UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
ALEX ALBINO FARIAS
EDSON SCHLICKMANN

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL NO RAMO DE MOLDURAS

Tubarão
2023

ALEX ALBINO FARIAS
EDSON SCHLICKMANN

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL NO RAMO DE MOLDURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Alberto Lewis Esswein Junior.

Tubarão
2023

ALEX ALBINO FARIAS
EDSON SCHLICKMANN

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL NO RAMO DE MOLDURAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 23 de junho de 2023

_____
Professor e orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior
Universidade do Sul de Santa Catarina

_____
Professor Rafael Polezi Lucas, Mestre em Engenharia Mecanica
Universidade do Sul de Santa Catarina

_____
Edson Bonin, Engenheiro Eletricista
Áurea Alimentos

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais por sempre acreditarem em nosso potencial, nos dando apoio para seguirmos em frente. Aos nossos amigos e companheiras que estiveram conosco nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pela vida, e por nos dar força para mais essa conquista.

Agradecemos também as nossas esposas, que sempre apostaram em nós pela compreensão nas horas ausentes durante todo o curso e pelo incentivo dado. Sendo neste período pessoas com quem sempre pudemos contar.

Aos nossos colegas de sala, pela amizade e pela troca de informações que muito contribuíram, para que alcançássemos juntos, o nosso objetivo de concluir o curso.

Aos nossos colegas de trabalho, que sempre nos apoiaram e dividiram suas experiências para que nossa formação se tornasse mais completa.

Ao Professor Jorge Alberto Lewis Esswein Junior pelo intenso apoio e atenção, como orientador deste TCC e, a cada disciplina que trabalhamos juntos. Passando-nos toda sua sabedoria com segurança e experiência.

A todos os professores do curdo de engenharia elétrica, por transmitirem seus conhecimentos, e compartilhar suas experiências.

A todos os colaboradores da Unisul, sempre empenhados a nos ajudar para que possamos superar nossos limites.

E a todos que de alguma forma nos ajudaram a concluir este trabalho.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista". (Aldo Novak).

RESUMO

Com o alinhamento estratégico de empresas que possuem a preservação do meio ambiente como um de seus pilares, trabalhando para que seus produtos afetem menos o meio ambiente e até mesmo contribuindo com a reciclagem de materiais, evitando o descarte inadequado, a eficiência energética em toda a linha de produção é um fator que pode contribuir para que seu produto final tenha uma característica cada vez mais correta no que tange ao meio ambiente. Tendo isso como premissa, este trabalho busca apresentar métodos que tornem o meio produtivo mais eficiente energeticamente, mantendo ou até mesmo aumentando a produtividade e adequando os parâmetros medidos para as legislações vigentes. A substituição do motor responsável pela exaustão adicionado a um controle automático de vazão, automação do sistema de ar comprimido tornando a seleção do equipamento mais eficaz para determinado período do dia assim como a substituição da iluminação por equipamentos mais eficientes que atendam a legislação e colaborem na produtividade, são itens que são abordados neste estudo de caso. Foi observado no estudo que houve itens em que se pode aumentar a eficiência energética com um retorno de investimento a curto e médio prazo e outro item com ganho na qualidade operacional.

Palavras-chave: Eficiência energética. Exaustão. Automação.

ABSTRACT

With the strategic alignment of companies that have the preservation of the environment as one of their pillars, working so that their products affect the environment less and even contributing to the recycling of materials, avoiding inappropriate disposal, energy efficiency in the entire production line is a factor that can contribute to your final product having an increasingly correct characteristic with regard to the environment. With this as a premise, this work seeks to present methods that make the productive environment more energy efficient, maintaining or even increasing productivity and adapting the measured parameters to current legislation. The replacement of the engine responsible for exhaustion added to an automatic flow control, automation of the compressed air system making the selection of the most effective equipment for a certain period of the day as well as the replacement of lighting with more efficient equipment that comply with the legislation and collaborate in the productivity, are items that are addressed in this case study. It was observed in the study that there were items in which energy efficiency can be increased with a return on investment in the short and medium term and another item with a gain in operational quality.

Keywords: Energy efficiency. Exhaustion. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de etiqueta de refrigerador 18
Figura 2: Selo Procel.....19
Figura 3: Tipos de mototores elétricos 23
Figura 4: Tensão de entrada e saída com inversor de frequencia 25
Figura 5: Ilustração de ventilação local (exaustor) 28
Figura 6: Trechos de um tubo sujeito ao escoamento de ar 29
Figura 7: Rotores de compressor parafuso 30
Figura 8: Luxímetro digital.....36
Figura 9: Desenho de produção e beneficiamento.....37
Figura 10: Lumicenter modelo LHB10-S1M850X 38
Figura 11: Distruibuição luminosa da luminária LHB10-S1M850X.....38
Figura 12: Fator de utilização Lumicenter modelo LHB10-S1M850X 39
Figura 13: Projeto de desenho instalação de luminárias.....41
Figura 14: Ilustração da proposta para variação de velocidade do exaustor 55kW ..48
Figura 15: Analisador Embrasul 7000 instaldo no compressor de 11 kW 50
Figura 16: Ilustração da proposta para automação dos compressores.....54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Potência no compressor 37 kW partida estrela-triângulo gerado pelo analisador Embrasul 7000.....50
Gráfico 2: Potência do compressor 75 kW com inversor de frequencia gerado pelo analisador Embrasul 7000.....51
Gráfico 3: Potência do compressor 11 kW com partida direta gerado pelo analisado Embrasul 7000 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidades em dutos com ar contaminado 29
Tabela 2: Fatores de manuntenção recomendados 40
Tabela 3: Indicadores de potência 42
Tabela 4: Fatores de manuntenção recomendados 43
Tabela 5: Fatores de manutenção recomendados 44
Tabela 6: Velocidade do ar e vazão das máquinas do setor de preparação 44
Tabela 6.1: Velocidade do ar com fechamento dos dutos 45
Tabela 7: Carga horária semanal das máquinas da preparação 46
Tabela 8: Retorno sobre o investimento projeto exaustor 49
Tabela 9: Retorno sobre o investimento projeto compressores 54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 JUSTIFICATIVA 15
1.2 OBJETIVO GERAL 15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
1.4 METODOLOGIA 16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO 17
2.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM E SELO PROCEL 17
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 19
2.4 ILUMINAÇÃO 20
2.4.1 Eficiência de luminárias 21
2.4.2 Lâmpadas 21
2.4.2.1 Lâmpada incandescente 21
2.4.2.2 Lâmpada fluorescente 22
2.4.2.3 Lâmpada de vapor metálico 22
2.4.2.4 Lâmpada Led 22
2.4.3 Motores elétricos 23
2.4.4 Motores de corrente alternada 24
2.4.5 Inversor de frequência 25
2.4.6 Características dos inversores de frequência por modulação de largura de pulso PWM 25
2.4.7 Rendimento do sistema 26
2.4.8 Interação entre motor e carga acionada 26
2.4.9 Fluxo de Ar (exaustor) 27
2.4.10 Perda de carga em dutos 27
2.4.11 Ventilação local ou exaustor 28
2.4.12 Escoamento do ar em dutos 29
2.4.13 Compressores de ar tipo pistão 30
2.4.14 Compressor de parafuso rotativo 31
2.4.15 Funcionamento dos compressores rotativos 31
2.4.16 Automação e controle 32
2.4.17 Automação no sistema de ar comprimido 32

3 METODOLOGIA 33
3.1 A EMPRESA 33
3.2 ESTUDO DE CASO 33
3.3 ILUMINAÇÃO 34
3.4 VENTILAÇÃO (EXAUSTÃO) 35
3.5 COMPRESSORES 35
4 DESENVOLVIMENTO 36
4.1 ILUMINAÇÃO 36
4.2 CÁLCULO LUMINTÉCNICO 37
4.3 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA 41
4.4 EXAUSTÃO 44
4.4.1 Análise de campo 44
4.4.2 Demanda de trabalho das máquinas 44
4.4.3 Análise de redução de velocidade para economia de energia 44
4.4.4 Proposta de Execução de obra 44
4.4.5 Simulação de valores 44
4.5 COMPRESSORES 49
4.5.1 Analisador de energia 44
4.5.2 Analogia de comparação dos compressores 44
4.5.3 Proposta de execução da obra 44
4.5.4 Simulação de valores 44
5 CONCLUSÃO 33
REFERÊNCIAS 56

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma fonte vital para a indústria, e com o aumento constante das máquinas e da tecnologia em processos industriais ela tem sido amplamente utilizada em todos os setores, sendo ela responsável por uma grande parcela dos custos fixos da empresa. O grande desafio que sonda a realidade da indústria é tornar os processos industriais mais produtivos e mais econômicos, isso requer uma gestão eficiente e bem elaborada visando a diminuição de perdas, seja de energia ou de eficiência na produção.

Segundo Seixas (2020, p. 8) Ao falarmos de energia, especificamente na eficiência energética, precisamos gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais, ou seja, obter o mesmo serviço com menos energia.

Com esse intuito busca-se por equipamentos mais eficientes para indústria dimensionando os equipamentos com o melhor custo-benefício possível, em algumas situações compensando até a substituição para uma futura economia.

Atualmente os equipamentos que são comercializados devem seguir a Lei n° 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, é o instrumento que determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia (elétrica, derivados de petróleo ou outros insumos energéticos) fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória.

Desta forma a indústria precisa ficar atenta as novidades que o mercado oferece para que seus maquinários e tecnologias não fiquem parados no tempo em razão de uma economia sem fundamentos.

A indústria da madeira juntamente com o ramo de moldura sofre com esse mal por deixar de investir e deixar de fazer estudos aprofundados sobre a melhor eficiência dos equipamentos que estão instalados. Atualmente a Industria de Molduras Moldurarte unidade IV encontra-se nesta situação, por se tratar de uma empresa antiga e com um grande aumento de cargas, as máquinas foram instaladas de maneira a correta do âmbito elétrico, mas visando a economia na questão de exaustão e tecnologia.

O intuito do presente trabalho é selecionar uma parcela da indústria, por se tratar de uma empresa grande, fazer um estudo visando a economia de energia

através de medições e estudo de caso de três compressores com potências diferentes, aumentar o rendimento dos exaustores, melhorar a eficiência da iluminação no pavilhão do setor de Preparação.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este estudo tem o intuito de identificar sistemas que já estão instalados e em operação na planta industrial e que tenham potencial para realização de melhorias na eficiência energética, analisando a melhor utilização dos equipamentos, melhorar a ergonomia da iluminação da empresa, além disso melhorar o rendimento na exaustão revendo os cálculos de perdas de cargas.

Com a otimização desses fatores é esperado que o resultado econômico seja positivo tanto na redução do consumo de energia com a entrada de equipamentos mais eficientes conforme a demanda industrial, como no rendimento e vida útil dos equipamentos, já que será proposto uma maneira automatizada de acionamentos para que os equipamentos trabalhem de acordo com sua capacidade nominal, sempre que possível.

Portanto o presente projeto tem o intuito de estudar maneiras mais eficientes de realizar processos operacionais em relação ao consumo de energia elétrica, realizando estudos, cálculos e medições. Atacar cargas que tenham a possibilidade de redução de consumo de energia elétrica, automatizando processos que geram economia, estudo de retorno de investimento em cargas ineficientes planejando uma troca delas, ajustando variáveis que se encontra desreguladas; verificando cargas superdimensionadas.

1.2 OBJETIVO GERAL

Destacar e aplicar métodos de rendimento em processos das cargas instaladas e eficiência energética, a fim de reduzir custos de consumo de energia elétrica e propor melhorias para indústria.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Estudar normas e padrões referentes a otimização de comportamento de carga.

b) Registrar e analisar o sistema de exaustão e ver a possibilidade de melhorar a eficiência energética do sistema.

c) Estudar oscilações de vasão de ar da indústria ao longo do dia propondo automatizar o acionamento de cada compressor de acordo com as suas características e potências, visando assim economia de energia.

d) Realizar análise luminotécnica com o objetivo de aproveitar a luz natural e utilização de luminárias mais eficientes para o parque fabril.

1.4 METODOLOGIA

O estudo de caso foi a metodologia adotada para a elaboração do trabalho, pois o objetivo é realizar uma pesquisa em uma planta real, com um problema específico, que é a melhoria na eficiência energética em três seguimentos, iluminação, exaustão e pressurização, propondo soluções e melhorias em seus sistemas, com o objetivo de reduzir os custos de operação.

O estudo luminotécnico das condições atuais da empresa será a primeira etapa a ser desenvolvida, logo após, será proposto melhorias em relação ao aproveitamento de luz natural e/ou uma maior eficiências das luminárias instaladas.

A segunda parte do estudo será a análise ponto a ponto do sistema de exaustão existente na indústria e verificar o seu dimensionamento, propondo, caso seja necessário, uma otimização de seção dos dutos e instalação de motores mais eficientes ou até mesmo inversores de frequência.

Por último, o os pontos de demanda de pressão da indústria serão mapeados com o objetivo de propor um sistema de automação para os compressores, para um acionamento mais eficiente do conjunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O setor elétrico brasileiro que teve início no século XX até chegar ao modelo atual passou por muitas transformações, que determina as regras a serem seguidas para as empresas que atuam nesse segmento.

Segundo Ferreira (2020). Um importante marco para a definição do atual modelo do setor elétrico foi o programa de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB), instituído na década de 1990.

Na década de 90, muitas regras foram modificadas com o objetivo de remodelar o setor elétrico, as quais permanecem até hoje, definindo a maneira como as empresas devem manter e operar o sistema. Inicialmente, as empresas, que eram verticalizadas, foram desmembradas em distribuidoras, transmissoras e geradoras, sendo criada ainda uma quarta categoria, as comercializadoras. O setor elétrico é composto por diversas entidades que regulamenta, fiscaliza e opera o setor.

A entidade responsável pela fiscalização do serviço prestado pelas distribuidoras atuantes e pelas geradoras no setor elétrico é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criada em 1996. Embora alguns estados possuam agências locais, encarregadas de auxiliá-la na fiscalização.

As atribuições da Aneel, têm a função de proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre as empresas do setor elétrico e em benefício da sociedade.

O mercado de energia elétrica controla e viabiliza as transações das geradoras e distribuidoras do sistema interligado nacionalmente, possibilitando que o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) forneça todas as informações sobre a energia que circula pelo sistema elétrico brasileiro.

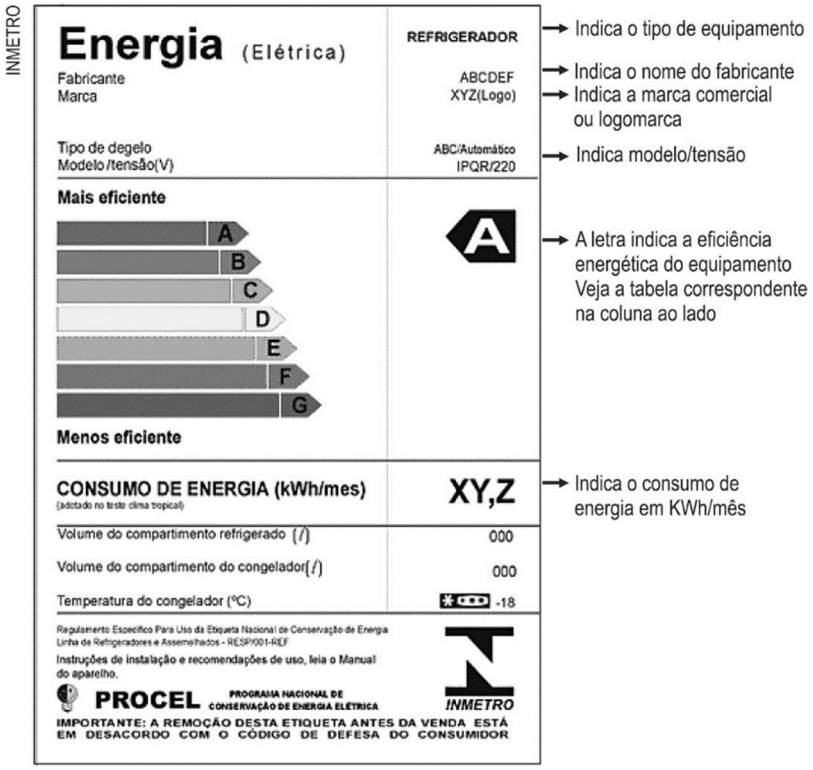
2.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM E SELO PROCEL

O consumidor que pretende adquirir um equipamento elétrico nem sempre dispõe de condições para avaliar a eficiência do produto, considerando o consumo de energia elétrica, uma vez que essa informação somente é obtida após a

realização de uma série de ensaios, que necessitam de equipamentos e metodologia apropriados.

Com o objetivo de prestar suporte ao consumidor quanto à eficiência energética de um produto, em 1984 foi assinado um protocolo entre o Ministério da Indústria e Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), com a interveniência do Ministério de Minas e Energia, que instituiu o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Após a avaliação, cada produto recebe uma etiqueta que apresenta o nível de eficiência atribuído similar ao modelo mostrado na Figura 1.

Figura 1: Exemplo de etiqueta de refrigerador



Fonte: Ferreira (2020).

Com o objetivo de incentivar os fabricantes a desenvolverem produtos cada vez mais eficientes, em 1993 foi criado o selo Procel, que premia o produto com o melhor nível de eficiência energética dentro de sua categoria.

Figura 2: Selo Procel

Fonte: Procel (2020).

O vencedor de cada categoria pode ostentar um selo, similar ao apresentado na Figura 2, durante um ano, periodicidade em que é realizada cada edição dessa premiação. Esse selo orienta o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, proporcionando maior economia na conta de energia elétrica. (Ferreira, 2020, pg 11)

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A busca pelo desenvolvimento sustentável vem sendo alvo de inúmeros estudos, a migração gradativa de fontes de energias fósseis para energias renováveis vem sendo amplamente difundida e incentivada em diversos países, porém, ainda não é uma matriz energética que possa atender toda a demanda exigida pela humanidade. Portanto, além de desenvolver novas fontes de transformação de energia renováveis é imprescindível que se torne o consumo dessa energia mais eficiente, fazendo o mesmo trabalho com a necessidade de menos energia.

Conforme Moreira (2022, p. 395):

> Podem-se definir como ações de eficiência energética toda e qualquer ação que promova a redução do consumo de energia, mantendo-se o mesmo

> nível de serviço prestado. Pode-se afirmar que as ações para o aumento da eficiência energética promovem aumentos na razão entre o nível de energia produzida e o nível de energia consumida. Essas ações de eficiência energética concentram-se normalmente nos estágios de operação e manutenção de sistemas e podem promover, em conjunto com a redução de consumo dos insumos (energia, água, gás etc.), reduções nos custos de operação e/ou manutenção (menos reparos e aumento da eficiência dos sistemas e/ou equipamentos). As ações para melhoria da eficiência energética podem resultar também em aumentos de lucratividade associados à melhoria da qualidade e da confiabilidade dos processos.

Além da sustentabilidade que trará retorno a longo prazo, a implementação de ações que visam promover o melhor aproveitamento da energia pode trazer benefícios econômicos de forma imediata.

Conforme Roméro (2012, p. 104):

> O potencial de eficiência energética no setor industrial é bastante significativo e diverso: significativo, porque este setor é o que mais consome energia no Brasil, tanto do ponto de vista do consumo, totalizando todas as fontes, como do ponto de vista da eletricidade; diverso, porque nele as possibilidades vão além das reduções de eficientização nos usos finais como equipamentos, iluminação e ventilação industrial, e as perdas estendem-se para possibilidades na contratação da demanda, no enquadramento tarifário, na energia reativa e também no gerenciamento dos transformadores

2.4 ILUMINAÇÃO

No ambiente de trabalho, uma boa iluminação precisa seguir uma gama de regras para satisfazer as necessidades visuais dos trabalhadores, tendo em vista fatores como nível de iluminação, uniformidade e ofuscamento. São necessários, dessa forma, atingir diversos parâmetros para a manutenção da saúde dos trabalhadores e a elevação do seu nível de desempenho (KOVALECHEN, 2012).

Os trabalhadores devem dispor de ambientes iluminados adequadamente, seja por fonte natural ou artificial, geral ou suplementar que não causem ofuscamento, reflexos, ou quaisquer incômodos excessivos (NR17).

A eficiência energética aplicada a iluminação não se trata apenas de substituição de lâmpadas com baixa eficiência luminosa por lâmpadas mais eficientes. Essa substituição, geralmente é necessária, porém existem outros fatores que contribuem para a redução de eficiência do sistema, como a iluminação em excesso, a falta de automatização de acionamento e a falta de aproveitamento da iluminação natural.

2.4.1 Eficiência de luminárias

Para Araújo et al. (2022), as luminárias são aparelhos destinados à fixação das lâmpadas, devendo apresentar as seguintes características básicas: modificar o fluxo luminoso da fonte de luz, facilitar a instalação e posterior manutenção, serem agradáveis ao observador e ainda podem conter espaço para alojamento de acessórios das lâmpadas, como por exemplo os reatores. Cada tipo de lâmpada e potência requer aplicação de luminárias específicas.

As lâmpadas diferem entre si não apenas pelas potências consumidas, mas também pelo fluxo luminoso, que é o fator que deve ser analisado quando é realizado uma comparação de diferentes lâmpadas, sejam elas de tecnologias distintas ou até mesmo do mesmo modelo, porém com características diferentes.

2.4.2 Lâmpadas

Para Barros et al. (2015), as lâmpadas são componentes de fundamental importância no sistema de iluminação. Devem ser escolhidas em função das características do ambiente e local e ainda do tipo de atividade, entre outros. A iluminância e a fidelidade de reprodução de cores constituem exemplos das características das lâmpadas que devem ser observadas.

2.4.2.1 Lâmpada incandescente

De acordo com Fonseca, (2014) São as lâmpadas mais antigas, apresentam luz amarela e permite a reprodução de cores. As principais partes de uma lâmpada de incandescência são o filamento, o bulbo, o gás de enchimento e a base. Quanto maior for a temperatura do filamento, maior será a proporção de energia radiada na região visível do espectro assim como será maior o rendimento da lâmpada.

Por serem de baixa eficiência (gastam muita energia para produzir muito calor e pouca luz - apenas 5% da energia elétrica consumida é transformada em luz, o restante é transformado em calor), estão sendo substituídas pelas lâmpadas fluorescentes. Seu custo é baixo, mas sua vida útil também, cerca de 1.000 h.

2.4.2.2 Lâmpada fluorescente

Para Fonseca (2014), A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão. O gás utilizado para encher o tubo inclui um gás inerte, que arranca com facilidade e controla a descarga, e uma pequena quantidade de mercúrio, cujo vapor produz radiação violeta quando excitado. Podem ser conseguidas diferentes aparências de cor (branco quente, branco neutro, branco luz do dia e colorida) com a utilização de materiais fluorescentes apropriados. A luz é predominantemente difusa tornando-se a mais adequada para uma iluminação uniforme de maiores áreas.

As lâmpadas fluorescentes compactas possuem rendimento luminoso cinco vezes superior ao das lâmpadas incandescentes e vida média cerca de dez vezes superior.

O custo destas lâmpadas é superior aos das lâmpadas de incandescência, mas a economia alcançada (considerando o seu rendimento e a duração de vida) amortiza rapidamente o custo inicial mais elevado. Atualmente, ela perde apenas para a lâmpada de LED (Light Emitting Diode, que significa diodo emissor de luz).

2.4.2.3 Lâmpada de vapor metálico

Segundo Mattede (2022), as lâmpadas de vapor metálico, por possuírem um excelente fluxo luminoso, são indicadas para aplicações em áreas de pátios e estacionamentos, também são utilizadas para iluminação pública e áreas abertas, além de quadras esportivas, campos de futebol e galpões destinados à exposição ou em áreas onde-se requer uma excelente resolução de imagem.

Sua aplicação também é muito utilizada em áreas indústrias, onde é necessário um controle visual de produção para garantir a qualidade, essas lâmpadas de vapor metálico proporcionam uma visão mais detalhada dos objetos através do fluxo luminoso de excelente reprodução de cores.

2.4.2.4 Lâmpada Led

Lâmpadas LED (Light Emitting Diode, em inglês, ou diodo emissor de luz) são consideradas as lâmpadas mais modernas - produto de última tecnologia. Você

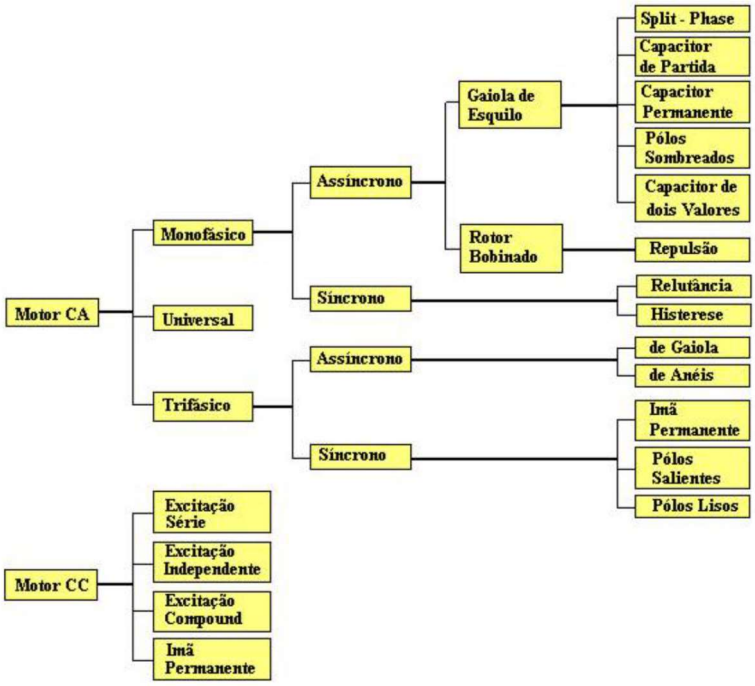
provavelmente já viu lanternas de LED, o “flash” de LED das câmeras dos celulares e as luzinhas de LED dos equipamentos eletrônicos. Mas lâmpadas de LED para serem utilizadas em luminárias e nos soquetes de luz da sua casa demoraram a chegar, principalmente em virtude de seu preço elevado: seus circuitos eletrônicos e recursos para reduzir a emissão de calor fizeram com que elas ficassem muito caras, muito mais caras do que outros tipos de lâmpadas. Convertem energia elétrica diretamente em energia luminosa, por meio de pequenos chips. Ao contrário dos produtos de iluminação por filamento, a irradiação térmica das lâmpadas LED é muito baixo. Existe aquecimento gerado pelo circuito eletrônico e pelos semicondutores, e por isso se explica o bulbo em alumínio em forma de dissipador.

2.4.3 Motores elétricos

Motor elétrico é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica.

O motor de indução CA (corrente alternada) é o mais usado de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica com baixo custo, facilidade de transporte, limpeza, simplicidade de comando com sua construção simples e grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. Os tipos mais comuns de motores elétricos são:

Figura 3: Tipos de motores elétricos



Fonte: Weg (2016, p. 111).

Os motores CC (corrente contínua) são motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em corrente contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estás exigências compensam o custo muito mais alto da instalação e da manutenção.

2.4.4 Motores de corrente alternada

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são: Motor síncrono: funciona com velocidade fixa, ou seja, sem interferência do escorregamento; utilizado normalmente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores). Motor de indução: funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente, é possível o controle da velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

2.4.5 Inversor de frequência

A utilização de inversores frequência atualmente compreende o método mais eficiente para controlar a velocidade dos motores de indução. Os inversores transformam a tensão da rede, de amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Variando-se a frequência da tensão de alimentação, varia-se também a velocidade do campo girante e consequentemente a velocidade mecânica de rotação o da máquina. O torque desenvolvido pelo motor de indução segue a equação:

$$T = k_1 . \emptyset_m . I_2$$

E o seu fluxo magnetizante, desprezando-se a queda de tensão ocasionada pela resistência e pela reatância dos enrolamentos estatóricos, vale:

$$\emptyset_m = k_2 . \frac{V_1}{f_1}$$

Onde:

T : torque ou conjugado disponível na ponta do eixo (N.m)

$\emptyset_m$: fluxo de magnetização (Wb)

I_2 :corrente rotórica (A) → depende da carga

V_1 : tensão estatórica (V)

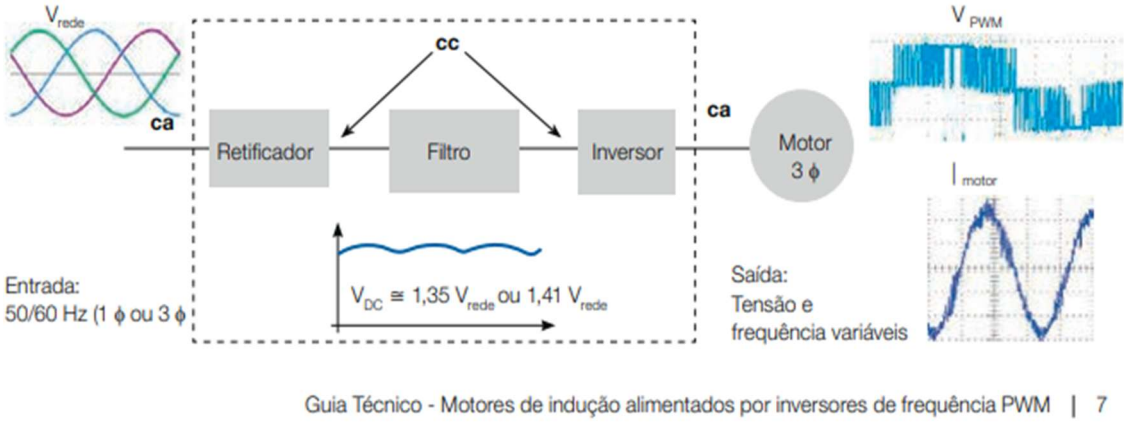
$k_1 e\ k_2$: constante → depende do material de projeto da máquina.

WEG, (2016, p. 05)

2.4.6 Características dos inversores de frequência por modulação de largura de pulso PWM

Inversores estáticos indiretos de frequência com tensão imposta PWM (Pulse Width Modulation) refere-se ao conceito de pulsar rapidamente um sinal, são atualmente os equipamentos mais empregados para a alimentação de motores de baixa tensão nas aplicações industriais que requerem variação de velocidade. Eles operam como uma interface entre a fonte de energia (rede) e o motor de indução.

Figura 4: Tensão de entrada e saída com inversor de frequência.



Fonte: Weg (2016, p. 7).

2.4.7 Rendimento do sistema

Segundo WEG, (2016), o rendimento global do sistema de potência depende não apenas do motor, mas também do controle. Os inversores estáticos de frequência apresentam rendimento elevado, da ordem de 97% ou mais. Motores elétricos também apresentam alto rendimento, chegando a 95% ou mais em máquinas maiores operando sob condições nominais. Na variação eletrônica de velocidade a potência fornecida pelo motor varia de maneira otimizada, influenciando diretamente a potência consumida e conduzindo a elevados índices de rendimento do sistema (motor + inversor).

2.4.8 Interação entre motor e carga acionada

Tipos de carga. O correto dimensionamento do sistema de velocidade variável depende do conhecimento do comportamento da carga, ou seja, da demanda de torque na ponta de eixo do motor. As cargas podem ser classificadas em três tipos: torque variável (bombas centrífugas, exaustores centrífugos, ventiladores, compressores centrífugos), torque constante e potência constante.

A variação da velocidade por meio de acionamento eletrônico permite grandes economias de energia com esse tipo de carga, uma vez que a potência mecânica disponibilizada na saída do motor não será constante, mas variará convenientemente de acordo com a exigência da carga. WEG (2016, p.25)

Conceitos básicos de Pressão e Vazão

Para Bistafa, (pg 40) a pressão é uma grandeza escalar que pode ser medida em relação a qualquer referência arbitrária. Duas referências são adotadas na medida de pressões: o vácuo absoluto e a pressão atmosférica local, indicada por $\rho_{atm.local}$. Definem-se então: pressão absoluta – aquela que tem como referência (valor zero) o vácuo absoluto (abrevia-se ρ_{abs}); pressão relativa (ou efetiva) – aquela que tem como referência (valor zero) a pressão atmosférica local (abrevia-se ρ_{rel}).

$\rho_{abs} = \rho_{atm.local} + \rho_{rel}$

Define-se fluxo de volume ou vazão em volume ou simplesmente vazão, símbolo Q, o volume de fluido que atravessa a seção do escoamento na unidade de tempo.

2.4.9 Fluxo de Ar (exaustor)

O escoamento em dutos são os responsáveis pelo transporte de fluídos desde os primórdios da civilização. No passado, os dutos eram essencialmente utilizados no transporte de água. Atualmente os dutos são utilizados no transporte de líquidos e gases dos mais diversos tipos e em várias situações. Quando os dutos são acoplados a mecanismos de bombeamento adequados, formam um sistema que conhecido como escoamento forçado de dutos.

Do ponto de vista da Mecânica dos Fluidos, o tema central de interesse são as características do escoamento dos fluidos no interior de dutos e, em razão de sua importância, o cálculo da perda de carga, pois dela depende o projeto e dimensionamento das instalações de transporte de fluidos. Bistafa, (2017, pg 182)

2.4.10 Perda de carga em dutos

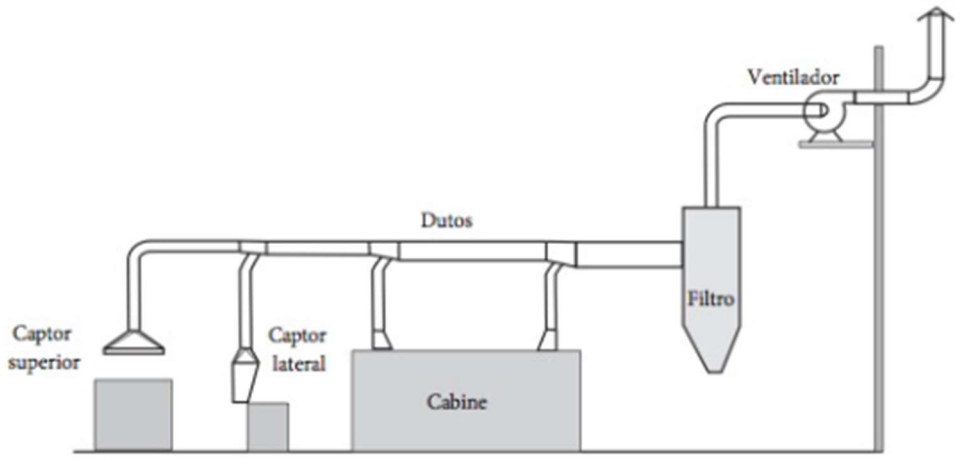
Segundo Bistafa, (2017). A perda de carga é a perda de energia por atrito viscoso/turbulento que ocorre entre duas seções de escoamento de um tubo de corrente. A perda de carga em tubo de corrente no interior de dutos compreende as perdas de carga distribuídas que ocorrem nos trechos cilíndricos longos do duto e as perdas de carga localizadas (ou singulares) que ocorrem nas descontinuidades dos

trechos cilíndricos longos do duto, como, por exemplo, mudanças de direção e de seção, presença de válvulas, captação e descarga em reservatórios.

2.4.11 Ventilação local ou exaustor

A ventilação local ou exaustor visa coletar e remover os contaminantes ou resíduos exatamente nos locais em que são gerados, evitando que se espalhem pelo recinto. Para isso existe um captor junto as fontes geradoras de contaminantes. Uma corrente de ar do recinto para o captor arrasta essas substâncias para o interior de dutos. Normalmente, antes do lançamento para a atmosfera esse ar contaminado passa por um processo de limpeza para a retirada dos contaminantes. O ventilador cuida de fornecer energia para a movimentação do fluxo de ar. O descarte para a atmosfera é feito através da chaminé.

Figura 5 – Ilustração de ventilação local (exaustor).



Fonte: Eugênio (2015, pág. 123)

No sistema de exaustão é comum encontrar captores externos, superior (coifa) e lateral. Também existem captores externos inferiores. Outro tipo de captor muito utilizado na indústria é do tipo cabine. O dimensionamento de captores para nossas aplicações na Moldurarte normalmente é dimensionado pelo fornecedor da máquina ou já vem junto a máquina adquirida.

Conforme Eugênio (2015), de forma muita resumida pode-se afirmar que para o dimensionamento dos captores é preciso estabelecer uma velocidade de captura.

Essa velocidade depende da velocidade de emissão e da toxicidade do poluente, das condições do ar ambiente, da geometria do captor e de seu posicionamento em relação à fonte de poluição.

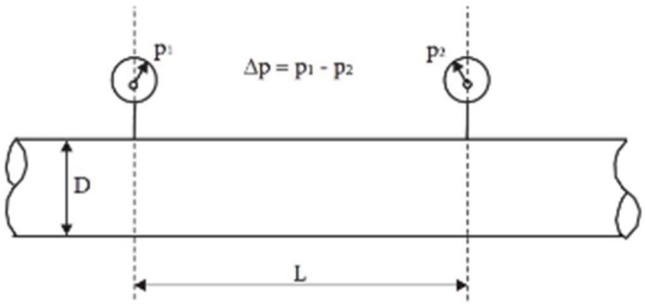
O dispositivo de limpeza pode estar posicionado antes do ventilador, na aspiração, ou depois dele, no insuflamento (pressão positiva). Esses dispositivos dependem da substância poluente usada, e podem ser dos seguintes tipos: filtros convencionais, filtros de mangas, ciclones entre outros.

2.4.12 Escoamento do ar em dutos

As máquinas empregadas para a movimentação de ar e gases são os ventiladores, sopradores e compressores. A relação entre as pressões de saída e entrada ps/pe serve para classificação dessas máquinas.

Para o cálculo dessas instalações, aplica-se a equação de Bernoulli generalizada, a equação de Darcy-Weisbach e equações para determinação do fator de atrito a rotina de cálculo é a mesma aplicada para as instalações de bombeamento.

Figura 6: Trecho de um tubo sujeito ao escoamento de ar.



Fonte: Eugênio (2015, pág. 125)

Para a exaustão as velocidades nos dutos podem ter como orientação os dados da tabela abaixo.

Tabela 1 – Velocidades em dutos com ar contaminado

Contaminante	v [m/s]
Gases e vapores	5,0
Fuligem	7,0
Poeiras leves (serragem e pó de plástico)	10,0
Poeiras médias (pó de moagem)	15,0
Poeiras pesadas (pó de chumbo e lixo)	25,0

Fonte: Adaptado de Macintyre, (1990)

Segundo Eugênio, (2015), existe muitos acessórios empregados nas instalações de ventilação diluidora e exautora. Para a elaboração de projetos, é preciso recorrer a catálogos de fabricantes ou manuais especializados para obtenção da velocidade em m/s.

2.4.13 Compressores de ar tipo pistão

Este tipo de compressor de ar usa um pistão ou êmbolo, que se move dentro de um cilindro, para comprimir o ar. Normalmente o pistão se move para frente e para trás. Dois conjuntos de válvulas cuidam da entrada e da exaustão do ar. Os compressores de pistão já são disponibilizados lubrificados e isentos de óleo e, na maioria das vezes, com dois cilindros em forma de 'V'. O compressor de pistão comercialmente disponível varia de 1 HP a cerca de 30 HP. Eles são muito usados para aplicações de uso geral, onde requer menor fluxo de ar.

Vantagens são: relativamente barato, fácil manutenção, adequado para altas pressões.

Desvantagens são: muito barulhento, alta temperatura de saída de ar comprimido, alto teor de óleo na tubulação de ar.

2.4.14 Compressor de parafuso rotativo

Existem dois tipos básicos de compressores de parafuso rotativos, injetados com óleo e sem óleo. O tipo injetado com óleo é o mais comum, porque tem um preço mais acessível. Ele usa dois rotores (parafusos helicoidais para comprimir o ar. Os rotores têm um formato muito especial e giram em direções opostas com pouquíssima folga entre eles. O ar sugado em uma extremidade fica preso entre os rotores e é empurrado para o outro lado dos rotores onde fica o ar comprimido

Figura 7 – Rotores do compressor parafuso

Fonte: Intermach (2022).

Vantagens: baixo nível de ruído, são robustos e podem fornecer uma grande quantidade de ar comprimido, boa eficiência energética em comparação com compressores do tipo pistão, temperatura final relativamente baixa do ar comprimido.

Desvantagens: preço de compra é alto comparados aos de pistão, design mais complexo, importante a manutenção periódica, uso mínimo de ar por dia é necessário para evitar a formação de condensação de água.

2.4.15 Funcionamento dos compressores rotativos

Os compressores rotativos comprimem o ar usando dois elementos espirais. Um é estacionário e o outro se move em pequenos círculos excêntricos dentro da outra espiral. O ar fica preso e, devido à forma como as espirais se movem, é transportado em pequenas bolsas de ar para o centro da espiral. Normalmente são usados em locais onde é necessária uma pequena quantidade de ar comprimido

limpo e livre de óleo como; instalações de tratamento de água potável, fábricas ou laboratórios especializados. É um compressor silencioso e compacto, mas com baixa capacidade de vazão, não é adequado para indústria.

2.4.16 Automação e controle

O controle automático é fundamental no avanço da engenharia e da ciência. Muito importante em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos etc. é muito utilizado na indústria em seus processos de produção. Com o avanço dos sistemas de controle os sistemas estão cada vez mais ajustados tendo um controle ótimo, assim diminuir os esforços de trabalhos manuais de várias operações (OGATA, 2003, p. 1).

2.4.17 Automação no sistema de ar comprimido

Segundo Ecco fluxo o ar comprimido é uma das fontes mais caras de energia em uma planta industrial. No entanto são diversas as formas de utilização errada causando uma despesa alta na conta de energia elétrica.

Existem ferramentas de auditoria que permitem identificar para cada empresa a real economia e melhoria de eficiência nos sistemas de ar comprimido, com um sistema de monitoramento e gerenciamento de ar comprimido através de um software isso pode ser possível, impactando em melhor eficiência energética.

3 METODOLOGIA

3.1 A EMPRESA

Em 1942 na cidade de Braço do Norte no estado de Santa Catarina, foi fundada a Fábrica de Espelhos Santa Luzia, pelo patriarca da família Sr. João Effting. Em 10 de agosto de 1961 sob o comando do Sr. Heriberto Effting foi fundada a Indústria de Molduras Moldurarte com o objetivo de produzir também as molduras que serviriam como adorno aos espelhos produzidos pela Santa Luzia, com toda sua produção voltada somente ao mercado da cidade de São Paulo.

A empresa hoje se destaca e é referência em inovação e lançamento de tendências já consolidada e com presença muito forte em todos os estados brasileiros, em 1979 ingressou no mercado internacional e hoje exporta para mais de 20 países em todos os continentes.

O complexo industrial conta com três plantas, duas na cidade de Braço do Norte e uma na cidade de São Ludgero, com cerca de 40.000 m² de área total construída, com capacidade produtiva de 16 milhões de metros lineares/ano, produzido por aproximadamente 400 colaboradores, sendo uma das maiores produtoras mundiais de molduras e a maior da América Latina.

3.2 ESTUDO DE CASO

Aproveitando a oportunidade com consentimento dos responsáveis pela empresa pretendemos aplicar o planejamento e execução dos procedimentos para construir um trabalho de uma unidade: Estudo de Caso. Nessa estratégia o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos, agindo como um observador e baseado em fontes teóricas para propor e questionar o direcionamento do estudo.

De acordo com Martins, (2008), as técnicas de levantamento de dados e evidências: Observação, Observação Participante, Entrevista, Focus Grou, Análise de Conteúdo, Questionário e Escalas Sociais e de Atitudes, Pesquisa Documental e Registros em Arquivos, Pesquisa-Ação, Pesquisa Etnográfica e Análise do Discurso.

Um planejamento detalhado baseado nos referenciais teóricos e delimitado nos objetivos específicos do estudo deve ser elaborado antes do trabalho de campo

para que os resultados sejam parametrizados, assim dando confiabilidade e padronização dos dados coletados.

Ainda segundo Martins, (2008), de maneira geral, o procedimento para construção e um instrumento para coleta de dados e informações deve atender aos seguintes passos:

a) listar as variáveis que se pretende medir ou descrever;

b) revisar o significado e a definição conceitual de cada variável listada;

c) revisar como, operacionalmente, cada variável foi definida. Isto é, como será medida, ou descrita;

d) escolher uma técnica e iniciar a construção do instrumento de coleta de dados.

3.3 ILUMINAÇÃO

Apesar de a iluminação não figurar entre as maiores fatias no gráfico de consumo de uma indústria que trabalha majoritariamente no período diurno ela tem influência direta na questão ergonômica do trabalho. O que indiretamente pode aumentar os custos com a queda de produtividade de colaboradores e até mesmo impedindo a visualização de possíveis falhas na linha de produção.

Com o auxílio de um luxímetro será medido a luminosidade média em diferentes períodos do dia no setor de preparação e beneficiamento, setor que concentra o maior número de trabalhadores, com o objetivo obter a luminosidade no plano de trabalho e, por fim, comparar com o recomendado pelas normas técnicas. Será feito o levantamento em diferentes horários do dia pois o setor conta com telhas translúcidas, o que pode afetar no resultado durante as fases do dia.

Com os dados compilados poderemos verificar a necessidade de implementação de soluções mais eficientes energeticamente que possam contribuir com a economia final de energia elétrica e que também venham a cooperar com a melhora na ergonomia e qualidade do trabalho.

3.4 VENTILAÇÃO (EXAUSTÃO)

Um sistema de exaustão por tubos é um sistema complexo e com muitas variáveis, tendo que ser projetado de forma correta para que o sistema tenha um bom rendimento, na indústria Moldurarte este sistema já está dimensionado por um projeto antigo, e com algumas alterações que foram feitas ao longo dos anos, com instalação de novas máquinas e mudanças de layout. Ao longo deste estudo vamos trabalhar buscando maior eficiência no sistema de exaustão do setor de Preparação. Para analisarmos a eficiência na rede de exaustão existente, vamos trabalhar fazendo algumas medições em campo:

- Medir a velocidade do ar no exaustor observando a Tabela 1: Velocidades em dutos com ar contaminado.
- Medir o diâmetro dos dutos para saber a vazão;

Nesta análise precisamos alguns instrumentos de medição, o que usaremos no momento será o multímetro e o anemômetro.

3.5 COMPRESSORES

Os compressores de ar são responsáveis por uma parcela significativa no consumo de energia elétrica da fábrica. Na empresa temos três compressores de potências diferentes:

- Um compressor de 75 kW (100 cv) parafuso com inversor de frequência
- Um compressor de 37 kW (50 cv) parafuso partida estrela-triangulo
- Um compressor de 11 kW (15 cv) pistão partida direta.

Os três compressores trabalham individualmente e conforme a necessidade da empresa eles são ligados e desligados manualmente.

Com o intuito de saber qual compressor deve ser ligado nos diferentes horários de trabalho e demanda da empresa, vamos fazer um estudo de consumo de energia elétrica e demanda dos compressores, com um analisador de energia, comparar os resultados, e por fim avaliar se a necessidade de melhorias na gestão dos compressores, com métodos mais modernos que inclui automação elétrica.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 ILUMINAÇÃO

Atualmente o galpão de aproximadamente 1770 m² é iluminado artificialmente por 102 luminárias de sobrepor suspensas a uma altura de cerca de 5 metros de altura, cada conjunto de luminárias conta com duas lâmpadas tubulares fluorescentes de 110cm e 40 W cada. As luminárias são consideradas de baixo desempenho, pois não possuem aletas parabólicas ou refletores que aumentem o rendimento do conjunto.

A NBR 8995-1:2013 não traz um nível de iluminamento específico para indústria moldureira, contudo seguindo uma referência de indústrias com o mesmo requisito de iluminamento a iluminância mínima para o ambiente seria de 500 lux sendo que o trabalho desenvolvido no setor não requer uma precisão visual tão grande, porém é necessária uma boa iluminação para o desempenho das funções.

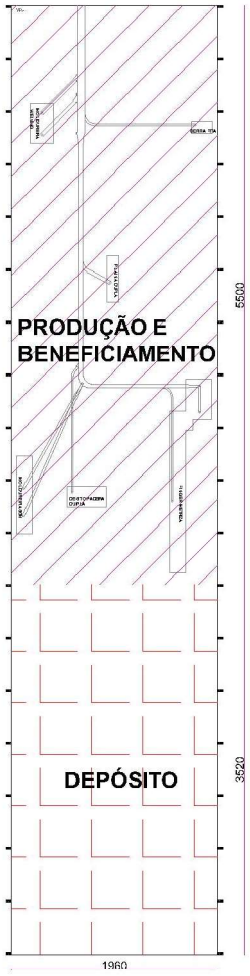
Realizamos vistoria no local em uma tarde do mês de março de 2023 com o tempo ensolarado e podemos observar que o nível de iluminamento do ambiente é inferior ao requerido em norma, menos de 200 lux. Para que o ambiente se torne salubre aos colaboradores será dimensionado um sistema de iluminação adequado que atenda ao iluminamento previsto em norma.

Figura 8: Luxímetro digital

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Também observamos que o galpão é iluminado uniformemente, contudo é separado em duas áreas, uma de produção e beneficiamento da madeira e outro de depósito onde as molduras são guardadas até que sejam encaminhadas até a próxima etapa de beneficiamento, dessa forma podemos separar o nível de iluminamento requerido, sendo que para o depósito podemos reduzir o iluminamento para 200 lux.

Figura 9: Desenho de produção e beneficiamento



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.2 CÁLCULO LUMINTÉCNICO

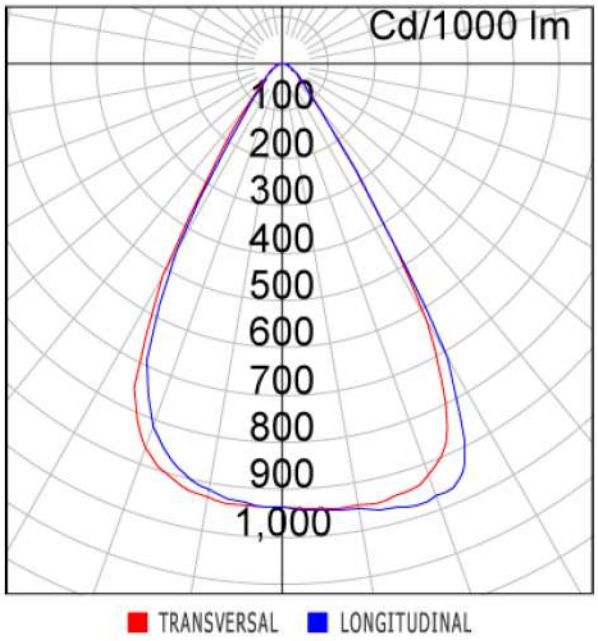
A primeira etapa do cálculo luminotécnico é a definição de qual luminária será utilizada no projeto, a escolha se dá com base no fluxo luminoso, eficácia e altura ideal de trabalho. Optamos por projetar uma luminária pequena para que possa

haver uma maior mobilidade e que possam ser utilizadas as infraestruturas existentes, desta forma reduzindo os custos de implementação.

Figura 10: Lumicenter modelo LHB10-S1M850X

Fonte: Lumicenter, 2023.

Figura 11: Distribuição luminosa da luminária LHB10-S1M850X



Fonte: Lumicenter, 2023.

Para determinação da quantidade de luminárias necessárias para atingir o iluminamento necessário em cada área do galpão será utilizado o método dos lúmens que considera a quantidade total de fluxo luminoso necessário com base no

tipo de atividade desenvolvida em cada ambiente, nas refletâncias das superfícies e nos tipos de equipamentos (luminárias, lâmpadas e equipamentos) escolhidos.

Índice do Recinto (K), é uma relação clássica entre as dimensões do local e é dada por:

K = (a.b)/(h.(a+b)) para iluminação direta

Sendo:

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé direito útil

K(produção) = (55x19,60)/(4x(55+19,6))

K(produção) = 3,61

K(depósito) = (35,2x19,60)/(4x(35,2+19,6))

K(produção) = 3,15

Fator de Utilização (U) é dado na tabela fornecida pelo fabricante da luminária e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado no cálculo, levando em consideração o índice de recinto e as refletâncias. Os valores para o galpão estão entre 75 e 81% conforme tabela do fabricante.

Figura 12 - Fator de utilização Lumicenter modelo LHB10-S1M850X

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	**Fator de Utilização (%)**									
0	116	116	116	111	111	111	106	106	106	100
1	107	105	103	103	101	99	99	98	96	92
2	100	96	92	96	93	90	93	91	88	85
3	93	88	84	90	86	83	88	84	81	78
4	86	81	77	84	80	76	82	78	75	73
5	81	75	71	79	74	70	77	73	70	68
6	76	70	66	74	69	65	73	68	65	63
7	71	65	61	70	65	61	69	64	61	59
8	67	61	57	66	61	57	65	60	57	55
9	63	58	54	62	57	53	62	57	53	52
10	60	54	50	59	54	50	58	54	50	49

Fonte: Manual de utilização Lumicenter.

Fator de Manutenção ou depreciação é o fator que indica o grau de conservação de uma instalação, para o nosso caso consideramos um ambiente normal com uma manutenção a cada 2500 horas.

Tabela 2 - Fatores de manutenção recomendados

AMBIENTE	2.500h	5.000h	7.500h
LIMPO	0,95	0,91	0,88
NORMAL	0,91	0,85	0,80
SUJO	0,80	0,66	0,57

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Com os dados dos ambientes e da luminária que será utilizada podemos determinar o número de luminárias necessárias para cada ambiente com a seguinte formula:

N=(Emed x A)/(n x φn x U x FM)

Em que:

N: número necessário de luminárias

Emed: iluminância média (lux)

A: área do ambiente (m2)

n: número de lâmpadas em cada luminária

φn : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm)

U: fator de utilização

FM: fator de manutenção

Nprodução = (500 x (55x19, 60))/(1 x 8960 x 0,79 x 0,91)

Nprodução = 83,68 luminárias

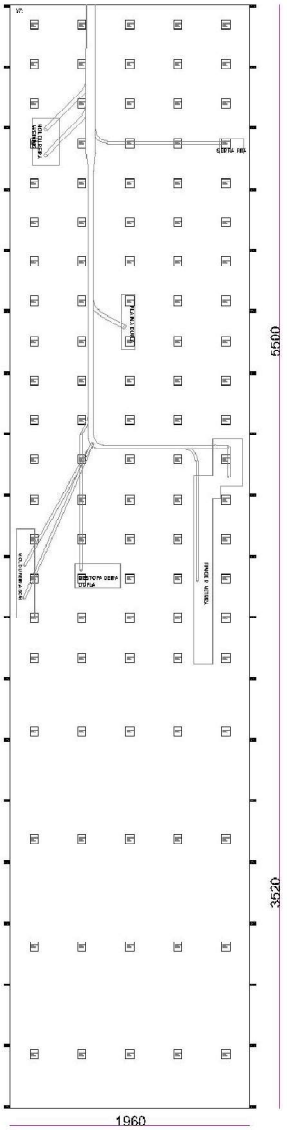
Adotado 85 luminárias

Ndepósito = (200 x (35,20x19, 60))/(1 x 8960 x 0,80 x 0,91)

Ndepósito = 19,25 luminárias

Adotado 20 luminárias

Figura 13: Projeto de desenho instalação de luminárias



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.3 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

Com a setorização do galpão mantivemos o fluxo luminoso de 200 lux na área de depósito com as luminárias LED que são mais eficientes energeticamente e aumentamos o fluxo na área de produção procurando atender o que exige as normas técnicas e deixando um ambiente salubre aos colaboradores com 500 lux no plano de trabalho. De acordo com o método dos lúmens demonstrado no subitem anterior será necessário a instalação de 105 luminárias Lumicenter modelo LHB10-S1M850X de 75 W de potência cada unidade.

Tabela 3: Indicadores de potência

Indicador	Luminárias 2 lâmpadas tubulares fluorescentes	Lumicenter modelo LHB10-S1M850X
Custo Unitário	0,48	
Horas de Operação/ano	3380	
kWh médio consumido	8,160	9,450
Consumo anual (kWh)	27.581	31.941
Acréscimo de energia (%)	14%	
Acréscimo de energia (kWh/ano)	4.360	
Acréscimo de energia (R$/ano)	R$2.092,90	
Investimento	R$47.250,00	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Observamos que para atingirmos o nível de fluxo luminoso necessário para os ambientes houve um aumento de potência, devido a falta de iluminação adequada existente, com isso fizemos uma nova simulação considerando um novo investimento, o aumento da refletância do teto e da parede, estes itens influenciam diretamente na iluminação do plano de trabalho, as superfícies refletem a iluminação e contribuem na iluminação do ambiente. Considerando novamente o método dos lúmens, agora com as paredes e tetos brancos a quantidade de luminárias foi calculada da seguinte forma:

Índice do Recinto (K), é uma relação clássica entre as dimensões do local e é dada por:

K = (a.b)/(h.(a+b)) para iluminação direta

Sendo:

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé direito útil

K(produção) = (55x19,60)/(4x(55+19,6))

K(produção) = 3,61

K(depósito) = (35,2x19,60)/(4x(35,2+19,6))

K(produção) = 3,15

Fator de Utilização (U) é dado na tabela fornecida pelo fabricante da luminária e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado no cálculo, levando em consideração o índice de recinto e as refletâncias. Os valores para o galpão estão entre 86 e 93% conforme tabela do fabricante.

Fator de Manutenção ou depreciação é o fator que indica o grau de conservação de uma instalação, para o nosso caso consideramos um ambiente normal com uma manutenção a cada 2500 horas.

Tabela 4 - Fatores de manutenção recomendados

AMBIENTE	2.500h	5.000h	7.500h
LIMPO	0,95	0,91	0,88
NORMAL	0,91	0,85	0,80
SUJO	0,80	0,66	0,57

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Com os dados dos ambientes e da luminária que será utilizada podemos determinar o número de luminárias necessário para cada ambiente com a seguinte formula:

$$N=(Emed \times A)/(n \times \varphi n \times U \times FM)$$

Em que:

N: número necessário de luminárias

Emed: iluminância média (lux)

A: área do ambiente (m2)

n: número de lâmpadas em cada luminária

φn : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm)

U: fator de utilização

FM: fator de manutenção

Nprodução = (500 x (55x19,60))/(1 x 8960 x 0,89 x 0,91)

Nprodução = 74,28 luminárias

Adotado 75 luminárias

Ndepósito = (200 x (35,20x19,60))/(1 x 8960 x 0,91 x 0,91)

Ndepósito = 16,92 luminárias

Adotado 20 luminárias

Aumentando a refletância das superfícies das paredes e teto pintando as suas superfícies com cores claras conseguimos diminuir a quantidade de luminárias necessárias na produção, conseguindo uma economia de energia em relação ao que existe hoje, mesmo aumentando consideravelmente o fluxo luminoso.

Tabela 5 - Fatores de manutenção recomendados

Indicador	Luminárias 2 lâmpadas tubulares fluorecentes	Lumicenter modelo LHB10-S1M850X
Custo Unitário	0,48	
Horas de Operação/ano	3380	
kWh médio consumido	8,160	7,125
Consumo anual (kWh)	27.581	24.083
Economia de energia (%)	13%	
Economia de energia (kWh/ano)	3.498	
Economia de energia (R$/ano)	R$1.679,18	
Investimento	R$97.250,00	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.4 EXAUSTÃO

4.4.1 Análise de campo

Na análise de campo medimos a velocidade do ar nos dutos dos exaustores que ficam acima das máquinas e medimos o diâmetro dos dutos, assim conseguimos a vazão volumétrica, conforme tabela a seguir:

Tabela 6 – Velocidade do ar e vazão das máquinas do setor de preparação

Máquina	Velocidade do ar (m/s)	*Raio do duto (m)*	Vazão (m³/s)
Emenda Finger Metriza (Fresas)	28,5	0,095	0,808
Emenda Finger Metriza (prensa)	28,5	0,075	0,504
Moldureira Weining (duto 1)	24,9	0,175	2,396
Moldureira Weining (duto 2)	24,9	0,155	1,879
Moldureira SCM (duto 1)	22,5	0,105	0,779
Moldureira SCM (duto 2)	22,5	0,105	0,779

Plaina Dupla	35,3	0,15	2,495
Serra Destopo	28,0	0,08	0,563
Serra-fita	37,1	0,09	0,944

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

$Q = A \times V$

$A = \pi r^2$

Onde:

Q é a vazão volumétrica em metros cúbicos por segundo (m³/s)

A é a área da seção transversal do duto em metros quadrados (m²)

V é a velocidade do fluido em metros por segundo (m/s)

r é o raio do duto, metade do diâmetro em (m)

π é a constante matemática pi, aproximadamente 3,14

Vimos no setor de Preparação um exaustor de 55 kW derivando para várias máquinas, cada máquina com um ou dois dutos, algumas com um sistema manual de fechamento de dutos e outras sem sistema algum.

O sistema de fechamento de dutos é usado para diminuir as perdas de ventilação no período que determinada máquina está sem demanda de trabalho. Na análise de campo medimos a velocidade do ar nos dutos e fizemos algumas medições, fechando alguns dutos de máquinas que ficam abertos mesmo quando a máquina está desligada, então fizemos uma nova leitura de velocidade do ar nos dutos exaustores das máquinas, também medimos alguns dutos com e sem canaflex corrugado, para fazer uma comparação de perda de carga. O canaflex corrugado é de suma importância para fazer a retirada do material no ponto onde o pó de serra é gerado.

Tabela 6.1 – Velocidade do ar com fechamento dos dutos

	Exaustor Aberto em todas as Máquinas sem canaflex	Exaustor aberto com canaflex	Exaustor aberto somente na máquina a ser medida sem canaflex	Exaustor Aberto somente na máquina a sem medido com canaflex
Metriza Finger	28,5	19,8	39,1	Não medido
Metriza Prensa	28,5	Não medido	40,0	30,1

Moldureira Weining	24,9	Não medido	Não medido	Não medido
Moldureira SCM	22,5	Não medido	Não medido	Não medido
Plaina Dupla	35,3	Não medido	Não medido	Não medido
Serra Destopo	28,0	Não medido	Não medido	Não medido
Serra Fita	37,1	Não medido	42,8	Não medido

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Na tabela acima vimos que ao fecharmos um ponto, há um aumento de velocidade do ar no outro ponto, então é possível verificar que temos uma perda de energia, pois ultrapassa a velocidade mínima necessária.

4.4.2 Demanda de trabalho das máquinas

O exaustor do setor da Preparação da Moldurarte conta com seis máquinas onde foi observado e registrado as horas trabalhadas de cada máquina durante uma semana, esse registro pode ser observado na tabela a seguir:

Tabela 7 – Carga horária semanal das máquinas da Preparação

Máquinas	**Horas semanais (h)**	**Vazão encontrada (m^3/s)**	**Horas de trabalho x Vazão**
Metriza	56,2	1,312	73,734
Moldureira Weining	40,6	4,275	173,565
Moldureira SCM	22,0	1,558	34,286
Plaina Dupla	37,3	2,495	93,063
Serra Destopo	16,2	0,563	9,121
Serra-fita	21,8	0,944	22,744
Exaustor	65,0	11,147	724,555

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Cálculo de carga horária do exaustor e carga horária das máquinas tirando a diferença de vazão:

Exaustor Horas x Vazão = 724,555

Máquinas Horas x Vazão = 406,513

Cálculo para achar potência necessária para demanda de máquinas:

Exaustor Hora x Vazão = 724,55 = Potência com Vazão total: = 55kW/h

Máquinas Hora x Vazão = 406,513 = Potência com Vazão necessário = 30,86 kW/h

4.4.3 Análise de redução de velocidade para economia de energia

Segundo WEG, (2022) o sistema de ventilação, muito utilizado na indústria, pode apresentar economia de até 70% no consumo de energia com a solução WEG de eficiência energética, que se resume na aplicação do conjunto de alta eficiência, W22 IR3 Premium ou W22 Super Premium, em conjunto com o inversor de frequência CFW11 ou CFW700. Tratasse de uma proposta da WEG com um motor e um inversor de frequência melhorando a eficiência energética com motores mais econômicos e com a variação de velocidade do Ventilador.

Ao trabalharmos com motores utilizando inversor de frequência podemos variar junto com a velocidade a potência do motor. Foi analisado que em vários momentos o exaustor trabalha com carga reduzida pois algumas máquinas ficam desligadas por não demandarem de trabalho o dia todo, contudo vamos estudar o caso, para termos um ganho no rendimento desta rede de exaustor, fechando os dutos desnecessários e diminuindo a velocidade do motor com inversor de frequência, simularmos estes custos e ver se adquirimos vantagem financeira com a proposta.

4.4.4 Proposta de execução da obra

A proposta para este caso é, fazer o fechamento automático dos dutos que estão abertos quando a máquina conectada a este duto está desligada, trocar o motor existente por um motor de alto rendimento, instalar um inversor de frequência e por um transmissor de velocidade do ar, para fazer o controle de velocidade e potência do exaustor.

Com base na Tabela 6.1, “Velocidade de ar com fechamento de dutos”, vimos que a velocidade do ar aumenta conforme os dutos das máquinas são fechados, isso não é necessário, pois ultrapassa a velocidade de ar que as máquinas precisam, causando um desperdício de potência no motor.

Itens usados para Projeto: sete cilindros para fechamento automático dos dutos, um transmissor de velocidade do ar série 641, um inversor de frequência 55 kW 380 Vac, um motor IR3 55 kW 380 Vca.

Figura 14 – Ilustração da proposta para variação de velocidade do exaustor 55 kW

Fonte: WEG.

4.4.5 Simulação de valores

Com base na “Tabela de velocidade do ar e vazão”, fazendo uma relação com a proposta de WEG de 70% de economia do sistema de exaustor, podemos tirar uma relação em que a soma algébrica da vazão se limita ao máximo da potência da proposta.

Valores:

O valor de mercado do conjunto inversor + motor + sensor: R$ 72000,00

Valor das válvulas automáticas para fechamento dos dutos R$ 4500,00

Potência nominal do motor: 55kW

Valor do kW/hora na Indústria Moldurarte R$ 0,48 (valor informado pelo cliente)

Potência para Vazão total: = 55 kW/h

Potência para Vazão necessária = 30,86 kW/h

Tabela 8 – Retorno sobre o investimento projeto exaustor

Indicador	Motor w21 Standard	Motor W22 Premium + Inversor CFW 500 + Transmissor de Pressão + Fechamento Automatico dos Dutos
Custo Unitário	0,48	
Horas de Operação/ano	3380	
kWh médio consumido	55	30,86
Consumo anual (kWh)	185900	104306,8
Economia de energia (%)	43,9	
Economia de energia (kWh/ano)	81593,2	
Economia de energia (R$/ano)	R$39.164,74	
Investimento	R$76.500,00	
Retorno sobre o investimento (ROI)	**2 anos**	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.5 COMPRESSORES

4.5.1 Analisador de energia

A instalação do analisador de energia Enbrasul 7000 tiramos um relatório de potência de consumo entre os três compressores instalados na Indústria Moldurarte. Vamos ressaltar os seguintes pontos:

- Compressor de Atlas Copco 75 kW com Inversor de frequência que atende a demanda de toda fábrica;
- Compressor Chicago 37 kW partida estrela triângulo que atende a demanda da fábrica apenas quando usasse poucas máquinas, normalmente no período noturno, fica também como compressor reserva;
- Compressor 11 kW partida direta que atende apenas a demanda das estufas e caldeira, usado nos finais de semana, e durante a semana das 2:00 às 7:00 horas da manhã, quando as máquinas da produção estão desligadas.

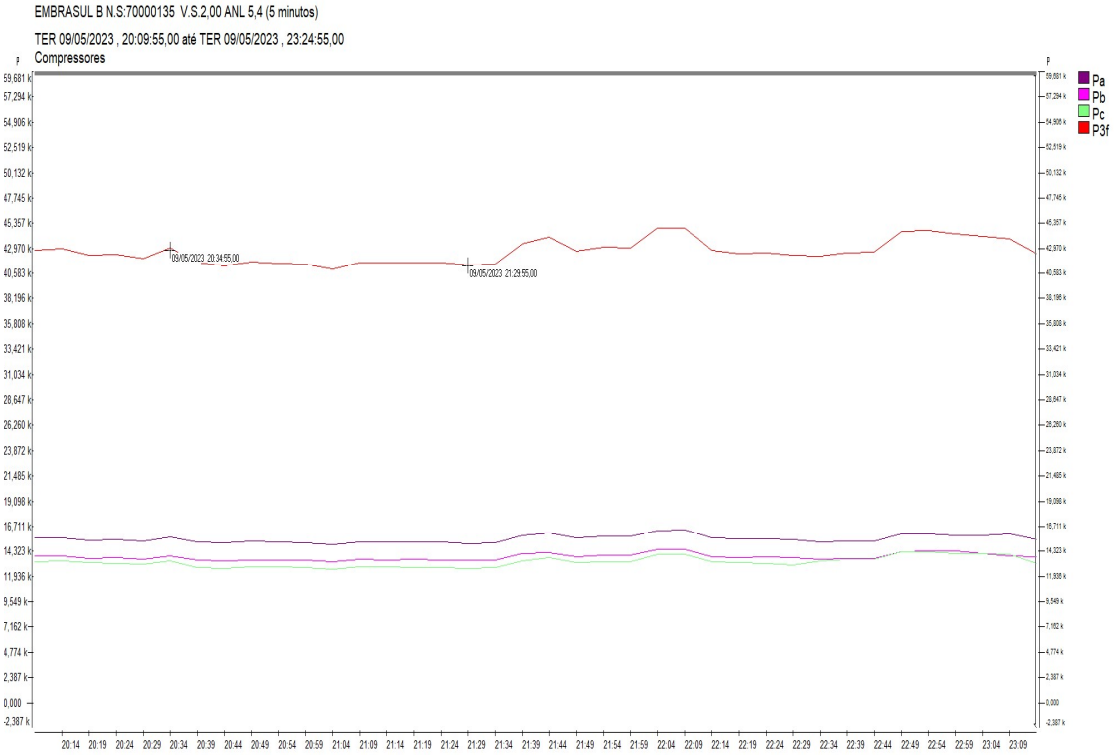
Vamos ver os gráficos que foram feitos pelo analisador de energia fazendo uma comparação entre consumo de energia elétrica dos três compressores.

Figura 15 – Analisador Embrasul 7000 instalado no compressor de 11 kW.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Agora vamos ver os gráficos gerados pelo Analisador Embrasul 7000.Vamos analisar o comportamento gráfico de potência dos três compressores, começando pelo compressor de 37 kW partida estrela-triângulo.

Gráfico 1: Potência no compressor 37 kW partida estrela-triângulo gerado pelo analisador Embrasul 7000



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No gráfico de potência do compressor 37 kW a potência registrada é de:

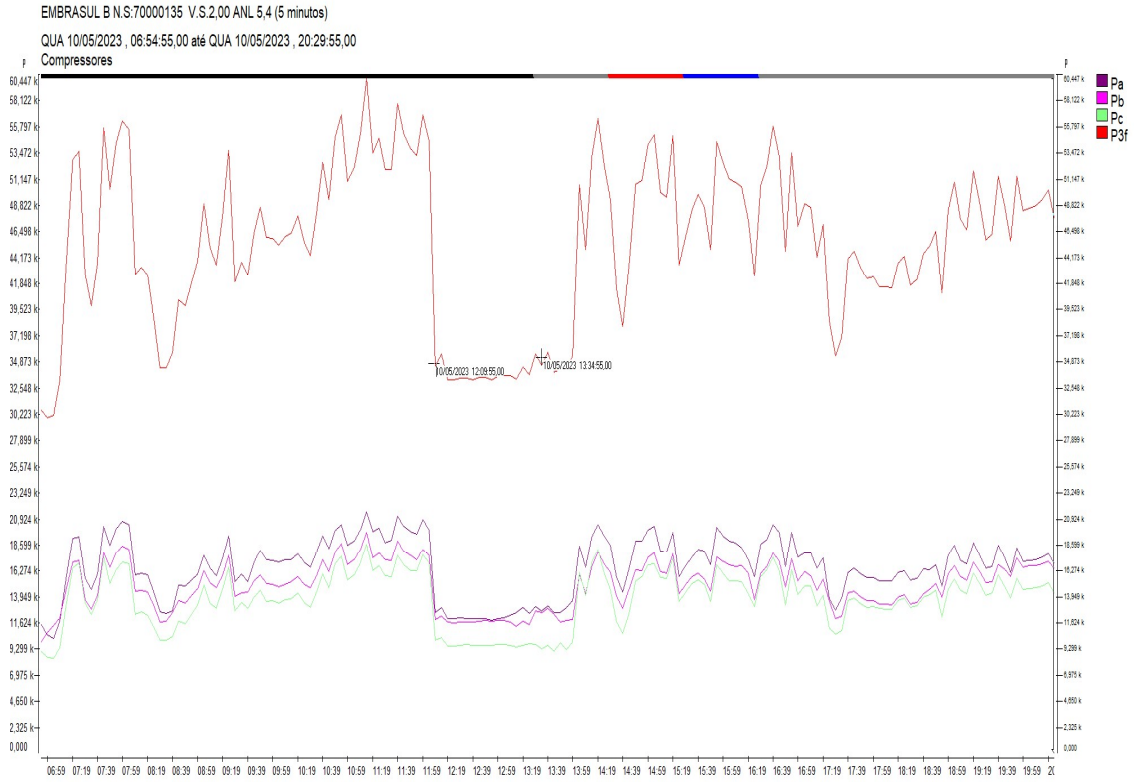
- 42 kW médio no horário da Janta;
- 45 kW médio no horário da produção noturno;

Segundo registros do Analisador 7000.

Conforme informação do encarregado da empresa o compressor de 37 kW não conseguiu atender toda a demanda de vazão de ar necessário durante o período noturno, com isso foi desligado as 11:00 horas da noite, e ligado o compressor de 75 kW, então vamos descartar o compressor de 37 kW do nosso estudo de eficiência energética e deixar esse compressor apenas como reserva da Indústria Moldurarte.

Vamos agora analisar o comportamento gráfico de potência do compressor 75 kW com inversor de frequência.

Gráfico 2: Potência do compressor 75 kW com inversor de frequência gerado pelo analisador Embrasul 7000



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

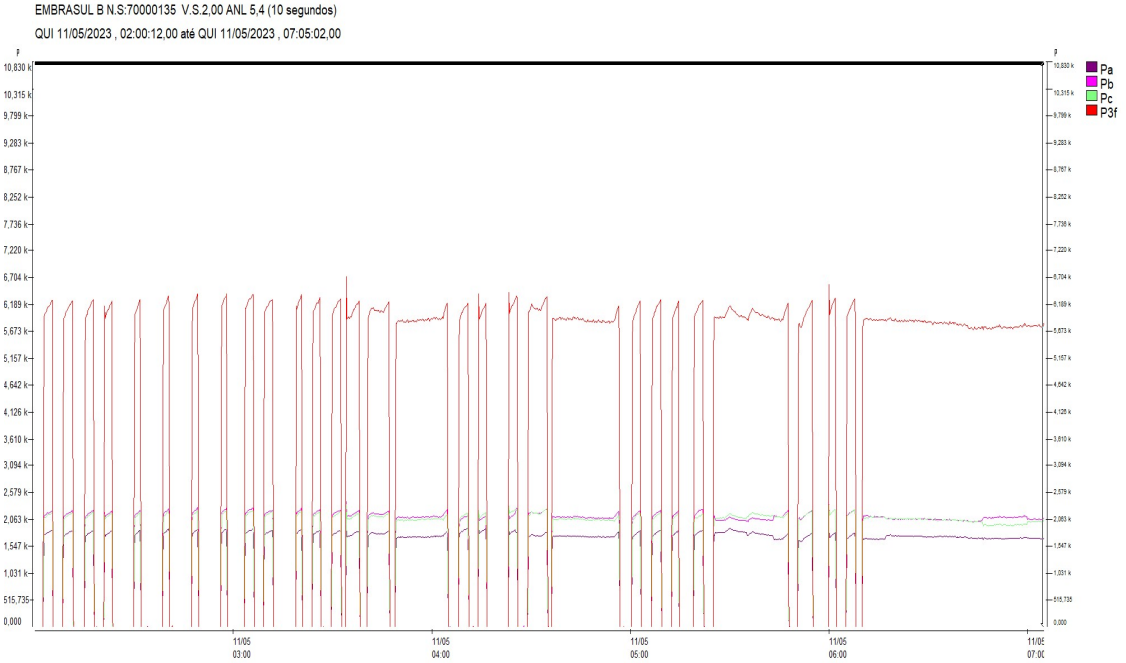
No gráfico de potência do compressor 75 kW a potência registrada é de:

- 33 kW médio no horário do Almoço (ou janta);
- 50 kW médio no horário da produção diurno.

Segundo registros do Analisador 7000.

Agora análise do compressor de 11 kW com partida direta.

Gráfico 3: Potência do compressor 11 kW com partida direta gerado pelo analisador Embrasul 7000



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No gráfico de potência do compressor 11 kW a potência registrada é de:

- 6,2 kW médio no horário que permanece ligado. Segundo registros do Analisador 7000.

4.5.2 Analogia de comparação dos Compressores

Na Indústria de Molduras Moldurarte temos 03 (três) compressores de diferentes potências e para situações diferentes, cada um é capaz de suprir a empresa, mas em diferentes situações e horário, podemos definir as diferentes formas de demanda de trabalho dos compressores vendo qual melhor horário de trabalho para cada um, levando em consideração ao melhor custo-benefício, com a finalidade de economizar energia.

Situações de trabalho da Indústria de Molduras Moldurarte em diferentes horários:

1. De segunda a sexta-feira, das 7:00 às 12:00 horas e 13:30 às 17:18 horas, horário de trabalho diurno, maior número de máquinas;
2. De segunda a sexta-feira, das 17:18 às 20:30 horas e 21:30 às 2:28 horas horário noturno, menor número de máquinas;
3. De segunda a sexta-feira, das 12:00 às 13:30 horas e 20:30 às 21:30 horas, horários de almoço e janta, apenas a caldeira e estufas ligado.
4. De terça a sexta-feira, das 2:18 às 7:00 horas, apenas a caldeira e estufas ligado.
5. De sábado as 2:18 até segunda-feira as 7:00, apenas a caldeira e estufas ligado.

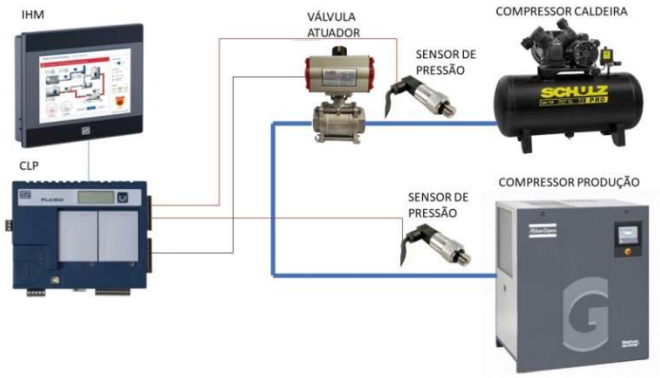
Na situação atual á fabrica fica com o compressor de 75 kW ligado do período das 7:00 às 2:18 horas, período de trabalho da produção, logo é desligado o compressor de 75 kW, fechado a válvula que interliga a rede de ar caldeira-produção e ligado o compressor de 11 kW, que supre a demanda da caldeira e estufas

4.5.3 Proposta de execução da obra

Vimos então que a Indústria Moldurarte tem uma lacuna de trabalho onde a produção para, mas o compressor de 75 kW fica ligado; poderia estar em funcionamento o compressor de 11 kW, pois já atenderia a demanda de Pressão e Vazão necessário para o momento. Vimos também que o compressor de 75 kW, mesmo com a tecnologia moderna que tem ao usar inversor de frequência para o controle de velocidade e potência, acaba gastando mais energia que o compressor de 11 kW com partida direta, está analogia conseguimos comparando dois gráficos, o Gráfico da figura 16: Potência consumida do compressor de 11 kW partida direta, com o Gráfico 17: Potência consumida do compressor 75 kW com inversor de frequência.

Com o intuito de usar o compressor que melhor se encaixa na demanda produtiva da Indústria Moldurarte vamos propor uma automação elétrica entre o compressor de 75 kW e o compressor de 11 kW, com um CLP (Controlador Lógico Programável) que por intermédio dos horários programados vai ligar o compressor de 11 kW e desligar o compressor de 75 kW.

Figura 16 – Ilustração da proposta para automação dos compressores



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4.5.4 Simulação de valores

Com a automação para escalonar o Compressor 75 kW e o Compressor de 11 kW por horários de demanda, temos os seguintes valores:

Potência de consumo no horário de almoço ou janta do compressor de 75 kW: 33kW/hora;

Potência de consumo do compressor de 11 kW: 6,2 kW/hora

Soma das horas de almoço e janta: 1:30 hora (uma hora e trinta minutos) almoço mais 1:00 hora (uma hora) janta = 2:30 horas (duas horas e trinta minutos) de segunda a sexta totalizando 17:30 horas (dezessete horas e trinta minutos horas) por semana. Ou 17:30 x 52 semanas = 910:00 horas (novecentos e dez horas) por ano.

Valor do kW/hora na Indústria Moldurarte R$ 0,48 (valor informado pelo cliente)

Investimento com automação: R$ 8.500,00

Tabela 9 – Retorno sobre o investimento projeto compressores

Indicador	Compressor 75 kW (100 CV) com Inversor de Frequência	Compressor 11 kW (15 CV) Partida Direrta com Automação para escala de horários
Custo Unitário	0,48	
Horas de Operação/ano	910	
kWh médio consumido	33	6,2
Consumo anual (kWh)	30030	5642
Economia de energia (%)	81,20%	
Economia de energia (kWh/ano)	24388	
Economia de energia (R$/ano)	R$11.706,24	
Investimento	R$8.500,00	
Retorno sobre o investimento (ROI)	**9 meses**	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho conseguimos identificar que a Indústria de Molduras Moldurarte unidade 4 tem capacidade de melhorar sua eficiência energética, com um retorno de investimento rápido em algumas áreas. Foram avaliadas três situações: melhoria da iluminação do setor de Preparação, instalação de inversor de frequência no exaustor do setor de Preparação, e automação elétrica dos compressores da fábrica.

Na iluminação do pavilhão da Preparação analisamos uma deficiência na parte luminotécnica, onde no estudo de caso foi elevado o fluxo luminoso para que os trabalhadores do setor tenham melhores condições de trabalho, atendendo ao que é previsto na legislação, com isso foi proposto uma pintura das paredes e teto e o uso de luminárias com maior eficácia. Ainda, podemos levar em consideração para um trabalho futuro a possibilidade de aumentar a eficiência do sistema com a instalação de fontes naturais de iluminação e dimerizar o sistema.

Para o estudo de caso do exaustor, foi proposto o fechamento automático dos dutos, referentes as máquinas que não estão sendo usadas, no período de trabalho, com isso pode-se diminuir a velocidade e potência do motor do exaustor, usando inversor de frequência e motor com maior rendimento.

Ao analisar a situação atual dos compressores da fábrica, entendemos que, uma automação entre o compressor principal e o compressor da caldeira pode gerar uma economia rápida do investimento proposto, e facilitar o trabalho do operador responsável por fazer o escalonamento entre os dois.

A melhor qualidade de trabalho e economia são fatores que implicam diretamente na competitividade da indústria, com os conhecimentos de engenharia elétrica adquirido foi possível apresentar soluções eficientes, para elevar o nível da indústria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARROS, Benjamim Ferreira, D. et al. **Eficiência Energética - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva. 2015.

BISTAFA, Sylvio R. **Mecânica dos fluidos**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2017.

BONIN, Edson. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA NA INDÚSTRIA**.180f. Monografia (Engenharia Elétrica) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão. 2021.

EIRELI. **Equipamentos importados**. Disponível em www.eccofluxo.com.br. Acesso em abr. 2023.

FERREIRA, Benjamim. GEDRA. Ricardo. **Gerenciamento de Energia: ações administrativas**. Disponível em: Minha Biblioteca, (3rd edição). Editora Saraiva. 2020.

Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 – Ergonomia**. Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

MOREIRA. José Roberto. NETO. Alberto Hernandes. **Matrizes energéticas.** ... [et al.]. - 2. ed. [2ª Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2023.

MOREIRA, José Roberto S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. Disponível em: Minha Biblioteca, (2nd edição). Grupo GEN, 2021.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca. CRIVELARO Marcos. **Conforto Ambiental - Iluminação, Cores, Ergonomia, Paisagismo e Critérios para Projetos**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva. 2014.

PROCELINCO. **Eficiência energética**. Disponível em https://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={CC307349-3D35-47FE-B77C-3C548F6DB747}. Acesso em mar. 2023.

ROMÉRO, Marcelo de, A. e Lineu Belico dos Reis. **Eficiência Energética em Edifícios**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Manole, 2012.

SCHULZ. EVOLUÇÃO. MEGA SUL. **Compressores**. Disponível em https://www.intermach.com.br/compressores-de-ar-rotativo-parafuso. Acesso em Abr. 2023.

WEG. Estudo de caso: **Eficiência Energética em Filtros de Manga**. Disponível em https://www.weg.com.br/estudodecaso. Acesso em Abr. 2023.