

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS, ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

MONIQUE INÊS SQUEBOLA

DMAIC APLICADO AO AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA
EMPRESA ALIMENTÍCIA

ITUIUTABA

2026

MONIQUE INÊS SQUEBOLA

DMAIC APLICADO AO AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA
EMPRESA ALIMENTÍCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Administração, Ciências
Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Batista Penteado

ITUIUTABA

2026

DMAIC APLICADO AO AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EMPRESA ALIMENTÍCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Administração, Ciências
Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia de Produção.

Ituiutaba, 23 de Março de 2026.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Batista Penteado (orientador), Universidade
Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Lúcio Abimael Medrano, Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dra. Gabriela Lima Menegaz, Universidade Federal de
Uberlândia

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas um avanço na minha formação profissional, mas também um significativo crescimento pessoal, marcado por desafios que exigiram dedicação, persistência e determinação. Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me concedido força e perseverança para seguir em frente e alcançar mais essa importante etapa da minha trajetória.

Aos meus pais, expresso minha sincera gratidão por todo o apoio, carinho e compreensão ao longo dessa caminhada. Vocês tornaram esse processo mais leve e sempre acreditaram no meu potencial. Aos meus avós, minha irmã e a toda a minha família, agradeço pelo amor, incentivo e pelos ensinamentos que levarei comigo por toda a vida.

Ao meu namorado, deixo meu agradecimento por sempre estar ao meu lado como apoio e parceiro durante esses anos, compartilhando comigo os desafios e conquistas dessa jornada. Aos meus amigos da República Santa Casa, agradeço pelo companheirismo, pela amizade e por todos os momentos vividos ao longo desse período. Cada lembrança permanecerá guardada com muito carinho. Deixo um agradecimento particular à minha amiga Ana Rita Brugugnolli Sandrini, que esteve comigo desde o primeiro dia de aula, acompanhando toda essa caminhada e tornando os dias mais leves e alegres.

Ao meu professor orientador, Ricardo Batista Penteado, agradeço pela orientação, apoio e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para a realização deste estudo. Agradeço também a todos os professores do curso de Engenharia de Produção, que, ao longo da minha trajetória acadêmica, compartilharam seus conhecimentos e contribuíram significativamente para minha formação profissional. Estendo meus agradecimentos aos colegas e amigos de estágio, que colaboraram para o meu crescimento e aprendizado no ambiente profissional. Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste sonho.

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi desenvolvido em uma indústria produtora de xarope de milho, localizada no interior do estado de Minas Gerais. Diante de um cenário de elevada competitividade no mercado, as empresas precisam buscar constantemente inovação, sendo a eficiência energética um importante diferencial, especialmente no setor alimentício. Nesse contexto, visando à melhoria da eficiência energética do processo produtivo, identificou-se a necessidade de elevar o índice de retorno de condensado para a caldeira. O projeto foi estruturado com base na metodologia DMAIC, amplamente difundida no contexto do Seis Sigma. Ao longo das etapas de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, foram aplicadas ferramentas da qualidade, tais como mapeamento de processos, gráfico de correlação, diagrama de causa e efeito, gráfico de dispersão e plano de ação 5W2H, com a finalidade de identificar e analisar as principais variáveis que impactavam o desempenho do sistema. A partir das análises realizadas, foram identificadas as causas raízes responsáveis pelo baixo índice de retorno de condensado, fator que comprometia a eficiência energética da unidade industrial. O trabalho utiliza a metodologia de estudo de caso, aplicada em uma empresa do setor alimentício, com o objetivo de analisar a eficiência energética. Com base nos resultados obtidos, foram propostas e implementadas ações de melhoria e padronização do processo, culminando em um aumento do retorno de condensado para 69%, evidenciando a efetividade da aplicação estruturada das ferramentas da qualidade na otimização do desempenho operacional.

Palavras-chave: DMAIC; Indústria Alimentícia; Retorno de condensado; Eficiência energética.

ABSTRACT

This Final Course Project was developed in a corn syrup production industry located in the interior of the state of Minas Gerais. Faced with a highly competitive market, companies need to constantly seek innovation, with energy efficiency being an important differentiator, especially in the food sector. In this context, we moved towards improving the energy efficiency of the production process, agreeing on the need to increase the condensate return rate to the boiler. The project was structured based on the DMAIC methodology, widely disseminated in the context of Six Sigma. Throughout the stages of Define, Measure, Analyze, Improve and Control, quality tools were applied, such as process mapping, correlation chart, cause and effect diagram, scatter plot and 5W2H action plan, in order to identify and analyze the main variables that impacted the system's performance. From the analyses carried out, the root causes responsible for the low condensate return rate were identified, a factor that compromised the energy efficiency of the industrial unit. This work uses a case study methodology, applied to a company in the food sector, with the objective of analyzing energy efficiency. Based on the results obtained, actions to improve and standardize the process were proposed and implemented, culminating in an increase in condensate return to 69%, demonstrating the effectiveness of the structured application of quality tools in optimizing operational performance.

Keywords: DMAIC; Food Industry; Condensate return; Energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Processo de envio de condensado.	Página 24
Figura 2	Variáveis X e Y do processo.	Página 26
Figura 3	Diagrama de Ishikawa do retorno de condensado.	Página 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação entre nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades (DPMO).	Página 15
Tabela 2	Definições das etapas da metodologia DMAIC.	Página 16
Tabela 3	Plano de ação para a eliminação das causas raízes do problema de baixo retorno de condensado para a caldeira.	Página 32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Retorno de condensado atual	Página 27
Gráfico 2	Análise do retorno de condensado em relação ao consumo de vapor	Página 28
Gráfico 3	Análise de correlação entre a temperatura do vapor do trocador de calor 1 e o envio de condensado.	Página 29
Gráfico 4	Análise de correlação entre a temperatura do vapor do trocador de calor 2 e o envio de condensado.	Página 30
Gráfico 5	Análise de correlação entre a pressão do vapor do trocador de calor 1 e o envio de condensado.	Página 30
Gráfico 6	Análise de correlação entre a pressão do vapor do trocador de calor 2 e o envio de condensado.	Página 31
Gráfico 7	Análise da relação entre condutividade e nível do equipamento.	Página 32
Gráfico 8	Análise de manutenções realizadas em equipamentos.	Página 32
Gráfico 9	Retorno de condensado atual.	Página 36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
B2B	Business to Business
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)
DOE	Design of Experiments
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
PDCA	Plan, Do, Check, Act (Planejar, Executar, Verificar e Agir)
SKU	Stock Keeping Unit
VSM	Value Stream Mapping
5W2H	What, Why, Where, When, Who, How, How Much
6M	Método, Máquina, Medida, Meio ambiente, Mão de obra e
Material	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 OBJETIVOS DE PESQUISA	2
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 METODOLOGIA SEIS SIGMA	4
2.2 DMAIC	5
2.2.1 <i>Definir</i>	7
2.2.2 <i>Mensurar</i>	7
2.2.3 <i>Analisar</i>	7
2.2.4 <i>Melhorar</i>	8
2.2.5 <i>Controlar</i>	8
2.3 FERRAMENTAS APLICADAS AO MÉTODO DMAIC.....	8
2.3.1 <i>Mapeamento de processos</i>	9
2.3.2 <i>Gráfico de correlação</i>	9
2.3.3 <i>Gráfico de dispersão</i>	10
2.3.4 <i>Gráfico combinado</i>	11
2.3.5 <i>Ishikawa</i>	11
2.3.6 <i>5W2H</i>	12
3 METODOLOGIA	12
3.1 TIPO DE PESQUISA	12
3.2 NATUREZA DA PESQUISA	13
3.3 ABORDAGEM DA PESQUISA	13
3.4 PROCEDIMENTO TÉCNICO.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA	14
4.2 DEFINIR	15
4.3 MENSURAR	16
4.4 ANALISAR	17
4.5 MELHORAR	25
4.6 CONTROLAR.....	27
5 CONCLUSÕES	28
5.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO.	28
5.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	29
5.3 TRABALHOS FUTUROS	30
REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A crescente competitividade do mercado industrial tem levado as organizações a buscarem alternativas para otimizar seus processos produtivos, reduzir custos operacionais e, simultaneamente, atender às demandas de seus clientes com sustentabilidade. Nesse contexto, a eficiência energética destaca-se como um fator estratégico, especialmente no setor alimentício, que apresenta elevado consumo de energia em processos térmicos, elétricos e de utilidades industriais (ANEEL, 2020).

Segundo Goldemberg e Lucon (2011), a eficiência energética consiste na utilização racional da energia, promovendo a redução de desperdícios sem comprometer o desempenho dos processos produtivos. Além dos benefícios econômicos, a adoção de práticas eficientes contribui para a mitigação de impactos ambientais, redução das emissões de gases de efeito estufa e fortalecimento da responsabilidade socioambiental das empresas.

No ambiente industrial, a melhoria da eficiência energética requer uma abordagem estruturada, baseada em dados e alinhada à estratégia organizacional. A abordagem de solução de problemas fundamentada nos princípios e na metodologia Seis Sigma, integrada à aplicação da ferramenta DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), tem se consolidado como uma das estratégias adotadas pelas organizações para elevar o nível de qualidade de seus produtos e serviços. O método DMAIC, constitui o principal ciclo de desenvolvimento de projetos Seis Sigma, sendo aplicado de forma sistemática na resolução de problemas complexos (Werkema, 2014).

De acordo com Montgomery (2019), o DMAIC proporciona uma estrutura lógica para a identificação das causas raiz de ineficiências, permitindo a implementação de melhorias sustentáveis e o controle dos resultados ao longo do tempo. Quando aplicado à gestão energética, o método possibilita mapear os principais pontos de consumo, identificar perdas energéticas, avaliar oportunidades de otimização e monitorar os ganhos obtidos após a implementação das ações corretivas.

No setor alimentício, a aplicação do DMAIC mostra-se particularmente relevante devido à complexidade dos processos produtivos e à intensa utilização de sistemas como caldeiras, trocadores de calor, evaporadores, compressores e

sistemas de refrigeração, os quais impactam diretamente o consumo energético da planta industrial (Corrêa; Corrêa, 2012).

1.2 Justificativa

No projeto desenvolvido, observa-se o interesse da empresa em aprimorar sua eficiência energética. Para alcançar esse propósito, tornou-se necessária a realização de estudos técnicos e a implementação de melhorias voltadas ao atendimento dos objetivos estabelecidos. Nesse contexto, o alinhamento das ferramentas utilizadas com os *stakeholders* envolvidos mostra-se fundamental para o sucesso da iniciativa.

Com o propósito de contribuir para a mitigação das falhas operacionais, foi desenvolvido um projeto fundamentado na metodologia DMAIC. Para sua execução, realizou-se inicialmente o mapeamento do processo, bem como a identificação dos equipamentos com maior relevância em termos de retorno e consumo, considerando o escopo do estudo. Em seguida, foram conduzidas análises dos dados da empresa em conjunto com a equipe operacional, com o objetivo de identificar as possíveis causas raízes dos problemas existentes.

Após o diagnóstico das causas, foram implementadas ações de melhoria voltadas ao aumento do retorno de condensado para a caldeira, resultando em um incremento desse retorno. Diante disso, o presente trabalho propõe elevar a eficiência energética da indústria por meio da aplicação do DMAIC como diretriz das etapas do projeto.

A escolha do DMAIC como metodologia deste trabalho justifica-se pela sua aplicabilidade em ambientes industriais complexos, como o setor alimentício, onde pequenas variações operacionais podem resultar em perdas energéticas significativas. Montgomery (2019) ressalta que a utilização de ferramentas estatísticas e de qualidade integradas ao DMAIC contribui para decisões mais assertivas e baseadas em dados confiáveis, o que é essencial para projetos de eficiência energética.

1.3 Objetivos de pesquisa

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho realiza a aplicação da metodologia DMAIC com o objetivo elevar a eficiência energética de um processo industrial, utilizada para encontrar causas que contribuem para a baixa taxa de retorno de condensado à caldeira em uma indústria.

Para tanto, será elaborado e implementado um plano de ação fundamentado no mapeamento detalhado do processo e na aplicação de ferramentas da qualidade, com foco na mitigação de perdas energéticas e na maximização do retorno de condensado ao sistema.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Mapear o processo de retorno de condensado, identificando as etapas, interfaces e pontos críticos do sistema;
- Analisar as principais causas que contribuem para o não retorno do condensado ao sistema de geração de vapor;
- Propor, implementar e acompanhar ações de melhoria em conjunto com a equipe operacional e demais *stakeholders*, com o objetivo de elevar a taxa de retorno de condensado;
- Quantificar os ganhos energéticos obtidos com a implantação das melhorias propostas.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho encontra-se sistematizado em capítulos, conforme descrito a seguir.

No Capítulo 1 é realizada a contextualização do tema, com a apresentação dos objetivos gerais e específicos, da justificativa do estudo e da estrutura adotada para o desenvolvimento da pesquisa.

O Capítulo 2 é dedicado ao referencial teórico, contemplando conceitos relacionados à metodologia DMAIC, às ferramentas do Lean Seis Sigma e à relevância da eficiência energética no contexto das indústrias inseridas no mercado contemporâneo.

No Capítulo 3 são detalhados a metodologia empregada, bem como as etapas necessárias para a condução da pesquisa e para a aplicação do modelo DMAIC, fundamentado no uso de ferramentas apropriadas.

O Capítulo 4 reúne a análise e a interpretação dos resultados alcançados com a implementação do DMAIC associado à filosofia Lean Seis Sigma na empresa objeto de estudo, abrangendo a identificação do problema, o levantamento das causas raízes e a realização de análises estatísticas que subsidiam a proposição de ações de melhoria.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais da autora, incluindo sugestões de desdobramentos e aplicações futuras do estudo. As referências bibliográficas utilizadas na elaboração da pesquisa encontram-se reunidas no Capítulo 6.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Metodologia Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma é uma abordagem estruturada voltada para a melhoria contínua dos processos, com foco na redução da variabilidade e na eliminação de defeitos por meio do uso de ferramentas estatísticas. Baseada no ciclo DMAIC, ela contribui para o aumento da qualidade, da eficiência e da competitividade organizacional (Werkema, 2012).

Criada pela Motorola nos anos 1980 e posteriormente disseminada por empresas como a General Electric, ela se consolidou como um dos mais importantes modelos de gestão da qualidade no cenário mundial (Pereira; Souza, 2021). De acordo com Pande et al. (2000), o Seis Sigma consiste em um sistema abrangente e adaptável, voltado para alcançar, manter e potencializar o sucesso organizacional.

Seu propósito principal é atingir padrões de desempenho extremamente elevados, reduzindo o número de defeitos para menos de 3,4 ocorrências por milhão de oportunidades (Campos; Lima, 2020). De acordo com Werkema (2019), o Seis Sigma emprega técnicas estatísticas e métodos analíticos para compreender, monitorar e controlar processos, permitindo decisões fundamentadas em dados.

A metodologia Seis Sigma é utilizada em diferentes segmentos, incluindo o agronegócio, onde contribui para otimizar etapas produtivas, minimizar perdas e melhorar o uso de recursos (Silva; Pereira, 2022).

Segundo Maximiano e Trad (2009), o símbolo grego sigma (σ) é utilizado para representar o desvio-padrão de um processo. O grau de variabilidade, medido em nível sigma, deve ser estabelecido de maneira particular para cada organização, pois a diminuição das variações do processo está diretamente ligada aos custos envolvidos na redução de defeitos, sendo necessário considerar também o valor agregado do produto e a disposição do cliente em pagar por ele.

O nível Seis Sigma corresponde a um desempenho do processo de aproximadamente 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, assumindo um

deslocamento da média do processo de 1,5 desvios-padrão ao longo do tempo (Harry; Schroeder, 2000). A Tabela 1 mostra o percentual de qualidade do processo, o número de defeitos por milhão e o nível sigma.

Tabela 1: Relação entre nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades (DPMO)

Nível Sigma	% de qualidade (aprox.)	DPMO (defeitos por milhão)
1 σ	30,85%	690 000
2 σ	69,15%	308 538
3 σ	93,32%	66 807
4 σ	99,38%	6 210
5 σ	99,97%	233
6 σ	99,99966%	3,4

Fonte: Adaptado de Harry e Schroeder (2000).

2.2 DMAIC

A melhoria contínua constitui um dos fundamentos da gestão contemporânea da qualidade, sendo seu foco o aperfeiçoamento permanente dos processos, produtos e serviços de uma organização. Conforme Campos (2021), esse conceito teve origem nas práticas desenvolvidas por W. Edwards Deming e Joseph Juran, responsáveis pela introdução do ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir) como base para a melhoria sistemática das operações industriais. Com o aumento da competitividade em nível global e a crescente necessidade de redução de custos e da variabilidade dos processos, surgiram novas abordagens gerenciais, entre as quais se destaca o DMAIC, considerado uma das principais ferramentas da metodologia Seis Sigma.

O DMAIC corresponde às etapas: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*), e tem como finalidade conduzir projetos de melhoria de forma estruturada, fundamentada na análise de dados (Werkema, 2019).

Segundo Costa e Lima (2022), essa metodologia oferece uma sequência lógica que possibilita a identificação de problemas, o entendimento de suas causas fundamentais e a implementação de soluções duradouras, garantindo o controle e a

padronização dos resultados alcançados. O método se destaca ainda por sua ampla aplicabilidade em diversos segmentos, incluindo o agronegócio e a agroindústria, nos quais é empregado para otimizar processos produtivos, minimizar desperdícios e elevar a eficiência.

A associação entre a filosofia da melhoria contínua e o DMAIC busca fomentar uma cultura organizacional orientada à excelência operacional, incentivando a participação ativa de todos os colaboradores no processo de mudança (Oliveira; Barros, 2020).

Werkema (2014) acrescenta que diferentes ferramentas são aplicadas de forma integrada ao longo das fases do DMAIC, evidenciando um método estruturado, fundamentado em dados e no uso de ferramentas estatísticas, com o objetivo de alcançar os resultados planejados. Tabela 2 ilustra a definição das etapas do DMAIC.

Tabela 2: Definições das etapas da metodologia DMAIC

Fase DMAIC	Objetivo da Fase
Definir (<i>Define</i>)	Definir com precisão o escopo do projeto e requisitos do cliente
Mensurar (<i>Measure</i>)	Determinar a localização ou foco do problema
Analisar (<i>Analyze</i>)	Identificar causas raízes dos problemas
Melhorar (<i>Improve</i>)	Desenvolver e implementar soluções para o problema prioritário
Controlar (<i>Control</i>)	Garantir o alcance da meta a longo prazo

Fonte: Adaptado de Werkema (2014).

Além dos ganhos em produtividade, a adoção dessa metodologia favorece a sustentabilidade operacional, uma vez que promove o uso mais eficiente de insumos e energia, aspectos cada vez mais relevantes no contexto de indústrias.

Em suma, o DMAIC configura-se como uma ferramenta estratégica de gestão que integra práticas da melhoria contínua, fomentando maior eficiência e sustentabilidade em ambientes produtivos. Sua aplicação em empresas contribui para o desenvolvimento de processos mais estáveis e eficazes, tornando empresas de diferentes setores progressivamente mais competitivas e comprometidas com a qualidade e a otimização de processos.

2.2.1 Definir

Conforme Werkema (2013), nessa fase é fundamental estabelecer de forma clara e detalhada o escopo do projeto, assegurando que o problema seja plenamente compreendido e analisado quanto aos seus impactos em todas as etapas do processo. Entre os principais aspectos a serem considerados nessa etapa, destacam-se:

- Caracterização detalhada do problema;
- Mapeamento das etapas do processo envolvido;
- Estabelecimento dos objetivos e metas a serem alcançadas;
- Análise do histórico e da evolução do problema;
- Identificação de possíveis limitações ou restrições;
- Definição da equipe responsável, bem como de suas atribuições;
- Elaboração do cronograma de execução do projeto.

Segundo Harry e Schroeder (2000), a fase Definir é fundamental para alinhar o projeto aos objetivos estratégicos da organização e garantir clareza quanto ao impacto esperado.

2.2.2 Mensurar

Na etapa de mensuração, deve-se concentrar esforços na compreensão do problema por meio da coleta e avaliação sistemática de dados, de forma que ele possa ser segmentado em partes menores e específicas, utilizando a estratificação. Esse procedimento possibilita uma análise mais detalhada e contribui para decisões mais assertivas (Werkema, 2014).

2.2.3 Analisar

Nessa fase do DMAIC, após a coleta e organização dos dados realizada na etapa de mensuração, busca-se identificar as causas fundamentais do problema e analisar seus impactos sobre o processo (WERKEMA, 2011; CARPINETTI, 2012). Segundo Pyzdek e Keller (2014), a identificação correta da causa raiz é determinante para a eficácia das soluções propostas.

2.2.4 Melhorar

Conforme descrito por Pande, Neuman e Cavanagh (2000), a etapa *Improve* deve garantir que as soluções sejam sustentáveis e economicamente viáveis.

De acordo com Werkema (2013), essa etapa envolve a geração de alternativas de melhoria, a seleção das soluções mais viáveis técnica e economicamente e a elaboração de um plano estruturado para implementação. A autora destaca que a priorização deve considerar impacto no resultado, custo, prazo e riscos envolvidos.

2.2.5 Controlar

Segundo Werkema (2013), essa fase consiste na padronização das melhorias implementadas, na atualização de procedimentos operacionais e na definição de indicadores de desempenho que permitam o monitoramento contínuo do processo.

De acordo com Harrington (1991), o controle sistemático é essencial para garantir a estabilidade do processo e promover a melhoria contínua. O autor enfatiza que a ausência de mecanismos de monitoramento pode comprometer os resultados alcançados.

2.3 Ferramentas Aplicadas ao método DMAIC

A junção de metodologias *Lean Six Sigma* tem se consolidado como uma das estratégias mais eficientes para impulsionar a melhoria contínua e elevar o desempenho operacional das organizações. Enquanto o *Lean*, também conhecido como Manufatura Enxuta, tem como principal objetivo a eliminação de desperdícios e a redução do tempo de execução dos processos, o Seis Sigma concentra-se na diminuição da variabilidade e no aumento da qualidade dos resultados obtidos (Werkema, 2019).

A integração dessas duas abordagens dá origem ao *Lean Six Sigma*, uma metodologia que combina análise, melhoria e orientação ao cliente, sendo amplamente aplicada em diferentes segmentos industriais, incluindo o agronegócio e a agroindústria (Silva; Oliveira, 2021).

Conforme Costa e Mendes (2022), a implementação do *Lean Six Sigma* ocorre de forma estruturada por meio do método DMAIC, que organiza as ações de melhoria em etapas sequenciais e interdependentes: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

Em cada uma dessas fases, são empregadas ferramentas específicas de gestão e análise. Na etapa Definir, destacam-se instrumentos como o *Project Charter*, o SIPOC e a análise das partes interessadas. Durante a fase Medir, utilizam-se recursos como histogramas, cartas de controle e o mapeamento do fluxo de valor (*Value Stream Mapping – VSM*).

Na etapa Analisar, aplicam-se técnicas como o Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), os 5 Porquês e a análise de correlação. Na fase Melhorar, são comumente adotados métodos como *Brainstorming*, Diagrama de Pareto, Matriz GUT e o *Design of Experiments* (DOE). Por fim, na etapa Controlar, empregam-se cartas de controle, planos de acompanhamento e auditorias de processos, assegurando a manutenção dos resultados alcançados (Antunes; Barbosa, 2020).

Em resumo, a aplicação conjunta das ferramentas *Lean Six Sigma* dentro da estrutura DMAIC resulta em um modelo consistente de gestão do desempenho, promovendo qualidade, eficiência e padronização do processo. Sua adoção em diversos setores evidencia o papel das metodologias de melhoria contínua como importantes aliadas no avanço da produtividade.

2.3.1 Mapeamento de processos

De acordo com Harrington (1991), o mapeamento de processos possibilita a compreensão sistêmica das atividades organizacionais, fornecendo uma representação clara de como o trabalho é executado e de como as diferentes etapas se relacionam. Essa ferramenta é essencial para iniciativas de melhoria contínua, pois torna visíveis problemas que, muitas vezes, passam despercebidos na rotina operacional.

Segundo Miguel (2012), o mapeamento de processos pode apresentar diferentes níveis de detalhamento, variando desde uma visão mais abrangente do processo até descrições mais específicas das atividades operacionais. Essa característica possibilita que a ferramenta seja utilizada tanto em análises estratégicas quanto em estudos técnicos mais aprofundados.

2.3.2 Gráfico de correlação

Segundo Werkema (2014), o gráfico de correlação é frequentemente aplicado na fase de Análise do ciclo DMAIC, com o objetivo de investigar possíveis relações entre variáveis do processo e o problema estudado.

Conforme Pyzdek e Keller (2014), o coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida numérica que varia entre -1 e +1 e indica a força e a direção da relação linear entre duas variáveis. Valores próximos de +1 indicam forte correlação positiva; próximos de -1 indicam forte correlação negativa; e valores próximos de zero sugerem ausência de relação linear significativa.

2.3.3 Gráfico de dispersão

De acordo com Montgomery e Runger (2014), o diagrama de dispersão consiste na representação gráfica de pares ordenados de dados em um plano cartesiano, permitindo a visualização do comportamento conjunto das variáveis analisadas. Essa ferramenta é amplamente utilizada em estudos de qualidade e melhoria de processos, pois possibilita identificar tendências, padrões ou possíveis relações de causa e efeito.

Esse tipo de gráfico é construído a partir de pares ordenados (x, y), nos quais cada ponto representa uma observação simultânea de duas variáveis. A disposição dos pontos no plano cartesiano pode indicar diferentes tipos de relacionamento, tais como correlação positiva, correlação negativa ou ausência de correlação. Conforme destacam Werkema (2012), o gráfico de dispersão é uma das principais ferramentas utilizadas na etapa de Análise dentro da metodologia Six Sigma, pois auxilia na identificação de possíveis causas-raiz ao evidenciar relações entre variáveis do processo.

Além de indicar a existência de correlação, o gráfico de dispersão também permite avaliar a intensidade dessa relação, que pode ser posteriormente quantificada por meio do coeficiente de correlação. Segundo Evans e Lindsay (2014), essa ferramenta é essencial para a tomada de decisão baseada em dados, uma vez que contribui para a compreensão do comportamento do processo e para a validação de hipóteses.

No contexto industrial, o gráfico de dispersão pode ser aplicado, por exemplo, para verificar a relação entre variáveis operacionais, como temperatura e consumo de vapor, pressão e rendimento, ou nível e condutividade, permitindo identificar possíveis influências entre parâmetros e direcionar ações de melhoria contínua.

2.3.4 Gráfico combinado

De acordo com Few (2012), a combinação de diferentes formas gráficas em uma única visualização permite explorar relações entre variáveis que, se apresentadas isoladamente, poderiam dificultar a compreensão do comportamento global do sistema. O autor ressalta que o uso de eixos secundários deve ser realizado com cautela, garantindo clareza e evitando interpretações equivocadas.

No contexto da gestão da qualidade e melhoria contínua, o gráfico combinado é frequentemente empregado para monitoramento de indicadores de desempenho. Conforme destacam Evans e Lindsay (2014), a análise integrada de métricas operacionais e percentuais de eficiência contribui para a tomada de decisão baseada em dados e para o acompanhamento sistemático de metas organizacionais.

Além disso, segundo Montgomery (2016), a visualização adequada dos dados é uma etapa fundamental na análise exploratória, especialmente em projetos de melhoria como aqueles conduzidos pela metodologia Six Sigma, nos quais a interpretação correta das informações influencia diretamente a identificação de causas e a definição de ações corretivas.

2.3.5 Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe, é uma ferramenta da qualidade utilizada para identificar, organizar e analisar as possíveis causas de um determinado problema. Segundo Ishikawa (1993), o principal objetivo do diagrama não é apenas listar causas, mas promover uma análise estruturada e coletiva, estimulando o pensamento crítico e a identificação da causa raiz do problema. A ferramenta é amplamente aplicada em projetos de melhoria da qualidade, especialmente na etapa de análise de processos, pois permite visualizar de forma clara a relação entre fatores contribuintes e o resultado indesejado.

Tradicionalmente, as causas são organizadas segundo os chamados 6M: Método, Máquina, Medida, Meio ambiente, Mão de obra e Material. Essa classificação é amplamente utilizada em ambientes industriais, pois possibilita uma análise abrangente das variáveis que impactam o desempenho do processo (WERKEMA, 2012). Em contextos administrativos ou de serviços, as categorias podem ser adaptadas conforme a natureza do problema analisado.

Além disso, conforme destacam Campos (2004), a utilização do diagrama favorece o trabalho em equipe e o raciocínio estruturado, uma vez que estimula a participação dos envolvidos no processo e promove a discussão sistemática das possíveis origens do problema. Dessa forma, a ferramenta não apenas auxilia na análise técnica, mas também fortalece a cultura de melhoria contínua dentro das organizações.

2.3.6 5W2H

A ferramenta 5W2H é amplamente utilizada como instrumento de planejamento e desdobramento de ações no contexto da gestão da qualidade e da melhoria contínua. Segundo Campos (2004), a definição clara das ações é condição essencial para garantir que metas e diretrizes estratégicas sejam efetivamente executadas, evitando ambiguidades quanto às responsabilidades e prazos. Nesse sentido, o 5W2H estrutura o plano de ação por meio de sete perguntas orientadoras: *What* (o que será feito), *Why* (por que será feito), *Where* (onde será feito), *When* (quando será feito), *Who* (quem será o responsável), *How* (como será feito) e *How much* (quanto custará).

Segundo Crosby (1994), a qualidade depende diretamente de planejamento adequado e da definição clara de responsabilidades e métodos de execução. Nesse sentido, ferramentas estruturadas como o 5W2H contribuem para transformar decisões estratégicas em ações operacionais bem definidas, reduzindo ambiguidades e falhas na implementação.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

Em relação aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva. Exploratória por buscar maior entendimento do problema relacionado a eficiência energética em processos da empresa, permitindo o aprofundamento do conhecimento sobre o tema e a identificação de oportunidades de melhoria para os gargalos identificados. Segundo Gil (2019), a pesquisa exploratória é indicada quando o tema ainda carece de maior compreensão ou sistematização.

Adicionalmente, a pesquisa é descritiva, pois descreve o comportamento de consumos, os processos envolvidos e os resultados obtidos após a aplicação da metodologia DMAIC, conforme definido por Gil (2019), que destaca que esse tipo de pesquisa visa retratar características de determinado fenômeno ou população.

3.2 Natureza da Pesquisa

Quanto à natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, pois busca gerar conhecimentos voltados à solução de um problema específico e prático, relacionado ao aumento da eficiência energética na empresa estudada. De acordo com Marconi e Lakatos (2021), a pesquisa aplicada tem como finalidade a utilização imediata dos resultados na realidade estudada, contribuindo diretamente para a melhoria dos processos organizacionais.

3.3 Abordagem da Pesquisa

No que se refere à abordagem, a pesquisa possui caráter quantitativo e qualitativo. A abordagem quantitativa é empregada na coleta e análise de dados numéricos referentes ao consumo de insumos, indicadores de desempenho e resultados obtidos com as melhorias implementadas. Segundo Richardson et al. (2017), a pesquisa quantitativa permite a mensuração objetiva dos fenômenos e a análise estatística dos dados.

Paralelamente, a abordagem qualitativa é utilizada para compreender os processos produtivos, as práticas operacionais e os fatores organizacionais que influenciam o consumo, por meio da observação direta e da análise documental. Conforme Minayo (2014), a pesquisa qualitativa possibilita uma compreensão aprofundada do contexto estudado, complementando os dados numéricos e enriquecendo a análise dos resultados.

3.4 Procedimento Técnico

Quanto aos procedimentos técnicos, a presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, uma vez que consiste na investigação aprofundada e detalhada da aplicação da metodologia DMAIC em uma única empresa, com foco no aumento da eficiência energética de seus processos produtivos. O estudo de caso permite a análise do fenômeno em seu contexto real, possibilitando a compreensão das particularidades operacionais, organizacionais e energéticas da empresa analisada.

De acordo com Yin (2015), o estudo de caso é indicado quando se busca compreender fenômenos contemporâneos inseridos em contextos reais, nos quais os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Nesse sentido,

essa estratégia metodológica mostra-se adequada para avaliar o impacto da aplicação do DMAIC sobre o consumo energético e o desempenho dos processos.

A condução do estudo de caso envolveu a coleta de dados, realizada no período de junho de 2024 a maio de 2025. Os dados foram obtidos por meio de equipamentos instalados, acompanhamento das rotinas operacionais e análise dos indicadores de consumo.

O estudo de caso foi estruturado conforme as etapas da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), permitindo uma abordagem sistemática e orientada à melhoria contínua. Segundo Werkema (2014), a aplicação do DMAIC em estudos de caso possibilita a identificação das causas raízes dos problemas e a implementação de soluções baseadas em dados confiáveis.

Além disso, foram utilizadas ferramentas da qualidade e de gestão ao longo do estudo, como análise de indicadores, Diagrama de Ishikawa, Análise de Pareto e monitoramento de desempenho. A análise dos resultados ocorreu de forma comparativa, confrontando os indicadores antes e após a implementação das ações de melhoria, a fim de avaliar a efetividade das soluções propostas.

Por fim, o uso do estudo de caso como procedimento técnico contribuiu para a geração de resultados aplicáveis à realidade da empresa analisada, além de fornecer subsídios para a replicação da metodologia DMAIC em contextos semelhantes, conforme destacado por Gil (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Contextualização da empresa

A empresa analisada neste estudo atua na produção de xarope de milho, fabricando diversos SKUs distribuídos em três linhas produtivas distintas, que se diferenciam pelo tipo de reação: enzimática, ácida e ácido-enzimática. Situada no interior de Minas Gerais, a organização possui aproximadamente mil colaboradores e adota, como principal modelo de comercialização, o B2B, realizando vendas diretas para outras empresas, especialmente grandes clientes.

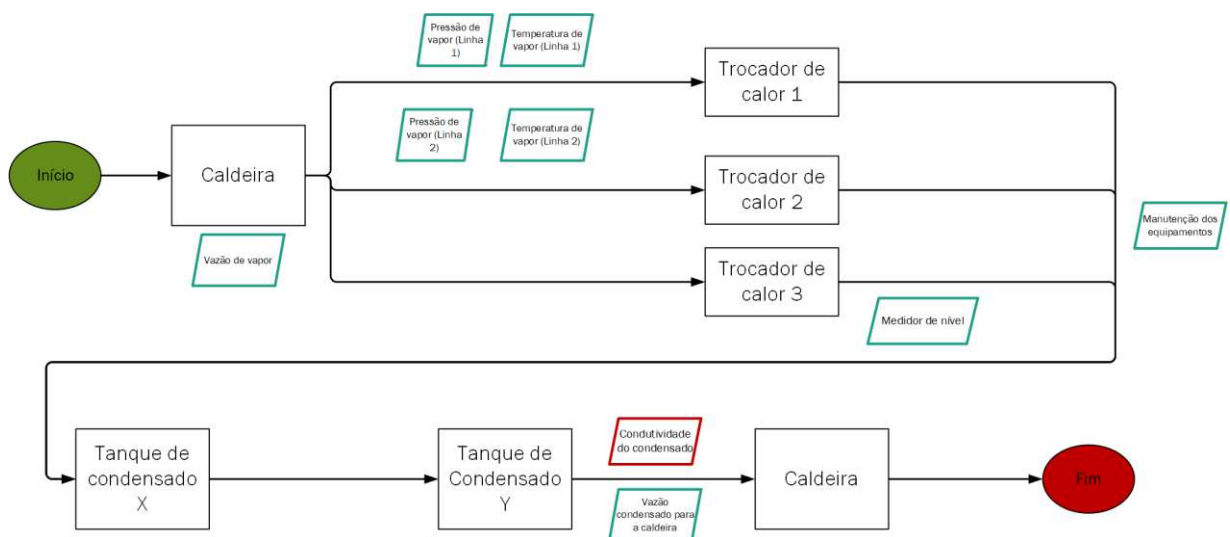
O processo produtivo contempla equipamentos de troca térmica, nos quais o aquecimento do produto ocorre por meio do uso de vapor gerado nas caldeiras. Como resultado, há a formação de um elevado volume de condensado sem contato direto

com o produto, visto que os equipamentos são do tipo *falling film*. Essa característica representa uma oportunidade relevante para o reaproveitamento e o retorno do condensado às caldeiras.

4.2 Definir

Devido ao processo produtivo utilizar trocadores de calor que operam com energia proveniente do vapor, identificou-se que esses equipamentos representavam o principal gargalo para o aumento da eficiência energética, uma vez que consumiam vapor sem promover o retorno equivalente na forma de condensado. Após a identificação dos maiores consumidores de vapor e daqueles com maior viabilidade técnica para o retorno de condensado, procedeu-se à análise detalhada desses pontos. Na etapa Definir, foi realizado o mapeamento do processo de recebimento de vapor e do envio do condensado retornado à caldeira dos equipamentos definidos. A Figura 1 apresenta o fluxo de envio do condensado.

Figura 1: Processo de envio de condensado



Fonte: Autoria Própria.

Com base na avaliação técnica do processo, identificou-se um baixo índice de retorno de condensado à caldeira. Essa análise envolveu o estudo dos equipamentos da unidade industrial e a determinação do percentual técnico de retorno, considerando as perdas inerentes ao processo. A partir desse levantamento, estimou-se um retorno técnico de 88% para o tanque de condensado, assumindo a operação dos

equipamentos em condições ideais de desempenho, bem como as perdas existentes e as características dos modelos analisados.

Diante desse contexto, o projeto foi direcionado aos equipamentos de maior consumo de vapor da planta, nos quais se identificou maior potencial para aumento da recuperação de condensado. Para a definição dos equipamentos prioritários, foi realizado um *brainstorming* com os *stakeholders* envolvidos, visando identificar pontos de gargalo e oportunidades de melhoria, considerando que tais equipamentos operam no modelo *Falling Film*. Nesse tipo de equipamento, o produto escoa na forma de uma película fina no interior dos tubos, enquanto o vapor circula externamente, com o objetivo de promover a transferência de calor.

Com a finalidade de compreender e quantificar de forma estruturada o problema em análise, procedeu-se à avaliação da média mensal de envio de condensado, permitindo a identificação do comportamento e da tendência do percentual de retorno ao longo do período estudado, sendo de junho de 2024 a maio de 2025.

Com base nos resultados obtidos, estabeleceu-se como meta a elevação do índice observado no ano fiscal anterior, passando de 65% para 68%, considerando as condições atuais de desempenho dos equipamentos. Tal meta foi definida com o propósito de aproximar o resultado operacional do percentual técnico estimado, além de proporcionar impacto financeiro positivo à organização, decorrente do aumento da eficiência na recuperação de condensado. A meta estabelecida foi definida com base nas condições industriais atuais, considerando o histórico real da planta e a viabilidade operacional. Além disso, conforme a metodologia DMAIC, é fundamental definir metas alcançáveis, garantindo a sustentação dos resultados ao longo do tempo.

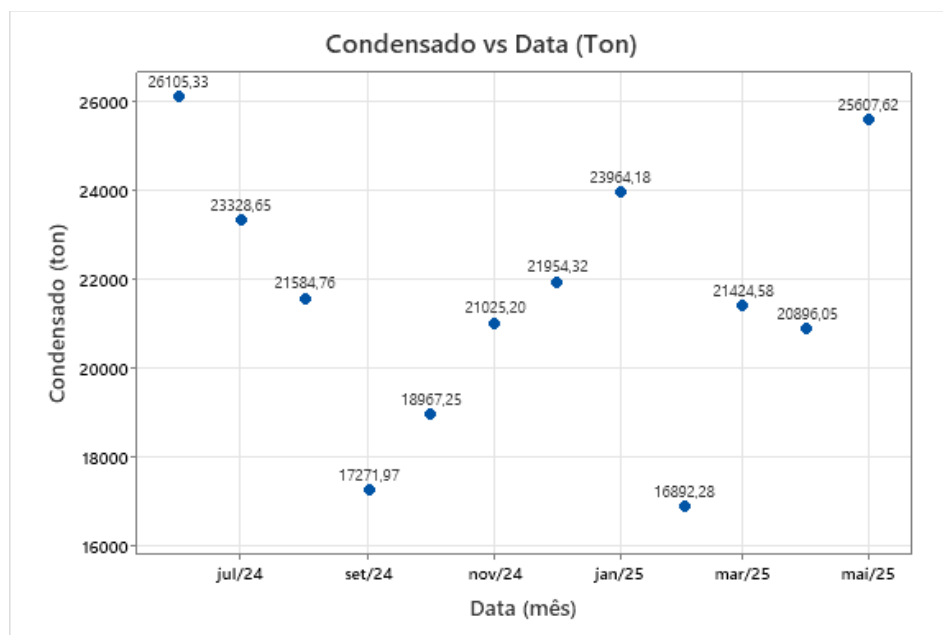
4.3 Mensurar

Na fase Mensurar da metodologia DMAIC, realizou-se a coleta e análise de dados com o propósito de quantificar o impacto do atual índice de retorno de condensado, bem como identificar seus principais reflexos no processo produtivo. O problema identificado refere-se ao baixo percentual de retorno de condensado à caldeira, atualmente em 65%. Conforme apresentado anteriormente, o estudo técnico estimou um potencial de retorno de 88% em condições ideais de operação, evidenciando uma diferença de 23% em relação ao desempenho atualmente observado. No entanto, considerando o cenário atual da indústria, foi estabelecida

uma meta de 68%, de modo a garantir sua viabilidade de alcance. No contexto operacional da indústria, esse impacto está diretamente relacionado à eficiência energética da organização.

Para isso, realizou-se a coleta de dados referentes à temperatura e à pressão do vapor utilizado nos equipamentos, bem como o monitoramento do nível de produto nos equipamentos diretamente interligados à tubulação de retorno. As informações operacionais foram obtidas com base em médias diárias. Além disso, foram analisadas as ordens de serviço de manutenção relacionadas a gargalos operacionais que impactam a variável Y do projeto. O Gráfico 1 apresenta a quantidade atual de envio de condensado, evidenciando oportunidades de melhoria devido sua variação de envio em toneladas para a caldeira.

Gráfico 1: Retorno de condensado atual (tonelada/mês)

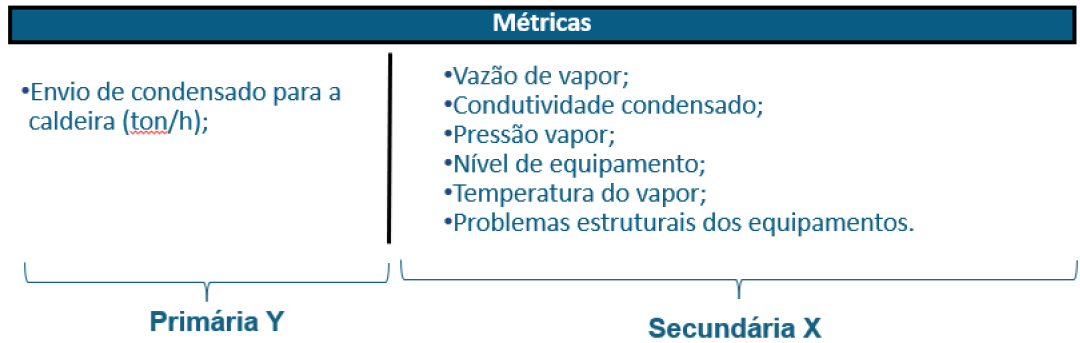


Fonte: Autoria Própria.

4.4 Analisar

Nesta etapa da metodologia DMAIC, foram analisados todos os dados considerados como variáveis de entrada (X) do projeto, bem como seus possíveis impactos sobre o resultado esperado (Y). A Figura 2 mostra as variáveis X e Y do processo.

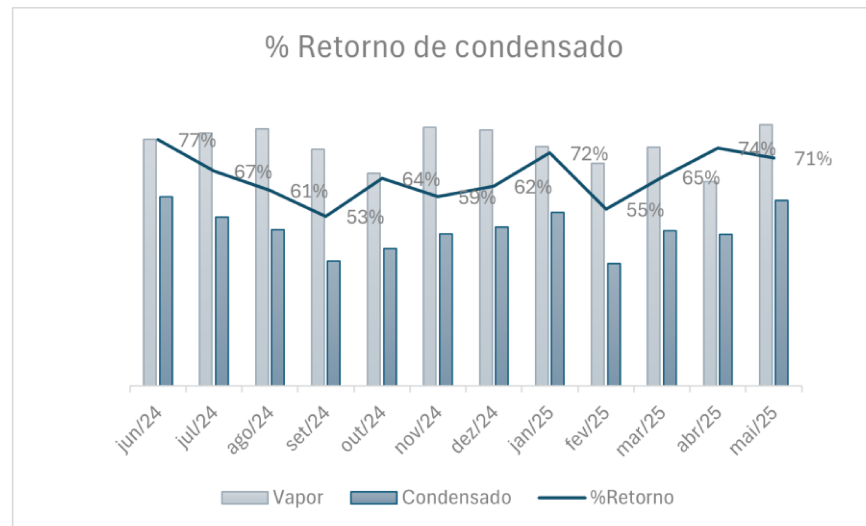
Figura 2: Variáveis X e Y do processo.



Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, avaliou-se o percentual atual de envio de condensado em conjunto com o consumo de vapor, a fim de verificar a relação direta entre essas variáveis. O Gráfico 2 apresenta a análise dessa interdependência entre o retorno de condensado e o consumo de vapor.

Gráfico 2: Análise do retorno de condensado em relação ao consumo de vapor



Fonte: Autoria própria.

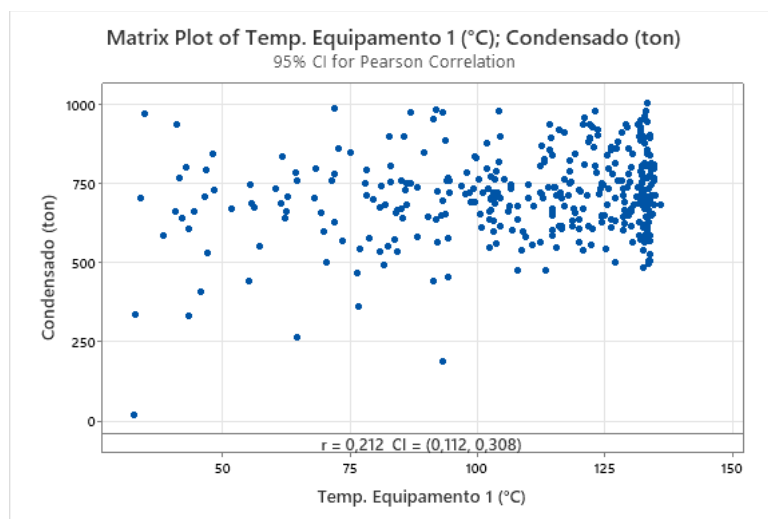
A análise gráfica evidencia que o percentual de retorno de condensado apresenta comportamento instável ao longo do período avaliado. Considerando que o envio de condensado deveria ser proporcional ao consumo de vapor, espera-se que,

em situações de maior demanda de vapor, o volume de condensado retornado à caldeira seja, de forma equivalente, proporcionalmente superior.

Dessa forma, observa-se que determinadas variáveis de entrada (X) do processo podem estar influenciando esse desempenho, as quais serão investigadas de maneira mais detalhada. Na etapa subsequente, procederam-se às análises das variáveis temperatura e pressão do vapor consumido nos equipamentos, por meio da construção de gráficos de correlação entre esses parâmetros e o volume de condensado enviado.

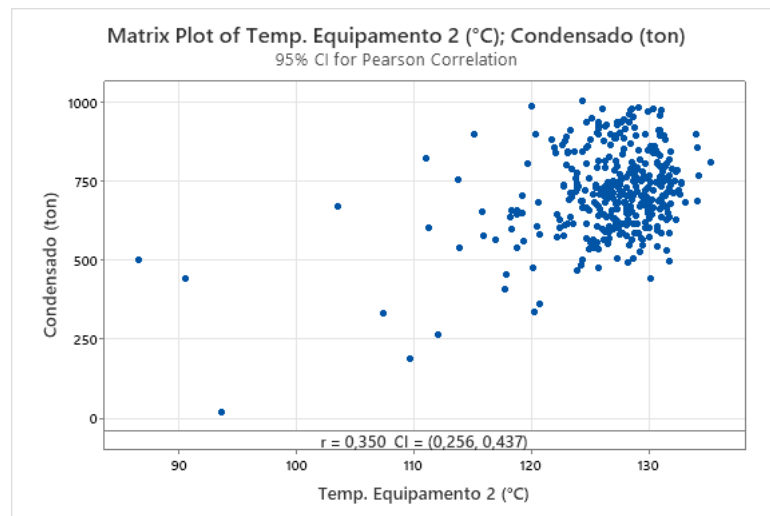
Os Gráficos de correlação 3, 4, 5 e 6 ilustram a relação entre as variações de temperatura e pressão do vapor nos equipamentos avaliados e o percentual de retorno de condensado.

Gráfico 3: Análise de correlação entre a temperatura do vapor do trocador de calor 1 e o envio de condensado.



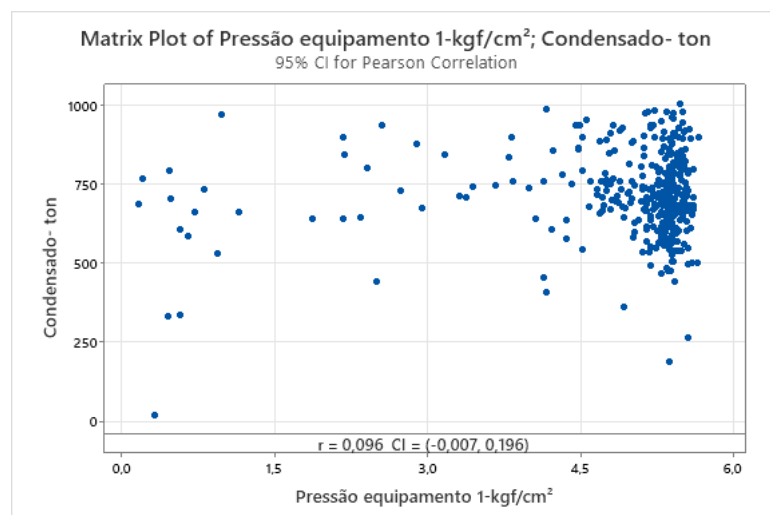
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 4: Análise de correlação entre a temperatura do vapor do trocador de calor 2 e o envio de condensado.



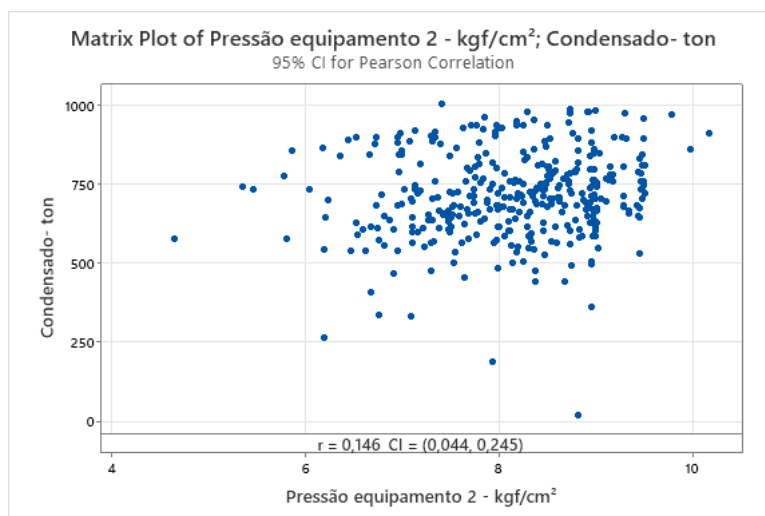
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 5: Análise de correlação entre a pressão do vapor do trocador de calor 1 e o envio de condensado.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 6: Análise de correlação entre a pressão do vapor do trocador de calor 2 e o envio de condensado.



Fonte: Autoria própria.

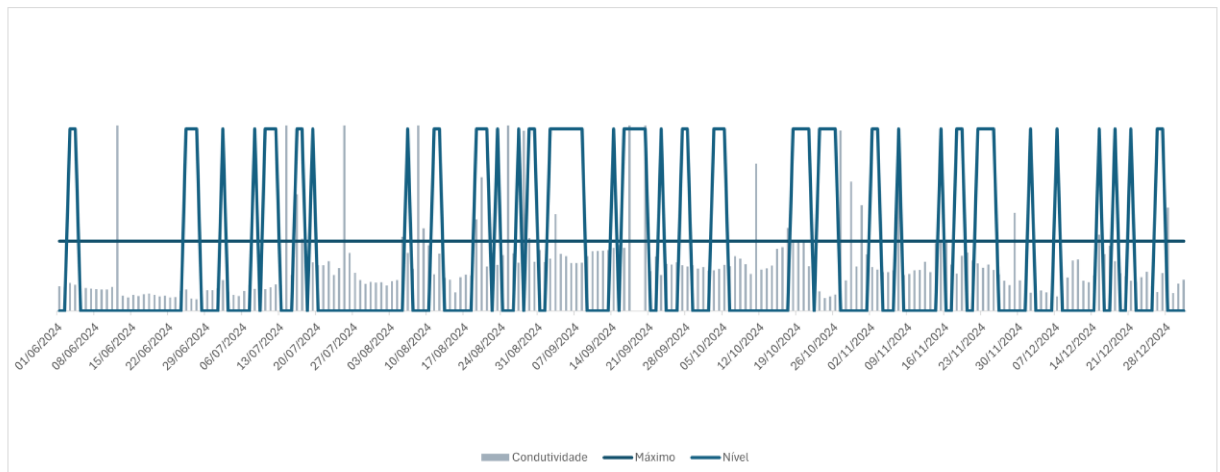
Os resultados obtidos indicaram uma correlação fraca entre os parâmetros analisados e o retorno de condensado. A correlação é considerada baixa nesses gráficos porque os valores do coeficiente r estão próximos de zero, o que indica uma relação linear fraca entre as variáveis. No caso da pressão do equipamento 1 ($r = 0,096$) e pressão do equipamento 2 ($r = 0,146$), a correlação é praticamente nula, sugerindo que mudanças na pressão quase não influenciam o condensado. Já para a temperatura do equipamento 1 ($r = 0,212$) e do equipamento 2 ($r = 0,350$), apesar de haver uma leve tendência positiva, os valores ainda são baixos, indicando que a relação é fraca e com grande dispersão dos pontos. Isso fica visível nos gráficos, onde os dados não seguem uma linha clara e apresentam muita variabilidade, mostrando que outros fatores além dessas variáveis provavelmente têm maior influência sobre o condensado, o que levou à exclusão dessas variáveis como potenciais causas principais (X) do problema em estudo.

Posteriormente, realizou-se a análise da possível relação entre níveis elevados de condutividade, parâmetro indicativo da presença de produto no condensado, e a ocorrência de nível alto em determinado equipamento do processo. A condutividade do condensado é monitorada pela caldeira com o objetivo de avaliar sua qualidade e pureza, assegurando condições adequadas para reutilização no sistema.

O equipamento analisado, quando opera em condição de nível elevado, situação atípica no regime normal de operação, possui, em sua parte superior, uma linha operacional interligada ao sistema de retorno de condensado. Nessa condição, há a possibilidade de arraste de produto para a linha de condensado, elevando sua condutividade e, conseqüentemente, inviabilizando seu reaproveitamento pela caldeira.

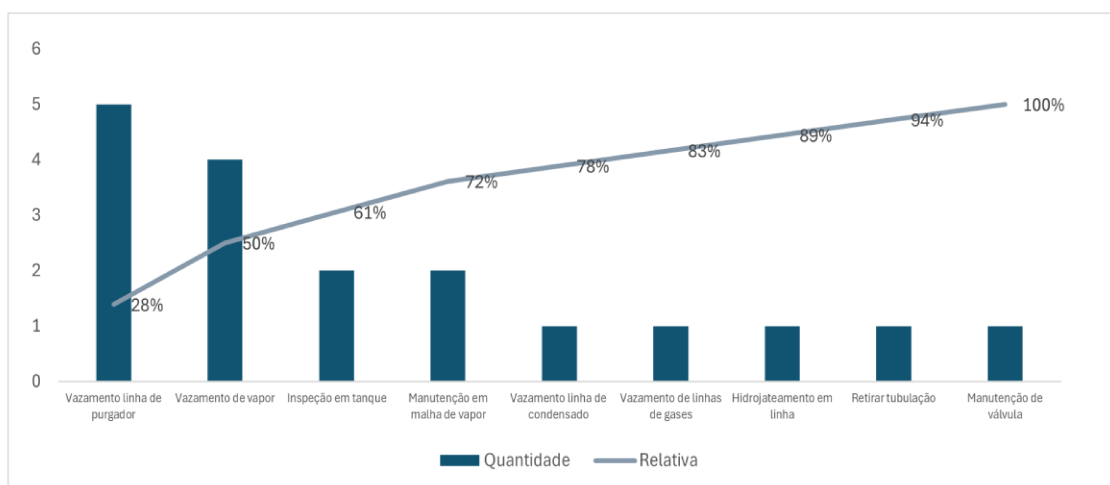
Os dados coletados evidenciaram uma forte relação entre a condutividade do condensado e o nível do equipamento, conforme apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7: Análise da relação entre condutividade e nível do equipamento.



Fonte: Autoria própria.

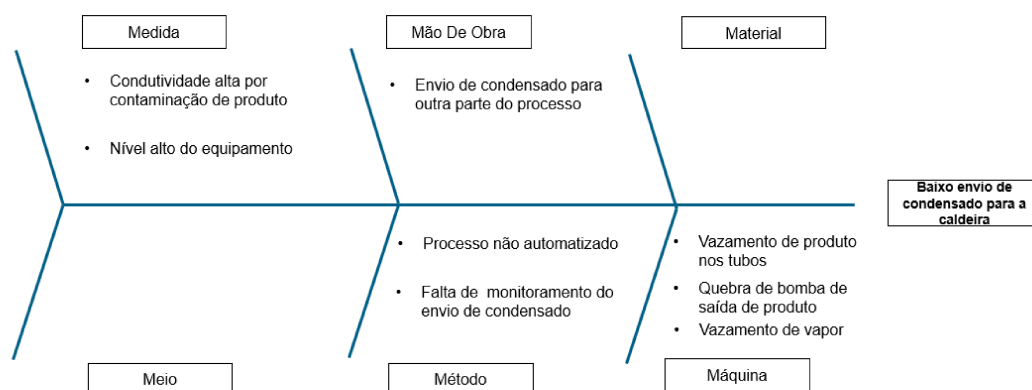
Por fim, considerando como uma das variáveis X relacionada aos vazamentos de vapor como fator potencialmente influente no desempenho do retorno de condensado, procedeu-se à análise dos motivos registrados nas ordens de serviço de manutenção dos equipamentos avaliados. Essa etapa teve como objetivo identificar possíveis correlações entre as ocorrências de falhas e intervenções de manutenção e a redução no volume de condensado enviado à caldeira. O Gráfico 8 mostra essa relação.

Gráfico 8: Análise de manutenções realizadas em equipamentos.

Fonte: Autoria Própria.

Por meio da aplicação do Gráfico de Pareto (80/20), verificou-se que as principais causas das intervenções de manutenção estavam relacionadas a vazamentos de vapor, os quais implicam maior consumo sem o correspondente retorno em forma de condensado, e a falhas em purgadores. Tais ocorrências evidenciam-se como causas potenciais relevantes para o baixo índice de retorno de condensado observado no processo.

Com base nesses resultados, realizou-se uma sessão de *brainstorming* para a construção do Diagrama de Ishikawa, possibilitando a identificação sistemática das potenciais causas do baixo retorno de condensado. A Figura 3 apresenta o diagrama elaborado.

Figura 3: Diagrama de Ishikawa do retorno de condensado

Fonte: Autoria própria.

O baixo envio de condensado para a caldeira está diretamente relacionado a um conjunto de causas distribuídas entre medições, mão de obra, método e máquina, que juntas comprometem tanto a qualidade quanto a quantidade do condensado retornado ao sistema.

No que se refere às medidas, a principal causa é a condutividade elevada do condensado provocada pela contaminação por produto. A ausência de medição individual desse indicador impede a identificação rápida da origem da contaminação, fazendo com que todo o condensado do sistema seja considerado fora de especificação. Como consequência, o processo adota o descarte ou desvio do condensado por segurança operacional, impactando significativamente o retorno à caldeira. Além disso, o nível alto no separador evidencia falhas no controle operacional do sistema, podendo provocar arraste, perdas de condensado e atuação inadequada de dispositivos de controle, o que contribui diretamente para a redução do volume enviado à caldeira.

Em relação à mão de obra, observa-se que o envio de condensado para outras partes do processo ocorre principalmente devido à falta de treinamento específico e à ausência de monitoramento operacional contínuo. A falta de padronização das decisões operacionais permite que esses desvios aconteçam, reduzindo de forma consistente a quantidade de condensado reaproveitado.

No aspecto metodológico, a operação manual e não automatizada do envio de condensado dificulta significativamente a padronização do processo. A dependência excessiva da atuação humana aumenta a variabilidade operacional e eleva a probabilidade de erro. Além disso, a inexistência de um sistema estruturado de monitoramento do envio de condensado, impede a identificação de perdas e desvios em tempo hábil.

Quanto aos aspectos relacionados às máquinas, os vazamentos de produto nos tubos representam uma causa crítica, pois provocam contaminação direta do condensado, elevando sua condutividade e tornando-o inadequado para retorno à caldeira. A parada da bomba também impacta de forma significativa o processo, já que sua indisponibilidade interrompe ou restringe o transporte do produto, levando ao acúmulo no equipamento, resultando em nível alto. Adicionalmente, os vazamentos de vapor contribuem para a perda de energia e reduzem a taxa efetiva de condensação, diminuindo a geração de condensado disponível para retorno.

A partir dessa análise, foi possível definir ações direcionadas às causas identificadas, as quais foram posteriormente implementadas conforme a fase Implementar (*Improve*) da metodologia DMAIC.

4.5 Melhorar

Elaborou-se um plano de ação com a finalidade de eliminar as causas raízes do problema identificado por meio do diagrama de Ishikawa. Para apoiar a execução do projeto, utilizou-se a ferramenta 5W2H, a qual contribuiu para o direcionamento das ações necessárias, possibilitando a definição de prazos, responsáveis pela execução e recursos financeiros envolvidos. A Tabela 3 ilustra a estrutura do plano de ação desenvolvido para cada causa identificada.

Tabela 3 – Plano de ação para a eliminação das causas raízes do problema de baixo retorno de condensado para a caldeira

O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quando custa?
Desenvolver <i>dashboards</i> utilizando ferramentas de análise.	Condutividade Alta por contaminação do produto/Nível alto do equipamento	PI Vision/See q	Monique Squebola	20/11/2025	Coletar dados dos equipamentos já instalados nas linhas de produção.	R\$ -
Realizar treinamento da equipe operacional sobre o procedimento de envio de condensado.	Envio de condensado para outra parte do processo.	Empresa	Monique Squebola	01/12/2025	Elaborar apresentação com os dados coletados e identificar necessidades ou gaps.	R\$ -
Criar <i>troubleshooting</i> como guia de soluções de problemas	Envio de condensado para outra parte do processo.	PI Vision	Monique Squebola	25/11/2025	Realizar coleta de dados dos equipamentos em tempo real para direcionar	R\$ -

					soluções rápidas.	
Eliminar vazamentos de vapor identificados no processo.	Vazamento de vapor	Linhas dos equipamentos	Monique Squebola	01/12/2025	Mapear pontos de vazamento e encaminhar para resolução.	R\$ 20.000,00
Instalar o medidor de detecção de produto no condensado.	Nível alto do equipamento/Vazamento de produto nos tubos	Linhas dos equipamentos	Monique Squebola	Em andamento	Desenvolver projeto para instalação dos equipamentos necessários.	R\$ 60.000,00
Automatizar o processo por meio da instalação de válvula automática.	Processo não automatizado	Linhas dos equipamentos	Monique Squebola	Em andamento	Desenvolver projeto para instalação dos equipamentos necessários.	R\$ 60.000,00
Desenvolver indicador de acompanhamento o diário.	Falta de monitoramento do envio de condensado	Power BI	Monique Squebola	20/11/2025	Coletar dados de consumo de vapor e de retorno de condensado dos equipamentos para cálculo do percentual diário de retorno.	R\$ -

Fonte: Autoria Própria.

As ações propostas foram priorizadas e implementadas conforme o plano estabelecido na etapa de melhoria do ciclo DMAIC, destacando-se: o desenvolvimento de um indicador diário de desempenho, a criação de *dashboards* em ferramentas de análise de dados, a correção de vazamentos de vapor e condensado, a elaboração de procedimentos de *troubleshooting* e a realização de treinamentos com a equipe operacional.

Para a construção do indicador diário, foram coletados dados referentes ao consumo de vapor dos equipamentos que retornam condensado ao tanque, bem como os volumes efetivamente retornados. Essas informações foram extraídas da plataforma Seeq e integradas ao Power BI, possibilitando a consolidação das variáveis críticas e o estabelecimento de metas. A visualização estruturada dos dados permitiu um acompanhamento mais claro, dinâmico e orientado à tomada de decisão.

A partir dos levantamentos diários, obtidos tanto pelo monitoramento do indicador quanto por análises previamente realizadas, tornou-se possível identificar pontos de vazamento de vapor e condensado ao longo do processo. Essas identificações subsidiaram intervenções corretivas, contribuindo para a redução de perdas energéticas e para o aumento da eficiência no retorno de condensado.

Adicionalmente, ao ser constatada a necessidade de maior engajamento e acompanhamento por parte da equipe operacional, foi realizada uma apresentação direcionada aos líderes de turno, abordando a importância do condensado no contexto energético e econômico do processo, bem como as práticas recomendadas para otimização do seu retorno.

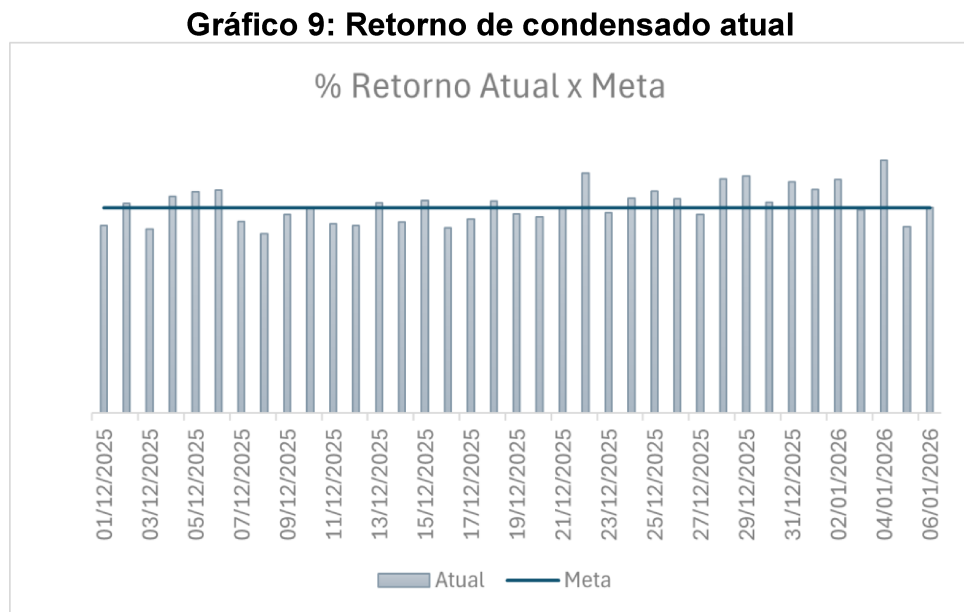
Por fim, com o objetivo de fornecer suporte contínuo à operação, foi desenvolvido um guia de *troubleshooting* na plataforma PI Vision, contendo orientações para identificação e solução de problemas recorrentes, fortalecendo a padronização das ações e a sustentabilidade dos resultados alcançados.

Outras ações encontram-se em fase de execução, em decorrência da instalação de novos equipamentos na unidade. A partir da implementação das ações concluídas, observou-se um aumento médio no envio de condensado para 69% ao longo de aproximadamente 30 dias. Esse resultado superou a meta previamente estabelecida de 68%, além de representar um incremento de 4 pontos percentuais em relação à média registrada no ano anterior.

4.6 Controlar

A quinta fase do DMAIC teve como foco a avaliação do cumprimento da meta definida no projeto. Após a implementação integral das ações de melhoria, os resultados passaram a ser acompanhados nos dias subsequentes por meio do monitoramento do retorno de condensado. A partir do tratamento e da análise dos novos dados coletados, tornou-se possível comparar os resultados obtidos e verificar o atingimento da meta estabelecida. De acordo com as informações apresentadas no

Gráfico 9, a meta do projeto passou a ser alcançada a partir de dezembro de 2025, atendendo ao objetivo proposto.



Fonte: Autoria Própria.

A meta inicial de retorno de 68% foi atingida, sendo que a média de aproximadamente 30 dias posteriores à aplicação da metodologia DMAIC apresentou o percentual de 69%. Com o intuito de estruturar e aplicar um plano de monitoramento da performance do processo e do alcance da meta, o indicador de retorno de condensado foi incorporado à rotina operacional, permitindo o acompanhamento diário dos resultados e contribuindo para a sustentação do desempenho obtido.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões do trabalho.

O presente trabalho teve como objetivo aplicar a metodologia DMAIC, estruturada dentro do contexto do Seis Sigma, para promover o aumento da eficiência energética em uma empresa do setor alimentício. A partir da definição clara do problema, foram estabelecidos indicadores de desempenho relacionados ao consumo energético e às perdas associadas ao processo produtivo, possibilitando uma análise objetiva e orientada por dados.

Na fase de mensuração, realizou-se o levantamento detalhado das variáveis críticas do processo, permitindo identificar padrões de consumo e desvios operacionais. Posteriormente, na etapa de análise, ferramentas da qualidade possibilitaram a identificação das causas raízes relacionadas às ineficiências energéticas, como falhas operacionais, perdas térmicas e oportunidades de melhoria nos sistemas de utilidades industriais.

Com base nos achados, a fase de implementação concentrou-se na aplicação de ações corretivas e preventivas voltadas à otimização do uso de vapor, energia elétrica e demais recursos energéticos. Essas intervenções resultaram na melhoria do desempenho energético global da organização, evidenciando a importância de uma abordagem estruturada e sistemática para a resolução de problemas complexos.

Por fim, na etapa de controle, foram estabelecidos mecanismos de monitoramento contínuo, padronização de procedimentos e indicadores de acompanhamento, garantindo a sustentabilidade dos resultados alcançados ao longo do tempo.

Conclui-se que a aplicação do DMAIC mostrou-se eficaz como ferramenta estratégica para o aumento da eficiência energética na empresa, contribuindo não apenas para a redução de custos operacionais, mas também para o fortalecimento da competitividade e da sustentabilidade organizacional. O estudo reforça que a tomada de decisão baseada em dados e a cultura de melhoria contínua são elementos fundamentais para a excelência operacional no ambiente industrial contemporâneo.

5.2 Limitações do estudo

O presente trabalho atingiu seu objetivo ao promover o aumento da eficiência energética por meio da ampliação do retorno de condensado para a caldeira. Contudo, algumas limitações foram identificadas durante sua execução.

Uma das principais limitações observadas foi a inexistência de mapeamento estruturado e de acompanhamento sistemático do processo antes do início do estudo, o que demandou a construção e organização de toda a estrutura de monitoramento e controle. Essa condição exigiu maior tempo de análise e alinhamento das informações para consolidação dos dados necessários à tomada de decisão.

Outro ponto relevante foi o envolvimento de múltiplas áreas da empresa, uma vez que o envio de condensado ocorre para um tanque compartilhado entre diferentes setores. Essa característica demandou alinhamentos constantes e, em determinados

momentos, houve dificuldade de priorização das ações por parte de algumas equipes envolvidas. Ainda assim, tal limitação foi mitigada por meio do contato frequente com as partes interessadas, reuniões de acompanhamento e reforço da importância estratégica do projeto para a organização.

5.3 Trabalhos futuros

Como proposta de continuidade, recomenda-se a manutenção do acompanhamento do indicador diário de retorno de condensado, incorporando-o às reuniões operacionais diárias, a fim de fortalecer a cultura de monitoramento e controle do processo. Sugere-se também que esse acompanhamento seja ampliado para todas as áreas envolvidas no envio de condensado, promovendo maior integração e responsabilidade compartilhada.

Além disso, a continuidade da automatização do processo, por meio da instalação e integração de equipamentos de medição e controle, é considerada de suma importância para aprimorar a confiabilidade dos dados, reduzir intervenções manuais e garantir maior sustentabilidade aos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Eficiência energética*. Brasília: ANEEL, 2020.

ANTUNES, M. L.; BARBOSA, C. R. Ferramentas Lean Seis Sigma aplicadas à gestão de processos. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 26, n. 3, p. 142–157, 2020.

CAMPOS, R. A.; LIMA, D. P. *Gestão da qualidade e metodologia Seis Sigma*. São Paulo: Atlas, 2020.

CAMPOS, V. F. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 9. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2021.

CAMPOS, V. F. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 8. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

CARPINETTI, L. C. R. *Gestão da qualidade: conceitos e técnicas*. São Paulo: Atlas, 2012.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, L. M.; MENDES, R. F. Integração do Lean Seis Sigma e do DMAIC para melhoria contínua em ambientes industriais. *Revista Gestão e Produção Sustentável*, v. 13, n. 2, p. 89–103, 2022.

COSTA, R. M.; LIMA, T. F. O uso do DMAIC na melhoria de processos industriais: uma abordagem prática. *Revista de Engenharia e Qualidade*, v. 15, n. 2, p. 65–80, 2022.

CROSBY, P. B. *Quality is free: the art of making quality certain*. New York: McGraw-Hill, 1994.

EVANS, J. R.; LINDSAY, W. M. *Managing for quality and performance excellence*. 9. ed. Boston: Cengage Learning, 2014.

FEW, S. *Show me the numbers: designing tables and graphs to enlighten*. Oakland: Analytics Press, 2012.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2011.

HARRINGTON, H. J. *Business process improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York: McGraw-Hill, 1991.

ISHIKAWA, K. *Controle de qualidade total: à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MIGUEL, P. A. C. (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINAYO, M. C. S. *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied statistics and probability for engineers*. 6. ed. New York: Wiley, 2014.

OLIVEIRA, J. C.; BARROS, L. S. Melhoria contínua e excelência operacional: integração de ferramentas de gestão. *Revista Gestão Industrial*, v. 16, n. 3, p. 201–214, 2020.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *The Six Sigma way: how GE, Motorola and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw-Hill, 2000.

PEREIRA, J. C.; SOUZA, T. L. A evolução do Seis Sigma e suas aplicações na indústria brasileira. *Revista de Engenharia e Inovação*, v. 9, n. 1, p. 33–48, 2021.

PYZDEK, T.; KELLER, P. *The Six Sigma handbook*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

RICHARDSON, R. J. et al. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SILVA, G. H.; PEREIRA, A. F. Aplicação do Seis Sigma na agroindústria: resultados e desafios. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 28, n. 2, p. 120–134, 2022.

SILVA, T. A.; OLIVEIRA, C. F. Lean Seis Sigma: fundamentos, integração e aplicações práticas. *Revista Engenharia & Qualidade*, v. 18, n. 4, p. 33–49, 2021.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 13, n. 4, p. 647–662, 2009.

WERKEMA, C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2014.

WERKEMA, C. *Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

WERKEMA, M. C. C. *Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

WERKEMA, M. C. C. *Criando a cultura Seis Sigma*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, M. C. C. *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

WERKEMA, M. C. C. *Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do DMAIC*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

WERKEMA, M. C. C. *Criando a cultura Lean Seis Sigma*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.