se destaca em locais onde a instalação de mais partes externas se torna inviável, são recomendados em residências escritórios ou em locais de médio porte.

Sua composição pode variar de 2 até 5 unidades internas e apenas 1 compressor na unidade externa.

Figura 4 - Multi Split



Fonte: WebArCondicionado (2020).

2.4 Termodinâmica de um condicionador de ar

Para compreendermos o funcionamento de um condicionador de ar, primeiro precisamos relembrar sobre as Leis da Termodinâmica na qual se aplicam o nosso caso.

Lei Zero da Termodinâmica: Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, eles estão em equilíbrio entre si. É representado no ciclo como a transferência de calor entre ambiente interno e fluido refrigerante. Quando o ar interno entra em contato com o evaporador, acontece a troca de calor até que se alcance o equilíbrio térmico.

Primeira Lei da Termodinâmica: A energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada. No ciclo de refrigeração o trabalho mecânico do compressor é convertido em energia térmica. O fluido refrigerante absorve calor do ambiente interno e o libera para o ambiente externo. A diferença de calor rejeitado e calor absorvido é o trabalho realizado pelo compressor. Em outras palavras o condicionador de ar remove calor do ambiente interno e o descarrega para o ambiente externo.

Segunda Lei da Termodinâmica: O calor flui naturalmente de uma região mais quente para outra mais fria, a menos que um trabalho externo seja realizado. Isso significa que para retirar o calor do interior e mover para o exterior, o sistema precisa realizar trabalho sendo isso a função do compressor. Sem o compressor, o calor não poderia subir espontaneamente essa diferença de temperatura.

2.5 Ciclo de Funcionamento

O ciclo começa pelo compressor, sendo considerado o coração do sistema. Ele recebe o gás refrigerante em baixa temperatura e pressão e o comprime aumentando. Logo após, segue para o condensador.

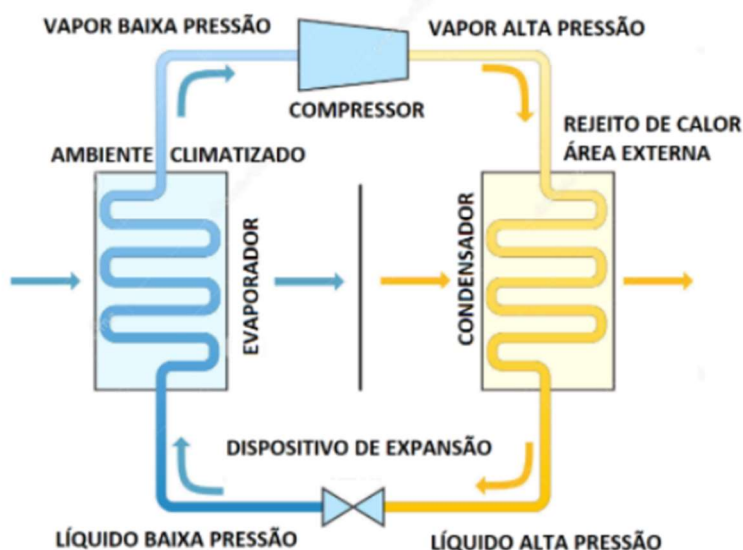
No condensador o fluido vaporizado perde calor para o ambiente externo até que se condense em líquido. Passando para o dispositivo de expansão como um líquido de alta pressão e baixa temperatura.

No dispositivo de expansão o líquido reduz pressão rapidamente e diminui sua temperatura seguindo assim para o evaporador.

No evaporador acontece o estágio final do ciclo, o fluido chega em baixa temperatura e pressão quando acontece a troca térmica, na qual o evaporador absorve calor do ambiente para o fluido, que então, dissipa ar frio para o ambiente.

Em seguida, o gás refrigerante retorna para o compressor para reiniciar o ciclo.

Figura 5 – Ciclo de funcionamento do condicionador de ar



Fonte: Smacna Brasil (2021).

2.6 Fluidos Refrigerantes

No funcionamento do condicionador de ar é necessário a utilização de algum fluido refrigerante que será responsável por transportar o calor de dentro do ambiente para fora, tendo isso em vista é importante saber qual tipo de fluido será utilizado em determinado equipamento.

A escolha é feita considerando o tipo de compressor que será utilizado na aplicação, buscando equilibrar eficiência, confiabilidade, tamanho, nível de ruído, vibrações entre outros.

Nos sistemas de ar-condicionado residencial e comercial de menor capacidade, como os modelos high-wall, muti split, piso teto e cassete, são comumente empregados compressores do tipo rotativo de palheta ou compressores scroll de pequeno porte, que operam com fluidos refrigerantes como o R22, o R410A ou o R32.

O fluido R22 pertence à classe dos HCFCs (hidroclorofluorcarbonos) e é um refrigerante puro. Apesar de apresentar boas propriedades termodinâmicas e ampla utilização no passado, contém cloro em sua composição, o que contribui para a destruição da camada de ozônio. Por essa razão, seu uso vem sendo gradualmente reduzido conforme as diretrizes do Protocolo de Montreal.

Já o R410A é um HFC (hidrofluorcarbono) composto por uma mistura de R32 e R125 em proporções iguais. Esse fluido não possui cloro, não sendo um causador de danos à camada de ozônio. Mas por apresentar um alto GWP (Global Warming Potential), tem motivado a busca por alternativas mais sustentáveis.

O R32 também é classificado como HFC, sua composição é pura, e não agride a camada de ozônio, ele apresenta um GWP significativamente menor em comparação ao R410A. Além disso, o R32 possui maior eficiência energética e

requer menor carga de fluido no sistema, sendo assim a opção mais ecológica e moderna para as aplicações.

2.7 Normas e Regulamentações na Refrigeração e Climatização

As atividades relacionadas à instalação, operação e manutenção de sistemas de climatização devem atender às normas técnicas e legislações vigentes, que visam garantir a segurança dos profissionais, a eficiência dos sistemas e a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Dentre as principais normas e dispositivos legais aplicáveis ao setor, destacam-se:

Lei nº 13.589/2018: Dispõe sobre a obrigatoriedade da manutenção de instalações e equipamentos dos sistemas de climatização de ambientes de uso coletivo.

Portaria nº 3.523/1998, do Ministério da Saúde: Estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) para ambientes climatizados artificialmente.

ABNT NBR 14679: Estabelece os procedimentos para a execução de serviços de higienização em sistemas de climatização.

NR 15, Anexo 7: Classifica como atividade insalubre, em grau médio, o trabalho com radiações não ionizantes, incluindo aquelas provenientes de soldas oxiacetilênicas, aplicando-se aos técnicos e mecânicos de refrigeração.

Decisão Normativa nº 42/1992, do CONFEA: Determina a obrigatoriedade de registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) da pessoa jurídica que execute serviços de instalação e manutenção de sistemas de ar-condicionado.

Resolução nº 9/2003, da ANVISA: Define os padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente.

ABNT NBR 7256: Estabelece os requisitos para projeto e execução de sistemas de tratamento de ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS).

ABNT NBR 16401: Define os parâmetros básicos de projeto para instalações centrais de ar-condicionado destinadas ao conforto térmico.

ABNT NBR 16655: Estabelece diretrizes técnicas para a instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado do tipo split e compacto, contemplando aspectos de projeto, procedimentos de ensaio de estanqueidade, desidratação, carga de fluido refrigerante e dimensionamento da carga térmica residencial.

ABNT NBR 5858: Define os critérios para o cálculo da carga térmica, visando à correta seleção de equipamentos de ar-condicionado para ambientes residenciais.

Instrução Normativa nº 37/2004, do IBAMA: Determina o registro de pessoas físicas e jurídicas que lidam com substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal no Cadastro Técnico Federal.

Decreto nº 99.280/1990: Promulga a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal, que tratam do controle de substâncias que destroem a camada de ozônio.

Resolução CONAMA nº 3/1990: Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar.

Resolução CONAMA nº 267/2000: Proíbe a utilização e a comercialização de determinadas substâncias empregadas em sistemas de refrigeração.

Lei nº 2.457/1995: Dispõe sobre a proibição da liberação de gases de refrigeração à base de clorofluorcarbonos (CFCs) na atmosfera.

Resolução CONAMA nº 340/2003: Proíbe o uso de determinados tipos de cilindros e estabelece diretrizes para a recuperação, reciclagem e destinação adequada de gases refrigerantes.

Lei nº 9.605/1998: Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente, aplicando-se nos casos de descumprimento das legislações ambientais vigentes.

3. METODOLOGIA

Para este estudo, foram realizados testes em dois equipamentos de ar-condicionado localizados em uma empresa do setor de refrigeração situada no município de Uberaba (MG). O primeiro equipamento possuía capacidade de 12.000 BTU/h e não apresentava rendimento de resfriamento na unidade interna (evaporadora). O segundo equipamento, com capacidade de 30.000 BTU/h, apresentava falha no acionamento da unidade externa (condensadora).

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso técnico de aplicação prática, desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica, artigos e manuais técnicos sobre condicionadores de ar split para instruir os procedimentos de manutenção adequados para realização de testes e verificações nos equipamentos e componentes. Assim como todo equipamento mecânico, o condicionador de ar precisa de manutenção constante para garantir seu desempenho adequado. Neste estudo foi empregado as manutenções preventiva e corretiva, enquanto a manutenção preditiva, por demandar coleta e análise detalhada de dados, é menos comum na prática. A manutenção preventiva tem o fundamento de diminuir ou evitar falhas através de verificações e manutenções periódicas em um determinado intervalo de tempo, como limpeza e higienização, verificação da pressão do gás refrigerante, inspeção dos contatos elétricos e medições de tensão e corrente elétrica. Já a manutenção corretiva consiste na execução da atividade após a falha de algum componente ou perda repentina de desempenho do equipamento, sendo um procedimento de custo mais elevado, pois implica na parada do sistema, substituição de peças danificadas e possível comprometimento da eficiência.

Para a realização dos procedimentos de manutenção adotados nesse estudo, foi necessário o uso de ferramentas e EPIs adequados, visando garantir a integridade física do profissional envolvido, conforme previsto nas NR 6 e NR 12. Entre os equipamentos utilizados, encontra-se a bomba de vácuo, que é

Além desses, são utilizados diversos equipamentos de medição, como amperímetro, responsável por medir a corrente consumida pelos componentes elétricos, multímetro, indispensável para medições de tensão, continuidade e resistência, voltímetro, voltado à verificação da tensão de alimentação, e capacitímetro, utilizado para avaliar a capacitância dos capacitores. O manômetro ou manifold permite a leitura das pressões de alta e baixa, sendo essencial para diagnósticos de carga de refrigerante. O termômetro digital auxilia na medição de temperaturas de linha e ambiente, contribuindo para análises de eficiência, enquanto o vacuômetro mede com precisão o nível de vácuo alcançado durante o processo utilizando a bomba de vácuo. Também são utilizadas chaves de diversos tipos (fenda, Philips, boca ou combinada, inglesa e Allen), alicates (universal, bico e corte), além de fita isolante, escada e estilete. Para garantir a segurança do trabalhador, utilizam-se EPIs como capacete, luvas, óculos, cinto de segurança quando necessário e calçados de segurança.

[illegible]

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através de consultas a manuais técnicos e artigos sobre manutenção aos equipamentos de ar-condicionado. Também são descritos os procedimentos de verificação e medição das variáveis de operação e dos principais componentes.

4.1 Medição da Pressão do Fluido

A medição do fluido refrigerante foi realizada utilizando o manifold acoplado a válvula de serviço do condicionador de ar de 12000 BTU/h com fluido R410A.

O PSI (pounds per square inch) é a unidade utilizada para medir sua pressão. Foi avaliada a pressão de 10 PSI, na qual deveria estar entre 110 a 130, permitindo a verificação do estado de carga, da eficiência do ciclo de refrigeração e da presença de possíveis restrições ou vazamentos na tubulação.

Figura 7 - Medição da pressão do fluido



Fonte: Autor (2025).

Com esse resultado de medição, foi constatado que apresentava algum vazamento de fluido no equipamento. Sendo necessário localizar o vazamento e realizar a manutenção devida para solucionar esse caso.

Os procedimentos para localização e reparo do problema será descrito abaixo nas próximas seções do artigo.

4.2 Medição da Tensão e Corrente Elétrica

Ao analisar a corrente elétrica de refrigeração de 6,4 A e a tensão de alimentação de 220 V consumida pelo compressor, os valores foram comparados com as especificações do fabricante, a fim de verificar se estão dentro dos parâmetros esperados, utilizando-se alicates amperímetros. Essa

medição permite identificar possíveis sobrecargas, falhas elétricas ou desgaste nos motores, garantindo uma operação segura e confiável do equipamento.

Figura 8 - Verificação da tensão e corrente elétrica



Fonte: Autor (2025).

4.3 Verificação da Temperatura após a Manutenção

As temperaturas do ar (entrada e saída do evaporador e condensador) e do refrigerante foram monitoradas após o reparo do vazamento com termômetros digitais. Esses dados são fundamentais para avaliar a eficiência do ciclo de refrigeração e verificar o conforto térmico do ambiente.

Figura 9 - Monitoramento das temperaturas de operação



Fonte: Autor (2025).

As temperaturas obtidas foram comparadas ao catálogo técnico do fabricante estando dentro da margem esperada.

4.4 Verificação do Capacitor

Armazena e libera energia elétrica temporariamente, auxiliando na partida e no funcionamento contínuo do compressor e do motor ventilador. Se o compressor não iniciar o funcionamento ou apresentar ciclos anormais de liga e desliga, o problema pode estar no capacitor. Com o equipamento desenergizado e o capacitor descarregado, utilize um capacímetro para medir a capacitância. Para o capacitor do compressor, meça entre os terminais C (comum) e H (hermético); para o do ventilador, entre C (comum) e F (Fan), verificando se os valores estão dentro das tolerâncias especificadas pelo fabricante.

Foi realizada a medição do capacitor de 25 μF do compressor e de 2 μF do ventilador do aparelho de ar-condicionado 12.000 BTU/h. Os valores obtidos foram de 24,8 μF e 1,95 μF , respectivamente. Considerando a tolerância de $\pm 5\%$ em relação ao valor nominal, ambos os capacitores se encontram dentro dos parâmetros exigidos pelo fabricante.

Figura 10 - Verificação do capacitor



Fonte: Autor (2025).

4.5 Protetor Térmico

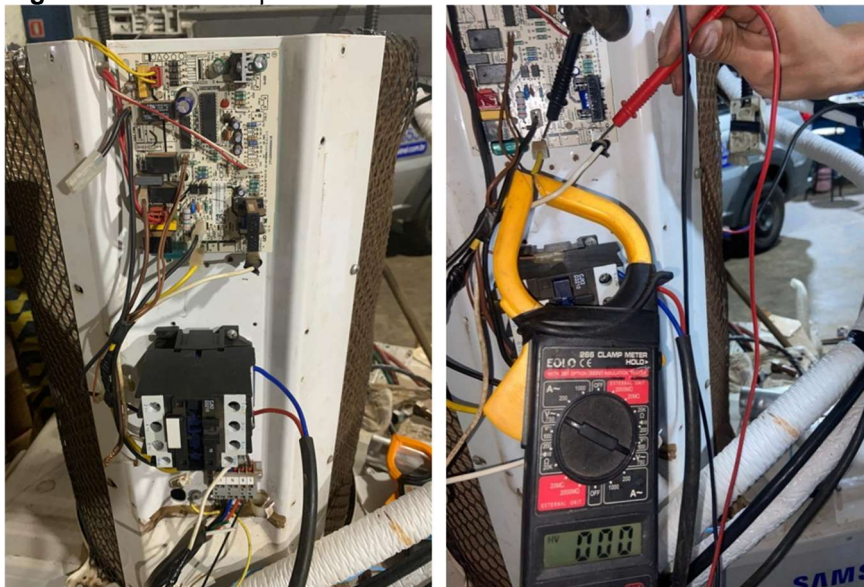
Protege o compressor contra sobreaquecimento. Com o equipamento desligado, verifique continuidade do protetor térmico; se estiver aberto, deve ser substituído.

4.6 Verificação da Placa de Controle

Responsável por gerenciar e coordenar todas as operações do condicionador de ar, atuando como o “cérebro” do equipamento. Caso o sistema não ligue ou não envie sinal elétrico à unidade externa, é provável que o defeito esteja na placa principal. Nessa situação, recomenda-se encaminhar o componente a um técnico especializado em eletrônica para reparo ou substituição. A verificação do envio de tensão nos bornes de ligação elétrica deve ser realizada com o auxílio de um voltímetro.

Durante o teste de funcionamento do equipamento de 30.000 BTU/h, constatou-se que o compressor não estava acionando. Após a realização das medições elétricas, foi diagnosticado que o problema se encontrava na placa de controle, a qual não enviava o sinal elétrico necessário para o acionamento do compressor.

Figura 11 - Teste na placa de controle



Fonte: Autor (2025).

4.7 Termostato

Regula a temperatura ambiente no evaporador e envia sinal ao sistema. Ajuste o setpoint para temperatura abaixo do ambiente e verifique a tensão entre os terminais R e C (geralmente 24 V). Caso não haja sinal, o termostato ou a fiação podem estar defeituosos.

4.8 Motor da Turbina Interna e Motor do Ventilador Externo

Promovem a circulação de ar pelos trocadores de calor. Com o equipamento desligado, gire manualmente a turbina ou a hélice; devem girar

livremente, sem ruídos ou folgas. Com o multímetro, verifique a resistência entre os terminais do motor e compare com os valores nominais. Leituras fora da faixa indicada pelo fabricante ou circuito aberto indicam falha. Religue o equipamento e meça a tensão nos terminais para confirmar se a alimentação está correta.

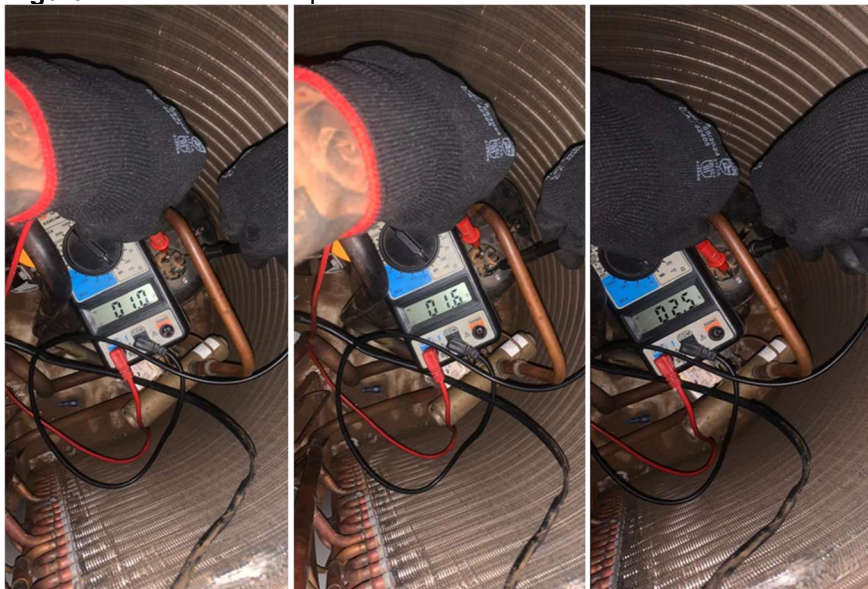
4.9 Verificação do Compressor

Comprime o gás refrigerante e o faz circular pelo sistema. Desenergize a unidade e meça a resistência entre os terminais C-R, C-S e R-S. O valor mais baixo deve estar entre C e R, o intermediário entre C e S e o mais alto entre R e S. Se algum circuito estiver aberto, a bobina está rompida; se a resistência for zero, a bobina está em curto.

Verifique também a continuidade entre os terminais e a carcaça: não deve haver passagem elétrica, caso contrário o compressor está em curto para a carcaça.

Para a realização deste teste, foi utilizado o compressor do aparelho de ar-condicionado de 30.000 BTU/h, que apresentava falha no acionamento da unidade externa. Durante a verificação, constatou-se que os valores de resistência estavam dentro dos parâmetros especificados pelo manual do fabricante, eliminando assim a hipótese de defeito no próprio compressor.

Figura 12 - Teste no compressor



Fonte: Autor (2025).

4.10 Sensores de Temperatura

Monitoram as temperaturas do evaporador, do condensador e do ambiente interno. Desenergize o equipamento e desconecte o sensor da placa de controle. Meça a resistência entre seus terminais com um multímetro na escala ôhmica, verificando se o valor corresponde à tabela do fabricante.

Utilizaremos o sensor de temperatura do condicionador de ar de 12.000 BTU/h de 10 k Ω a 25 °C, ao colocá-lo em água gelada, a resistência deve aumentar; caso contrário, o sensor está danificado.

Figura 13 - Verificação do sensor



Fonte: Autor (2025).

4.11 Correção de Vazamento nas Tubulações de Interligação

Transportam o fluido refrigerante entre as unidades. Verifique se o isolamento térmico está íntegro e se não há estrangulamentos na tubulação. Realize o teste de estanqueidade pressurizando as linhas de líquido e sucção com nitrogênio seco de 200 a 250 PSI (1,38 a 1,72MPa). A pressão deve permanecer constante por, no mínimo, 15 minutos. Havendo perda de pressão, localize o vazamento com detector eletrônico ou espuma e efetue o conserto por brasagem.

Durante a verificação com o detector eletrônico de vazamentos no equipamento de 12.000 BTU/h, foi constatado vazamento nas conexões por flange. Após a correção das conexões, o equipamento foi pressurizado com nitrogênio a 230 PSI ($\approx$ 1,58 MPa) para confirmar a solução do problema. Em seguida, realizou-se o processo de vácuo do sistema para remover toda a umidade e o ar não condensável, depois, foi realizada a carga de gás R410A.

Figura 14 - Correção de vazamento na tubulação de interligação



Fonte: Autor (2025).

4.12 Válvulas de Serviço

Permitem acesso para evacuação, medição de pressão e carga de fluido. Verifique periodicamente as portas de conexão e o aperto da válvula. Utilize detector eletrônico de vazamento com o sistema em operação para confirmar a vedação.

4.13 Contator

Controla o acionamento de componentes de alta corrente, como o compressor e o ventilador externo. Com o sistema desenergizado, meça a resistência da bobina e compare com o valor nominal. Energize o contator: deve haver um clique audível e fechamento do circuito. Queda de tensão ou aquecimento excessivo indica desgaste.

O teste do contator foi realizado inicialmente com sua energização para verificar o acionamento. Observou-se que o contator foi acionado normalmente, indicando funcionamento adequado do sistema de comando. Em seguida, efetuou-se a medição da resistência das bobinas, com o objetivo de verificar a continuidade elétrica entre a entrada e a saída durante o acionamento. Constatou-se que a passagem de sinal ocorreu normalmente, confirmando o bom estado de funcionamento da contator.

Figura 15 - Verificação de contator do condicionador de ar de 30.000 BTU/h



Fonte: Autor (2025).

4.14 Pressostato

Monitora as pressões de alta e baixa atuando como dispositivo de proteção. Durante o funcionamento, observe as pressões com manômetro e verifique se o pressostato comuta corretamente ao atingir os pontos de desarme especificados. Caso não faça, o componente apresenta falha.

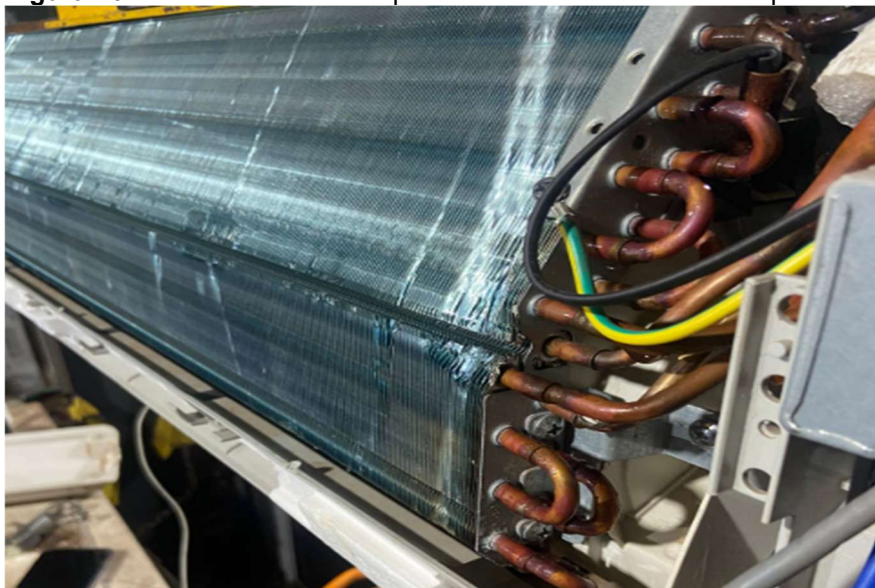
4.15 Filtro Secador

Retém partículas sólidas e umidade do sistema. Diferenças de temperatura entre a entrada e a saída do filtro seja acima de 0,28 °C podem indicar obstrução. Corrente do compressor abaixo do normal também pode sugerir restrição.

4.16 Serpentinhas do Evaporador e Condensador

São os trocadores de calor do sistema. Certifique-se de que estejam limpas e sem obstruções, pois a sujeira reduz a eficiência térmica. Para verificar vazamentos, realize o teste de estanqueidade com nitrogênio a 200 PSI ($\approx 1,38$ MPa) e monitore a pressão. Se houver perda, identifique o ponto e realize a brasagem.

Figura 16 - Análise visual da serpentina sobre seu estado de limpeza



Fonte: Autor (2025).

4.17 Bornes de Ligação Elétrica

Interligam eletricamente as unidades interna e externa. Recomenda-se inspeção preventiva para evitar oxidação e superaquecimento. Com o equipamento desligado, utilize o multímetro na escala de continuidade e confirme que apenas o contato de entrada-saída apresenta passagem.

4.18 Mecanismo de Oscilação (Motor de Passo)

Move automaticamente as aletas direcionais do ar. Meça a tensão no conector do motor com a unidade ligada; ausência de sinal indica falha na placa de controle. Com o sistema desligado, meça a resistência das bobinas e compare com os valores de referência.

4.19 Fusíveis

Protege o circuito elétrico contra sobrecorrentes e curtos. Meça continuidade com o multímetro: se não houver passagem, substitua por um fusível de mesma amperagem especificada pelo fabricante.

4.20 Filtros de ar

Retêm partículas suspensas do ambiente interno. Recomenda-se limpeza periódica com água (até 45 °C) e sem o uso de detergentes agressivos que cause desgaste do material, evitando gotejamento e contaminação.

Figura 17 - Análise visual dos filtros

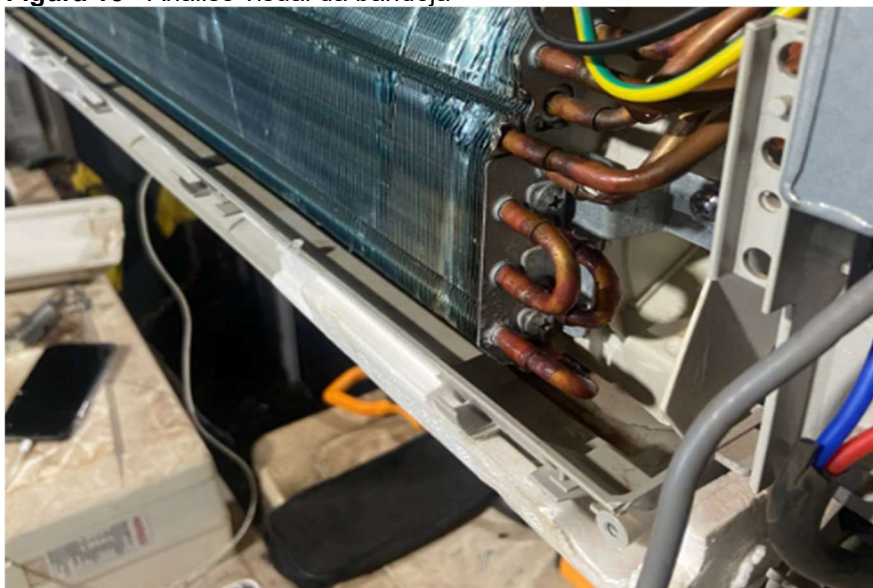


Fonte: Autor (2025).

4.21 Bandeja de Condensado

Coleta a água formada durante o resfriamento. Verifique a inclinação para o escoamento e mantenha a limpeza regular. Caso apresente trincas ou danos, substitua o componente.

Figura 18 - Análise visual da bandeja



Fonte: Autor (2025).

5. CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido possibilitou uma compreensão detalhada do funcionamento dos sistemas de ar-condicionado do tipo split, relacionando os conceitos teóricos da Engenharia Mecânica com a prática de manutenção. A análise dos diferentes modelos, o dimensionamento da carga térmica e a demonstração do ciclo termodinâmico forneceram uma base sólida para a interpretação do comportamento do equipamento em operação, reforçando a importância de um conhecimento técnico integrado para a atuação profissional no setor de climatização.

Além disso, as medições das variáveis de operação como pressão, temperatura e corrente elétrica e a verificação dos componentes mostraram a necessidade de adotar a manutenção preventiva para avaliar constantemente se os parâmetros estão dentro das especificações do fabricante, garantindo a eficiência do equipamento. A consulta a manuais técnicos e o cumprimento das normas e regulamentações vigentes mostraram-se essenciais para a execução segura e eficiente dos procedimentos de manutenção, garantindo a proteção do profissional e a confiabilidade do equipamento.

Apesar da execução adequada, a análise revelou oportunidades de aprimoramento, como a implementação de protocolos de manutenção preventiva mais detalhados e a utilização constante de manuais técnicos atualizados. O desenvolvimento de procedimentos padronizados e o treinamento contínuo dos profissionais poderiam aumentar a eficiência, reduzir falhas operacionais e prolongar a vida útil dos sistemas de climatização.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se a realização de estudos voltados à monitoramento remoto e análise preditiva de falhas, que poderiam complementar as práticas de manutenção tradicionais. Além disso, é importante estabelecer procedimentos claros e detalhados que garantam que todas as atividades de manutenção estejam de acordo com as normas e regulamentações aplicáveis e boas práticas de segurança, reforçando a qualidade dos serviços no setor de climatização.

REFERÊNCIAS

ABRAVA. ABRAVA abriu as portas em evento pautado em Perspectivas e Oportunidades para o Setor AVACR em 2025. **ABRAVA**, (2025). disponível em: <https://abrava.com.br/abrava-abriu-as-portas-em-evento-pautado-em-perspectivas-e-oportunidades-para-o-setor-avacr-em-2025/>. Acesso em 12 de Outubro de 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **ANVISA Resolução nº 9**, de 16 de janeiro de 2003. Estabelece padrões de qualidade do ar para ambientes interiores climatizados artificialmente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jan. 2003. (s.d.).



AGRATTO. MANUAL DE SERVIÇO. **Leveros Integra**, (2022). disponível em: https://www.leverosintegra.com.br/download/manuais/Agratto/manual-de-servico-ics-hw-inverter-neo-18k-agratto.pdf?utm_source=.com. Acesso em 29 de Setembro de 2025.

ASHRAE. ASHRAE Position Document on INDOOR AIR QUALITY. **ASHRAE**, (2023). disponível em: https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd-on-indoor-air-quality-english.pdf?utm_source=.com. Acesso em 20 de novembro de 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14679**: Execução de serviços de higienização. Rio de Janeiro. (2001).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401**: Instalações Centrais de ar-condicionado para Conforto – Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro. (2008).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16655**: Diretrizes técnicas para a instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado do tipo split e compacto. Rio de Janeiro. (2018).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5858**: Determinação da carga térmica para escolha de aparelhos de ar-condicionado adequados a ambientes domésticos. Rio de Janeiro. (1983).

BRASIL. (s.d.). **Instrução Normativa nº 37**, de 21 de dez de 2010. Determina o registro no IBAMA de pessoas físicas e jurídicas que lidem com substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal – Cadastro Técnico Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 dez, 2010.

BRASIL. (s.d.). **Lei nº 2.457**, de 1995. Dispõe sobre a proibição da liberação de gases de refrigeração à base de clorofluorcarbono. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1995.

BRASIL. (s.d.). **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Lei dos crimes ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 fev. 1998.

BRASIL. (s.d.). Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15, Anexo 7**. Determina a insalubridade grau médio para as pessoas que trabalham com radiações não ionizantes, devido a soldas oxi-acetilênicas. Brasília, DF, 1978.

Brasil, S. Sistemas de ar condicionado: princípio básico de refrigeração. **smacna.org.br**, (2021). disponível em: <https://smacna.org.br/artigos->



tecnicos/sistemas-de-ar-condicionado-principio-basico-de-refrigeracao/. Acesso em 20 de Outubro de 2025.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 99.280**, de 06 de maio de 1990. Promulga a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 mai. 1990. (s.d.).

BRASIL. **Lei nº 13.589**, de 04 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 04 jan. 2018. (s.d.).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 3.523**, de 28 de agosto de 1998. Determina a criação de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) para ambientes com sistemas de ar-condicionado. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 ago. 1998. (s.d.).

Carabajal, M. **ASHRAE-Fundamentos-Termodinamica-Fluidos-Refrigerantes**, (19 de Novembro de 2021). disponível em Scribd: <https://pt.scribd.com/document/540940207/ASHRAE-Fundamentos-Termodinamica-Fluidos-Refrigerantes>. Acesso em 15 de Outubro de 2025.

Carrier. Manual de Instalação, Operação e Manutenção. **Carrier do Brasil**, (2018). disponível em: https://img.carrierdobrasil.com.br/downloads_docs/e4a94-2.pdf?utm_source=.com. Acesso em 27 de Setembro de 2025.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. **CONFEA. Decisão Normativa nº 42**, de 15 de outubro de 2013. Determina o registro no CREA local de toda pessoa jurídica que execute instalação e manutenção de sistemas condicionadores de ar. Brasília, DF, 2013. (s.d.).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA. Resolução nº 03**, de 28 de junho de 1990. Define os padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 1990. (s.d.).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA. Resolução nº 267**, de 30 de setembro de 2000. Proíbe o uso e comercialização de várias substâncias utilizadas na refrigeração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2000. (s.d.).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA. Resolução nº 340**, de 16 de dezembro de 2004. Proíbe o uso de alguns cilindros e dá instruções sobre reciclagem de gases. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 dez. 2004. (s.d.).



Daikin. Eficiência energética e ar-condicionado: o que esperar em 2024. **Daikin Brasil**, (2024). disponível em: https://www.daikin.com.br/blog/2024/08/23/eficiencia-energetica-e-ar-condicionado-o-que-esperar-em-2024/?utm_source=.com. Acesso em 29 de Setembro de 2025.

DANFOSS. Ficha técnica Pressostato KP. **Danfoss**, (2016). disponível em: https://assets.danfoss.com/documents/latest/86321/AI213186439478pt-000801.pdf?utm_source=.com. Acesso em 30 de Setembro de 2025.

ELGIN. Manual de Instalação - Condicionadores de Ar Split High Wall Eco Power. **CloudFront**, (2021). disponível em: https://d2u2qhufg0q9tn.cloudfront.net/assets/arquivos/manual_5a27b364-9083-47b8-89f9-3734fb98caf9_Eco%20Power%20-%20Manual%20de%20Instala%C3%A7%C3%A3o%20-%20Rev.05.pdf?utm_source=.com. Acesso em 24 de Outubro de 2025.

Frio, C. d. Refrigerando o Brasil: A história do ar-condicionado e da refrigeração. **Revista do Frio**, (2024). disponível em: <https://revistadofrio.com.br/refrigerando-o-brasil-a-historia-do-ar-condicionado-e-da-refrigeracao/>. Acesso em 2 de Outubro de 2025.

Gomes, A. F. A Física do Ar-Condicionado. **GPET Física Unicentro**, (2024). disponível em: https://www3.unicentro.br/petfisica/2024/02/08/a-fisica-do-ar-condicionado/?utm_source=.com. Acesso em 18 de Outubro de 2025.

Oliveira, A. d. Instrução para Análise de Compressor e Protetor Térmico. (**LG scribd**, (1 de Novembro de 2017). disponível em: https://pt.scribd.com/document/363205351/BT2013-092-Instrucao-Para-Analise-de-Compressor-e-Protetor-Termico?utm_source=.com. Acesso em 26 de Setembro de 2025.

TRANE. Manual de Instalação, Operação e Manutenção. **Trane**, (2017). disponível em: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Minisplits/Unidade_Evaporadora/MiniSplitGood/MS-SVX054A-PB.pdf?utm_source=.com. Acesso em 30 de Setembro de 2025.

WebArCondicionado. História do Ar-Condicionado: Linha do Tempo Completa. **WebArCondicionado**, (2021). disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em 12 de Outubro de 2025.



WebArCondicionado. O que é Ar-Condicionado Split? **WebArCondicionado**, (2021). disponível em: https://www.webarcondicionado.com.br/o-que-e-um-ar-condicionado-split?utm_source=.com. Acesso em 14 de Outubro de 2025.