

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

**CAROLINNE MARIOTTO  
LÍVIA GONÇALVES BATISTA**

**GESTÃO DA QUALIDADE APLICADA NA ANÁLISE E  
CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS OPERACIONAIS EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES- ETE**

São José dos Campos  
2025

**CAROLINNE MARIOTTO  
LÍVIA GONÇALVES BATISTA**

**GESTÃO DA QUALIDADE APLICADA NA ANÁLISE E  
CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS OPERACIONAIS EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES - ETE**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial.

**Orientador: Dr. Guaraci Lima de Moraes**

São José dos Campos  
2025

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

MARIOTTO, Carolinne Mariotto  
 BATISTA, Lívia Gonçalves Batista  
 Gestão da Qualidade Aplicada na Análise e Classificação de Falhas Operacionais em uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETE.  
 São José dos Campos, 2025.  
 42f.

Trabalho de Graduação – Curso de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial.  
 FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal, 2025.  
 Orientador: Dr. Guaraci Lima de Moraes.

1. Gestão da qualidade 2. Estação de tratamento. 3 Redução de falhas. 4 Sustentabilidade. 5 Indústria alimentícia. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal. Divisão de Informação e Documentação. II. Título

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Mariotto, Carolinne; Batista, Lívia, **Gestão da Qualidade Aplicada na Análise e Classificação de Falhas Operacionais em uma Estação de Tratamento de Efluentes - ETE**. 2025.42f. Trabalho de Graduação - FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOMES DOS AUTORES: Carolinne Mariotto e Lívia Gonçalves Batista.  
 TÍTULO DO TRABALHO: A GESTÃO DA QUALIDADE NA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS E SEU IMPACTO AMBIENTAL  
 TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação/2025.

É concedida à FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal permissão para reproduzir cópias deste Trabalho e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

Carolinne Mariotto  
 Rua José do Couto, 54  
 12060-805, Taubaté-SP



Documento assinado digitalmente  
 CAROLINNE MARIOTTO  
 Data: 11/07/2025 16:44:00-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Lívia Gonçalves Batista  
 Rua Terezinha da Piedade Beraldo Goulart Oliveira  
 12248-507, São Jose dos Campos-SP



Documento assinado digitalmente  
 LIVIA GONCALVES BATISTA  
 Data: 11/07/2025 16:49:33-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**CAROLINNE MARIOTTO  
LÍVIA GONÇALVES BATISTA**

**GESTÃO DA QUALIDADE APLICADA NA ANÁLISE E  
CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS OPERACIONAIS EM UMA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES - ETE**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** GUARACI LIMA DE MORAIS  
Data: 11/07/2025 16:10:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr. Guaraci Lima de Moraes – FATEC São José dos Campos**



---

**Me. Carlos Eduardo Bastos - FATEC São José dos Campos**

---

**Me. José Jaetis Rosário - FATEC São José dos Campos**

**30 /06/ 2025**

**DATA DA APROVAÇÃO**

## RESUMO

Este Trabalho de Graduação se concentra na análise e classificação de falhas operacionais em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria alimentícia, com o objetivo de classificar as falhas operacionais e orientar rotinas de manutenção, visando à padronização de procedimentos, à redução de desperdícios, ao aumento da eficiência operacional e à mitigação de impactos ambientais. A partir do levantamento e tratamento de dados de ocorrências internas, por meio do software MySQL, identificaram-se as falhas mais recorrentes no processo. Utilizaram-se ferramentas da qualidade, como os diagramas de Pareto, de Ishikawa, a técnica dos 5 Porquês, além do ciclo PDCA, a fim de compreender as causas dos problemas e propor ações corretivas e preventivas. Como principal resultado, foi criado um catálogo de falhas com códigos, descrições padronizadas, frequência de ocorrência e orientações práticas para os operadores. Esse material tem como objetivo facilitar a tomada de decisão, agilizar respostas a falhas e promover a melhoria contínua dos processos operacionais. A implementação do catálogo de falhas contribui para a eficiência operacional da ETE e reforça o compromisso da empresa com a sustentabilidade e a conformidade ambiental.

**Palavras-chave:** Gestão da qualidade; ETE, Redução de falhas; Sustentabilidade; Indústria alimentícia.

## ABSTRACT

This Graduation Project focuses on the analysis and classification of operational failures in a Wastewater Treatment Plant (WWTP) within a food industry, aiming to classify operational failures and guide maintenance routines, with the purpose of standardizing procedures, reducing waste, increasing operational efficiency, and mitigating environmental impacts. Based on the collection and processing of internal occurrence data using MySQL software, the most frequent failures in the process were identified. Quality tools such as the Pareto Chart, Ishikawa Diagram, the 5 Whys technique, and the PDCA Cycle were applied to understand the root causes of problems and propose corrective and preventive actions. As the main outcome, a failure catalog was developed, containing standardized codes, descriptions, occurrence frequency, and practical guidelines for operators. This material is intended to support decision-making, speed up responses to failures, and promote continuous improvement of operational processes. The implementation of the failure catalog contributes to the operational efficiency of the WWTP and reinforces the company's commitment to sustainability and environmental compliance.

**Keywords:** Quality management; Wastewater treatment; Failure reduction; Sustainability; Food industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma genérico das etapas de funcionamento de uma ETE.....	18
Figura 2- Frequência dos tipos de falhas identificadas na ETE.....	30
Figura 3 - Diagrama de Pareto em Tipos de Falha.....	32
Figura 4 - Ciclo PDCA.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das normas ISO aplicadas à gestão da qualidade e ambiental no contexto da ETE .....	26
Tabela 2 - Estudo dos 5 Porquês .....	34
Tabela 3 – Exemplo do catálogo de falhas utilizada em uma ETE.....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de Estrutura da Tabela Utilizada no MySQL .....	29
Quadro 2- Exemplo da consulta SQL utilizada para análise de frequência e porcentagem.....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
MySQL	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
BPF	Boas Práticas de Fabricação
QSMS	Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
WWTP	<i>Wastewater Treatment Plant</i>
POP	Procedimento Operacional Padrão

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
mg/L	Miligrama por litro

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. Objetivo do Trabalho .....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1. A Gestão da Qualidade na Indústria.....	16
2.2. Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) .....	17
2.3. Gestão Ambiental e a Sustentabilidade .....	20
2.4. Análise de Dados e Indicadores de Desempenho.....	21
2.5. Ferramentas da Qualidade na Redução de Desperdícios.....	22
2.6. A Produção Industrial e o Compromisso com o Meio Ambiente .....	24
2.7. Conexão entre a Gestão da Qualidade e a Gestão Ambiental .....	25
2.8. MySQL na Coleta e Tratamento de Dados Operacionais .....	26
<b>3. DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>28</b>
3.1. Organização dos Dados e Estruturação do Banco.....	28
3.2. Análise Quantitativa: Frequência e Porcentagem de Falhas .....	29
3.3. Ferramentas da Qualidade Aplicadas .....	31
3.3.1. <i>Diagrama de Pareto</i> .....	32
3.3.2. <i>Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)</i> .....	32
3.3.3. <i>Técnica dos 5 Porquês</i> .....	33
3.3.4. <i>Ciclo PDCA</i> .....	34
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>36</b>
4.1. Elaboração do Catálogo de Falhas .....	36
4.2. Benefícios da Aplicação.....	36
4.3. Integração com a Gestão da Qualidade .....	36
4.4. Potencial de Evolução e Aplicações Futuras.....	37
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão ambiental tem se consolidado como um dos pilares essenciais para a sustentabilidade nas atividades industriais especialmente no setor alimentício onde os processos produtivos geram grandes volumes de águas residuais e muitas vezes com composições complexas. Diante disso, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), exercem um papel fundamental pois são responsáveis por minimizar os impactos desses resíduos antes que sejam descartados no meio ambiente. Para que esse tratamento ocorra de forma eficaz, é fundamental que haja uma gestão estruturada, baseada em ações preventivas, acompanhamento contínuo e controle rigoroso das operações.

No contexto da indústria alimentícia vários fatores podem comprometer o desempenho das ETEs e entre eles destacam-se falhas em equipamentos, oscilações na carga orgânica e inorgânica dos efluentes e a ocorrência de eventos inesperados. Esses elementos quando não são gerenciados de maneira eficiente, podem afetar o cumprimento da legislação ambiental, além de gerar prejuízos operacionais, financeiros e reputacionais para a organização.

Este trabalho tem como proposta desenvolver estratégias de prevenção e melhoria contínua para o funcionamento das ETEs, tomando como base a análise de dados históricos de ocorrências registradas em uma indústria alimentícia. A intenção é identificar falhas recorrentes, compreender suas causas e, a partir disso, propor ações que possam tornar o processo de tratamento mais eficiente, estável e ambientalmente responsável.

Para isso, serão aplicadas ferramentas utilizadas na gestão da qualidade como o Diagrama de Pareto, útil para identificar as causas mais frequentes de falhas; o Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe), que auxilia na visualização dos fatores que contribuem para os problemas; e a técnica dos 5 Porquês, que permite investigar a fundo as causas raiz das ocorrências. Além dessas ferramentas, será adotado o ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir), voltado à melhoria contínua, bem como a definição de indicadores de desempenho (KPIs) e a análise estatística dos dados coletados, para embasar as decisões com maior precisão.

A relevância deste estudo está em propor soluções que integrem a eficiência operacional ao compromisso com a sustentabilidade. Ao promover melhorias no desempenho das ETEs, o trabalho contribui para o uso mais consciente dos recursos naturais, o atendimento às normas ambientais vigentes e a consolidação de uma cultura organizacional voltada à responsabilidade socioambiental. Dessa forma, reforça-se o papel estratégico da

gestão da produção industrial na construção de processos mais sustentáveis, eficientes e preparados para os desafios atuais e futuros.

### **1.1. Objetivo do Trabalho**

O objetivo geral deste trabalho é analisar os procedimentos operacionais da ETE, classificá-los, criando um catálogo de falhas.

Para a consecução deste objetivo foram estabelecidos os objetivos específicos:

- Promover uma revisão de literatura que fundamente os conceitos de gestão da qualidade, falhas operacionais e classificação de anomalias em estações de tratamento de efluentes, com o objetivo de orientar tecnicamente a análise dos dados coletados;
- Descrever as ocorrências (anomalias) registradas nos procedimentos operacionais da ETE, identificando suas características, contextos de manifestação e impactos no processo;
- Tipificar as ocorrências com base em critérios técnicos e de causa, agrupando-as em categorias representativas que facilitem a análise e compreensão das falhas;
- Analisar a frequência de ocorrência de cada tipo de falha ao longo do período estudado, organizando os resultados em um ranking que evidencie os eventos mais críticos e recorrentes;
- Elaborar um catálogo de falhas descritivo, contendo códigos, nomenclaturas padronizadas, descrição das anomalias, frequência de ocorrência e orientações práticas para ações corretivas e preventivas por parte dos operadores da ETE

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão da qualidade envolve um conjunto de práticas destinadas a garantir que os processos de produção cumpram os requisitos definidos, assegurando a eficácia e a satisfação dos clientes. Na indústria alimentícia, a qualidade dos processos é essencial, não apenas para a segurança dos produtos, mas também para a otimização de recursos e a redução de desperdícios (OLIVEIRA et al., 2020; ABNT, 2015a).

Uma ferramenta amplamente utilizada para estruturar e melhorar continuamente os processos organizacionais é o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), com destaque para a norma ISO 9001, que estabelece diretrizes voltadas à padronização, controle e melhoria contínua dos processos (ABNT, 2015a).

O desperdício de recursos é um problema recorrente nas indústrias, impactando diretamente a eficiência dos processos e a sustentabilidade ambiental. A gestão de desperdícios tem como objetivo eliminar perdas de materiais, tempo e energia, promovendo uma produção mais eficiente e com menor impacto ambiental (SILVA; MOURA, 2021). A indústria alimentícia, em particular, lida com volumes significativos de águas residuais, que devem ser tratadas adequadamente para evitar a contaminação e atender às exigências legais (CETESB, 2022).

As Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARs) são fundamentais nesse processo, pois tratam os efluentes gerados pelas atividades produtivas, promovendo a remoção de contaminantes e viabilizando o descarte seguro ou o reaproveitamento da água (SANTOS; CASTRO, 2018). A eficiência das ETARs é mensurada por meio da qualidade do efluente final, da eficácia na remoção de poluentes e dos custos operacionais. Para garantir a melhoria contínua, é necessário monitoramento constante e a implementação de ações corretivas e preventivas (CARVALHO et al., 2020).

A análise de dados é um pilar importante para a melhoria dos processos nas ETARs. A coleta e interpretação sistemática de dados sobre falhas e ocorrências permitem identificar padrões e promover melhorias (MALAVÉ et al., 2020). Ferramentas como o Controle Estatístico de Processos (CEP) e a análise preditiva são fundamentais para acompanhar o desempenho e antecipar falhas, assegurando uma operação otimizada (LOPES et al., 2019).

As ações preventivas têm como foco evitar que os problemas ocorram, enquanto as ações corretivas são aplicadas para solucionar falhas já detectadas. Em sistemas de tratamento de águas residuais, essas ações envolvem desde ajustes operacionais até

modificações estruturais na estação. A aplicação eficaz dessas medidas é essencial para garantir a eficiência e a sustentabilidade do processo (ALMEIDA et al., 2023).

Dessa forma, a integração entre a gestão da qualidade, o uso de dados e a operação eficiente das ETARs contribui significativamente para a redução de desperdícios e para o controle dos impactos ambientais na indústria alimentícia. Trata-se de uma abordagem estratégica que fortalece a sustentabilidade do processo produtivo como um todo (SEVERINO, 2022).

## **2.1. A Gestão da Qualidade na Indústria**

A gestão da qualidade surgiu como resposta à necessidade de padronização e confiabilidade nos processos produtivos, especialmente a partir da Revolução Industrial, quando a produção em massa passou a exigir controle mais rigoroso. No início do século XX, autores como Frederick Taylor e Henry Ford introduziram princípios voltados à eficiência e à organização do trabalho. No entanto, foi William Shewhart quem desenvolveu o Controle Estatístico de Processos (CEP), marco técnico que influenciou diretamente a forma como a qualidade começou a ser tratada nas organizações (ROCHA et al., 2022).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a confiabilidade dos produtos tornou-se ainda mais essencial, o que impulsionou o aprimoramento de técnicas de controle. No pós-guerra, figuras como W. Edwards Deming e Joseph Juran disseminaram o conceito de melhoria contínua, especialmente no Japão, contribuindo para a transformação das indústrias locais em referências globais em qualidade (SANTOS; CASTRO, 2018).

Com o tempo, o tema deixou de ser apenas técnico e passou a ocupar espaço estratégico dentro das empresas. A Gestão da Qualidade Total (TQM) ganhou destaque ao integrar todos os setores da organização na busca por excelência (OLIVEIRA et al., 2020). Paralelamente, surgiram as normas internacionais da série ISO 9000, sendo a ISO 9001 a principal referência para sistemas de gestão da qualidade (ABNT, 2015a).

Atualmente, em um cenário industrial cada vez mais competitivo, investir em qualidade significa otimizar recursos, evitar desperdícios e garantir conformidade com requisitos legais e de mercado. Mais do que atender normas, a qualidade é vista como um diferencial competitivo e uma forma de agregar valor percebido pelos clientes (SEVERINO, 2022).

Para aplicar esses princípios, na prática, diversas ferramentas da qualidade são utilizadas, como o (i) Diagrama de Pareto que é uma ferramenta que permite identificar e priorizar os problemas mais críticos a serem solucionados, o qual é uma representação

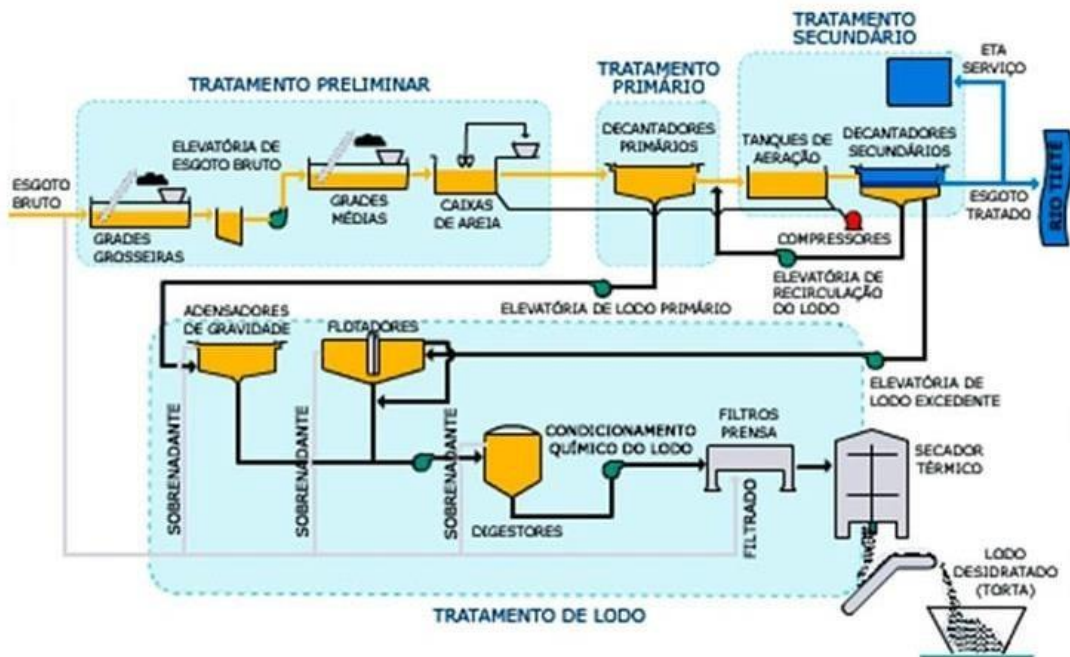
gráfica baseada no princípio 80/20 indicando que a maioria dos problemas é causada por uma minoria de causa (ROCHA et al., 2022), (ii) o Diagrama de Ishikawa (ou Espinha de Peixe) que organiza visualmente as possíveis causas de um problema, classificando-as em categorias como métodos, máquinas, materiais, mão de obra, meio ambiente e medição e facilita a identificação das causas raiz, sendo muito utilizado em análise de falhas (IHI, 2019) e a (iii) Técnica dos 5 Porquê na qual consiste em questionar repetidamente “por quê?” até encontrar a verdadeira causa de um problema. Ao aprofundar a investigação, evita-se a correção apenas dos sintomas e se atinge o núcleo do que deve ser corrigido (KONIG, 2021), o Ciclo PDCA sigla para *Plan, Do, Check, Act* (Planejar, Executar, Verificar, Agir), essa metodologia promove a melhoria contínua de processos. Na fase de planejamento, define-se o problema e as metas. Em seguida, executa-se o plano, avaliam-se os resultados obtidos e, por fim, ajustam-se as ações com base na verificação realizada (JURAN, 2018).

Essas ferramentas são frequentemente aplicadas de forma complementar, uma fortalecendo a outra. Por exemplo, o Diagrama de Pareto pode apontar os principais problemas; o Diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês ajudam a entender suas causas; e o Ciclo PDCA orienta a aplicação das soluções e seu monitoramento. No contexto da indústria alimentícia e, especialmente, em ETE, essas metodologias são fundamentais para prevenir falhas, reduzir desperdícios e promover a sustentabilidade do processo produtivo (ALMEIDA et al., 2023).

## **2.2. Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)**

ETE envolve sistemas projetados para tratar águas residuais geradas por atividades industriais, comerciais ou domésticas. A Figura 1 mostra um fluxograma genérico das etapas de funcionamento de uma ETE. O objetivo principal dessas estações é remover ou reduzir os poluentes presentes no efluente, tornando-o seguro para o meio ambiente ou apto para reuso.

**Figura 1 - Fluxograma genérico das etapas de funcionamento de uma ETE.**



Fonte: Adaptado de Baliero (2020).

O processo de tratamento de efluentes geralmente envolve três etapas principais: físicas, químicas e biológicas (SANTOS; CASTRO, 2018; CETESB, 2022).

A etapa física inclui processos como sedimentação, filtração e flotação, que visam remover sólidos suspensos presentes na água. No processo de sedimentação, as partículas sólidas mais pesadas se depositam no fundo do tanque de sedimentação devido à força gravitacional. Já na filtração, o efluente passa por materiais filtrantes que retêm as partículas finas, como areia e carvão ativado. A etapa química é centrada no uso de substâncias químicas, como coagulantes e floculantes, para aglomerar as partículas finas, facilitando sua remoção. A etapa biológica, por sua vez, utiliza microrganismos para degradar a matéria orgânica presente no efluente. Este processo pode ser realizado de maneira aeróbica, onde os microrganismos consomem oxigênio para degradar os poluentes, ou anaeróbica, em que a decomposição ocorre na ausência de oxigênio (SILVA; MOURA, 2021).

Esses processos são essenciais para reduzir a carga poluente e garantir que os efluentes tratados não causem danos ao meio ambiente ou à saúde pública, atendendo às exigências regulatórias e de qualidade (BRASIL, 2023).

A indústria alimentícia gera uma ampla variedade de efluentes, que podem ser classificados com base em suas características químicas e físicas. Esses efluentes podem conter tanto cargas orgânicas quanto cargas inorgânicas, e a composição deles pode variar

dependendo do tipo de processo produtivo e da matéria-prima utilizada (ALMEIDA et al., 2023).

A carga orgânica refere-se à quantidade de matéria orgânica presente no efluente, que inclui substâncias como óleos, gorduras, proteínas, carboidratos e açúcares. Essas substâncias são frequentemente decompostas por microrganismos durante o tratamento biológico nas ETEs. A quantidade de matéria orgânica é comumente medida por parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que indica a quantidade de oxigênio necessária para a decomposição dessa matéria pelos microrganismos (SANTO; CASTRO, 2018).

Por outro lado, a carga inorgânica consiste em substâncias que não possuem carbono, como metais pesados (ex.: cádmio, chumbo, zinco), sais minerais e outros compostos químicos. Esses poluentes podem ser prejudiciais ao meio ambiente e exigem tratamento químico ou físico, como a coagulação e floculação, para sua remoção (CETESB, 2022).

A variabilidade dos efluentes gerados na indústria alimentícia pode ser um desafio significativo. Essa variabilidade ocorre devido a fatores como o tipo de produto alimentício fabricado, os processos utilizados, as condições operacionais da planta e a quantidade de água consumida. Por exemplo, uma fábrica de laticínios pode gerar efluentes com alta carga orgânica, enquanto uma indústria de embutidos pode gerar efluentes com maior carga inorgânica devido ao uso de sais e conservantes. A variabilidade também pode ocorrer devido a mudanças sazonais na produção, ou variações nas práticas operacionais, o que torna o controle da qualidade do efluente uma tarefa complexa (CARVALHO et al., 2020).

As ETEs, como qualquer sistema industrial, estão sujeitas a falhas e ocorrências operacionais que podem comprometer a eficiência do processo de tratamento e gerar impactos negativos ao meio ambiente. Entre as falhas mais comuns estão os problemas relacionados ao dimensionamento inadequado da estação, falhas nos equipamentos, como bombas e reatores, e erros operacionais durante o tratamento dos efluentes (LOPES et al., 2019).

O dimensionamento inadequado ocorre quando uma ETE não é projetada para lidar com o volume de efluentes ou a carga poluente gerada pela indústria. Isso pode resultar em sobrecarga do sistema, transbordamentos ou incapacidade de atingir os níveis de qualidade exigidos para o efluente final. Além disso, falhas nos equipamentos podem ocorrer devido ao desgaste natural ou à falta de manutenção preventiva, afetando o desempenho da ETE. Problemas com bombas, compressores, sistemas de aeração e tanques de sedimentação são comuns e podem causar paradas não programadas na estação (CETESB, 2022).

Erros operacionais, como o controle inadequado da dosagem de produtos químicos ou a falha no monitoramento de parâmetros como pH, temperatura e DBO, podem também prejudicar a eficiência do tratamento. A ocorrência de bloqueios ou acúmulo de lodo nas unidades de tratamento é outro desafio comum, afetando a capacidade de tratamento e gerando custos adicionais para a remoção (CARVALHO et al., 2020).

A análise de dados de ocorrências é essencial para identificar e corrigir esses problemas. A coleta e monitoramento contínuos de dados operacionais, como os níveis de carga orgânica e inorgânica, o pH e a eficiência de remoção de poluentes, permitem identificar padrões e tendências de falhas. A partir dessa análise, podem ser implementadas ações corretivas, como ajustes no processo ou manutenção preventiva, e ações preventivas, como a revisão do dimensionamento da ETE ou melhorias nos equipamentos (MALAVÉ et al., 2020).

A manutenção preventiva é um conjunto de atividades realizadas de forma periódica, com o objetivo de evitar falhas imprevistas e prolongar a vida útil dos equipamentos e sistemas da ETE. Ela inclui inspeções regulares, limpezas, calibrações e ajustes, bem como a substituição de peças desgastadas antes que causem falhas no processo de tratamento. A manutenção preventiva é fundamental para garantir a continuidade do tratamento de efluentes sem interrupções, o que reduz o risco de impacto ambiental negativo (CARVALHO et al., 2020).

Já a manutenção corretiva é realizada quando uma falha já ocorreu e precisa ser corrigida para restaurar o funcionamento normal da ETE. Embora a manutenção preventiva seja preferível para evitar paradas inesperadas, a manutenção corretiva também é essencial, especialmente em situações emergenciais, onde a falha pode ser crítica para a operação da estação.

A integração da manutenção preventiva e corretiva é crucial para otimizar os custos operacionais e garantir que os processos de tratamento de efluentes ocorram de forma eficiente e dentro dos parâmetros de qualidade exigidos. Além disso, a manutenção adequada ajuda a evitar a sobrecarga do sistema, contribuindo para a redução do risco de falhas catastróficas, que poderiam resultar em danos ambientais significativos e custos elevados de reparo (ALMEIDA et al., 2023).

### **2.3. Gestão Ambiental e a Sustentabilidade**

No contexto da redução de desperdícios e do impacto ambiental, a Gestão Ambiental representa a adoção de práticas organizadas para o uso racional de recursos e controle da

poluição. A norma ISO 14001 oferece diretrizes para implementar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), promovendo a melhoria contínua, o controle de resíduos, a eficiência energética e o cumprimento de exigências legais (ABNT, 2015b).

No Brasil, leis como a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e a Resolução CONAMA nº 357/2005 regulam o lançamento de efluentes, sendo fundamentais para as indústrias que geram resíduos potencialmente poluentes, como a alimentícia (BRASIL, 2023).

Nesse setor, a sustentabilidade é um desafio, já que a produção exige grande consumo de água, energia e matérias-primas. A adoção de práticas sustentáveis como reuso de água, tratamento adequado de efluentes e redução de desperdícios além de atender à legislação, traz ganhos econômicos e fortalece a imagem da empresa perante o mercado (SILVA & MOURA, 2021).

O tratamento de águas residuais é um ponto crítico, pois essas águas podem conter substâncias químicas e biológicas nocivas. Tecnologias como biodegradação e sistemas de reuso ajudam a mitigar os impactos ambientais, além de diminuir a necessidade de novos insumos (ALMEIDA et al., 2023).

A integração entre normas, tecnologias e legislações ambientais reforça a importância de um modelo produtivo mais responsável. A indústria que incorpora essas práticas contribui para a preservação do meio ambiente e para sua própria sustentabilidade econômica e social (SEVERINO, 2022).

#### **2.4. Análise de Dados e Indicadores de Desempenho**

A coleta e o tratamento de dados são etapas fundamentais para garantir a precisão e confiabilidade das informações utilizadas na gestão da qualidade e na melhoria de processos. A coleta de dados na indústria deve ser estruturada, com a utilização de ferramentas como formulários, sistemas informatizados e sensores, para capturar informações relevantes em tempo real, como taxas de falhas, produtividade e variabilidade nos processos. O tratamento de dados envolve a organização, filtragem e análise dessas informações, garantindo que os dados sejam adequados para a análise subsequente. Boas práticas incluem o uso de métodos padronizados de coleta, a garantia de que os dados sejam consistentes e a implementação de processos de auditoria para verificar a qualidade das informações coletadas. A correta coleta e tratamento de dados possibilitam a identificação de problemas recorrentes, áreas de melhoria e tendências que podem impactar diretamente a redução de desperdícios e o impacto ambiental (MALAVÉ et al., 2020). O uso de tecnologias de automação também

facilita o processo de coleta e oferece maior precisão nos dados, contribuindo para uma gestão mais eficiente (LOPES et al., 2019).

Os Indicadores de Desempenho (KPIs) são ferramentas essenciais para mensurar e monitorar a eficácia de uma organização em alcançar seus objetivos, especialmente na gestão de processos industriais. Na indústria alimentícia, a escolha dos KPIs deve ser focada nas áreas de produção, qualidade, segurança alimentar e, principalmente, nos processos de redução de desperdícios. Indicadores como a taxa de defeitos por milhão de unidades, o índice de eficiência global de equipamentos (OEE) e o consumo de recursos (energia, água, matéria-prima) são exemplos relevantes. A interpretação desses indicadores permite identificar as áreas com maior potencial de melhoria, otimizando os processos e reduzindo os desperdícios, o que impacta diretamente o desempenho ambiental da empresa. Para uma análise eficaz, é importante que os KPIs sejam atualizados regularmente, alinhados aos objetivos estratégicos da empresa e acompanhados de forma contínua. O uso de ferramentas como gráficos de controle e dashboards ajuda a visualização das tendências e a rápida identificação de desvios nos processos (SEVERINO, 2022).

A aplicação estatística na tomada de decisão envolve a análise dos dados coletados e tratados para gerar informações acionáveis que orientem a melhoria dos processos industriais. Ferramentas estatísticas como análise de regressão, controle estatístico de processos (CEP) e análise de variabilidade são amplamente utilizadas para identificar causas raízes de problemas e oportunidades de melhoria. A análise de dados possibilita a implementação de ações preventivas e corretivas baseadas em evidências, o que é essencial para a redução de desperdícios e a melhoria contínua. Além disso, a aplicação de técnicas estatísticas permite prever comportamentos futuros e otimizar processos de forma que se alcance um menor impacto ambiental, minimizando o uso de recursos naturais e a geração de resíduos. A análise estatística auxilia a gestão na tomada de decisões assertivas, com base em dados reais, ao invés de suposições, o que aumenta a eficácia das ações implementadas (TRINKAUS, 2019). A combinação de coleta de dados, análise estatística e interpretação de KPIs forma a base para a tomada de decisões mais estratégicas e sustentáveis.

## **2.5. Ferramentas da Qualidade na Redução de Desperdícios**

A gestão da qualidade na redução de desperdícios e seu impacto ambiental envolve o uso de diversas ferramentas que são essenciais para identificar, analisar e corrigir falhas no processo, promovendo a melhoria contínua e a sustentabilidade das operações. Essas ferramentas possibilitam um diagnóstico detalhado dos problemas operacionais e

ambientais, permitindo a implementação de ações corretivas eficazes e a redução de desperdícios, com foco em processos mais eficientes e menos impactantes ao meio ambiente (ROCHA et al., 2022).

O Diagrama de Pareto é uma das ferramentas mais utilizadas na gestão da qualidade para priorizar os problemas mais significativos. Baseado no princípio de Pareto, que sugere que 80% dos problemas são causados por 20% das causas, esse diagrama ajuda a identificar quais são os principais fatores responsáveis por falhas e desperdícios. Ao aplicar essa ferramenta nas ETEs, é possível visualizar rapidamente quais causas devem ser abordadas de forma prioritária, direcionando esforços para as áreas que têm o maior impacto no processo e, conseqüentemente, no ambiente. Essa priorização facilita a alocação de recursos de maneira mais eficiente, minimizando os impactos ambientais e operacionais (ROCHA et al., 2022).

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Espinha de Peixe, é outra ferramenta essencial que auxilia na identificação das causas possíveis de problemas dentro de um processo. O diagrama organiza visualmente as causas em categorias, como materiais, métodos, pessoas, máquinas e ambiente, proporcionando uma visão ampla dos fatores que podem influenciar falhas ou desperdícios. No contexto das ETEs, esse diagrama é útil para examinar as variáveis que podem estar afetando a qualidade do tratamento dos efluentes, como falhas em equipamentos, inconsistências nos processos ou até fatores externos que afetam a eficiência da estação. Assim, é possível traçar estratégias para mitigar esses problemas e otimizar o uso dos recursos, reduzindo os desperdícios e o impacto ambiental (IHI, 2019).

A Técnica dos 5 Porquês é uma abordagem simples, mas eficaz, para investigar as causas raiz de um problema. Consiste em questionar repetidamente "por quê?" até se chegar à causa fundamental do problema, o que ajuda a evitar soluções superficiais. Essa técnica é aplicada de forma prática nas ETEs para investigar falhas operacionais ou deficiências nos processos que resultam em desperdício de recursos, como água e produtos químicos. Ao identificar as causas subjacentes dos problemas, a Técnica dos 5 Porquês permite a implementação de ações corretivas que tratam a origem do desperdício, evitando a repetição do problema e contribuindo para uma gestão mais eficiente e ambientalmente responsável (KONIG, 2021).

O Ciclo PDCA é uma metodologia de melhoria contínua amplamente aplicada na gestão da qualidade. No contexto das ETEs, o PDCA pode ser utilizado para garantir que os processos de tratamento de efluentes sejam constantemente monitorados, avaliados e

ajustados. A fase de planejamento (Plan) envolve a definição de metas de redução de desperdícios e melhorias operacionais. A fase de execução (Do) refere-se à implementação das ações planejadas. A fase de verificação (Check) consiste na análise dos resultados obtidos e, finalmente, a fase de ação (Act) implica em tomar medidas corretivas e preventivas com base nas análises, assegurando que os processos estejam sempre em aprimoramento. Essa abordagem estruturada promove uma gestão de processos mais eficiente, com menores desperdícios e impactos ambientais (JURAN, 2018).

O desperdício é, muitas vezes, o reflexo de falhas operacionais que resultam em processos ineficientes. Na Gestão da Qualidade, é fundamental estabelecer uma relação clara entre desperdício e falhas operacionais, uma vez que as falhas nos processos muitas vezes geram o uso excessivo de recursos, como energia, água e produtos químicos, além de impactos ambientais indesejados. A aplicação das ferramentas mencionadas permite identificar essas falhas e propor soluções que não só melhoram a eficiência dos processos, mas também contribuem para a sustentabilidade. A redução de desperdícios, portanto, está diretamente ligada à melhoria das operações, o que resulta em menor impacto ambiental e mais eficiência na utilização dos recursos (SLACK et al., 2020).

## **2.6. A Produção Industrial e o Compromisso com o Meio Ambiente**

A Produção Industrial e o Compromisso com o Meio Ambiente envolvem um grande esforço das empresas para equilibrar a busca por eficiência na produção com a preservação ambiental. Nos últimos anos, a integração entre produtividade e sustentabilidade tem se mostrado fundamental para o sucesso das organizações, à medida que a pressão social e regulamentar para a redução dos impactos ambientais cresce. As indústrias estão cada vez mais adotando práticas que não apenas visam otimizar o uso de recursos, mas também a minimização dos impactos ambientais gerados pelos seus processos. Esse equilíbrio é essencial para garantir a continuidade do desenvolvimento industrial sem comprometer os recursos naturais para as gerações futuras (ALMEIDA et al., 2023).

A integração entre produtividade e sustentabilidade é uma questão central nesse contexto, pois envolve a capacidade das empresas de melhorar seus processos produtivos enquanto reduzem os impactos negativos no meio ambiente. A sustentabilidade empresarial não é mais vista como uma preocupação isolada, mas sim como uma estratégia integrada, onde a eficiência operacional, a inovação e a responsabilidade ambiental caminham juntas. A adoção de tecnologias limpas, a redução de resíduos e a reutilização de materiais são

alguns dos aspectos dessa integração, possibilitando a criação de uma produção mais limpa, com menos consumo de energia e menor geração de resíduos (SILVA & MOURA, 2021).

Dentro desse cenário, a economia circular surge como uma abordagem estratégica para a redução de desperdícios. Ao invés de seguir o modelo tradicional de “produção-consumo-descarte”, a economia circular propõe um ciclo fechado onde os produtos são projetados para serem reutilizados, reparados, remanufaturados ou reciclados, mantendo os recursos em uso por mais tempo. Esse modelo contribui não apenas para a redução do desperdício, mas também para a diminuição da necessidade de extração de novos recursos naturais. A indústria, ao adotar os princípios da economia circular, pode transformar resíduos em novos produtos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais causados pela produção e pelo descarte inadequado de materiais (CNI, 2022).

Por fim, a cultura organizacional voltada à responsabilidade socioambiental é um elemento essencial para o sucesso das práticas sustentáveis na produção industrial. Quando a responsabilidade ambiental é incorporada à cultura da empresa, ela se reflete em todos os níveis da organização, desde a alta gestão até os operadores da linha de produção. Empresas com uma forte cultura de responsabilidade socioambiental estão mais inclinadas a investir em práticas que minimizam os impactos negativos no meio ambiente, incentivando seus colaboradores a adotarem comportamentos e práticas sustentáveis. Além disso, uma cultura organizacional voltada à sustentabilidade ajuda a atrair consumidores e investidores que buscam empresas comprometidas com o meio ambiente e com práticas éticas (SEVERINO, 2022).

## **2.7. Conexão entre a Gestão da Qualidade e a Gestão Ambiental**

A conexão entre Gestão da Qualidade e Gestão Ambiental é fundamental para as práticas industriais, pois ambas buscam melhorar processos e resultados de forma eficiente. A Gestão da Qualidade foca no controle e aprimoramento dos processos para garantir produtos com alto padrão, enquanto a Gestão Ambiental visa minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. Quando integradas, essas áreas contribuem para processos mais eficientes, com menos desperdícios e uso mais racional de recursos. A implementação simultânea de normas como a ISO 9001 (qualidade) e a ISO 14001 (ambiental) potencializa essa conexão, ajudando as empresas a serem mais sustentáveis (ABNT, 2015a; ABNT, 2015b).

O papel estratégico da qualidade é essencial para a redução de impactos ambientais, pois, ao focar na melhoria contínua, a gestão da qualidade permite a identificação de

ineficiências nos processos, resultando na diminuição do desperdício de materiais e energia. Esse controle rigoroso contribui para processos menos poluentes e mais sustentáveis. A ISO 9001, ao promover a melhoria constante, está diretamente ligada à busca por práticas mais ecológicas e eficientes (OLIVEIRA et al., 2020).

A integração dessas duas abordagens oferece vantagens competitivas e operacionais, como maior eficiência no uso de recursos, redução de custos e melhor conformidade com regulamentos ambientais. Além disso, contribui para uma imagem positiva no mercado, atraindo consumidores conscientes. Organizações que aplicam essa integração são mais eficientes e inovadoras, com melhores resultados a longo prazo (SEVERINO, 2022).

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais normas ISO mencionadas neste trabalho, destacando sua aplicação na operação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

**Tabela 1 - Resumo das normas ISO aplicadas à gestão da qualidade e ambiental no contexto da ETE.**

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicação no Trabalho</b>
<b>ISO 9001:2015</b>	Sistema de Gestão da Qualidade estabelece critérios para processos eficazes	Utilizada como base para melhoria contínua e controle operacional da ETE
<b>ISO 14001:2015</b>	Sistema de Gestão Ambiental diretrizes para controle dos impactos ambientais	Integrada à gestão para garantir conformidade e sustentabilidade ambiental
<b>ISO 22000:2018</b>	Sistema de Gestão da Segurança de Alimentos – inclui boas práticas de fabricação	Referência complementar nas ações corretivas relacionadas à limpeza e higiene da estação
<b>ISO 50001:2018</b>	Sistema de Gestão de Energia – orienta eficiência no uso de energia e recursos	Aplicada ao controle de consumo excessivo de água e vapor na ETE

Fonte: Elaboração própria (2025).

## **2.8. MySQL na Coleta e Tratamento de Dados Operacionais**

Com o avanço da tecnologia da informação tem permitido que as indústrias integrem seus sistemas de coleta, armazenamento e análise de dados em seus processos operacionais. Dentre as ferramentas disponíveis, os sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBDs) destacam-se por possibilitar a organização e o tratamento eficiente de grandes volumes de informações. Nesse contexto, o MySQL é amplamente utilizado, por ser um banco de dados relacional de código aberto, reconhecido por sua robustez, flexibilidade e desempenho satisfatório (KORTH; SILBERSCHATZ, 2021).

A aplicação do MySQL no ambiente industrial, especialmente em uma ETE, tem se mostrado uma solução viável para garantir o monitoramento contínuo dos dados operacionais. Isso se dá por meio da criação de tabelas estruturadas que armazenam registros de ocorrências, medições, falhas, manutenções e outras variáveis críticas para a operação eficiente da estação. Essas informações, quando analisadas de forma sistemática, fornecem subsídios para a tomada de decisões estratégicas, contribuindo diretamente para a redução de desperdícios e mitigação de impactos ambientais (LAUDON;LAUDON, 2023).

Além disso, a utilização de consultas SQL (*Structured Query Language*) dentro do MySQL permite realizar filtros, cruzamentos de dados, análises temporais e extração de relatórios com rapidez e precisão. Isso é fundamental para equipes de qualidade e manutenção, que precisam de respostas ágeis sobre os comportamentos operacionais da ETE. A automação dessas análises, inclusive, pode ser integrada a sistemas de business intelligence, como o Power BI, ampliando a capacidade visual e interpretativa dos dados (MACHADO; MAIA, 2020).

O uso do MySQL também se alinha com os princípios da gestão da qualidade, ao permitir a identificação de não conformidades recorrentes, análise de causas raiz e estabelecimento de ações corretivas fundamentadas em dados concretos. Dessa forma, o banco de dados se torna não apenas um repositório de informações, mas uma ferramenta estratégica para melhoria contínua.

Portanto, compreender o funcionamento do MySQL e suas aplicações práticas no contexto da coleta e tratamento de dados operacionais é essencial para garantir eficiência, rastreabilidade e qualidade ambiental nos processos industriais.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

Durante o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se compreender de forma mais aprofundada como a gestão da qualidade pode contribuir para a prevenção de falhas e a redução de desperdícios em uma ETE pertencente a uma indústria do setor alimentício. A análise teve como base um conjunto de registros internos de ocorrências, documentados ao longo de dois anos, que serviram como fonte primária de dados operacionais.

Esse registro de ocorrências forneceu uma valiosa fonte de informações, possibilitando a identificação de padrões, causas frequentes e pontos de atenção dentro do processo de tratamento. Com base nesse material, criamos um banco de dados simulado no MySQL, que foi utilizado para a organização, análise estatística e categorização dos tipos de falha.

#### **3.1. Organização dos Dados e Estruturação do Banco**

A análise das falhas operacionais foi inicialmente realizada com base de dados históricos da ETE, os quais estavam registrados em planilhas eletrônicas. Embora essas planilhas fossem fornecendo uma quantidade significativa de informações, os registros distribuídos apresentavam a aparência sem padronização para uso de linguagem e a falta de padronização para a descrição dos eventos documentados. Diversas falhas eram registradas com variações semânticas que, embora significassem o mesmo problema, apareciam de formas distintas, como “água vazando”, “fuga de água” ou “vazamento de água”.

Diante dessa heterogeneidade, foi necessário realizar um processo de padronização dos dados. Esse trabalho envolveu a categorização e unificação dos termos semelhantes, o que permitiu agrupar ocorrências com causas relacionadas e eliminar redundâncias. Essa padronização foi essencial para garantir a consistência da base de dados e possibilitar análises estatísticas confiáveis.

Com os dados tratados, foi desenvolvida a estrutura de um banco de dados relacional no MySQL, que é uma plataforma robusta e amplamente utilizada no ambiente industrial. A base foi organizada em duas tabelas principais: a primeira destinada aos tipos de falha padronizados e a segunda destinada ao registro das ocorrências propriamente ditas. Essa separação possibilitou o relacionamento entre os dados, facilitando a geração de relatórios, a realização de filtros e o cruzamento de informações relevantes para a análise de desempenho da ETE.

O Quadro 1 apresenta-se a estrutura básica da tabela de ocorrências criada no MySQL.

### Quadro 1 – Exemplo de Estrutura da Tabela Utilizada no MySQL.

```
CREATE TABLE ocorrencias (  
  id INT,  
  data_ocorrencia DATE,  
  tipo_ocorrencia TEXT,  
  descricao_ocorrencia TEXT,  
  acao_corretiva TEXT,  
  acao_preventiva TEXT  
);
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

### 3.2. Análise Quantitativa: Frequência e Porcentagem de Falhas

Com o banco de dados estruturado e padronizado, foi possível avançar para uma análise quantitativa das falhas operacionais registradas na ETE. O principal objetivo desta etapa foi identificar quais tipos de falhas ocorriam com maior frequência, permitindo priorizar ações corretivas e preventivas mais eficazes.

O primeiro passo consistiu em aplicar um processo rigoroso de higienização dos dados. Essa limpeza envolveu a exclusão de registros duplicados, a correção de erros ortográficos, e a remoção de entradas inconsistentes ou nulas. Essa etapa foi essencial para garantir a integridade e a confiabilidade da base de dados, assegurando que os resultados obtidos refletissem com precisão a realidade operacional da ETE.

Em seguida, foi feita a uniformização dos registros de ocorrência. Como os dados haviam sido originalmente inseridos de maneira aberta, havia diversas formas de descrever um mesmo tipo de falha. Por exemplo, problemas como “vazamento de água”, “água vazando” ou “fuga de água” foram consolidados sob a categoria única de “Vazamento de Água”. Essa padronização semântica permitiu agrupar registros semelhantes e reduzir ruídos nas análises estatísticas.

Para identificar a frequência e o percentual de ocorrência de cada tipo de falha, foi utilizada a seguinte consulta SQL que se encontra mostrada no Quadro 2.

### Quadro 2- Exemplo da consulta SQL utilizada para análise de frequência e porcentagem.

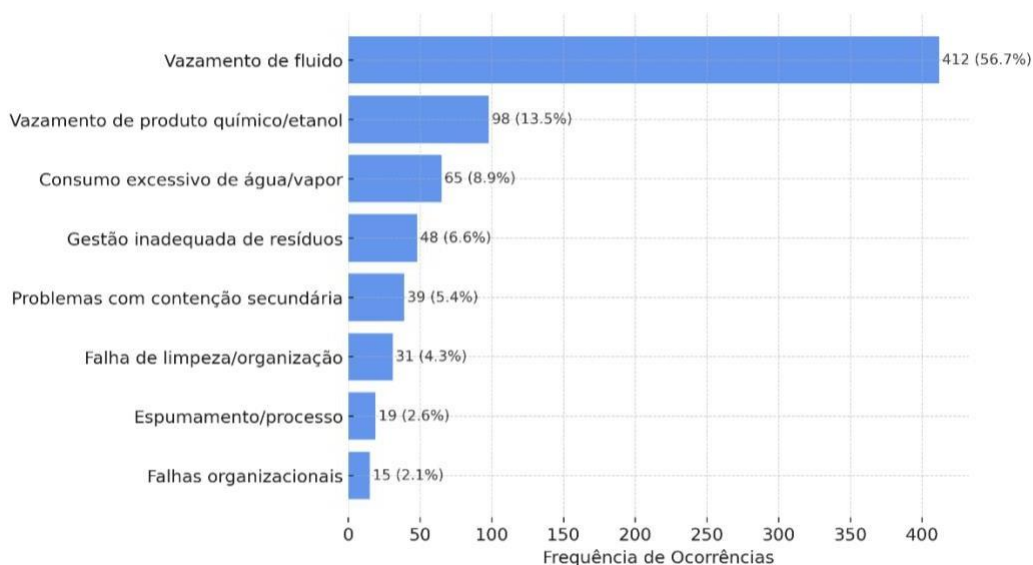
```
SELECT
  LOWER(TRIM(tipo_ocorrencia)) AS tipo_falha,
  COUNT(*) AS frequencia,
  ROUND((COUNT(*) * 100.0 / (SELECT COUNT(*) FROM ocorrencias)), 2) AS
  porcentagem
FROM
  ocorrencias
GROUP BY
  tipo_falha
ORDER BY
  frequencia DESC;
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

A consulta permitiu organizar os tipos de falhas padronizadas, revelando tanto a quantidade absoluta de registros quanto a representatividade percentual de cada ocorrência em relação ao total. Esses dados facilitaram a geração de gráficos e tabelas, proporcionando uma visualização clara e objetiva dos principais pontos de atenção no processo.

Conforme visualizada na Figura 2, observa-se que os vazamentos de água e vapor lideravam entre as falhas mais registradas, seguidos por casos de consumo excessivo de recursos e problemas relacionados ao descarte inadequado de resíduos. Além de frequentes, essas ocorrências estão diretamente ligadas ao aumento de custos operacionais e à elevação do risco ambiental, tornando essencial a implementação de ações corretivas específicas e bem direcionadas.

**Figura 2- Frequência dos tipos de falhas identificadas na ETE**



Fonte: Elaboração própria (2025).

Após a coleta das informações históricas registradas em planilhas da ETE, foi necessário realizar a etapa de classificação e tratamento dos dados para garantir sua padronização, integridade e confiabilidade, tornando-os aptos para análises quantitativas e qualitativas.

O primeiro passo consistiu na limpeza da base de dados, que incluiu a exclusão de registros duplicados, a correção de erros ortográficos e a remoção de campos incompletos ou inválidos. Essa etapa foi essencial para garantir a consistência dos dados e evitar distorções nos resultados obtidos nas análises subsequentes.

No entanto, mais do que apenas lidar com números, a interpretação qualitativa das informações desempenhou um papel decisivo. Foi realizada uma leitura minuciosa das descrições abertas fornecidas nas planilhas, o que possibilitou a aglutinação manual de registros que, embora redigidos de forma diferente, representavam o mesmo tipo de falha ou exigiam a mesma ação corretiva.

Como exemplo, falhas descritas como “vazamento de produto químico” e “vazamento de soda cáustica” foram reunidas em uma única categoria, já que ambas requerem procedimentos semelhantes de contenção, isolamento da área e inspeção dos pontos de vedação. Esse processo de agrupamento resultou na organização das ocorrências em categorias operacionais, que facilitaram a estruturação do banco de dados e a posterior análise:

- Vazamentos em tubulações
- Consumo excessivo de água ou vapor
- Descarte inadequado de resíduos
- Problemas com contenção secundária
- Falhas estruturais e organizacionais

### **3.3. Ferramentas da Qualidade Aplicadas**

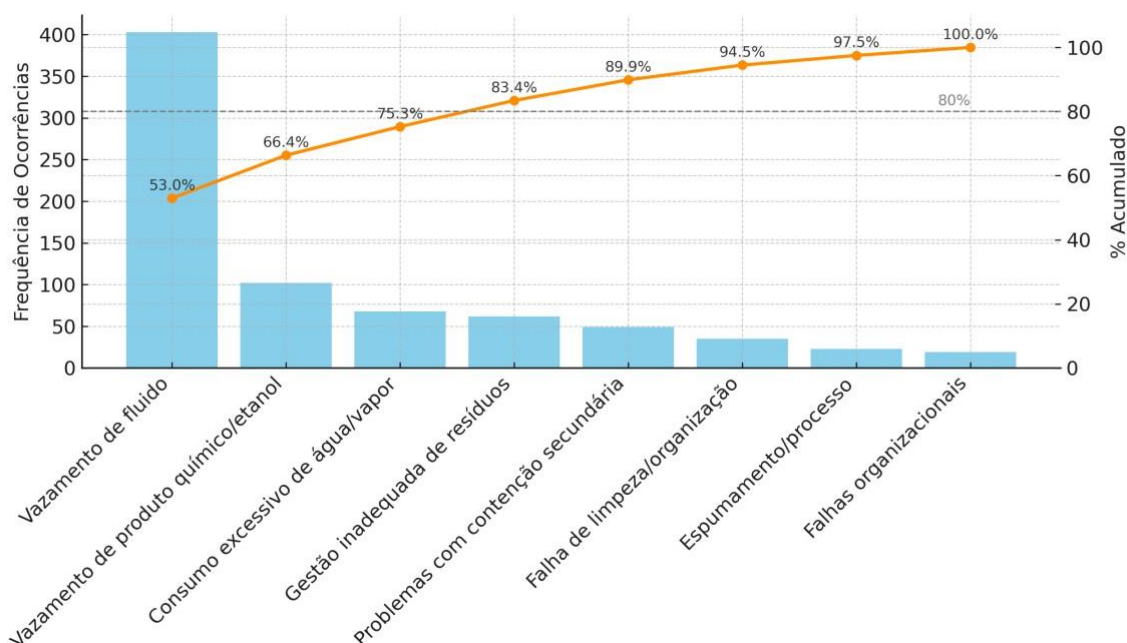
Após a organização e análise dos dados, foi essencial utilizar ferramentas da qualidade para compreender melhor as causas dos problemas e propor soluções mais assertivas. Essas ferramentas são amplamente utilizadas em ambientes industriais para apoiar o processo de tomada de decisão, priorização de falhas e planejamento de melhorias.

### 3.3.1. Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto nos ajudou a identificar quais falhas concentravam a maior parte dos problemas na ETE. Com ele, aplicou-se o Princípio 80/20, ou seja, concentrou-se nos 20% das falhas que geravam 80% dos impactos operacionais.

Através do gráfico mostrado na Figura 3, visualiza-se com clareza que os vazamentos (de água, fluido ou produto químico) representavam a maior parte das ocorrências. A partir disso, direcionamos nossos esforços para entender melhor essas falhas e propor ações corretivas mais eficazes.

**Figura 3 - Diagrama de Pareto em Tipos de Falha**



Fonte: Elaboração própria (2025).

### 3.3.2. Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)

Com base nos dados das falhas mais recorrentes identificadas na ETE, foi aplicada a ferramenta Diagrama de Ishikawa, também conhecida como Espinha de Peixe, com o objetivo de identificar as causas primárias e secundárias por trás dos problemas mais críticos.

Essa metodologia é amplamente utilizada na gestão da qualidade por permitir uma visualização clara e estruturada das possíveis origens de uma falha, organizando-as em categorias específicas que abrangem os principais aspectos do processo produtivo. A aplicação da ferramenta neste trabalho seguiu a seguinte lógica de categorização:

- Mão de obra: falhas relacionadas ao fator humano, como falta de capacitação técnica, treinamentos inadequados ou ausência de conscientização sobre os procedimentos operacionais.
- Máquinas: envolveu problemas em equipamentos desgastados, conexões com vazamentos, válvulas mal vedadas ou funcionamento instável dos sistemas, comprometendo a eficácia do tratamento.
- Métodos: englobou a ausência de procedimentos padronizados, rotinas operacionais mal definidas ou a inexistência de protocolos claros para contenção de falhas.
- Materiais: referiu-se ao uso de insumos de baixa qualidade, como vedantes ineficientes, tubos de baixa durabilidade ou componentes incompatíveis com os produtos químicos manuseados.
- Meio ambiente: considerou os fatores externos que podem interferir no funcionamento da estação, como variações de temperatura, umidade, chuvas intensas ou resíduos trazidos por enxurradas.
- Medição: destacou a falta de sensores, falhas na coleta de dados ou ausência de registros que permitissem acompanhar a evolução das variáveis críticas do processo.

Essa análise aprofundada permitiu entender as verdadeiras origens dos problemas operacionais, indo além dos sintomas e revelando os fatores sistêmicos que contribuíssem para as falhas. Ao estruturar essas causas em um único diagrama, foi possível facilitar o raciocínio analítico da equipe envolvida e embasar decisões mais assertivas no planejamento das ações corretivas e preventivas.

### **3.3.3. Técnica dos 5 Porquês**

Entre as ferramentas aplicadas para aprofundar a investigação das falhas mais recorrentes na ETE, utilizou-se a Técnica dos 5 Porquês, que se destaca por sua simplicidade e eficácia na identificação da causa raiz de um problema. Essa abordagem consiste em fazer sucessivamente a pergunta “por quê?”, até chegar ao real motivo da falha — aquele que, se tratado, evita que o problema volte a ocorrer. A Tabela 2 apresenta os 5 Porquês e suas respostas.

**Tabela 2 - Estudo dos 5 Porquês**

<b>Por quê?</b>	<b>Resposta</b>
Por que houve vazamento de fluido?	Porque a tubulação apresentou falha na vedação.
Por que a vedação falhou?	Porque a junta estava desgastada.
Por que a junta estava desgastada?	Porque não foi substituída no último plano de manutenção.
Por que não foi substituída?	Porque não havia controle de ciclo de troca.
Por que não há controle de ciclo de troca?	Porque o procedimento de manutenção ainda não prevê isso.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Essa análise revelou que o problema não estava apenas na peça defeituosa, mas sim em uma lacuna no procedimento de manutenção preventiva. A partir disso, foi possível propor uma ação corretiva mais robusta, como a criação de um plano de substituição com controle de vida útil de componentes críticos, evitando a recorrência da falha.

Ao aplicar os 5 Porquês em diferentes ocorrências, a equipe conseguiu transformar problemas operacionais em oportunidades de melhoria sistêmica, reforçando a importância da gestão da qualidade como ferramenta estratégica para a sustentabilidade do processo.

### **3.3.4. Ciclo PDCA**

Para garantir que as melhorias propostas fossem implementadas de forma estruturada e com foco na melhoria contínua, foi aplicado o Ciclo PDCA — uma metodologia clássica da gestão da qualidade que consiste em quatro etapas: Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act). Essa ferramenta é especialmente eficaz em ambientes industriais por possibilitar o acompanhamento sistemático das ações corretivas e preventivas.

No contexto deste trabalho, o PDCA foi aplicado da seguinte forma:

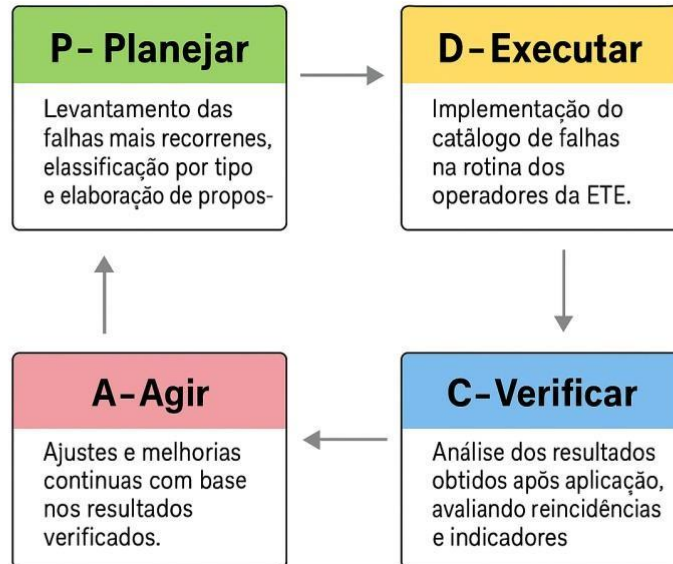
- **Planejar (Plan):** com base na análise dos dados armazenados no banco MySQL, e nos agrupamentos realizados sobre as falhas operacionais, foram definidas ações específicas de correção e prevenção. Essa etapa envolveu a categorização dos problemas mais críticos e a definição de metas para redução das reincidências.
- **Executar (Do):** as ações planejadas foram colocadas em prática. Dentre as principais iniciativas implementadas, destacam-se a criação do catálogo de falhas, contendo códigos padronizados, descrições e orientações

operacionais, além da realização de treinamentos com os colaboradores da ETE, focando nos erros mais comuns identificados durante a análise de dados.

- **Verificar (Check):** após a execução das ações, foi realizada uma verificação com base em indicadores de reincidência das falhas e feedbacks dos operadores. A comparação entre os dados antes e depois das intervenções possibilitou avaliar a efetividade das soluções aplicadas.
- **Agir (Act):** por fim, com os resultados obtidos, foram reforçadas as práticas que se mostraram eficientes e realizados ajustes naquelas que não trouxeram os efeitos esperados. Essa etapa também serviu como base para a atualização contínua do catálogo de falhas e revisão dos procedimentos operacionais.

A aplicação do Ciclo PDCA, conforme a ilustração feita na Figura 4, foi essencial para transformar a análise de dados em melhorias reais no processo, garantindo que o conhecimento gerado fosse integrado à rotina da estação e contribuísse para aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e fortalecer o compromisso da empresa com a sustentabilidade e a qualidade operacional.

**Figura 4 - Ciclo PDCA**



Fonte: Elaboração própria (2025).

Essa integração entre análise de dados e ferramentas da qualidade tornou o processo mais completo e alinhado às boas práticas de gestão industrial, contribuindo diretamente para a redução de desperdícios e impactos ambientais.

## **4. RESULTADOS**

Neste capítulo, apresentamos os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho, focado na criação e aplicação de um catálogo de falhas operacionais na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria alimentícia. Esse catálogo foi fruto da análise detalhada de registros internos de ocorrências ao longo de dois anos, cruzando dados operacionais com ferramentas da qualidade.

### **4.1. Elaboração do Catálogo de Falhas**

A partir da extração e organização das ocorrências no MySQL, foram identificadas as falhas mais recorrentes e classificadas por tipo. Depois, essas falhas foram agrupadas com base em similaridade de causas e soluções permitindo maior clareza sobre onde concentrar esforços corretivos e preventivos. Cada grupo recebeu um código padronizado uma descrição clara da falha frequência de ocorrência além de orientações práticas para correção e prevenção.

### **4.2. Benefícios da Aplicação**

A principal vantagem do catálogo é oferecer suporte direto aos operadores e técnicos da ETE quando uma falha acontece. Em vez de depender exclusivamente da experiência individual ou da consulta a múltiplos documentos, o operador passa a ter acesso rápido a uma referência clara, objetiva e padronizada, contribuindo para uma resposta mais rápida e eficaz.

Além disso, essa padronização favorece a redução de erros, melhora a rastreabilidade das ocorrências, fortalece a cultura de prevenção e facilita o planejamento de manutenções corretivas e preventivas.

### **4.3. Integração com a Gestão da Qualidade**

O catálogo também reforça os princípios da gestão da qualidade ao permitir uma atuação baseada em dados reais, promovendo a melhoria contínua por meio do registro sistemático de falhas e da adoção de ações corretivas direcionadas. A organização das falhas em códigos padronizados facilita ainda a comunicação entre diferentes setores envolvidos na operação da ETE.

#### 4.4. Potencial de Evolução e Aplicações Futuras

Como continuidade do trabalho, o catálogo pode ser incorporado a treinamentos operacionais, utilizado como ferramenta de consulta em auditorias internas e até mesmo integrado a sistemas digitais de gestão da produção e manutenção.

A expectativa é que esse instrumento contribua, a longo prazo, para a redução de desperdícios, maior conformidade ambiental e maior eficiência na operação da ETE. Sua aplicação poderá inclusive ser expandida para outras unidades da empresa ou adaptada para outras áreas da indústria.

**Tabela 3 – Exemplo do catálogo de falhas utilizada em uma ETE.**

<b>Código</b>	<b>Tipo de Falha</b>	<b>Descrição Detalhada</b>	<b>Ação Corretiva (Passo a Passo)</b>	<b>Ação Preventiva (Passo a Passo)</b>	<b>Normas Aplicáveis</b>
F01	Vazamento de fluido	Vazamento em tubulações, conexões ou equipamentos de transporte de fluidos como água, vapor, óleo, ar, mosto ou condensado.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolar imediatamente a linha afetada.</li> <li>2. Acionar a equipe de manutenção.</li> <li>3. Conter o fluido com barreiras apropriadas.</li> <li>4. Registrar ocorrência.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar inspeções semanais com checklist específico.</li> <li>2. Verificar vedação, pressão e torque das conexões.</li> <li>3. Utilizar vedações e conexões com certificação técnica.</li> </ol>	NBR ISO 14001:2015; CONAMA 430/2011
F02	Vazamento de produto químico/etanol	Vazamento de substâncias perigosas em áreas críticas como tanques e dutos de armazenamento.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolar e sinalizar o local.</li> <li>2. Conter o produto com kit de emergência.</li> <li>3. Acionar liderança e registrar.</li> <li>4. Iniciar plano de emergência e limpeza especializada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar testes de estanqueidade trimestral.</li> <li>2. Inspeccionar válvulas e dutos semanalmente.</li> <li>3. Manter planos de contenção atualizados e kits de emergência disponíveis.</li> </ol>	NBR 12235:2006; NR 20; PGRS
F03	Consumo excessivo de água ou vapor	Consumo anormal detectado por desvios em válvulas, pressões ou sensores.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar registros de consumo.</li> <li>2. Checar válvulas e pressostatos.</li> <li>3. Corrigir parâmetros.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibrar sensores mensalmente.</li> <li>2. Revisar programação de válvulas.</li> <li>3. Capacitar operadores em uso consciente.</li> </ol>	NBR ISO 50001:2018; NBR 12008

			4. Documentar ajustes.		
F04	Gestão inadequada de resíduos	Descarte incorreto, mistura de resíduos ou falhas na coleta seletiva.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interromper descarte incorreto.</li> <li>2. Recolher e segregar corretamente.</li> <li>3. Informar supervisão.</li> <li>4. Preencher registro de não conformidade.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementar programa de educação ambiental.</li> <li>2. Sinalizar pontos de descarte.</li> <li>3. Realizar auditorias mensais do PGRS.</li> </ol>	CONAMA 275/2001; NBR 10004:2004; PGRS
F05	Problemas com contenção secundária	Bacias de contenção sem proteção, containers fora da área ou sem tampas/cadeados.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reposicionar containers.</li> <li>2. Trancar tampas.</li> <li>3. Fazer inspeção visual da integridade da bacia.</li> <li>4. Registrar não conformidade.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar checklist visual diário.</li> <li>2. Corrigir falhas estruturais no momento da identificação.</li> <li>3. Treinar equipe sobre o uso da contenção.</li> </ol>	NBR 7500; NBR 12235:2006; Manual CETESB
F06	Falha de limpeza/ organização	Mangueiras soltas, ralos entupidos, acúmulo de sujeira ou espuma em áreas indevidas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paralisar operação.</li> <li>2. Iniciar limpeza com produtos apropriados.</li> <li>3. Verificar origem da falha.</li> <li>4. Registrar ação corretiva.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementar rotinas de limpeza diária.</li> <li>2. Criar checklists de higienização.</li> <li>3. Avaliar visualmente pisos, paredes e pontos críticos.</li> </ol>	NBR ISO 22000; BPF (RDC 275/2002)
F07	Espumamento/ uso de antiespumante	Formação de espuma por sobreaeração ou desequilíbrio químico em tanques.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzir dosagem de antiespumante.</li> <li>2. Ajustar taxa de aeração.</li> <li>3. Monitorar pH e carga orgânica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analisar parâmetros físico-químicos regularmente.</li> <li>2. Ajustar bomba de dosagem conforme curva.</li> <li>3. Controlar carga orgânica na entrada do sistema.</li> </ol>	Manual CETESB de ETEs Industriais
F08	Falhas organizacionais e estruturais	Ausência de 5S, torre parada, procedimentos não seguidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interromper falha.</li> <li>2. Corrigir desvio.</li> <li>3. Aplicar feedback à</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Executar auditorias internas mensais.</li> <li>2. Realizar treinamentos periódicos.</li> </ol>	ISO 9001:2015; Programa 5S; NR 01

			equipe. 4. Atualizar o POP (Procedimento Operacional Padrão).	3. Revisar POPs e planos de contingência.	
--	--	--	--	---	--

Fonte: Elaboração própria (2025).

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desempenho deste Trabalho de Graduação permitiu uma avaliação detalhada dos métodos de operação de uma ETE em uma indústria de alimentos, utilizando informações internas coletadas ao longo de dois anos. Essas informações foram organizadas, descritas, categorizadas e analisadas, possibilitando o cumprimento total do objetivo geral estabelecido.

De maneira similar, os objetivos específicos também foram alcançados. Foi realizada uma revisão extensa da literatura, embasada em normas, legislações atuais e publicações técnicas e científicas pertinentes, com foco nos últimos dez anos. As incidências de anomalias observadas na ETE foram registradas com clareza, devidamente categorizadas e analisadas em relação à sua frequência, permitindo a criação de um ranking das falhas mais frequentes. Esse processo resultou na construção de um Catálogo de Falhas bem estruturado, que inclui códigos, descrições padronizadas e orientações práticas para ações corretivas e preventivas, sendo uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões e a melhoria da gestão operacional.

Assim, conclui-se que os objetivos deste trabalho foram plenamente alcançados. Embora os resultados obtidos não esgotem todas as possibilidades de estudo sobre o tema, esta pesquisa representa um passo importante na busca por melhorias nos processos operacionais da ETE. Espera-se que os conhecimentos aqui reunidos sirvam de base para estudos futuros, que possam explorar novas perspectivas, como os impactos financeiros das falhas operacionais, os efeitos ambientais das não conformidades e o uso de tecnologias de monitoramento e controle que contribuam ainda mais para a eficiência da estação e para o fortalecimento do compromisso com a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR ISO 14001:2015 – **Sistemas de gestão ambiental** – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ABNT. NBR ISO 9001:2015 – **Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ALMEIDA, R. F. et al. Gestão de processos industriais com foco em sustentabilidade. **Revista Gestão Ambiental**, 2023.

BALIEIRO, L.. **Conheça as etapas do processo de tratamento de efluentes**. Acquablog, 8 mar. 2020. Disponível em: <https://www.lucasbalieiro.com.br/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 2025.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/2011 e complementos da Lei nº 6.938/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2023.

CARVALHO, T. A. et al. Manutenção preventiva e corretiva em ETEs: uma abordagem prática. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2020.

CETESB. **Manual de Operação de ETEs Industriais**. São Paulo: CETESB, 2022.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Economia Circular: uma oportunidade para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2022.

IHI – Institute for Healthcare Improvement. Cause and Effect Diagram. IHI Tools, 2019.

JURAN, J. M. **Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2018.

KONIG, R. **Ferramentas da Qualidade Aplicadas à Indústria**. São Paulo: Atlas, 2021.

KORTH, H. F.; SILBERSCHATZ, A. **Sistemas de Banco de Dados**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2021.

LAUDON, K.; LAUDON, J. **Sistemas de Informação Gerenciais**. 15. ed. São Paulo: Pearson, 2023.

LOPES, E. R. et al. Controle estatístico de processos e sua aplicação em sistemas ambientais. **Revista Produção Online**, 2019.

MACHADO, F. A.; MAIA, A. S. Business Intelligence com MySQL e Power BI: análise de dados aplicada à indústria. **Revista Gestão e Tecnologia Industrial**, 2020.

MALAVÉ, J. et al. **Estatística aplicada à indústria: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

OLIVEIRA, M. L. et al. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

ROCHA, D. A. et al. Ferramentas da Qualidade na Indústria: estudo de caso em processos críticos. **Revista Gestão & Tecnologia**, 2022.

SANTOS, R. L.; CASTRO, J. M. **Efluentes industriais e tratamento: teoria e aplicações**. Florianópolis: UFSC, 2018.

SEVERINO, A. C. Indicadores de desempenho e sustentabilidade na indústria brasileira. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, 2022.

SILVA, A. C.; MOURA, V. M. Impactos ambientais na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 2021.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

TRINKAUS, J. Aplicações estatísticas para otimização de processos industriais. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, 2019.