



**REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**  
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**AValiação da Eficiência Energética no uso de um Gerenciador de Rede de Ar Comprimido na Indústria**

**ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF A COMPRESSED AIR NETWORK MANAGER IN INDUSTRIAL APPLICATIONS**

**Matheus Corrêa Soares<sup>1, i</sup>**  
**Hermom Leal Moreira<sup>2, ii</sup>**  
**José Ricardo da Silva<sup>3, iii</sup>**

Data de submissão: (15/08/2024) Data de aprovação: (13/12/2024)

**RESUMO**

A análise da eficiência energética (EE) na utilização de um sistema de gerenciamento de rede de ar comprimido (AC) em uma indústria é um tema relevante para a busca por soluções que reduzam custos e minimizem o impacto ambiental. O objetivo deste estudo é investigar os efeitos da implementação de um gerenciador de rede de AC em uma empresa industrial, avaliando sua eficiência e implicações nos gastos operacionais. Para isso, foi realizado um estudo de caso em uma indústria que utiliza AC em seus processos produtivos. Utilizando dados coletados por meio de um sistema de gerenciamento instalado e resultados de um estudo de EE fornecido por uma empresa especializada, demonstrou-se que a aplicação reduziu significativamente o consumo de energia elétrica e os gastos relacionados à operação dos compressores.

**Palavras-chave:** compressores; gerenciamento de sistemas de ar comprimido; eficiência energética.

**ABSTRACT**

The analysis of energy efficiency (EE) in the use of a compressed air (CA) network management system within an industrial setting is a highly relevant topic in the pursuit of solutions that reduce costs and minimize environmental impacts. This study aims to investigate the effects of implementing a CA network management system in an industrial company, evaluating its efficiency and implications for operational expenses. To achieve this, a case study was conducted in a company that uses compressed air in its production processes. Based on data collected through the installed management system and the results of an EE study provided

---

<sup>1</sup> Pós-graduando em Gestão de Energia e Eficiência Energética no Centro Universitário SENAI São Paulo – Campus Mariano Ferraz. E-mail: matheuscorreasoares@outlook.com.br

<sup>2</sup> Professor no Centro Universitário SENAI São Paulo – Campus “Mariano Ferraz”. E-mail: hermom.moreira@sp.senai.br

<sup>3</sup> Professor no Centro Universitário SENAI São Paulo – Campus “Mariano Ferraz”. E-mail: jricardo@sp.senai.br

by a specialized company, it was demonstrated that the implementation significantly reduced electrical energy consumption and costs associated with compressor operation.

**Keywords:** compressors; compressor air systems management; energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento dos custos de energia elétrica e a crescente preocupação ambiental, as empresas buscam soluções para reduzir o consumo energético e minimizar o impacto ambiental. Nesse contexto, o controle do AC destaca-se como uma área com grande potencial para aprimoramentos na EE (Rocha; Monteiro, 2014). O AC é amplamente empregado em diversos processos industriais, representando uma parte substancial do consumo de energia elétrica nessas operações. Contudo, muitas empresas ainda utilizam AC de maneira inadequada, resultando em desperdício de energia e elevação dos custos operacionais. Para contornar esses problemas, tornou-se comum a adoção de sistemas de gestão de AC.

Diante desse cenário, este artigo tem como propósito avaliar a EE do emprego de um sistema de gestão de AC em uma indústria, analisando os efeitos no consumo e nos gastos operacionais. Para isso, será conduzido um estudo de caso em uma indústria alimentícia que utiliza AC em seus processos produtivos. Os resultados obtidos possibilitaram a identificação de benefícios e desafios associados à implementação de um sistema de gestão de AC, permitindo uma análise mais aprofundada sobre a EE desse recurso em ambientes industriais.

A pesquisa é relevante para a compreensão e aprimoramento das práticas de gestão energética nas indústrias, contribuindo para a sustentabilidade e competitividade das empresas.

A EE em redes de AC é amplamente reconhecida como uma das principais vantagens dos sistemas de gestão de compressores.

Os resultados obtidos visam contribuir para a identificação de benefícios e desafios relacionados à implementação de um sistema de gerenciamento, possibilitando uma análise mais aprofundada sobre a EE desse recurso em ambientes industriais.

O estudo que será apresentado tem como objetivo quantificar a economia de energia proporcionada pelo gerenciador e também abordar outras vantagens que podem ser obtidas com a sua instalação, tais como o início imediato da produção com a rede estabilizada, a redução de picos de energia, o prolongamento da vida útil dos compressores e a eliminação das quedas de pressão na rede devido à má seleção no acionamento dos compressores.

Este artigo está estruturado em sete seções principais, incluindo esta introdução. A seguir, são apresentados os tópicos abordados em cada uma dessas seções, de forma a proporcionar uma visão geral do conteúdo e do fluxo lógico do estudo.

Na Seção 2 - Revisão Bibliográfica, são discutidos os conceitos fundamentais de EE e AC, bem como as tecnologias e práticas mais recentes utilizadas na gestão eficiente desses recursos. Essa seção também aborda a importância da EE na indústria e as estratégias para otimizar o uso de AC, baseando-se em estudos e referências relevantes da literatura.

Na Seção 3 – Fundamentação Teórica, foi realizado um aprofundamento nos quesitos específicos de EE e normatização vigentes.

A Seção 4 - Metodologia descreve detalhadamente os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados. Explica-se a escolha dos equipamentos de medição, o período de coleta de dados antes e depois da implementação do sistema de gestão de AC, e as

ferramentas estatísticas utilizadas para avaliar os resultados. Essa seção é crucial para entender a validade e a confiabilidade das conclusões apresentadas no estudo.

Nos Testes e Resultados da Seção 5, são detalhadas a coleta de dados bem como sua análise e interpretação sumarizando e destacando o resultados obtidos na pesquisa.

Na Seção 6 – Discussões Gerais, os dados obtidos as análises realizadas na seção anterior comparam os resultados antes e depois da instalação do sistema de gestão de AC, destacando as melhorias em termos de consumo de energia, estabilização da pressão da rede e outros benefícios operacionais. As implicações dos resultados para a prática industrial e para a sustentabilidade são discutidas em profundidade.

A Seção 7 – Conclusões, sintetiza os principais achados do estudo, ressaltando os ganhos em EE e os impactos positivos da implementação do sistema de gestão de AC na indústria analisada. Além disso, são sugeridas recomendações para futuras pesquisas e práticas industriais, com base nas observações e resultados obtidos e traz ainda as contribuições para a área, destacando a relevância dos achados do estudo para a prática industrial e para o avanço do conhecimento na área de gestão de energia. Esta seção discute ainda, como as práticas identificadas podem ser aplicadas em outros contextos industriais e os benefícios esperados em termos de sustentabilidade e competitividade.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A EE tem sido um dos principais focos das indústrias em todo o mundo devido aos benefícios econômicos e ambientais que proporciona. A gestão eficiente de AC é uma das áreas com maior potencial de melhoria em termos de EE, pois o AC é amplamente utilizado em diversos processos industriais, representando uma parcela significativa do consumo energético das fábricas.

A literatura destaca diversas abordagens e tecnologias para otimizar o uso de AC nas indústrias. Segundo Switzer (1984), a implementação de sistemas de monitoramento e controle de AC pode resultar em economias substanciais de energia, ao reduzir perdas e melhorar a eficiência dos compressores. Além disso, Marshall e Scales (2010) ressaltam que sistemas de gestão modernos, que o gerenciamento correto para a rede de AC é um dos fatores mais determinantes para a EE geral do sistema de ar comprimido.

Estudos indicam que a instalação de sistemas de gestão de AC pode reduzir o consumo energético em até 30% (Kanoglu; Çengel, 2008). Esses sistemas permitem uma supervisão contínua e detalhada do uso de AC, identificando ineficiências e ajustando a operação dos compressores de forma a otimizar o desempenho e minimizar o desperdício de energia. A literatura também aponta para a importância de uma abordagem integrada na gestão de AC. Segundo Moraes e Oliveira (2012), além de tecnologias de monitoramento e controle, é fundamental considerar a manutenção preventiva e corretiva, a eliminação de vazamentos e a otimização do tamanho dos compressores para maximizar os ganhos em EE.

### **2.1 Compressores de ar e sua importância na indústria**

Os compressores de ar desempenham um papel vital na indústria, sendo empregados em diversos processos produtivos. Na indústria alimentícia, por exemplo, eles são essenciais para operações como a mistura de ingredientes, embalagem de produtos, corte de alimentos e manutenção da higiene dos equipamentos.

O uso de sistemas de AC é amplo e representa uma parcela significativa do consumo de energia elétrica nas fábricas. Em algumas indústrias, os compressores de AC são responsáveis por até 30% do consumo total de energia elétrica (Switzer, 1984). Esse consumo pode ser ainda maior devido a perdas decorrentes de vazamentos, sistemas mal projetados e uso inadequado do AC, configurando um desperdício considerável.

Além de sua função na produção, o AC é utilizado em diversas etapas do processo industrial, como transporte pneumático, secagem e resfriamento de produtos. Na geração de nitrogênio, por exemplo, que é um gás inerte usado para preservar alimentos, o AC também tem um papel fundamental.

A implementação de tecnologias de gestão eficiente é essencial para otimizar o uso dos compressores de ar. Sistemas de gestão de AC, que incluem medidores de fluxo e sensores de pressão, permitem monitorar e controlar o fluxo de ar de maneira mais precisa e eficiente, resultando em uma redução significativa no consumo de energia elétrica, além de melhorar a confiabilidade e prolongar a vida útil dos equipamentos (Kanoglu; Çengel, 2008).

No entanto, a utilização inadequada para limpeza ou ineficiente (compressores com grande capacidade sendo utilizados para atender demandas pequenas) dos compressores de ar pode resultar em desperdícios substanciais de energia e custos adicionais para as indústrias, sendo a escolha de compressores eficientes e a implementação de um sistema de gestão de AC medidas essenciais para melhorar a EE e reduzir os custos operacionais.

Portanto, a importância dos compressores de ar na indústria é inegável. Eles são cruciais não apenas para a eficiência dos processos produtivos, mas também para a sustentabilidade e competitividade das empresas no mercado. A adoção de práticas de gestão energética avançadas e o uso de tecnologias modernas são fundamentais para maximizar os benefícios dos sistemas de AC e minimizar os desperdícios de energia.

## **2.2 Tecnologias de gerenciamento de redes de ar comprimido**

O gerenciamento eficiente de sistemas de AC é essencial para otimizar a produção industrial e reduzir os custos energéticos associados. Com o avanço da tecnologia, existem diversas abordagens modernas para o gerenciamento desse recurso, cada uma com seus benefícios específicos em termos de EE (Freitas, 2017).

Uma das abordagens mais tradicionais é o controle por bandas de pressão, que envolve a configuração de limites mínimos e máximos de pressão, acionando os compressores para manter a pressão dentro desses limites. No entanto, esse método pode não ser o mais eficiente em termos de consumo de energia, pois não leva em consideração a eficiência dos compressores individuais ao decidir qual compressor deve ser acionado ou desligado. Dados avaliados nesse processo incluem a pressão da rede, a vazão do compressor e a potência consumida (Rocha; Monteiro, 2014).

Uma abordagem mais moderna e eficiente é a utilização de algoritmos avançados para o gerenciamento dos sistemas de AC. Nessa abordagem, o sistema é configurado para manter uma pressão mínima necessária e utiliza algoritmos para calcular a forma mais eficiente de alcançar essa pressão. Isso significa que, ao invés de acionar qualquer compressor disponível, o sistema seleciona os compressores mais eficientes, levando em consideração fatores como o volume de reservatório, a pressão existente, a curva característica do compressor, as horas de manutenção, as horas de funcionamento, o ano de fabricação e o perfil de consumo da instalação.

Conforme Atlas Copco (2021), os sistemas de gerenciamento modernos permitem que as indústrias otimizem o uso de seus compressores, resultando em economias significativas e na extensão da vida útil dos equipamentos. Portanto, a escolha da tecnologia de gerenciamento de AC é crucial para a EE e a redução dos custos de produção na indústria.

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, tem transformado a maneira como as indústrias operam e gerenciam seus processos produtivos. Com o avanço das tecnologias de automação, robótica, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA), a Indústria 4.0 permite uma integração completa e em tempo real de todos os elementos da cadeia produtiva. Os sistemas de gestão de AC controlados por algoritmos são uma das tecnologias mais modernas e eficientes disponíveis.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Conceitos de eficiência energética**

A EE é essencial no setor industrial moderno, caracterizado pela alta demanda por energia e pela necessidade de minimizar os impactos ambientais. EE refere-se ao uso otimizado da energia para realizar processos, atividades ou serviços, garantindo um menor consumo com a redução dos impactos ambientais (Moraes; Oliveira, 2012).

No contexto industrial, uma das maneiras mais efetivas de melhorar a EE é através da utilização eficiente que são fundamentais na geração de AC, sendo uma forma versátil e amplamente utilizada de energia na indústria (Kanoglu; Çengel, 2008). No entanto, a utilização de compressores ineficientes pode levar a desperdícios significativos de energia.

Para alcançar uma maior eficiência, é crucial selecionar compressores que atendam às necessidades de produção com o menor consumo possível. A escolha dos compressores deve basear-se em sua capacidade de fornecer AC de maneira eficiente, sem excessos de consumo energético (O'Brien, 2007). Além disso, o desempenho dos compressores deve ser monitorado continuamente, e manutenções preventivas devem ser realizadas regularmente para assegurar sua eficiência ao longo do tempo.

A integração de tecnologias avançadas de gestão de energia também é uma estratégia fundamental para melhorar a EE. Sistemas de monitoramento e controle, que utilizam algoritmos sofisticados, podem otimizar a operação dos compressores, ajustando a produção de AC conforme a demanda real, evitando desperdícios e promovendo a sustentabilidade. Esses sistemas são capazes de melhorar a eficiência ao ajustar dinamicamente a operação dos compressores, garantindo que a energia seja utilizada da forma mais eficaz possível.

Em suma, a EE no setor industrial é alcançada por meio da adoção de tecnologias eficientes, da seleção adequada de equipamentos e da prática de manutenção regular. Essas medidas são vitais para reduzir o consumo de energia, diminuir os custos operacionais e minimizar os impactos ambientais, contribuindo para a sustentabilidade das operações industriais.

#### **3.2 Normas e regulamentações relacionadas à eficiência energética em indústrias**

A EE é um tema cada vez mais relevante, especialmente para indústrias que utilizam grandes quantidades de energia elétrica em seus processos produtivos. Nesse contexto, várias normas e regulamentações foram estabelecidas para promover a redução do consumo de energia e melhorar a sustentabilidade do setor industrial.

A Portaria n. 235/2014 do Ministério de Minas e Energia estabelece a obrigatoriedade de elaboração de um Plano de Gestão de Energia para indústrias com consumo anual igual ou superior a 5.000 MWh. Este plano visa implementar práticas e tecnologias que promovam a EE e a redução dos custos operacionais. As empresas devem monitorar continuamente seu consumo de energia e implementar medidas corretivas para otimizar a eficiência de seus processos (Brasil, 2014).

A Resolução Normativa n. 563/2013, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define as condições gerais para o repasse de recursos para projetos de EE. A resolução estabelece critérios para a seleção de projetos, requisitos para a medição e verificação dos resultados, e as condições para o recebimento de incentivos financeiros. Esse mecanismo incentiva as empresas a investirem em tecnologias e práticas que reduzam o consumo de energia e melhorem a eficiência dos processos produtivos (ANEEL, 2013).

Além das regulamentações nacionais, existem normas internacionais que estabelecem diretrizes para a implementação de sistemas de gestão de energia. A ISO 50.001:2018 fornece um quadro para as organizações desenvolverem políticas de gestão de energia, fixarem metas e melhorarem continuamente o desempenho energético. A norma abrange todos os aspectos do uso de energia, desde a medição e documentação até o planejamento de melhorias operacionais. A adoção dessa norma pode ajudar as indústrias a otimizar sistematicamente o uso de energia, reduzindo custos e melhorando a sustentabilidade (ISO, 2018).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) também desempenha um papel crucial na promoção da EE. Este programa avalia e classifica a EE de diversos produtos, incluindo equipamentos industriais como compressores. Produtos que apresentam alta eficiência recebem o selo Procel de economia de energia, incentivando os consumidores a optarem por equipamentos mais eficientes. Além disso, o PBE fornece informações detalhadas sobre o consumo de energia e a eficiência dos produtos, auxiliando os consumidores na tomada de decisões informadas (INMETRO, 2021).

Normas técnicas específicas também regulamentam a EE de equipamentos industriais, como a norma ABNT NBR 15465-1:2019, que estabelece os requisitos mínimos de eficiência para compressores de ar isentos de óleo. Ela especifica os métodos de ensaio para determinar a EE e os critérios de desempenho que os compressores devem atender para serem considerados eficientes (ABNT, 2019). Por sua vez, a norma ABNT NBR 17094-1:2018 define os requisitos para a etiquetagem de EE de compressores de ar, fornecendo um sistema de classificação que facilita a comparação de diferentes modelos com base em sua eficiência (ABNT, 2018).

A implementação dessas normas e regulamentações não só ajuda as empresas a reduzirem seu consumo de energia e custos operacionais como contribui para a sustentabilidade ambiental. A adoção de práticas mais eficientes de gestão de energia e a utilização de tecnologias avançadas são estratégias essenciais para que as indústrias se mantenham competitivas e sustentáveis no longo prazo.

#### **4. METODOLOGIA**

Para avaliar os ganhos em EE decorrentes da implementação de um sistema de gestão de AC em uma indústria alimentícia, foram utilizados dados fornecidos por uma empresa fabricante de compressores e sistemas de gestão de AC. A metodologia aplicada inclui a coleta e análise de dados antes e após a instalação do sistema de gestão, com foco em parâmetros

como pressão, vazão e consumo de energia. Logo após, foram realizados os testes, resultados e conclusão, baseando-se nos pressupostos iniciais da redução do consumo de AC.

Essa metodologia baseia-se na dinâmica do ciclo da Melhoria Contínua ou Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Além disso, utilizou-se a Norma ABNT ISO 50.001, Sistemas de Gestão de Energia (ISO, 2018), que definiu o sistema de AC como Uso Significativo de Energia (USE) e uma Linha de Base de Energia (LBE) utilizando como base o consumo mensal de AC sem gerenciador e com gerenciador, correspondendo o período aproximado de um mês de faturamento de energia.

Antes de abordar os sistemas de gestão, é importante entender as características dos principais tipos de compressores utilizados na indústria. Os compressores de pistão utilizam pistões para comprimir o ar em um cilindro, apresentando vantagens como alta pressão de saída, baixo custo inicial e fácil manutenção. No entanto, possuem desvantagens como maior nível de ruído, maior manutenção e menor eficiência em grandes volumes. Os compressores de parafuso utilizam dois rotores helicoidais que giram em direções opostas para comprimir o ar. Estes são mais adequados para operação contínua, possuem menor nível de ruído e maior EE para grandes volumes, embora tenham um custo inicial mais elevado e necessitem de manutenção especializada. Já os compressores centrífugos utilizam um rotor para acelerar o ar e convertê-lo em pressão, oferecendo alta capacidade de fluxo, operação contínua e menor manutenção. Contudo, apresentam um custo inicial muito elevado e são menos eficientes em baixas pressões.

A Tabela 1, apresenta os principais tipos de compressores utilizados na indústria, detalhes de seu princípio de funcionamento, vantagens e desvantagens.

**Tabela 1 - Tipos de compressores mais comuns na indústria**

<b>Tipo de Compressor</b>	<b>Princípio de Funcionamento</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Pistão</b>	Utiliza pistões para comprimir o ar em um cilindro.	Alta pressão de saída, baixo custo inicial, fácil manutenção.	Maior nível de ruído, maior manutenção, menos eficiente em grandes volumes.
<b>Parafuso</b>	Utiliza dois rotores helicoidais que giram em direções opostas para comprimir o ar.	Operação contínua, menor nível de ruído, maior EE para grandes volumes.	Custo inicial mais elevado, necessidade de manutenção especializada.
<b>Centrífugo</b>	Utiliza um rotor para acelerar o ar e convertê-lo em pressão.	Alta capacidade de fluxo, operação contínua, menor manutenção.	Custo inicial muito elevado, custo de manutenção elevado, sem opção de variação de vazão ou inversores de frequência.

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Inicialmente, foi realizada uma análise dos dados operacionais dos compressores antes da instalação do sistema de gestão. O equipamento utilizado para a medição inicial foi o Analisador de Demanda de Ar (ADA), uma maleta fornecida por uma multinacional, que

permaneceu em operação por um período de 28 dias antes da instalação do sistema de gestão. A Figura 1 ilustra o equipamento ADA utilizado nas medições e coleta de dados.

**Figura 1 - Maleta de "ADA"**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Após a instalação do gerenciador *Sigma Air Manager (SAM)*, versão 4.0-4, os dados passaram a ser coletados diretamente do equipamento, eliminando a necessidade de reinstalar o ADA. O SAM 4.0-4 permitiu a coleta contínua e precisa dos dados, facilitando a análise das mudanças no consumo de energia e na eficiência do sistema ao longo de 25 dias, sendo que para uma análise correta, são necessários no mínimo 7 dias completos de medição. A Figura 2, ilustra o gerenciador SAM 4.0-4, utilizado no estudo.

**Figura 2 - Gerenciador SAM 4.0-4**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A análise dos dados coletados foi realizada utilizando softwares próprios da empresa, sendo que o software e o sistema utilizados para realizar essas medições atendem a todos os requisitos da ISO 11.011, que estabelece regras e metodologias para a realização de auditorias desta natureza.

A indústria em questão possui três compressores de ar da tecnologia de parafuso: dois compressores modelo CSD 100S, com vazão de 11,8 m<sup>3</sup>/min trabalhando a uma pressão de 8,5 bar(g), e um compressor modelo CSD 125, com vazão de 16,0 m<sup>3</sup>/min trabalhando a uma pressão de 8,5 bar(g). A vazão total disponível na instalação é de 39,6 m<sup>3</sup>/min à pressão de 8,5 bar(g).

Durante os períodos de medição, foram coletados dados detalhados sobre o consumo de energia e a eficiência do sistema de gestão de AC. Esses dados foram analisados para identificar as melhorias na EE e as reduções nos gastos com energia. Além disso, foram avaliadas as implicações operacionais, como a estabilização da pressão da rede e a redução de picos de energia.

O período de coleta foi de vinte e oito dias. Após a instalação do gerenciador SAM 4.0-4, os dados foram coletados diretamente do equipamento por mais vinte e cinco dias, eliminando a necessidade de reinstalar o ADA. O SAM 4.0-4 permitiu a coleta contínua e precisa dos dados, facilitando a análise das mudanças no consumo de energia e na eficiência do sistema, conforme os dados da Tabela 2.

**Tabela 2 - Período coleta de dados**

DADOS	INICIO (DATA)	FINAL (DATA)
COLETA PRÉ-INSTALAÇÃO DO GERENCIADOR (SAM4.0)	04/06/2019	02/07/2019
COLETA DE DADOS APÓS INSTALAÇÃO DO GERENCIADOR (SAM4.0)	04/10/2019	29/10/2019

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Os dados foram analisados utilizando um software da empresa que realizou as medições, comparando os resultados pré e pós-instalação para identificar variações na pressão da rede de AC, na vazão dos compressores e no consumo de energia elétrica.

A ISO 11.011 é uma norma internacional que estabelece diretrizes para a realização de medições em diversos campos, garantindo a precisão, confiabilidade e rastreabilidade dos resultados. A aplicação dessa norma é crucial para garantir a qualidade das medições, minimizando erros e incertezas (ISO, 2018).

Para uma análise abrangente dos benefícios e desafios da gestão de AC, pode-se utilizar a ferramenta SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*).

A seguir, planilha SWOT da Tabela 3, considera o trabalho realizado:

**Tabela 3 - Forças e Fraquezas (SWOT)**

Forças (Strengths)	Fraquezas (Weaknesses)
Redução do consumo de energia	Custo inicial de instalação elevado
Aumento da confiabilidade do sistema	Necessidade de manutenção periódica
Melhoria na EE e redução de emissões	Dependência de tecnologias avançadas
Prolongamento da vida útil dos compressores	Treinamento necessário para operadores

**Fonte:** Elaborada pelo autor

A Tabela 3, apresenta indicadores de ganhos e melhorias (forças) e pontos de atenção (fraquezas) que orientam a tomada de decisão de gestores de EE e manutenção.

**Tabela 4 - Oportunidades e Ameaças (SWOT)**

Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
Avanços tecnológicos	Mudanças nas regulamentações
Incentivos governamentais para EE	Flutuações nos preços de energia
Expansão para outras indústrias	Resistência à mudança nas práticas operacionais

**Fonte:** Elaborada pelo autor

A Tabela 4, indica contribuições para inovação (oportunidades) no ambiente industrial e indica os riscos (ameaças) que podem inviabilizar ou minizar bons resultados.

Por fim, a pesquisa busca não apenas quantificar a economia de energia proporcionada pelo sistema de gestão, mas também identificar outros benefícios, como a estabilização imediata da rede no início da produção, a redução de picos de energia, o prolongamento da vida útil dos compressores e a eliminação de quedas de pressão. Essas análises permitirão uma compreensão mais aprofundada sobre a EE e os ganhos operacionais obtidos com a implementação do sistema de gestão de AC.

## 5. TESTES E RESULTADOS

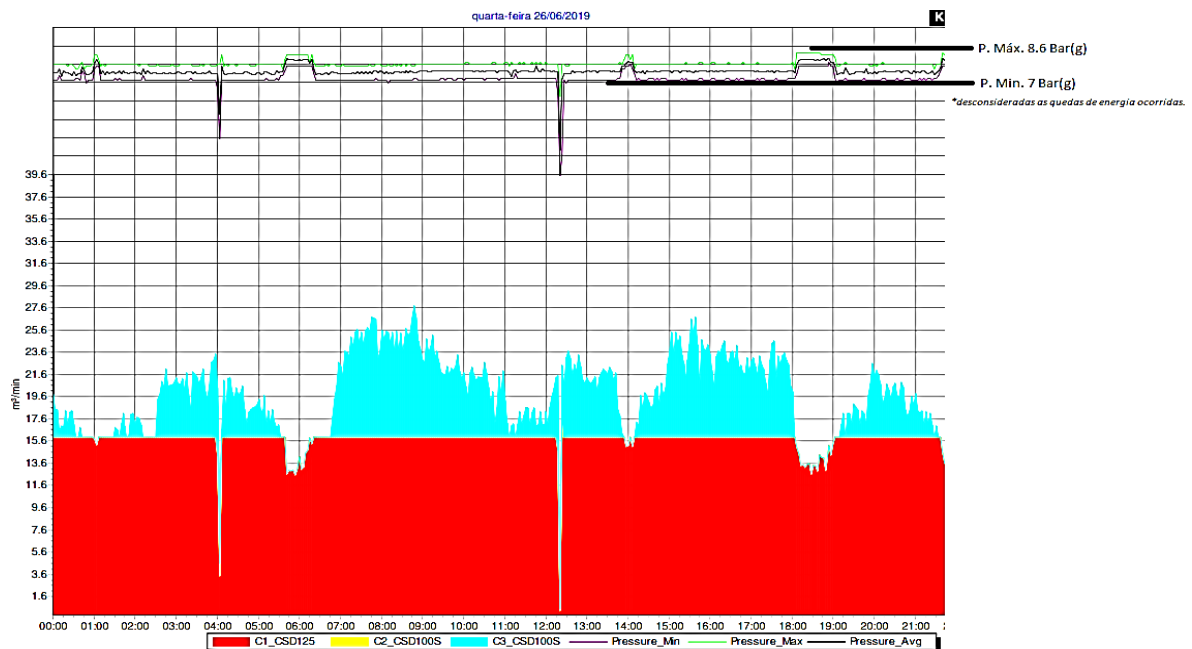
Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise da EE de gerenciadores de AC, assim como as discussões acerca dos dados encontrados. Serão abordados os principais aspectos observados e suas implicações na busca por soluções mais eficientes e sustentáveis no consumo de energia elétrica em sistemas industriais.

### 5.1 Coleta de dados

A análise dos dados coletados antes e depois da instalação e operação do sistema de gestão de AC revelou significativas melhorias em termos de EE e desempenho operacional. Os dados foram obtidos de três compressores de parafuso, dois modelos CSD 100S e um modelo CSD 125, todos fabricados pela Kaeser Compressores. As medições incluíram parâmetros como pressão, vazão e consumo de energia elétrica.

A pressão da rede estava oscilando entre 7 bar(g) e 8,6 bar(g), como observado na Figura 3, o que refletia um controle inadequado e um potencial desperdício de energia.

Figura 3 - Gráfico dia a dia sem gerenciador



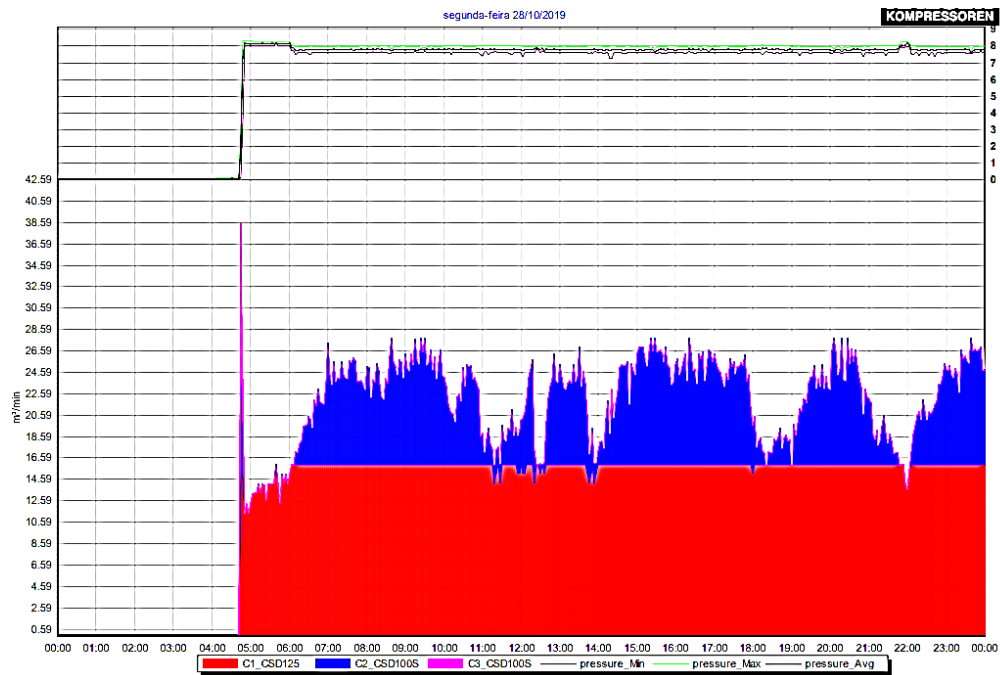
Fonte: Elaborado pelo autor

Antes da implementação do sistema de gestão, observou-se uma variação considerável na pressão da rede de AC, indicando ineficiências significativas na operação dos

compressores. Essa variação de pressão reflete na qualidade da produção da indústria, pois os equipamentos possuem uma exigência de pressão mínima que, quando não atingida, prejudica a eficiência ou a qualidade do produto final.

No gráfico da Figura 4, coletado no dia 28 de outubro de 2019 (após a instalação do gerenciador), podemos observar que a pressão da rede varia entre 8,2 Bar(g) e 7,8 Bar(g).

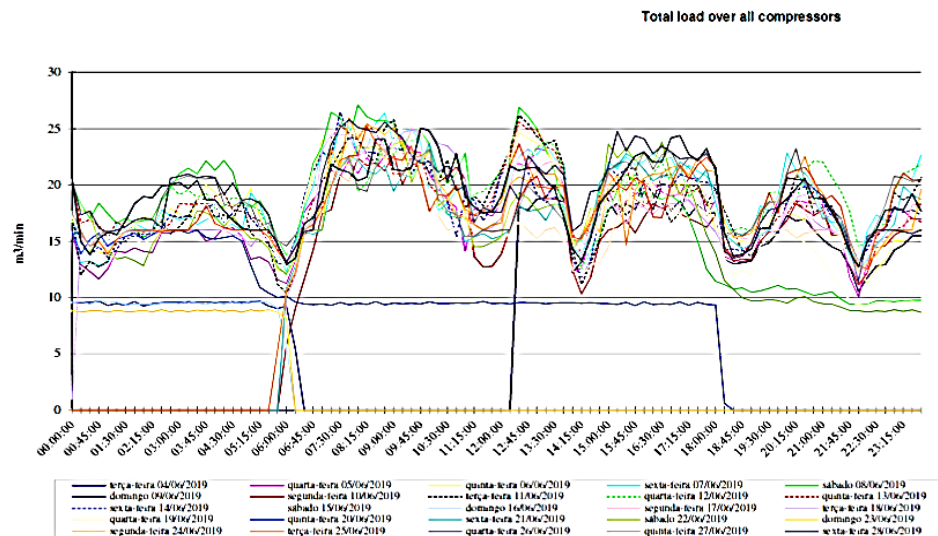
Figura 4 - Gráfico diário com gerenciador



Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico da Figura 5, coletado antes da instalação do gerenciador, é apresentado o consumo de AC da instalação.

Figura 5 - Vazão dos compressores antes do gerenciador

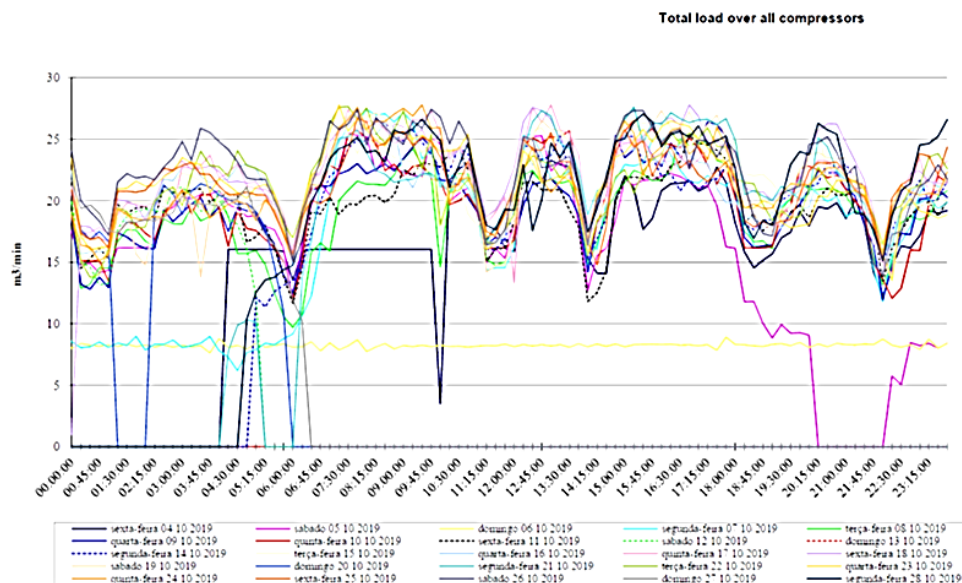


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 5, apresenta a demanda de AC diária, em função da vazão em  $\text{m}^3/\text{min}$  antes da instalação do gerenciador e mostra a dinâmica de consumo a cada dia.

No gráfico da Figura 6, coletado após a instalação do gerenciador, aonde é apresentado o consumo de AC da instalação, observou-se que o consumo aumentou a partir das 14h, comparado ao consumo anterior à instalação do gerenciador. A média de consumo antes da instalação era de  $23 \text{ m}^3/\text{min}$  e após a instalação do gerenciador, esse consumo na parte da tarde esteve em torno de  $24,5 \text{ m}^3/\text{min}$  (um aumento de 6,1%). É importante ressaltar também que antes da instalação do gerenciador, os compressores estavam sendo ligados entre 5h15 e 6h. Após a instalação do gerenciador, os compressores são acionados entre 3h45 e 5h15.

Figura 6 - Vazão dos compressores após o gerenciador



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 Análise e interpretação dos dados

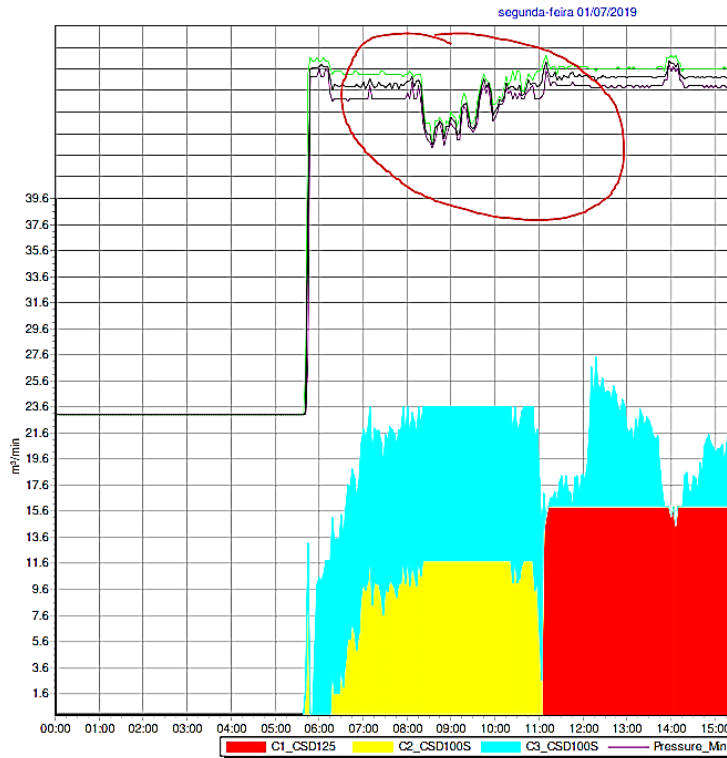
A utilização de um gerenciador de compressores na rede de AC apresenta benefícios significativos, tais como a confiabilidade e previsibilidade da rede para o operador. Antes da instalação do gerenciador, a pressão na rede de AC apresentava uma variação de até 1,6 bar(g), enquanto que, com o gerenciador, essa variação foi reduzida para apenas 0,4 bar(g). Isso garante que a rede de AC esteja sempre em condições adequadas para as operações industriais.

Outro benefício notável é a eliminação de quedas de pressão que ocorriam anteriormente, principalmente devido ao erro de seleção dos compressores. Com a instalação do gerenciador, essas quedas foram sanadas, uma vez que o equipamento possui a capacidade de calcular o aumento de consumo espontâneo e adequar o acionamento dos compressores conforme a demanda.

A figura 7 ilustra um exemplo de queda de pressão que ocorria na rede de AC antes da instalação do gerenciador. Quando dois compressores CSD 100S (100cv) com uma vazão somada de  $23,6 \text{ m}^3/\text{min}$  estavam 100% em carga, a pressão na rede caiu de 7 bar(g) para 4,8 bar(g), demonstrando que essa vazão não era suficiente para manter a pressão estável. Caso o compressor CSD 125 (125cv) estivesse ligado naquele momento, a queda de pressão seria evitada.

Após a instalação do gerenciador, não foram mais notadas quedas de pressão abaixo de 7,5 bar(g); limite que foi selecionado pelo operador. Esses resultados evidenciam que o gerenciador de compressores é um equipamento eficiente para garantir a estabilidade e confiabilidade da rede de AC.

**Figura 7 - Queda de pressão sem gerenciador**

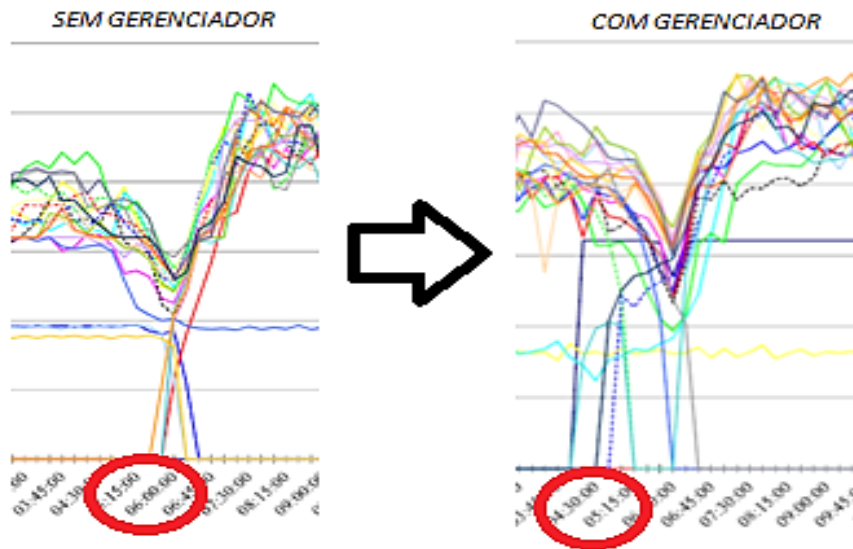


**Fonte:** Elaborado pelo autor

Um fator crucial a ser considerado na otimização do processo de produção é o horário de acionamento dos compressores. Com a utilização de um gerenciador de compressores, é possível acioná-los antes do início do turno, como pode ser observado na Figura 8. Essa abordagem apresenta diversos benefícios, dentre os quais destaca-se a estabilização da pressão ao longo da rede, permitindo que os operadores iniciem a produção imediatamente ao chegar na indústria. Dessa forma, não há necessidade de ligar os compressores, encher a rede e ajustar outros parâmetros típicos, pois todas essas tarefas já foram realizadas anteriormente, o que resulta em um ganho médio de 30 minutos na produção.

É importante salientar que a escolha do momento de acionamento dos compressores depende de diversos fatores, como o tamanho da rede, a demanda de produção e o consumo de energia elétrica. Por isso, é fundamental contar com um sistema de gerenciamento eficiente, capaz de avaliar todas as variáveis envolvidas e determinar o momento mais adequado para o acionamento dos compressores. A partir dessa análise criteriosa, é possível obter um aumento significativo na eficiência do processo produtivo e reduzir custos operacionais.

**Figura 8 - Horário acionamento**



**Fonte:** Elaborada pelo autor

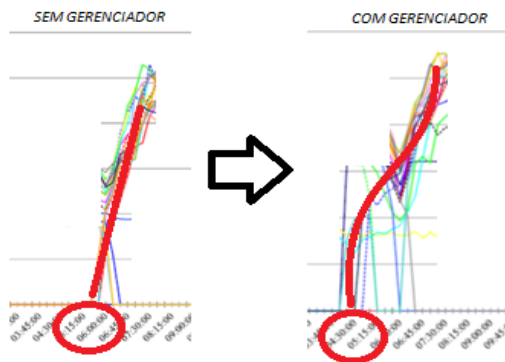
Além dos benefícios já mencionados, a utilização de um gerenciador de compressores para acioná-los antes do início do turno proporciona outra vantagem relevante: a possibilidade de utilizar apenas um compressor para encher a rede e estabilizar a pressão. Com isso, é possível economizar energia elétrica e evitar picos de consumo decorrentes do acionamento simultâneo de múltiplos compressores. Esta abordagem permite uma operação mais eficiente e controlada, ajustando o funcionamento dos compressores de acordo com a demanda real e evitando sobrecargas no sistema.

A Figura 9 ilustra claramente a mudança na "curva de acionamento" dos compressores após a instalação do gerenciador. Observa-se que, com o uso desse dispositivo, a curva torna-se mais suave, o que indica uma redução significativa nos picos de consumo de energia elétrica. Essa mudança na curva de acionamento é explicada pelo fato de que o gerenciador utiliza apenas um compressor para encher a rede e estabilizar a pressão, evitando, assim, o acionamento simultâneo de todos os compressores. Além disso, o gerenciador pode ajustar dinamicamente a operação dos compressores com base na demanda, garantindo que a energia seja utilizada de forma mais eficiente e racional.

Essa abordagem é particularmente importante em indústrias com alta demanda de energia elétrica, pois a redução nos picos de consumo pode resultar em significativa economia de custos operacionais. Reduzir picos de consumo não só diminui a carga sobre a infraestrutura elétrica da fábrica como pode evitar penalidades tarifárias associadas ao uso excessivo de energia durante os períodos de pico. Além disso, a redução no consumo de energia elétrica tem um impacto positivo na sustentabilidade ambiental, já que a produção de energia elétrica é frequentemente associada à emissão de gases de efeito estufa. Dessa forma, a utilização eficiente de energia contribui para a redução da pegada de carbono da empresa e promove práticas operacionais mais sustentáveis.

Em suma, a implementação de um sistema de gerenciamento de compressores que otimiza o acionamento dos equipamentos antes do início do turno oferece múltiplas vantagens, incluindo economia de energia, redução de custos operacionais e menor impacto ambiental. Esses benefícios reforçam a importância de investir em tecnologias avançadas de gestão de energia para melhorar a eficiência e a sustentabilidade das operações industriais.

**Figura 9 - Curva acionamento**

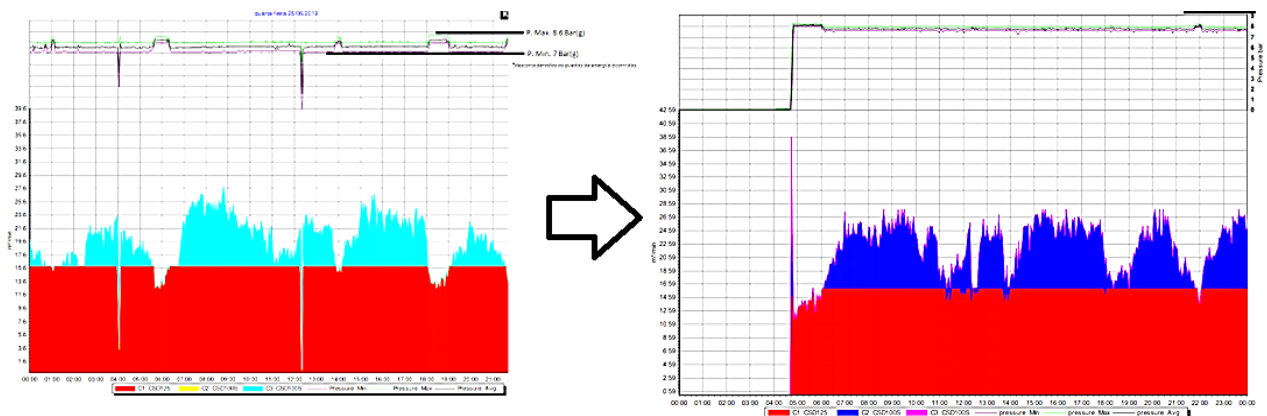


Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, o gerenciador alterna os compressores para equilibrar suas horas de funcionamento, aumentando o intervalo entre as manutenções. Conforme podemos observar na figura 10, os compressores em operação são C1 e C3. Após a instalação do gerenciador, ele substituiu o C3 (CSD 100S) pelo C2 (também CSD 100S), com o objetivo de equilibrar as horas de funcionamento sob carga. Isso aumentou o intervalo entre manutenções e, consequentemente, a vida útil do compressor.

Essa mudança não é possível com o CSD 125, pois o operador possui somente uma unidade dele e, conforme foi observado, se este compressor for desligado pode ocorrer uma queda de pressão em alguns momentos. Considerando que a principal função do gerenciador é garantir a pressão, e as funções secundárias são os benefícios citados acima ele não realiza essa manobra de equivalência de horas com o CSD 125.

**Figura 10 - Equiparando horas de funcionamento**



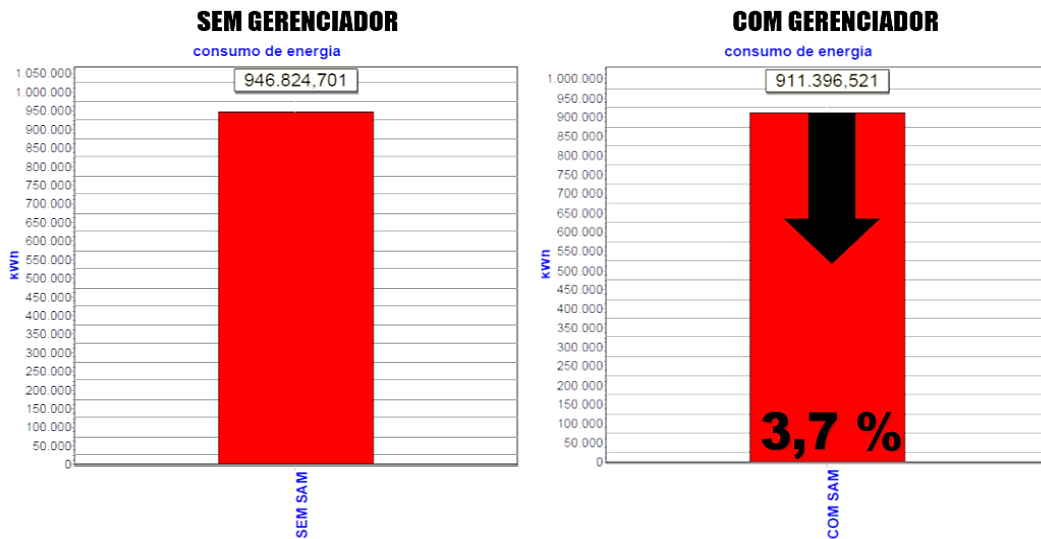
Fonte: Elaborado pelo autor

Com estes dados coletados, foi realizado um estudo de eficiência, comparando o consumo de energia antes e após a instalação do gerenciador. Nos gráficos da figura 11, é possível verificar que com a instalação do gerenciador houve uma redução de 3,7% no consumo de energia, porém essa diferença é ainda maior pois após a instalação do gerenciador o consumo de ar aumentou no turno da tarde (de 23 m<sup>3</sup>/min de média para 24,5m<sup>3</sup>/min de média), e mesmo com esse aumento houve uma diminuição no consumo de

energia. Esse cálculo desconsidera o ganho adicional que ocorrerá na manutenção dos compressores e na produção que agora está apta para iniciar de imediato após o início do turno, conforme observado anteriormente.

Não foram fornecidos os custos totais da instalação e nem as contas de energia pelas empresas executoras do projeto, portanto, considerando um custo médio de R\$0,47/kWh (quarenta e sete centavos por kWh), o *payback* da instalação deste gerenciador ocorre em aproximadamente três anos.

Figura 11 - Consumo de energia



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Vantagens e características

Vantagem / Característica	Descrição
1. Confiabilidade e previsibilidade	O sistema de gestão melhorou a confiabilidade e previsibilidade da operação dos compressores, garantindo uma operação mais eficiente e estável.
2. Diminuição da variação de pressão	A pressão da rede manteve-se consistentemente entre 8,2 bar(g) e 7,8 bar(g) após a implementação, reduzindo flutuações e otimizando a operação dos compressores.
3. Eliminação das quedas de pressão	As quedas de pressão foram eliminadas, garantindo uma operação contínua e eficiente dos processos industriais que dependem de AC.
4. Erro de seleção dos compressores	A implementação do sistema corrigiu erros na seleção dos compressores, ajustando dinamicamente a operação com base na demanda real.
5. Estabilidade e confiabilidade da rede de AC	A operação mais estável resultou em maior confiabilidade da rede de AC, minimizando interrupções e melhorando a eficiência operacional.
6. Horário de acionamento dos compressores	O sistema permitiu o acionamento dos compressores em horários mais adequados, ajustando-se melhor às necessidades da produção.
7. Ganho médio de 30 minutos na produção	A operação otimizada dos compressores proporcionou um ganho médio de 30 minutos na produção, devido à estabilização da pressão antes do início do turno.
8. Possibilidade de utilizar apenas um compressor para estabilizar	A operação ajustada permitiu utilizar apenas um compressor para encher a rede e estabilizar a pressão, aumentando a eficiência e economizando energia.
9. Economizar energia elétrica e evitar picos de consumo	O sistema reduziu o consumo de energia elétrica e evitou picos de consumo, ajustando dinamicamente a operação dos compressores conforme a demanda.
10. Evitar o acionamento de vários compressores ao mesmo tempo	A gestão eficiente evitou o acionamento simultâneo de vários compressores, otimizando o uso de energia e melhorando a eficiência operacional.
11. Equiparar as horas de manutenção	O sistema permitiu o revezamento dos compressores, equiparando as horas de manutenção e garantindo uma distribuição equilibrada do uso dos equipamentos.
12. Aumento do intervalo de manutenção	A operação otimizada resultou em um aumento no intervalo de manutenção, reduzindo a necessidade de intervenções frequentes.
13. Aumento da vida útil dos compressores	A eficiência e a estabilidade operacionais contribuíram para aumentar a durabilidade dos compressores, prolongando sua vida útil.
14. Redução de 3,7% no consumo de energia	A implementação do sistema de gestão resultou em uma redução de 3,7% no consumo total de energia elétrica, demonstrando a eficácia na melhoria da EE.

Fonte: Elaborada pelo autor

## 6. DISCUSSÕES GERAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a implementação de um sistema de gestão de AC em uma indústria alimentícia resultou em significativas melhorias em termos de EE e desempenho operacional. As análises revelaram uma estabilização substancial na pressão da rede de AC, uma redução notável no consumo de energia e um aumento na confiabilidade e durabilidade dos compressores.

A estabilização da pressão da rede, que se manteve consistentemente entre 7,8 bar(g) e 8,2 bar(g) após a instalação do sistema, permitiu uma operação mais eficiente dos compressores. Essa estabilidade reduziu as flutuações de pressão, que anteriormente resultavam em desperdício de energia e operação ineficiente. A redução no consumo de energia elétrica foi de aproximadamente 3,7%, evidenciando a eficácia do sistema em ajustar dinamicamente a operação dos compressores conforme a demanda real de AC.

Além da economia de energia, o sistema de gestão contribuiu significativamente para a confiabilidade operacional. A redução no desgaste dos componentes dos compressores e o aumento no intervalo de manutenção prolongaram a vida útil dos equipamentos, resultando em menores custos de manutenção e maior disponibilidade operacional. A melhoria na confiabilidade e previsibilidade da operação dos compressores foi um dos principais benefícios observados, assegurando que a produção pudesse ocorrer sem interrupções devido a falhas nos equipamentos.

Outra vantagem importante foi a possibilidade de ajustar os horários de acionamento dos compressores, especialmente antes do início dos turnos de produção. Isso não só estabilizou a pressão da rede antes do início da operação como resultou em um ganho médio de 30 minutos na produção diária, ao eliminar a necessidade de ajustes manuais e atrasos no início dos turnos.

A abordagem que utiliza apenas um compressor para encher a rede e estabilizar a pressão mostrou-se particularmente eficaz em economizar energia e evitar picos de consumo. Esse método evita o acionamento simultâneo de vários compressores, otimizando o uso da energia e contribuindo para uma operação mais eficiente e sustentável.

Em conclusão, a implementação de um sistema de gestão de AC trouxe benefícios significativos em termos de EE, redução de custos operacionais e melhoria na confiabilidade e vida útil dos compressores. Esses resultados destacam a importância de adotar tecnologias avançadas de gestão de energia para otimizar as operações industriais e promover a sustentabilidade. A adoção de práticas eficientes e a utilização de tecnologias modernas são essenciais para que as indústrias possam reduzir seu impacto ambiental e aumentar sua competitividade no mercado.

### 6.1 Contribuições para a área

O presente estudo oferece diversas contribuições significativas para a área de gestão de energia industrial, especialmente no contexto do uso de sistemas de gestão de AC. Primeiramente, os resultados destacam a eficácia de tecnologias avançadas na melhoria da EE e na otimização dos processos industriais. A implementação do sistema de gestão de AC resultou em uma estabilização notável da pressão da rede entre 7,8 bar(g) e 8,2 bar(g), contribuindo para uma operação mais eficiente e reduzindo significativamente o consumo de energia.

Além disso, a pesquisa demonstra que a adoção de sistemas de gestão avançados pode melhorar a confiabilidade e a durabilidade dos compressores. A redução no desgaste dos componentes e o aumento nos intervalos de manutenção evidenciam que esses sistemas não apenas economizam energia, mas também prolongam a vida útil dos equipamentos, resultando em menores custos operacionais e maior disponibilidade dos compressores.

O estudo também ressalta a importância de ajustar os horários de acionamento dos compressores para evitar picos de consumo de energia. A utilização de um único compressor para encher a rede e estabilizar a pressão antes do início dos turnos resultou em uma economia significativa de energia e na prevenção de sobrecargas no sistema elétrico. Este método otimiza o uso dos recursos energéticos e promove uma operação mais sustentável e econômica.

Além das melhorias operacionais e econômicas, a pesquisa contribui para a sustentabilidade ambiental, ao demonstrar que a redução no consumo de energia elétrica está diretamente relacionada à diminuição das emissões de gases de efeito estufa. A eficiência no uso de energia é crucial para minimizar o impacto ambiental das operações industriais, alinhando-se às práticas de responsabilidade ambiental e sustentabilidade corporativa.

Este estudo serve como um referencial para futuras pesquisas e práticas na área de gestão de energia, incentivando a adoção de tecnologias avançadas e estratégias de gestão eficientes. As descobertas podem ser aplicadas a diversas indústrias que utilizam sistemas de AC, promovendo a disseminação de práticas mais eficientes e sustentáveis no setor industrial.

## 7. CONCLUSÕES

A implementação de tecnologias de gestão de energia é uma estratégia eficaz para aprimorar a utilização dos recursos energéticos em uma indústria, trazendo benefícios para a empresa e para o meio ambiente. A partir desse estudo, é possível afirmar que o gerenciador de AC é uma alternativa viável e promissora para as empresas que buscam reduzir custos operacionais, aumentar a EE e prolongar a vida útil de seus equipamentos.

Os objetivos propostos foram alcançados, confirmando que o gerenciador de AC contribui significativamente para a otimização do consumo energético e fornece diversas outras melhorias para o utilizador, sendo uma ferramenta promissora para a gestão sustentável de recursos.

A metodologia utilizada, que incluiu análise de dados operacionais permitiu a identificação de ganhos concretos em termos de EE e redução de custos. Porém, devido ao não fornecimento das contas de energia pelo utilizador, não foi possível verificar a diferença exata do consumo energético antes da instalação e após a instalação.

Futuras pesquisas podem se beneficiar de estudos de caso mais abrangentes, que considerem variáveis adicionais, como a variação na demanda de ar comprimido a partir da instalação de inversores de frequência e uma quantidade maior de compressores na rede de ar comprimido.

Por fim, sugere-se o aprofundamento do tema, explorando o desenvolvimento de algoritmos ainda mais avançados e integrados a sistemas de gestão energética mais amplos.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa n. 563/2013**. Brasília, DF: ANEEL, 2013. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013563.pdf>. 2013. Acesso em: 12 dez. 2024.

ATLAS COPCO. Maximize a eficiência da sua instalação de ar comprimido. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/service/efficiency>. 2021. Acesso em: 12 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15465:2020**. Sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão: requisitos de desempenho. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17094-1:2018**. Máquinas elétricas girantes - parte 1: motores de indução trifásicos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria n. 235 de 01 de setembro de 2014**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/reidi/portarias/2014/portaria-spe-235-de-01-09-2014-publicado-no-dou-02-09-2014.pdf>. 2014. Acesso em: 12 dez. 2024.

FREITAS, André Mateus Amorim Dias. Eficiência energética em sistemas de ar comprimido. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra (Portugal). Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/83029>. 2017. Acesso em: 12 dez. 2024.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**. Brasília: INMETRO, 2021. Disponível em: <https://pbe.inmetro.gov.br/#/>. 2021. Acesso em: 12 dez. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 50001:2018 - Energy management systems**: requirements with guidance for use. Genebra: ISO, 2018.

KANOGLU, M.; ÇENGEL, Y. A. **Energy efficiency and management for engineers**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

MARSHALL, R.; SCALES, B. **Compressed air controls**. Compressed Air Challenge®. In: Air Best Practices, oct., 29, 2010. Disponível em: <https://www.airbestpractices.com/technology/compressor-controls/compressed-air-controls>. Acesso em: 9 ago. 2021.

MORAES, M. A. M.; OLIVEIRA, A. C. **Eficiência energética em sistemas de produção**. São Paulo: Blucher, 2012.

O'BRIEN, W. **Compressed air system efficiency**. New York: McGraw-Hill, 2007.

ROCHA, C. R, MONTEIRO, M. A. G. Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido; Eletrobrás/Procel, 2014. Disponível em: [https://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_18/2014/04/22/6281/ManualArComprimido.pdf](https://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualArComprimido.pdf). Acesso em: 12 dez. 2024.

SWITZER, P. W. **Compressed air systems**: a guidebook on energy and cost savings, report, March, 30, 1984; United States. Disponível em: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1060432/>. Acesso em: 12 dez. 2024.

### Sobre os Autores:

---

#### <sup>i</sup> Matheus Corrêa Soares



Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Nove de Julho (2020), Pós-Graduação em Gestão de Energia e Eficiência Energética pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2024). Tem experiência como Engenheiro de Aplicação, com ênfase em Projetos Especiais na área de compressores de parafuso e tratamento de ar comprimido.

#### <sup>ii</sup> Hermom Leal Moreira



Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP (2021), mestrado em Engenharia Elétrica pela UNESP (2015), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIC (2007) e graduação em Engenharia Elétrica – Telecomunicações pela UFMT (2006). Atualmente é professor da Escola e Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. <https://orcid.org/0000-0001-8339-7303>

#### <sup>iii</sup> José Ricardo da Silva



Possui mestrado em engenharia de produção pela UNIP (2010), possui graduação em Pedagogia pela FAI -Faculdades Associadas Ipiranga (1996). Atualmente é coordenador de atividades técnicas-pedagógicas na Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. Possui experiência na área mecânica e de automação industrial. <https://orcid.org/0000-0003-1105-0102>