

ANÁLISE E PROPOSTA DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA PEQUENA EMPRESA: UM ESTUDO DE CASO

Régis Mateus Welter, Jefferson William Zanotti

Instituto Federal de Santa Catarina

Câmpus Jaraguá do Sul – Rau – Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica

e-mail: regismateuswelter@gmail.com, jefferson.zanotti@ifsc.edu.br

Trabalho de Conclusão de Curso

Resumo – Este trabalho apresenta um diagnóstico energético realizado em uma pequena empresa do setor têxtil, com o objetivo de identificar o perfil de demanda elétrica e propor ações de eficiência energética. A metodologia adotada consistiu no levantamento em campo da carga instalada, que totaliza 32,707 kW, seguido da estimativa do consumo de energia com base no regime de operação dos setores produtivo, loja e depósito. Os resultados obtidos indicam que os sistemas de climatização, iluminação e motores de máquina de costura são os principais responsáveis pelo consumo elétrico da instalação. A partir da análise de viabilidade econômica das medidas propostas, verificou-se que a substituição de equipamentos por tecnologias LED e sistemas de climatização com tecnologia Inverter pode proporcionar uma economia anual estimada de 17,090 MWh. Conclui-se que as ações recomendadas são tecnicamente e economicamente viáveis, apresentando tempos de retorno reduzidos e contribuindo para a diminuição dos custos operacionais da empresa.

Palavras-Chave – Ar-condicionado, Diagnóstico energético, Eficiência energética, LED, Máquinas de costura.

ANALYSIS AND PROPOSAL OF ENERGY EFFICIENCY MEASURES IN A SMALL COMPANY: A CASE STUDY

Abstract – This work presents an energy diagnosis carried out in a small company in the textile sector, with the objective of identifying the electrical demand profile and proposing energy efficiency actions. The adopted methodology consisted of an on-site survey of the installed load, which totals 32.707 kW, followed by the estimation of energy consumption based on the operating regime of the production, retail, and warehouse sectors. The results indicate that the air-conditioning systems, lighting, and sewing machine motors are the main contributors to the facility's electrical consumption. Based on the economic feasibility analysis of the proposed measures, it was verified that the replacement of equipment with LED technologies and air-conditioning systems using Inverter technology can provide an estimated annual savings of 17.090 MWh. It is concluded that the recommended actions are technically and economically feasible, presenting reduced payback periods and contributing to the reduction of the company's operational costs.

I. INTRODUÇÃO

A eficiência energética tem se consolidado como um dos principais instrumentos para a racionalização do uso da energia elétrica, especialmente em ambientes construídos e no setor empresarial. De acordo com [1], o manejo e o controle do consumo energético em edificações têm como finalidade alcançar o conforto de seus usuários por meio da adoção de estratégias que minimizem desperdícios e maximizem o desempenho dos sistemas instalados. Nesse contexto, a eficiência energética não se limita apenas à redução do consumo, mas envolve também a melhoria contínua da gestão e da utilização dos recursos energéticos disponíveis.

Em termos conceituais, a eficiência energética pode ser entendida como uma filosofia de trabalho voltada à otimização do uso da energia elétrica por meio de orientações, ações e controle dos recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia necessária para a obtenção de um mesmo produto ou resultado [2]. Essa abordagem torna-se especialmente relevante em um cenário em que o crescimento da demanda elétrica impõe desafios técnicos, econômicos e ambientais ao sistema energético.

Apesar dos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, o Brasil ainda apresenta níveis significativos de desperdício de energia elétrica. Dados indicam que, em 2015, aproximadamente 10% da energia gerada no país era desperdiçada, o que exigia a expansão da capacidade instalada apenas para suprir esse consumo ineficiente [3]. Esse quadro manteve-se nos anos seguintes, sendo que, em 2020, o desperdício de energia elétrica no Brasil atingiu cerca de 43 TWh, correspondendo a aproximadamente 9% do consumo nacional naquele ano [4]. Estimativas mais recentes apontam que, em 2023, as perdas totais no sistema elétrico brasileiro alcançaram 14,1% da energia injetada na rede [5].

Nesse cenário, a adoção de ações de eficiência energética torna-se estratégica não apenas em grandes consumidores, mas também em pequenas empresas, que frequentemente operam com equipamentos obsoletos, ausência de manutenção preventiva e práticas operacionais inadequadas. Embora esse segmento represente parcela relevante da economia, muitas pequenas empresas ainda percebem iniciativas de eficiência energética como investimentos de retorno incerto ou pouco significativo.

Diante disso, estudos baseados em diagnósticos energéticos assumem papel fundamental ao fornecer uma visão detalhada do perfil de consumo de uma instalação, permitindo a identificação de desperdícios e oportunidades de melhoria com viabilidade técnica e econômica. O diagnóstico

energético consiste em uma etapa inicial essencial para a compreensão da forma como a energia elétrica é utilizada, possibilitando a proposição de medidas corretivas e preventivas voltadas à redução do consumo e dos custos associados.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico energético em uma pequena empresa do setor têxtil, por meio do levantamento da carga instalada, da estimativa do consumo de energia elétrica com base no regime de operação dos diferentes setores e da identificação dos principais equipamentos responsáveis pela demanda. A partir dos resultados obtidos, são propostas medidas de eficiência energética aplicáveis à realidade da empresa, avaliando-se sua viabilidade econômica e seu impacto na redução do consumo e dos custos operacionais.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os conceitos, princípios e definições que embasam a análise desenvolvida neste trabalho, reunindo informações essenciais sobre eficiência energética, diagnóstico energético e o funcionamento dos principais sistemas avaliados. São discutidos, de forma independente do estudo de caso, os fundamentos relacionados aos sistemas de climatização, iluminação, acionamento de máquinas de costura e ar comprimido, além de aspectos associados ao consumo de energia e às formas de desperdício. Esses elementos fornecem a base necessária para compreender os critérios técnicos utilizados na metodologia e para sustentar a interpretação dos resultados obtidos na empresa analisada.

Para organizar a apresentação dos conceitos, esta seção é estruturada em quatro partes principais. Inicialmente, são abordados os fundamentos do diagnóstico energético, destacando seu papel na identificação de desperdícios e na avaliação do desempenho de instalações. Em seguida, são apresentados os princípios de funcionamento dos sistemas de climatização, incluindo o ciclo de refrigeração, as diferenças entre tecnologias convencionais e Inverter e os critérios de eficiência adotados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Na sequência, discutem-se os conceitos luminotécnicos essenciais, bem como as características das tecnologias de iluminação incandescente, fluorescente e LED. Por fim, são descritas as tecnologias de acionamento de máquinas de costura e os fundamentos relacionados aos sistemas de ar comprimido.

A. Diagnóstico energético

De acordo com [6], o diagnóstico energético é uma ferramenta essencial para a compreensão do consumo de energia em uma edificação, sendo geralmente a primeira etapa de um programa de gestão energética. Este deve proporcionar uma visão global do consumo de energia na edificação, permitindo assim, a otimização contínua de seu desempenho com base em sistemas e processos.

O diagnóstico energético consiste na análise sistemática do uso de energia de uma instalação, com o objetivo de identificar os principais consumidores, avaliar o desempenho dos sistemas e detectar oportunidades de redução de desperdícios. Essa etapa envolve a coleta estruturada de informações, a organização dos dados e a interpretação dos resultados à luz de critérios técnicos e normativos, servindo como base para a proposição de medidas de eficiência energética.

B. Sistema de Climatização

Os sistemas de climatização utilizados em edificações comerciais e industriais têm como finalidade controlar a temperatura, umidade e circulação do ar, garantindo conforto térmico aos ocupantes e adequação das condições ambientais aos processos produtivos. Entre as tecnologias disponíveis, os condicionadores de ar do tipo split são amplamente empregados devido à sua facilidade de instalação, eficiência e baixo nível de ruído.

O princípio de funcionamento de um condicionador de ar baseia-se na troca térmica entre o ambiente interno e externo, promovida pela circulação de um fluido refrigerante por meio de quatro componentes principais: compressor, condensador, evaporador e motor ventilador. Durante a operação de refrigeração, o fluido refrigerante é comprimido e enviado ao condensador, onde cede calor ao meio externo. Em seguida, passa pelo elemento de expansão (como tubo capilar ou válvula) e entra no evaporador em baixa pressão e temperatura, absorvendo o calor do ar do ambiente interno. Um sensor de temperatura monitora o ambiente e, ao atingir a temperatura desejada, o compressor é desligado temporariamente, promovendo o controle térmico com menor consumo energético. Adaptado de [7].

A figura 1 ilustra de forma simplificada o ciclo de refrigeração mencionado:

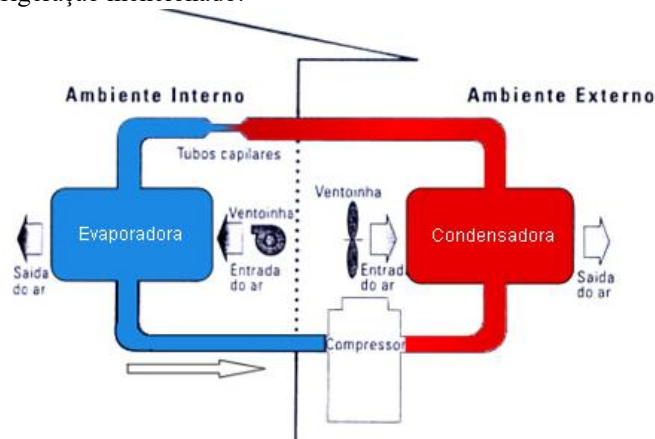


Fig. 1. Funcionamento do ar-condicionado. Retirado de [7].

Nos modelos convencionais, o controle térmico é realizado pelo ciclo de acionamento intermitente do compressor, conhecido como ciclo liga-desliga. Quando a temperatura definida é atingida, o compressor é desligado e volta a ser acionado quando o ambiente se aquece novamente. Esse

processo causa picos de corrente a cada religamento, gera oscilações de temperatura e resulta em maior consumo energético ao longo do tempo.

Além desses sistemas convencionais, têm sido incorporadas ao mercado tecnologias capazes de controlar o compressor de maneira mais eficiente. Entre elas, destaca-se a tecnologia Inverter, amplamente utilizada em condicionadores de ar modernos. Essa tecnologia permite a modulação contínua da rotação do compressor, evitando oscilações bruscas de temperatura e reduzindo picos de corrente. Assim, antes da apresentação das análises de consumo e dos potenciais de economia, é necessário explicar as diferenças entre os dois sistemas.

Diferentemente dos aparelhos convencionais, que desligam completamente o compressor ao atingir a temperatura desejada, os sistemas com tecnologia Inverter mantêm o compressor em operação contínua, porém com rotação reduzida. Essa modulação permite manter a temperatura do ambiente mais estável, evitando oscilações e reduzindo o consumo de energia. Por operarem de forma mais eficiente, os aparelhos Inverter apresentam maior economia de energia ao longo do tempo, embora tenham custo inicial mais elevado. Adaptado de [8].



Fig.2. Comparação entre sistema Inverter e convencional. Retirado de [8].

A eficiência desses equipamentos é avaliada por meio do Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS), que é a métrica atualmente adotada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) para classificar a eficiência energética de condicionadores de ar. Esse índice foi introduzido com o objetivo de tornar a avaliação mais representativa do uso real, incorporando medições em condições de carga parcial, e não apenas em carga total, como nos métodos anteriores. O cálculo do IDRS é realizado a partir dos resultados de consumo de energia obtidos em até três pontos de ensaio: a 35 °C em carga total, a 35 °C em carga parcial, e, opcionalmente, a 29 °C também em carga parcial. Essa abordagem valoriza modelos com tecnologia Inverter, capazes de operar com maior eficiência sob cargas parciais, comuns no uso cotidiano. Assim, o IDRS passou a refletir com maior precisão a eficiência energética dos aparelhos disponíveis no mercado nacional. Adaptado de [9].

Assim sendo, aparelhos com IDRS iguais ou superiores a 5,5 são atualmente enquadrados na faixa de classificação A do PBE. No entanto, conforme determina a Portaria Inmetro nº 234/2020, essa exigência será elevada a partir de 30 de dezembro de 2025, quando apenas equipamentos com IDRS igual ou superior a 7,0 poderão ser classificados como classe A. Essa atualização visa incentivar a comercialização de modelos mais eficientes, alinhando-se às práticas internacionais de eficiência energética e contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica no setor residencial e comercial.

C. ILUMINAÇÃO

A iluminação artificial é um elemento fundamental nos ambientes de trabalho, impactando diretamente o conforto visual, a produtividade e o consumo de energia elétrica. O projeto adequado deve considerar não apenas a escolha da tecnologia da lâmpada, mas também parâmetros luminotécnicos, requisitos normativos e o impacto ambiental associado ao ciclo de vida dos equipamentos.

A compreensão dos principais conceitos luminotécnicos é essencial para avaliar o desempenho das diferentes tecnologias de lâmpadas e entender seu impacto no consumo de energia. Termos como fluxo luminoso, iluminância e eficiência luminosa são amplamente utilizados na análise de projetos de iluminação e servem de base para a comparação entre tecnologias tradicionais, como as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED.

A seguir, apresentam-se alguns conceitos luminotécnicos essenciais, adaptados de [10], que servem de base para a análise do desempenho das diferentes tecnologias de lâmpadas.

Luz é uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos, sendo visíveis ao olho humano apenas aqueles que estão na faixa entre 380 nm e 780 nm.

Fluxo luminoso é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa, é expresso em lúmen e representa a capacidade de iluminação do equipamento.

Outro conceito importante é o da eficiência luminosa, definida como a razão entre o fluxo luminoso emitido e a potência consumida pelo equipamento (lm/W). Esse indicador permite comparar diferentes tecnologias de iluminação e avaliar seu desempenho energético. Tecnologias mais eficientes obtêm maior fluxo luminoso por watt, o que possibilita atender às exigências de iluminância com menor potência instalada.

As diferentes tecnologias de lâmpadas disponíveis no mercado incluem modelos incandescentes, fluorescentes e LED, cada uma com características distintas de funcionamento e eficiência energética. A diferença fundamental entre essas tecnologias está na forma como a luz é produzida e na eficiência luminosa resultante de cada processo.

As lâmpadas incandescentes de um filamento de tungstênio enrolado geralmente em forma espiralada que atinge a incandescência com a passagem de uma corrente elétrica e de um bulbo de vidro transparente, translúcido ou opaco, cheio

de gás quimicamente inerte, como o nitrogênio. Esse processo é altamente ineficiente, pois grande parte da energia elétrica é convertida em calor e não em luz. O rendimento luminoso típico é baixo, situando-se entre 10 e 15 lm/W, o que leva a um consumo elevado para níveis modestos de iluminância e sua vida útil é estimada entre 600 a 1000 horas.

As lâmpadas fluorescentes possuem o seu interior revestido por uma camada de fósforo, que possui características de emitir luz quando ativado por energia ultravioleta. Em cada extremidade da lâmpada há um eletrodo formado por um filamento de tungstênio revestido de óxidos. Quando a lâmpada é energizada, uma corrente inicial aquece esses filamentos, liberando elétrons. Em seguida, é aplicada uma tensão mais elevada entre os eletrodos, o que provoca a formação de um arco elétrico no interior do tubo.

Os elétrons liberados no arco colidem com os átomos do gás argônio e com o vapor de mercúrio presente no tubo. Essas colisões excitam os átomos de mercúrio, que ao retornarem ao estado normal emitem radiação ultravioleta. Essa radiação, por sua vez, incide sobre a camada de fósforo que reveste a parede interna do tubo, fazendo com que ela emita luz visível. Assim, diferentemente das lâmpadas incandescentes, a maior parte da energia elétrica é convertida em luz e não em calor, resultando em melhor eficiência luminosa. Em termos de desempenho, seu rendimento luminoso situa-se entre 55 e 75 lm/W.

Diferentemente das tecnologias anteriores, o LED é um dispositivo semicondutor que emite luz diretamente quando submetido a uma corrente elétrica, sem necessidade de filamento ou gases. Essa forma de geração luminosa reduz perdas internas e proporciona maior controle sobre a distribuição do fluxo luminoso, o que resulta em maior eficiência de aplicação no ambiente. Além disso, os LEDs modernos apresentam rendimentos luminosos que podem ultrapassar 100 lm/W, ao mesmo tempo em que possuem longa vida útil, estimado entre 25.000 a 50.000 horas.

As lâmpadas LED apresentam uma eficiência luminosa significativamente superior às tecnologias tradicionais, podendo ultrapassar 100 lm/W, enquanto lâmpadas incandescentes geram cerca de 10 a 15 lm/W e fluorescentes comuns variam entre 55 e 75 lm/W. Essa diferença significa que, para produzir a mesma quantidade de luz, os LEDs consomem muito menos energia elétrica. Além disso, sua vida útil é até 25 vezes maior que a das incandescentes, reduzindo custos de manutenção e descarte.

A superioridade dos LEDs também se explica pelo seu princípio de funcionamento: enquanto as incandescentes convertem a maior parte da energia em calor e as fluorescentes apresentam perdas no reator e na conversão de radiação ultravioleta em luz visível, os LEDs produzem luz diretamente por recombinação eletrônica no semicondutor, minimizando perdas internas. Essa tecnologia permite ainda uma distribuição mais direcionada do fluxo luminoso, alcançando a iluminância desejada com menor potência instalada. Como resultado, a substituição não apenas reduz o consumo, mas também melhora a qualidade da iluminação, diminui a necessidade de manutenção e reduz a carga térmica no ambiente, contribuindo também para maior eficiência energética global.

D. Motores

As máquinas de costura são amplamente utilizadas em processos têxteis e constituem um dos principais pontos de consumo em ambientes produtivos. Embora todas desempenhem a mesma função básica, o comportamento energético varia significativamente conforme o tipo de motor empregado. Em geral, o acionamento ocorre por meio de um pedal controlado pelo operador; entretanto, enquanto algumas tecnologias de acionamento apresentam consumo reduzido em períodos de repouso, outras mantêm o motor em funcionamento contínuo sempre que a máquina está ligada. Essas distinções tornam essencial a compreensão das características de cada tecnologia para avaliar seu impacto no desempenho energético de sistemas de costura.

Os motores utilizados em máquinas de costura podem ser classificados em três categorias principais: motores monofásicos convencionais, servomotores e motores com embreagem mecânica (clutch). Cada tecnologia apresenta características distintas de funcionamento, eficiência, nível de ruído e comportamento em períodos de inatividade, influenciando diretamente o consumo energético e o conforto operacional.

O primeiro grupo é composto pelos motores monofásicos tradicionais, amplamente empregados em aplicações de pequena potência. Esses motores são ligados diretamente à rede elétrica e operam com rotação praticamente fixa. Seu funcionamento ocorre apenas quando o operador pressiona o pedal, acionando o conjunto mecânico por meio de uma correia. Dessa forma, o motor não permanece girando continuamente em vazio, consumindo energia apenas durante o período efetivo de costura. Embora apresentem rendimento inferior ao dos servomotores e não permitam controle eletrônico de velocidade, caracterizam-se por simplicidade construtiva, robustez e baixo custo inicial, o que ainda justifica sua presença em diversas aplicações industriais de pequeno porte.

O segundo grupo engloba os servomotores, tecnologia mais moderna que utiliza controle eletrônico para ajustar a rotação e o torque de acordo com a necessidade da costura. Por operarem em malha fechada, esses motores permitem maior precisão no posicionamento, rápida resposta dinâmica e funcionamento praticamente silencioso. Além disso, apresentam consumo reduzido em períodos de inatividade, pois somente acionam o eixo quando o pedal é pressionado.

Conforme fabricantes do setor, servomotores podem proporcionar uma redução de 60% a 75% no consumo quando comparados aos motores de embreagem tradicionais [11]. Esses aspectos reforçam suas vantagens tanto em eficiência energética quanto em desempenho operacional, especialmente em ambientes onde há longos períodos de espera entre as operações ou necessidade de controle preciso da velocidade. Adaptado de [12].

Os servomotores oferecem controle de velocidade variável, maior eficiência energética e operação silenciosa. Além desses aspectos, apresentam vantagens operacionais

importantes em relação aos motores de embreagem. Trata-se de máquinas projetadas para controle preciso de velocidade e posição [13].

O terceiro grupo corresponde aos motores com embreagem mecânica (clutch), tecnologia amplamente utilizada em máquinas de costura mais antigas. Nesses modelos, o motor permanece girando continuamente enquanto a máquina está ligada, independentemente da operação de costura. O acionamento do mecanismo ocorre por meio do engate e desengate de uma embreagem de fricção, o que permite controlar a velocidade do eixo, porém resulta em consumo constante mesmo em períodos de inatividade. Segundo [14], esse tipo de motor opera com velocidade fixa controlada pelo pedal, apresenta elevado nível de ruído e tende a exigir manutenção mais frequente. Além disso, boa parte da energia consumida é dissipada em perdas mecânicas e térmicas no conjunto de fricção, caracterizando um perfil de maior desperdício quando comparado às demais tecnologias. Adaptado de [15].

A comparação entre essas tecnologias evidencia que os motores clutch apresentam o maior consumo e o menor desempenho energético, enquanto os servomotores se destacam por sua capacidade de reduzir significativamente o consumo durante o ciclo produtivo e por oferecerem maior precisão e conforto operacional. Já os motores monofásicos convencionais, embora menos eficientes, ainda oferecem uma solução intermediária em termos de simplicidade e custo. Assim, compreender o funcionamento e as características de cada tipo de motor é fundamental para embasar avaliações técnicas voltadas à adoção de medidas de eficiência energética em processos de costura industriais.

E. Compressor

O compressor de ar é um dos equipamentos mais presentes em ambientes industriais, sendo responsável pelo fornecimento de ar comprimido para ferramentas pneumáticas, sistemas de pintura, automação e outras aplicações que dependem dessa forma de energia. O desempenho energético desses sistemas depende tanto da tecnologia do compressor quanto das condições operacionais e do estado da rede de ar comprimido. Em muitos casos, o ar comprimido pode se tornar um dos maiores responsáveis pelo consumo energético de pequenas e médias indústrias, especialmente quando há falhas de manutenção, vazamentos ou dimensionamento inadequado.

Entre os fatores de maior impacto no consumo energético encontram-se os vazamentos na rede. Segundo [10], um furo de apenas 1 mm de diâmetro pode resultar na perda de cerca de 65 litros por minuto de ar comprimido, o que pode representar um custo anual da ordem de R\$ 1.000,00 devido ao aumento do tempo de funcionamento do compressor para compensar essas perdas. Isso evidencia a importância de inspeções periódicas e de uma rotina de manutenção preventiva para garantir o bom desempenho do sistema.

Outro ponto crucial é o dimensionamento adequado do compressor em relação à demanda real da instalação. Um equipamento superdimensionado pode operar consumindo energia sem produzir ar comprimido útil, enquanto um equipamento subdimensionado pode trabalhar em sobrecarga, reduzindo sua vida útil e aumentando os custos de manutenção. Para determinar corretamente a capacidade necessária, devem ser considerados fatores como a vazão requerida pelos equipamentos pneumáticos, a pressão de trabalho, o fator de simultaneidade, que determina quantos dispositivos operam ao mesmo tempo, o fator de segurança e o crescimento futuro da demanda.

Para dimensionar corretamente o compressor ideal, é necessário considerar:

- Vazão de ar necessário para alimentar todas as ferramentas e equipamentos pneumáticos em operação simultânea;
- Pressão de trabalho exigida pelos dispositivos conectados;
- Fator de simultaneidade, que representa a fração dos equipamentos que estarão operando ao mesmo tempo. Em instalações industriais com diversos pontos pneumáticos, é comum que nem todos os dispositivos funcionem simultaneamente.
- Fator de segurança, que acrescenta uma margem adicional ao cálculo, considerando variações de pressão, perdas na rede, partidas simultâneas ou pequenas ineficiências operacionais. É um fator amplamente recomendado em projetos de ar comprimido, mantendo o compressor capaz de atender variações momentâneas de carga. Valores típicos variam entre 1,1 e 1,3;
- Acréscimo por crescimento futuro, que é aplicado para incorporar a possibilidade de aumento da demanda futura, seja por aquisição de novas máquinas, mudanças no processo produtivo ou expansão do setor. Geralmente adota-se um valor entre 0% e 10%, dependendo das perspectivas da empresa.

Uma vez conhecidos os fatores que influenciam a demanda de ar comprimido tornam-se possível aplicar metodologias consolidadas na literatura técnica para estimar a necessidade total do sistema. Referências como [16] e [17] apresentam diretrizes amplamente utilizadas em projetos industriais, que permitem relacionar essas variáveis de forma estruturada para orientar a seleção adequada de compressores. Esses critérios oferecem suporte conceitual ao processo de dimensionamento, garantindo que a capacidade estabelecida seja compatível com as exigências operacionais da instalação e evitando tanto sobrecarga quanto desperdício energético.

III. METODOLOGIA

Neste trabalho, o diagnóstico foi aplicado em uma pequena empresa do ramo têxtil, com o objetivo de avaliar as condições de uso da energia elétrica, os equipamentos em operação e os hábitos de consumo. Essa análise tem por objetivo identificar potenciais desperdícios e propor alternativas viáveis de economia com base em estratégias de eficiência energética.



A metodologia utilizada compreendeu a realização de uma visita técnica presencial, em que foram coletadas informações sobre os equipamentos em uso, como potência, quantidade, tempo médio de funcionamento e forma de operação. Com base nos dados obtidos, elaborou-se um levantamento da carga instalada, disponibilizado no Apêndice A, e estimado o consumo energético mensal de cada equipamento, permitindo mensurar o consumo total da empresa.

A empresa enquadra-se no subgrupo B3 – Baixa Tensão Trifásica, categoria aplicável a unidades consumidoras atendidas em baixa tensão com fornecimento trifásico. De acordo com a Resolução ANEEL n.º 414/2010, consumidores pertencentes ao Grupo B não estão sujeitos à cobrança por excedente de energia reativa nem à penalidade por fator de potência inferior a 0,92.

O diagnóstico também buscou identificar fatores que contribuem para o consumo perdulário, isto é, a energia consumida de forma ineficiente ou desnecessária, como o uso de lâmpadas obsoletas, a presença de equipamentos com baixa eficiência e o funcionamento contínuo de aparelhos em stand-by.

A. Levantamento dos equipamentos e coleta de dados

Durante a visita técnica, foram registrados para cada equipamento: a potência nominal (W ou kW), a quantidade instalada, o tempo médio de uso diário, a quantidade de dias de funcionamento no mês.

B. Estimativa de consumo de energia elétrica

Para estimar o consumo mensal de cada equipamento, utilizou-se a equação (1):

$$E = P \times t \times d \quad (1)$$

onde:

E = consumo mensal (kWh);
P = potência nominal do equipamento (kW);
t = tempo diário de utilização (h/dia);
d = dias mensais de funcionamento.

As premissas de uso para cada ambiente foram definidas com base nas informações fornecidas pelos responsáveis e refletem os horários reais de operação.

C. Estimativa de custos de energia

Após obtida a estimativa de consumo mensal, o custo de operação foi calculado pela equação (2):

$$C = E \times T \quad (2)$$

Onde:

C= Custo mensal em reais;
T= Tarifa por kWh;

D. Dimensionamento da carga térmica - climatização

A determinação da carga térmica de um ambiente pode ser realizada de forma completa, por meio de métodos detalhados, ou de maneira simplificada, adequada a estudos preliminares. Conforme apresentado em [1], a carga térmica resulta da contribuição conjunta dos ganhos internos provenientes de pessoas, equipamentos e iluminação, além dos ganhos associados à estrutura do ambiente. Esses elementos podem

levar a valores típicos de carga térmica sensível em ambientes comerciais variando entre 400 e 800 BTU/h·m², dependendo da ocupação, do uso e das características construtivas.

De forma complementar, conforme apresentado em [10], são fornecidos valores de referência para o dimensionamento de condicionadores de ar, considerando a área útil do ambiente, a incidência solar e as características construtivas. A mesma referência também recomenda o acréscimo de 600 BTU/h para cada pessoa adicional presente no ambiente, de modo a contemplar os ganhos internos de calor sensível associados à ocupação. Com base nessas referências, adota-se neste estudo um método simplificado de estimativa preliminar da carga térmica, amplamente empregado em pré-dimensionamentos, no qual se consideram 600 BTU/h por metro quadrado de área útil, acrescidos de 600 BTU/h por pessoa adicional e 600 BTU/h por equipamento eletrônico. A contribuição térmica da iluminação é incorporada mediante a conversão da potência instalada em watts para BTU/h, utilizando-se o fator de 3,412, correspondente à equivalência entre as duas unidades.

Com base nesses critérios, a carga térmica total pode ser estimada pela Equação (3):

$$Q_t = (A \cdot 600) + (N \cdot 600) + (E \cdot 600) + (P_l \cdot 3,412) \quad (3)$$

Onde:

Q_t = carga total do ambiente (btu/h);
A = área do ambiente (m²);
N = número de pessoas adicionais;
E = número de equipamentos eletrônicos;
P_l = potência total das lâmpadas em watts.

E. Cálculo do Payback

Após a estimativa dos consumos e dos custos de operação, torna-se possível avaliar a viabilidade econômica das alternativas de substituição dos aparelhos de climatização por modelos mais eficientes. Para isso, utiliza-se o tempo de retorno do investimento, ou *payback*, indicador amplamente empregado em análises de eficiência energética. O *payback* representa o período necessário para que a economia obtida com a redução do consumo de energia compense o valor investido na troca dos equipamentos.

O cálculo do tempo de retorno é realizado por meio da equação (4):

$$PB = \frac{I}{Ec} \quad (4)$$

Onde:

PB = payback
I= investimento
Ec= economia anual obtida

Com as estimativas de consumo total devidamente estabelecidas, a etapa seguinte consiste em avaliar individualmente cada ambiente climatizado. A partir deste ponto, determinam-se os custos de operação e o tempo de retorno do investimento para cada setor, permitindo identificar onde se concentram os maiores impactos energéticos e quais substituições apresentam melhor viabilidade econômica.

F. Avaliação dos motores de máquinas de costura

As máquinas de costura presentes na instalação utilizam três tipos de motores: motores monofásicos convencionais, servomotores e motores de embreagem mecânica (clutch). Durante a visita técnica, foram identificados os tipos de motores instalados em cada máquina, bem como suas respectivas potências nominais e quantidades, informações posteriormente organizadas na Tabela II. Esses dados compõem a base necessária para comparar o desempenho energético das diferentes tecnologias empregadas e avaliar o potencial de economia associado à substituição de motores menos eficientes por alternativas mais modernas.

G. Critérios para análise do sistema de ar comprimido

A análise do sistema de ar comprimido teve como objetivo verificar a adequação do compressor instalado frente à demanda pneumática dos equipamentos utilizados no processo produtivo. Durante a visita técnica, foram identificados os dispositivos que utilizam ar comprimido, bem como suas respectivas vazões nominais. Verificou-se também o modelo do compressor em operação, um Schulz Bravo Industrial acoplado a um motor WEG de 5 HP, com pressão máxima de 175 lbf/pol² (aproximadamente 12 bar) e vazão nominal de 20 pcm, equivalente a cerca de 0,566 m³/min. Além disso, realizou-se uma inspeção visual na rede de ar, não sendo identificados vazamentos aparentes.

Para estimar a demanda total de ar comprimido da instalação, adotou-se o método de dimensionamento comumente apresentado em referências técnicas como [16] e [17], que considera a soma das vazões individuais dos equipamentos pneumáticos, ajustada pelos fatores de simultaneidade, crescimento e segurança. Esses parâmetros refletem o comportamento real do processo, visto que nem todos os equipamentos operam simultaneamente, podendo ocorrer variações momentâneas na demanda. Com base nesses critérios, a demanda total foi calculada por meio da Equação (5):

$$Q_{total} = \left(\sum_{i=1}^n Q_i \right) \times F_s \times (1 + F_c) \times F_{seg} \quad (5)$$

onde:

Q_i = vazão individual de cada equipamento pneumático (m³/min);

F_s = fator de simultaneidade;

F_c = fator de crescimento;

F_{seg} = fator de segurança.

Para esta instalação, consideraram-se dez máquinas de costura pneumáticas com vazão unitária de 0,08 m³/min, além dos fatores adotados com base no perfil de operação: simultaneidade de 0,4, crescimento de 5% (0,05) e fator de segurança igual a 1,2. A partir desses valores, obteve-se a

demanda total de ar comprimido da instalação. Em seguida, esse valor foi comparado com a vazão nominal do compressor existente, permitindo avaliar sua capacidade de atendimento, bem como a existência de margens operacionais adequadas para momentos de maior exigência.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir do levantamento da carga instalada e das medições realizadas durante a visita técnica. Para cada conjunto de equipamentos identificado na empresa, são analisados o consumo de energia, o impacto operacional e o potencial de economia associado à substituição por tecnologias mais eficientes. As análises são organizadas conforme os principais setores consumidores, permitindo identificar de forma objetiva onde se concentram as maiores oportunidades de melhoria no desempenho energético da instalação.

A. Climatização:

O sistema de climatização da empresa é composto por condicionadores de ar do tipo split, como visto na figura 3, utilizados para o resfriamento da loja e do depósito. A eficiência energética desses equipamentos depende diretamente da tecnologia embarcada, do padrão de uso e da manutenção preventiva adotada.



Fig.3. Ar-condicionado da loja.

Durante a visita técnica, foram identificados diversos aparelhos de ar-condicionado do tipo split tradicional instalados nos diferentes ambientes da empresa. Na área da loja, foram encontrados dois equipamentos de 60.000 BTU/h, cada um com potência nominal de 5,864 kW. Nos ambientes dos escritórios 1 e 2 e do provador, foram identificados aparelhos de 9.000 BTU/h, com potência de 0,791 kW por unidade. No depósito, verificou-se a presença de um condicionador de ar com capacidade de 22.000 BTU/h, apresentando potência nominal de 2,35 kW. A tabela I apresenta um resumo dos equipamentos levantados:

TABELA I

Ar-Condicionado da Empresa			
Ambiente	Capacidade (BTU/h)	Potência (KW)	Quantidade
Loja	60.000	5,864	2
Depósito	22.000	2,35	1
Escritórios	9.000	0,791	2

Provador	9.000	0,791	1
----------	-------	-------	---

Com os equipamentos devidamente identificados e suas características resumidas na Tabela I, procede-se à estimativa do consumo energético de cada ambiente climatizado. Para isso, foram adotadas as premissas de funcionamento informadas pela empresa, bem como a equação (1), apresentada na metodologia, que relaciona potência, tempo diário de uso e número de dias de operação no mês.

Com base nas informações fornecidas pela empresa, adotaram-se as seguintes premissas para o período de maior demanda por climatização:

- Loja, depósito e provador: funcionamento de segunda a sábado, totalizando 24 dias por mês;
- Escritórios: funcionamento de segunda a sexta, totalizando 20 dias por mês;
- Loja e depósito em dezembro: 9 h/dia;
- Loja e depósito nos demais meses: 4 h/dia;
- Escritórios: 4 h/dia;
- Provador: 2h/dia.
- Período de climatização: seis meses do ano;

A seguir, são apresentados os consumos estimados para cada ambiente, já substituindo os devidos valores na equação (1):

1) *Estimativa de consumo*

- Loja
Para o mês de dezembro obteve-se:

$$E = 5,864 \times 9 \times 24$$

$$E = 1.266 \text{ kWh.}$$

Este valor representa o consumo de um aparelho, como há dois neste ambiente, dobramos o valor, obtendo um consumo de $E = 2.532 \text{ kWh}$ para este mês.

Para os demais meses:

$$E = 5,864 \times 4 \times 24$$

$$E = 563 \text{ kWh.}$$

Novamente, o valor é para um aparelho, assim dobramos o valor para obtermos o total do ambiente, ou seja, $E = 1126 \text{ kWh}$ para um mês de uso. Considerando agora para os cinco meses de uso obteve-se:

$$E = 1.126 \times 5$$

$$E = 5.630 \text{ kWh.}$$

Por fim somamos o consumo estimado do mês de dezembro para obtermos o consumo total por climatização no ano para a loja:

$$E = 5.630 + 2.532 \text{ kWh}$$

$$E = 8.162 \text{ kWh.}$$

- Depósito:

O depósito acompanha exatamente o mesmo regime de operação da loja, tanto em dias quanto em horas de funcionamento, dessa forma temos para dezembro:

$$E = 2,35 \times 9 \times 24$$

$$E = 507,6 \text{ kWh.}$$

Para os demais meses:

$$E = 2,35 \times 4 \times 24$$

$$E = 225,6 \text{ kWh x 5 meses}$$

$$E = 1.128 \text{ kWh/mês.}$$

Consumo total no depósito para o ano:

$$E = 1.128 + 507,6$$

$$E = 1635,6 \text{ kWh.}$$

- Escritórios:

$$E = 0,791 \times 4 \times 20 = 63,28 \text{ kWh/mês}$$

Valor por aparelho, como há dois, simplesmente dobramos o valor, obtendo $E = 126,56 \text{ kWh}$ para os escritórios

Total para todo o período:

$$E = 126,56 \times 6 = 759,36 \text{ kWh}$$

- Provador:

$$E = 0,791 \times 2 \times 24 = 37,97 \text{ kWh/mês}$$

Para todo o período tem-se:

$$E = 37,97 \times 6 = 227,81 \text{ kWh.}$$

Com estes dados podemos estimar o consumo total por climatização no ano, somando todos os ambientes:

$$E_{\text{total}} = 8.162 + 1.635,6 + 759,36 + 227,81$$

$$E_{\text{total}} = 10.784,77 \text{ kWh.}$$

Verifica-se que a loja é responsável pela maior parcela do consumo energético destinado à climatização, seguida pelo depósito. Esse comportamento está associado principalmente à maior área climatizada, à maior carga térmica envolvida e à potência superior dos equipamentos instalados nesses ambientes.

2) *Análise por ambiente*

Com as estimativas de consumo total devidamente estabelecidas, a etapa seguinte consiste em avaliar individualmente cada ambiente climatizado, permitindo identificar onde se concentram os maiores impactos energéticos e quais substituições apresentam melhor viabilidade econômica.

- Loja:

A loja possui aproximadamente 90 m^2 e é destinada à exposição e venda de peças de vestuário produzidas pela empresa. O ambiente conta com dois funcionários fixos e, durante o horário de atendimento, estima-se a permanência média de três clientes simultâneos. Além da circulação de pessoas, a loja dispõe de um computador utilizado para atendimento e registro de vendas, bem como de um conjunto

de lâmpadas que permanecem acionadas durante todo o período de funcionamento.

Com base nas características internas descritas, procedeu-se com a estimativa da carga térmica da loja utilizando o método simplificado apresentado anteriormente. Assim, substituindo os dados na equação (3):

$$Q_t = (90 \times 600) + (4 \times 600) + (1 \times 600) + (328 \times 3,412)$$

$$Q_t = 62.722 \text{ BTU/h.}$$

Assim, verifica-se que a capacidade atualmente instalada na loja é superior à necessidade real, caracterizando um superdimensionamento. Esse cenário permite considerar a substituição do sistema existente por equipamentos mais eficientes, podendo-se, em princípio, adotar um aparelho de 60.000 BTU/h do tipo Inverter.

Alternativamente segundo [10], para uma melhor distribuição do ar refrigerante nos grandes ambientes, é prudente empregar dois ou mais aparelhos, cuja capacidade seja equivalente à encontrada, como benefício adicional, esse procedimento reduz o nível de ruído no ambiente.

Com base nessa recomendação e visando maior uniformidade na climatização da loja, bem como maior flexibilidade operacional, adota-se a utilização de dois aparelhos Inverter de 30.000 BTU/h cada, cuja capacidade conjunta atende plenamente à carga térmica estimada para o ambiente.

Então realizou-se uma pesquisa de mercado considerando apenas equipamentos com classificação “A” no PBE. Entre os avaliados, foi selecionado um modelo cujo consumo nominal é de aproximadamente 0,604 kW. O custo médio encontrado para aquisição do equipamento é de R\$ 5.199,00, acrescido de cerca de R\$ 800,00 referentes à instalação profissional. Assim, o investimento total por unidade é de R\$ 5.999,00, totalizando R\$ 11.998,00.

Mantendo o mesmo regime de operação adotado para o sistema atual e aplicando-se as equações (1) e (2), estima-se que cada aparelho Inverter consuma aproximadamente 420 kWh ao ano, totalizando cerca de 841 kWh para as duas unidades. Considerando a tarifa média de R\$ 0,70/kWh, obtém-se um custo anual aproximado de R\$ 588,54 para o sistema proposto. Já o sistema convencional atualmente instalado apresenta consumo anual de 8.162 kWh, o que representa um custo de aproximadamente R\$ 5.713,40. Dessa forma, a economia anual estimada com a substituição é de cerca de R\$ 5.124,86.

Para avaliar a viabilidade econômica da substituição, calculou-se o tempo de retorno do investimento (payback) por meio da equação (4):

$$PB = \frac{11.998}{5.124,86} \approx 2,34 \text{ anos}$$

Assim vemos que a empresa terá um retorno do investimento para os aparelhos da loja em 2 anos e 4 meses.

- Depósito:

O depósito possui aproximadamente 50 m² e é utilizado para armazenamento de mercadorias e circulação eventual de

funcionários. O ambiente não apresenta permanência contínua de pessoas e conta apenas com iluminação geral e um condicionador de ar do tipo split convencional, com capacidade nominal de 22.000 BTU/h e potência de 2,35 kW.

Este ambiente não possui equipamentos eletrônicos e o impacto térmico das lâmpadas foi desconsiderado, uma vez que foi proposto neste estudo que as mesmas permaneçam desligadas na ausência de pessoas no local. Assim, adotou-se o critério simplificado baseado na área útil, considerando 600 BTU/h·m², como pode ser visto pela equação (3):

$$Q_t = (50 \times 600) + (0 \times 600) + (0 \times 600) + (0 \times 3,412)$$

$$Q_t = 30.000 \text{ BTU/h.}$$

Da mesma forma que na análise da loja, realizou-se um levantamento de opções de mercado considerando apenas equipamentos Inverter com classificação “A” pelo PBE e IDRS compatível com as exigências vigentes. Para o depósito, foi selecionado um modelo de 30.000 BTU/h, tecnologia Inverter, com IDRS igual a 7,02 e consumo nominal de 0,497kW. O custo total estimado para aquisição e instalação é de aproximadamente R\$ 6.200,00.

Mantendo o perfil de uso adotado para o equipamento atual e aplicando-se as equações (1) e (2), o consumo anual estimado do novo aparelho é de aproximadamente 346 kWh, o que resulta em um custo anual de cerca de R\$ 242,20. Comparando-se esse valor com o consumo do sistema convencional, obtém-se uma economia anual aproximada de R\$ 902,72.

Calculando o payback pela equação (4):

$$PB = \frac{6.200}{902,72} \approx 6,87 \text{ anos}$$

Assim, verifica-se que o investimento no depósito apresenta um tempo de retorno de seis anos e dez meses. Embora esse valor seja mais elevado em comparação ao obtido na loja, a substituição ainda se mostra tecnicamente adequada. A adoção de um equipamento Inverter reduz o consumo anual em aproximadamente 79% neste ambiente e aumenta a eficiência global do sistema de climatização da empresa, contribuindo para menores custos operacionais e maior confiabilidade no longo prazo.

- Escritórios:

Os escritórios da empresa possuem área reduzida, em torno de 15 m² cada, e são usualmente ocupados por um funcionário. Cada ambiente é climatizado por um aparelho split convencional de 9.000 BTU/h, com potência nominal de 0,791 kW. No Escritório 1, a iluminação é composta por duas lâmpadas LED de 9 W (18 W no total), enquanto o Escritório 2 conta com quatro lâmpadas LED da mesma potência, totalizando 36 W. Ambos os ambientes possuem um computador cada.

Considerando que o Escritório 2 apresenta a maior potência instalada de iluminação, procedeu-se com a estimativa da carga térmica utilizando a equação (3). Substituindo-se os valores obtém-se:

$$Q_t = (15 \times 600) + (1 \times 600) + (36 \times 3,412) \approx 9723 \text{ BTU/h}$$

A carga térmica estimada para o Escritório 2 é ligeiramente superior à capacidade nominal do aparelho instalado. Essa diferença, em torno de 8%, encontra-se dentro da margem de variação esperada para métodos simplificados de estimativa e não compromete o desempenho do sistema em condições reais de operação. Considerando que o outro escritório apresenta características muito semelhantes em área, ocupação e equipamentos, entende-se que ambos os ambientes estão adequadamente atendidos pelos aparelhos existentes.

Mantendo o mesmo critério adotado para os demais ambientes, foi selecionado para os escritórios um modelo Inverter de 9.000 BTU/h, com classificação “A” no PBE e IDRS igual a 7,2, cujo consumo nominal é de aproximadamente 0,138 kW. Considerando o regime de uso informado pela empresa, estima-se que cada aparelho consuma cerca de 66,24 kWh em todo o período, totalizando 132,48 kWh para os dois escritórios. Com o valor da tarifa obtém-se um custo anual de aproximadamente R\$ 92,74, economia de R\$ 439,29. O investimento total para substituição dos dois equipamentos é de R\$ 4.880,00, já incluindo os custos de instalação. Aplicando a equação (4) para o cálculo do payback:

$$PB = \frac{4.880}{439,29} \approx 11,1 \text{ anos}$$

Dessa forma, o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 11 anos e 1 mês. Esse valor é considerado elevado para padrões de eficiência energética, sobretudo porque ciclos tecnológicos de equipamentos de climatização tendem a se renovar em períodos inferiores a uma década, o que pode tornar o investimento obsoleto antes mesmo de sua amortização completa. Assim, embora a substituição por aparelhos Inverter apresente redução de consumo e melhor desempenho operacional, o longo tempo de retorno indica que a troca dos equipamentos dos escritórios não é economicamente recomendada no momento, permanecendo mais vantajoso manter os aparelhos existentes até que seja necessária sua substituição por fim de vida útil ou por futuras atualizações tecnológicas.

- **Provedor :**

O provedor da loja é um ambiente de dimensões reduzidas, destinado exclusivamente à prova de peças de vestuário. Trata-se de um espaço de uso intermitente, ocupado apenas durante o atendimento aos clientes.

Aplicando-se as equações (1) e (2), obtém-se para o aparelho convencional um consumo de aproximadamente 227,81 kWh durante o semestre, o que corresponde a um custo de R\$ 159,47. Mantendo-se o mesmo padrão de uso e substituindo o equipamento atual por um modelo Inverter de 9.000 BTU/h, com consumo nominal de 0,138 kW, o consumo estimado seria reduzido para cerca de 39,74 kWh, representando um custo de R\$ 27,82 no mesmo período. Dessa forma, a economia proporcionada pela troca seria de aproximadamente R\$ 131,65 por ano.

Com investimento total estimado em R\$ 2.440,00 para aquisição e instalação do novo equipamento, o tempo de retorno calculado pela equação (4) é:

$$PB = \frac{2440}{131,65} \approx 18,5 \text{ anos}$$

Considerando que o tempo de retorno é de 18 anos e 6 meses, a substituição do equipamento por um modelo Inverter não se mostra economicamente vantajosa neste caso. Como o uso do ar-condicionado no provedor é eventual e de curta duração, o impacto dessa troca sobre o consumo total de energia seria pouco significativo. Além disso, o provedor encontra-se dentro do ambiente da loja, o que possibilita o aproveitamento do ar refrigerado proveniente deste espaço. Dessa forma, recomendamos manter o local aberto na ausência de clientes, reduzindo ainda mais a necessidade de acionamento do aparelho e garantindo economia adicional sem a necessidade de novos investimentos.

B. Iluminação

A seguir, apresenta-se a avaliação das condições de iluminação nos diferentes ambientes da empresa, considerando tanto os aspectos de consumo energético quanto a adequação das tecnologias utilizadas. Inicialmente são estimados os consumos anuais dos sistemas de iluminação existentes, com base na potência instalada e no regime de funcionamento de cada setor. Na sequência, analisam-se as propostas de substituição por tecnologias mais eficientes, com ênfase na adoção de lâmpadas LED, avaliando também o impacto energético resultante e o tempo de retorno associado às intervenções recomendadas.

1) Análise da loja

Durante a visita técnica foram identificados na loja dois tipos principais de lâmpadas instaladas: lâmpadas halógenas refletoras e lâmpadas fluorescentes compactas. Na área frontal, utilizada para destaque de produtos e vitrines, encontram-se 16 lâmpadas halógenas tipo dicróica de 75W. Nas demais áreas de circulação e exposição, foram identificadas 24 lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W, tecnologia que apresenta rendimento luminoso superior ao das lâmpadas incandescentes e halógenas, porém inferior ao dos sistemas LED modernos.

Todas as lâmpadas da loja permanecem acionadas durante o horário de funcionamento, considerando-se 9 horas diárias ao longo de todo o ano, totalizando 2.592 horas anuais de operação. Com base nesses dados, é possível estimar o consumo anual do sistema de iluminação atual. Para as lâmpadas halógenas, a potência total instalada é de 1,2 kW, resultando em um consumo anual de 3.110 kWh. No caso das fluorescentes compactas, a potência instalada é de 480 W, totalizando um consumo de 1.244 kWh no mesmo período. Assim, o consumo anual da iluminação da loja é de 4.355 kWh, substituindo na equação (2):

$$C = 4.355, \times 0,70$$
$$C = R\$3048,50$$

Este valor representa o custo anual para iluminação da loja. Considerando-se a substituição das 16 lâmpadas halógenas por lâmpadas dicróicas LED de 7 W, ao custo unitário de

R\$ 9,90, e das 24 lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas LED bulbo de 9 W ao valor de R\$ 7,90 cada, o investimento total necessário para modernizar a iluminação da loja é de R\$348,00. Com a modernização, a potência total instalada cai de 1,68 kW para 0,328 kW, ou seja, 850kWh ao ano.

Aplicando a equação (2) para estes dados:

$$C = 850 \times 0,70$$
$$C = R\$595,00.$$

Este valor é estimado para o custo da conta de energia para um ano com a substituição proposta. Nota-se uma diferença de R\$ 2.452,80. Essa redução expressiva evidencia o impacto direto da substituição por tecnologia LED no consumo da loja, reforçando a viabilidade da medida não apenas em termos técnicos, mas também econômicos.

Dado o baixo investimento necessário e a elevada economia anual obtida, procede-se então ao cálculo payback, conforme estabelecido pela equação (4):

$$PB = \frac{348}{2453,50} \approx 1 \text{ mês}$$

Assim, o investimento realizado na substituição das lâmpadas apresenta um tempo de retorno extremamente reduzido, cerca de um mês e vinte e um dias, evidenciando que a modernização da iluminação da loja é altamente vantajosa. A economia anual gerada supera rapidamente o custo inicial, tornando essa medida uma das ações de eficiência energética mais eficazes identificadas no diagnóstico.

Além disso, a potência instalada é significativamente reduzida, porém o fluxo luminoso do ambiente permanece equivalente ao existente antes da modernização. As lâmpadas LED dicróicas utilizadas na substituição apresentam fluxo muito próximo ao das lâmpadas antigas, mas com grande perda em calor e dispersão. Como o LED direciona melhor a luz útil, a iluminância final na loja permanece praticamente a mesma, preservando as condições visuais necessárias ao atendimento e exposição de produtos.

2) Análise do depósito

No depósito foram identificadas 12 lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W, responsáveis pela iluminação geral do ambiente. Assim como na loja, considerou-se que essas luminárias permanecem acionadas durante todo o horário de funcionamento, totalizando 9 horas diárias ao longo de todo o ano, ou seja, 2.592 horas anuais. Nessa condição, a potência total instalada é de 0,24 kW, resultando em um consumo anual de 622,08 kWh.

Aplicando-se a equação (2) para estimar o custo anual associado à iluminação do depósito, obtém-se:

$$C = 622,08 \times 0,70$$
$$C = R\$435,46.$$

Com o objetivo de melhorar a eficiência energética do ambiente, propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas LED de 9 W. Nessa condição, a

potência instalada passa a 0,108 kW, e o consumo anual reduz-se para 279,94 kWh e o custo anual pela equação (2):

$$C = 279,94 \times 0,70$$
$$C = R\$195,96.$$

Assim, a economia anual obtida com a substituição é R\$239,50. Essa redução representa uma economia significativa, especialmente considerando o baixo investimento necessário. O custo unitário de cada lâmpada LED é de R\$ 7,90, totalizando R\$ 94,80 para a substituição das 12 unidades.

Por fim, para avaliar a viabilidade econômica, aplica-se a equação (4):

$$PB = \frac{94,80}{239,50} \approx 5 \text{ meses}$$

Desse modo, o investimento na modernização da iluminação do depósito possui um tempo de retorno extremamente reduzido, em torno de cinco meses, configurando-se como uma medida simples, de baixo custo e alto impacto energético.

Esta substituição não altera significativamente a iluminância do setor, mantem-se um nível de iluminação equivalente ao atual. Dessa forma, garante-se a preservação da visibilidade adequada para o armazenamento e manuseio de mercadorias, com redução expressiva de potência.

Além da substituição das lâmpadas, recomendamos a instalação de um sensor de presença. Esse ambiente apresenta ocupação eventual, com permanência reduzida de pessoas, o que torna inadequado manter a iluminação acionada de forma contínua. Com o uso de sensores, as lâmpadas seriam ativadas somente quando houver movimentação no local, reduzindo ainda mais o consumo de energia.

3) Análise dos escritórios

Nos dois escritórios da empresa já foram identificadas lâmpadas LED instaladas, o que indica que parte da modernização da iluminação nesses ambientes já está em andamento. No Escritório 1 encontram-se duas lâmpadas LED de 9 W cada, enquanto no Escritório 2 estão instaladas quatro lâmpadas LED da mesma potência.

No entanto, no banheiro anexo ao Escritório 2 foi identificada uma lâmpada incandescente de 60W e outra de 75W. Assim sugerimos a substituição de ambas por LEDs de 9W, obtendo assim uma economia de 0,117KWh neste ambiente

O banheiro anexo ao Escritório 2 apresenta baixa frequência de uso, sendo acionado apenas em momentos pontuais ao longo do expediente. Para efeito de cálculo, adotou-se um tempo médio de utilização de 2 horas por dia, de segunda a sexta-feira, totalizando aproximadamente 520 horas anuais. Esse valor permite estimar de forma realista o impacto energético da substituição das lâmpadas nesse ambiente.

Como a potência instalada atual é de 135 W, o que ao ano representa um consumo de 70,2KWh e gera um custo de R\$49,14. Com a substituição por LED, ao custo de aquisição total de R\$ 15,80, a potência instalada passa a ser 18W, por

consequência o consumo anual cai para apenas 9,36KWh e o custo para R\$6,55.

Pode-se observar que a economia gerada é de R\$42,59, assim o retorno é estimado:

$$PB = \frac{15,80}{42,59} \approx 4 \text{ meses}$$

Então mesmo com o uso esporádico do ambiente, o investimento apresenta retorno em 4 meses, reforçando a viabilidade da substituição das lâmpadas incandescentes por modelos LED.

4) *Análise da área produtiva*

A área produtiva da empresa é o setor destinado às atividades de costura e acabamento, sendo o ambiente de maior permanência de operadores ao longo da jornada de trabalho. Durante a visita técnica foram identificadas 58 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, instaladas de forma distribuída para garantir uniformidade de iluminação nas bancadas de trabalho.

Considerando o regime de funcionamento já estabelecido para este setor, obtém-se um total aproximado de 2.340 horas anuais de uso da iluminação. Nessas condições, a potência instalada de 2,32 kW resulta em um consumo anual de cerca de 5.429 kWh. Assim, o custo anual associado à iluminação da área produtiva é de aproximadamente R\$ 3.800,16.

Para melhorar a eficiência energética, propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes de 40 W por lâmpadas tubulares LED de 18 W. Nessa condição, a potência instalada passa a 1,044 kW e o consumo anual é reduzido para cerca de 2.443 kWh, correspondendo a um custo aproximado de R\$ 1.710,10 por ano. A economia anual proporcionada pela modernização é, portanto, de cerca de R\$ 2.090,16.

Considerando um custo médio de R\$ 12,90 por unidade, o investimento necessário para a substituição das 58 lâmpadas é de R\$ 748,20. Aplicando-se a equação (4):

$$PB = \frac{748,20}{2090,06} \approx 4,3 \text{ meses}$$

Logo o tempo de retorno é em torno de quatro meses. Assim, a modernização da iluminação da área produtiva configura uma medida de baixo custo e alto impacto energético, com retorno rápido e expressiva redução de consumo.

Embora a potência nominal das lâmpadas LED seja inferior à das fluorescentes substituídas, a adoção de modelos de 18 W mantém adequados os níveis de iluminância no ambiente produtivo. Isso ocorre porque lâmpadas tubulares LED possuem eficiência luminosa significativamente superior e maior aproveitamento da luz útil no plano de trabalho, reduzindo perdas ópticas e aumentando a uniformidade luminosa nas bancadas de costura. Esse fator é fundamental em ambientes onde se manipulam peças pequenas e são exigidos precisão visual, conforto e redução da fadiga dos operadores. Dessa forma, a modernização proposta preserva a iluminância necessária e, simultaneamente, proporciona uma expressiva redução de consumo energético.

5) *Iluminação externa*

Na área externa da empresa foram identificadas duas lâmpadas LED de 9 W e quatro lâmpadas fluorescentes compactas de 40 W, utilizadas para iluminação noturna. Considerou-se que estas permanecem acesas diariamente do final do expediente até a chegada das primeiras pessoas no início da manhã, totalizando aproximadamente 14 horas por dia. Com isso, obtém-se um tempo de operação estimado de 5.110 horas anuais.

Considerando-se apenas as fluorescentes, temos 0,16KW, o que resulta em um consumo de anual de 817,60 kWh. Aplicando-se a equação (2) para estimar o custo anual associado à iluminação externa, obtém-se:

$$C = 817,60 \times 0,70$$

$$C = \text{R\$ } 572,32.$$

Com o objetivo de melhorar a eficiência energética e padronizar a iluminação externa, propõe-se a substituição das quatro lâmpadas fluorescentes compactas de 40 W por lâmpadas LED de 12 W, cujo custo unitário é de R\$ 8,90, totalizando R\$35,60. Nessa condição, a nova potência instalada passa a 0,048 KW, com consumo anual de 245,28 kWh, uma economia de R\$ 400,63.

Por fim, pela equação (4), obtemos o PB:

$$PB = \frac{35,60}{400,63} \approx 1 \text{ mês}$$

Isso corresponde a aproximadamente 1 mês, caracterizando-se como uma medida de baixo custo, rápido retorno e impacto energético significativo. Também recomenda-se a instalação de um sensor fotoelétrico com o intuito de automatizar o acionamento da iluminação externa, evitando que as lâmpadas permaneçam ligadas durante períodos desnecessários. Esse dispositivo permite que o sistema seja ativado somente quando a luminosidade natural é insuficiente, garantindo funcionamento apropriado ao longo da noite e desligamento automático ao amanhecer. Essa medida reduz a dependência de acionamento manual, elimina o risco de esquecimento e contribui para diminuir ainda mais o consumo energético anual.

6) *Análise das demais áreas*

Durante o diagnóstico energético, verificou-se que alguns ambientes auxiliares da empresa já passaram por modernização completa de iluminação, adotando exclusivamente lâmpadas LED. Nesta lista estão a copa, a garagem, o provador e o banheiro localizado na área produtiva. Nessas áreas, não foram identificadas lâmpadas obsoletas ou tecnologias de maior consumo, o que demonstra que parte das ações de eficiência energética já vem sendo implementada pela empresa ao longo do tempo.

De forma ainda mais eficiente, a garagem conta com sensor de presença instalado no circuito de iluminação, permitindo que as lâmpadas sejam acionadas apenas quando há circulação de pessoas ou veículos. Essa medida reduz o consumo desnecessário em períodos de ausência, evitando que a iluminação permaneça ligada continuamente.

A manutenção desse padrão de eficiência nos ambientes auxiliares, aliada às ações recomendadas para os demais setores, fortalece o desempenho energético global da empresa e reduz custos associados ao uso de iluminação artificial.

C. Máquinas de Costura

Durante a vistoria foram identificados treze motores instalados nas máquinas de costura, totalizando aproximadamente 6,37 kW de potência instalada. Esses motores foram divididos em três categorias de acordo com a tecnologia de acionamento: motores monofásicos convencionais, servomotores e motores com embreagem mecânica (clutch), como resumido na Tabela II:

TABELA II

Motores das Máquinas de Costura			
Tipo	Quantidade	Potência	Potência Total
Monofásico	4	245 W; 400 W; 400 W; 550 W	1,60 KW
Servo	6	550W	3,30 KW
Clutch	3	373 W; 550 W; 550 W	1,47 KW
Total	13		6,37KW

O primeiro grupo é composto por quatro motores monofásicos, com potências de 245W, 400W, 400W e 550W. Esses motores representam configurações tradicionais, sem controle eletrônico avançado, e apresentam consumo proporcional ao tempo de operação.

O segundo grupo reúne seis servomotores de 550W. Esses motores possuem controle eletrônico que ajusta a rotação e o torque de acordo com a necessidade da costura, resultando em menor consumo de energia durante os períodos de inatividade e maior precisão de velocidade.

Por fim, foram identificados três motores do tipo clutch, nas potências de 373W e duas unidades de 550W. Nessa tecnologia, o motor permanece girando continuamente sempre que a máquina está ligada, independentemente da operação, o que causa maior consumo em vazio, maior ruído e maior aquecimento.

Os motores do tipo clutch, como o modelo DOL34LS de 550 W cuja placa é mostrada na figura 4, segundo [11], operam com o motor girando continuamente em velocidade fixa enquanto a máquina está ligada, consumindo energia mesmo durante períodos de inatividade. O pedal não altera a rotação do motor, mas apenas aciona o mecanismo de embreagem, que transmite o movimento para o eixo da máquina. Como esse acoplamento é mecânico, podem ocorrer engates abruptos no início da costura. Devido ao funcionamento contínuo do motor e às perdas por fricção no conjunto de embreagem, esse tipo de acionamento tende a apresentar eficiência inferior quando comparado aos servomotores, que acionam o motor somente quando o pedal é pressionado e utilizam controle eletrônico de velocidade e torque. Além disso, operam com nível de ruído elevado e constante e tendem a exigir manutenção com maior frequência.



Fig.4. Placa do Motor tipo clutch

Estes motores são comumente encontrados em máquinas de costura mais antigas, operando por meio do engate e desengate do mecanismo de embreagem para controlar a velocidade da máquina [15].

A medida prioritária consiste na substituição gradual dos motores de embreagem por servomotores, tecnologia já presente em parte das máquinas da empresa. Diferentemente do sistema com embreagem, o servomotor opera em regime start/stop: o eixo só é acionado quando o pedal é pressionado e permanece praticamente sem consumo em períodos de inatividade.

Dessa forma, a padronização das máquinas em servomotores CA, em substituição aos motores de embreagem remanescentes, configura uma ação de alto impacto na redução do consumo de energia elétrica, com retorno financeiro em poucos anos e melhora o conforto acústico no ambiente de trabalho.

Embora cumpram adequadamente sua função, os motores monofásicos utilizados nas máquinas analisadas operam com rotação praticamente fixa, uma vez que estão ligados diretamente à rede e não possuem nenhum controle eletrônico de velocidade. Nessas condições, o ajuste de velocidade depende exclusivamente da ação mecânica do pedal, o que limita a precisão do acionamento. Já os servomotores operam em malha fechada, ajustando torque e velocidade eletronicamente conforme a necessidade da costura, o que proporciona maior precisão, menor ruído e melhor desempenho energético. Assim, enquanto os motores monofásicos oferecem simplicidade e baixo custo de aplicação, os servomotores se destacam por seu controle refinado e maior eficiência operacional

D. Compressor.

O compressor de ar atende às demandas pneumáticas da área produtiva, alimentando as máquinas de costura que utilizam esse recurso. Durante a visita técnica não foram identificados vazamentos aparentes na rede de ar, o que indica boas práticas de manutenção preventiva e reduz perdas energéticas desnecessárias. Ainda assim, a verificação da

adequação da capacidade do compressor frente à demanda instalada é fundamental para garantir seu uso eficiente.

Avaliando os equipamentos da empresa, há 10 máquinas de costura com vazão de 0,08m³/min, fator de simultaneidade consideremos 0,4, fator de crescimento em 5% e para o fator de segurança vamos estipular em 1,2. Substituindo na equação (5):

$$Q_{total} = \left(\sum_{i=1}^{10} 0,08 \right) \times 0,4 \times (1 + 0,05) \times 1,2$$

$$Q_{total} = 0,403m^3/min.$$

Com base nos resultados obtidos, o compressor atualmente instalado foi avaliado quanto à sua capacidade de atendimento à demanda calculada. O equipamento em uso é um modelo Schulz BRAVO Industrial de pistão, acoplado a um motor WEG de 5 HP, com pressão máxima de 175 lbf/pol², o que equivale a aproximadamente 12 bar e vazão nominal de 20 pcm, correspondente a 0,566 m³/min.

Comparando os valores, observa-se que a demanda calculada de 0,40 m³/min está abaixo da vazão fornecida pelo compressor existente, indicando que o equipamento atende adequadamente à carga atual, sem risco de sobrecarga. A leve margem de folga entre a vazão fornecida de 0,566 m³/min e a requerida de 0,40 m³/min não caracteriza superdimensionamento, considerando que o compressor opera em ciclos de carga e alívio, mantendo a pressão do sistema dentro da faixa de trabalho entre 7 e 8 bar. Essa faixa, segundo [18], é comumente utilizada em aplicações industriais leves, como máquinas de costura pneumáticas, pois garante pressão suficiente nos pontos de uso mesmo com pequenas quedas na rede, sem exigir pressões excessivas que aumentariam o consumo de energia.

Além das medidas de manutenção preventiva e do controle operacional adotado durante o expediente, recomenda-se a implantação de uma rotina de desligamento completo do compressor ao final da jornada de trabalho. Essa prática evita que o equipamento permaneça pressurizando a rede durante a noite para compensar vazamentos que possam surgir no sistema, reduzindo significativamente o consumo de energia associado ao funcionamento em vazio.

E. Demais Componentes

A empresa também possui equipamentos auxiliares de uso contínuo ou intermitente, mas de baixa potência individual. Entre esses equipamentos encontram-se quatro ventiladores de teto de 80 W cada e um ventilador de parede de 200 W instalados na área produtiva, destinados a melhorar o conforto térmico dos operadores. Contudo, em todas as visitas realizadas observou-se que esses ventiladores permanecem desligados, o que indica uso eventual e contribui para que seu impacto no consumo total seja modesto quando comparado à iluminação e aos motores das máquinas de costura, por exemplo.

Nos escritórios foram identificadas impressoras do tipo laser e jato de tinta, equipamentos que permanecem maior parte do tempo em modo de espera (stand-by), apresentando consumo reduzido. Na copa há uma geladeira doméstica em uso contínuo. Trata-se de um modelo mais antigo e sem

etiqueta do PBE, o que indica potencial de consumo superior ao de refrigeradores modernos classe A. Apesar do impacto relativamente pequeno no consumo global da empresa, recomenda-se sua substituição futura quando atingir o fim da vida útil.

Essas cargas de apoio, embora não representem os maiores consumidores da instalação, integram a base de consumo permanente e reforçam a necessidade de práticas operacionais adequadas, como desligamento de equipamentos em períodos de inatividade e manutenção preventiva regular.

F. Consumo Perdulário

Entende-se por consumo perdulário a parcela de energia elétrica utilizada de forma ineficiente ou desnecessária, caracterizando desperdício. Esse tipo de consumo pode ocorrer por diversos fatores, como o uso de equipamentos obsoletos com baixo rendimento, dimensionamento inadequado em relação à demanda real, funcionamento em horários ociosos ou manutenção insuficiente. No contexto da empresa analisada, o diagnóstico energético permitiu identificar pontos em que o consumo perdulário se manifesta, possibilitando a proposição de medidas corretivas e preventivas para aumentar a eficiência e reduzir custos.

Além da instalação de sensor de presença no depósito para reduzir o consumo em períodos sem ocupação, como já citado, também foram identificadas outras oportunidades de melhoria. Durante a visita técnica, observou-se que os computadores permanecem ligados nos escritórios, mesmo sem utilização, com as telas desligadas, mas conectados à rede elétrica (indicativo pelo LED aceso). Essa prática contribui para o consumo perdulário, pois equipamentos em modo de espera continuam consumindo energia. Recomenda-se a adoção das seguintes medidas:

- Desligamento completo dos computadores ao final do expediente ou em períodos prolongados de inatividade, evitando o consumo em stand-by;
- Ajuste adequado da temperatura nos ar-condicionados;
- Campanhas internas de conscientização para reforçar boas práticas entre os colaboradores, como desligar equipamentos e luzes em ambientes desocupados.

IV. Conclusão

A análise energética realizada na empresa permitiu identificar os principais equipamentos responsáveis pelo consumo de energia elétrica e evidenciar oportunidades de melhoria com boa viabilidade técnica. Observou-se que sistemas de climatização, iluminação e motores representam parcela significativa da demanda, sendo também os setores com maior potencial de otimização. As simulações de substituição de tecnologias e as estimativas de economia demonstraram que ações relativamente simples, como adoção de lâmpadas LED, escolha adequada de aparelhos de ar-condicionado, podem gerar reduções expressivas no consumo da empresa.

As propostas apresentadas mostram que medidas de eficiência energética não apenas contribuem para a diminuição dos custos operacionais, mas também aumentam a confiabilidade dos sistemas e a qualidade do ambiente de

trabalho. Além disso, os resultados reforçam a importância do levantamento de carga como instrumento básico para a gestão energética de pequenas empresas. Conclui-se que a adoção das recomendações apresentadas pode proporcionar benefícios imediatos e de longo prazo, colocando o estabelecimento em um patamar de operação mais eficiente e sustentável.

A tabela III resume a economia que pode ser alcançada com as medidas propostas:

Tabela III

Síntese da Economia de Energia Obtida			
Setor	Atual (kWh/ano)	Proposto (kWh/ano)	Economia (kWh)
Climatização Loja	8.162	1.700	7.462
Climatização Depósito	1635,6	289	1.346,6
Climatização Escritórios	759,36	132,48	626,88
Iluminação Loja	4.355	850	3.505
Iluminação Depósito	622,08	279,94	342,14
Iluminação Produção	5.429	2.255	3.174
Iluminação Externa	817,6	245,28	572,32
Iluminação Banheiro	70,2	9,36	60,84
Economia Total			17.090

O conjunto das medidas propostas demonstra um potencial de redução expressivo para o porte da empresa analisada. Essa economia decorre principalmente da modernização dos sistemas de climatização e iluminação, que representam a maior parcela da demanda elétrica da instalação. Assim, o estudo evidencia que intervenções simples, de baixo custo e rápida implementação podem gerar benefícios significativos tanto em desempenho energético quanto em custos operacionais.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Lamberts, L. Dutra, F. O. R. Pereira, “Eficiência Energética na Arquitetura”, 3ª ed., Rio de Janeiro: Eletrobras/PROCEL, 2014.
- [2] A. Capelli. *Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais*, Érica, 1ª Edição, São Paulo, 2013.
- [3] GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, “Consumo perdulário faz Brasil desperdiçar 10% da energia elétrica”, SECTI – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. [Online]. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/secti/noticia/2024-05/675/consumo-perdul%C3%A1rio-faz-brasil-desperdi%C3%A7ar-10-da-energia-el%C3%A9trica/>
- [4] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA (FIESC), “Desperdício elétrico no Brasil equivale ao consumo de 20 milhões de residências.”, 2021. [Online]. Disponível em: <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/desperdicio-eletrico-no-brasil-equivale-ao-consumo-de-20-milhoes-de-residencias>
- [5] ANEEL, “ANEEL divulga relatório sobre perdas de energia elétrica na distribuição”, 2024. [Online]. Disponível: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/aneel-divulga-relatorio-sobre-perdas-de-energia-eletrica-na-distribuicao?>
- [6] PROGRAMA ENERGIF, “*Guia de Eficiência Energética em Instituições de Ensino*”. Ministério da Educação (MEC) e Ministério de Minas e Energia (MME), 1ª versão, Brasília, Brasil, 2021.
- [7] CLINIAR, “*O funcionamento de um ar-condicionado*”, 2025. [Online]. Disponível em: <https://cliniar.com/o-funcionamento-de-um-ar-condicionado/>.
- [8] CLIMATIZAÇÃO LUMERTZ, “*Inverter Reverso*”. 2015. [Online]. Disponível em: <https://climatizacaolumertz.wordpress.com/2015/04/30/inverter-reverso/>
- [9] INMETRO, “*Inmetro publica nova regra para corrigir brecha da base normativa para o cálculo da eficiência energética de condicionadores de ar*”. [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/inmetro-publica-nova-regra-para-corriger-brecha-da-base-normativa-para-o-calculo-da-eficiencia-energetica-de-condicionadores-de-ar>
- [10] MAMEDE FILHO, J., *Instalações Elétricas Industriais*, 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [11] FOX SEW, “*Motores da máquina de costura*”, 2025. [Online]. Disponível: <https://pt.foxsew.com/sewing-machine-motors/>
- [12] F. P. de Castro, *Servo motores: visão geral, controle e aplicação*. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- [13] F. R. S. Tomaschitz, *Controle e Análise da Velocidade de Servos-Motores de Manipuladores Cartesianos em uma Linha Automatizada de Estamparia*, Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.
- [14] READY STOCK, “*Servo Motor and Clutch Motor*”, 2020. [Online]. Disponível: <https://www.readystock.xyz/Servo-Motor>.
- [15] SEWS PARES, “*Motor da máquina de costura*”, 2023. [Online]. Disponível: <https://pt.sewspares.com/bl-og/news/sewing-machine-motor>.

- [16] D. E. Maldaner, *Dimensionamento de uma rede de ar comprimido industrial*. Trabalho Final de Curso, Faculdade Horizontina, 2016.
- [17] PARKER TRAINING. *Dimensionamento de Redes de Ar Comprimido*. Jacareí: Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda., 2006. Apostila M1004 BR.
- [18] ECOAIR COMPRESSORS, “*How Much MPa Is Compressed Air Generally?*”, 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.ecoaircompressors.com/archives/480.html>



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus Jaraguá do Sul – Rau

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA