



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARIA LARISSE CAVALCANTE DE MELO SOUSA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE
REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DO EFLUENTE BRUTO DE UMA
INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO ESTADO DO CEARÁ**

FORTALEZA

2019

MARIA LARISSE CAVALCANTE DE MELO SOUSA

APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE
MATÉRIA ORGÂNICA DO EFLUENTE BRUTO DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO
ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Bar-
bosa Rocha

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S697a Sousa, Maria Larisse Cavalcante de Melo.

Aplicação do método PDCA para aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente Bruto de uma Indústria de bebidas do Estado do Ceará / Maria Larisse Cavalcante de Melo Sousa. – 2019. 47 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Júlio Cesar Barbosa Rocha.

1. PDCA. 2. Gestão da Qualidade. 3. Tratamento de Resíduos. 4. Indústria de Alimentos.. I. Título.
CDD 664

MARIA LARISSE CAVALCANTE DE MELO SOUSA

APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE
MATÉRIA ORGÂNICA DO EFLUENTE BRUTO DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS DO
ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Júlio Cesar Barbosa Rocha (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rafael Audino Zambelli
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Para Hilda e Nivaldo. Todas as minhas conquistas são de vocês e para vocês.

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais, Hilda e Nivaldo, por todo o apoio e amor incondicional. A eles, minha eterna gratidão.

A Yara Barreto, pelo suporte e companheirismo todos os dias. Aos meus amigos Lucas Vasconcelos e Paulo Maciel, meus companheiros de curso, sem os quais não teria conseguido essa conquista.

A Conalimentos Júnior, por ser a base da minha formação profissional e a todos os companheiros com os quais compartilhei aprendizados no período em que estive na Empresa, em especial Igor, Felipe, Jady, Michelle, Matheus e Violeta .

A Rafael Passos, Stephanie Landim e Brenda Giovannone, grandes líderes que me orientaram durante a minha graduação, e possuo imensa gratidão.

Ao Professor Doutor Júlio César, pelo apoio e orientação na execução deste trabalho. A Jessé Santos, Fabiano Costa, Fábio Cardoso e José Targino, sem os quais, esse trabalho não teria sido possível.

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”

(Ariano Suassuna)

RESUMO

O mercado vem exigindo cada vez mais da Indústria medidas eficazes para conservação ambiental, o que está relacionado a questões de legislação ambiental e ao engajamento de muitos consumidores a práticas sustentáveis. A indústria de alimentos, em especial a de bebidas, gera uma quantidade significativa de efluentes com elevada quantidade de carga orgânica, necessitando de sistemas de tratamento de efluentes cada vez mais complexos e eficientes. A problemática proposta no trabalho foi baseada na utilização de ferramentas de gestão da qualidade para o aumento da eficiência de remoção de carga orgânica de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de uma Indústria de Bebidas do Ceará. A base de todo o estudo foi fundamentada na no conceito do Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) e o principal objetivo do trabalho foi a identificando de possíveis anomalias associadas ao sistema buscando soluções que atuem de forma efetiva para a melhoria dos indicadores em estudo através do método proposto. Durante todas as etapas do processo foi possível perceber a eficácia da aplicação das ferramentas da qualidade em função da evolução do indicador, sendo possível ao final da execução do plano de ação gerado, se alcançar um resultado de 98,60% de eficiência de remoção de carga orgânica do Efluente Bruto.

Palavras-chave: PDCA. Gestão da Qualidade. Tratamento de Resíduos. Indústria de Alimentos.

ABSTRACT

The market increasingly demands beneficial measures to environmental conservation. That is related to some environmental legislation and the engagement of many consumers with sustainable practices. The food industry, particularly the beverage industry, generates a significant amount of effluent with a high amount of organic load, needing each time more a complex and efficient effluent treatment systems. The proposed problem was based on the use of a quality management system to increase the electric charge efficiency of the Industrial Effluent Treatment Station of a Beverage Industry in Ceará. The basis of the entire data set was constituted within the PDCA cycle. This work aims to identify the anomalies associated to the system seeking the effectiveness of a proposed program. Along all stages of the process of detecting the ability to perform the scanning of the efficiency measurement tool, it being possible to carry out the final action plan, verify that 98,60% of the efficiency of removal of organic load from the Raw Effluent.

Keywords: PDCA. Quality management. Waste treatment. Food industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caption	14
Figura 2 – O Ciclo PDCA	16
Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Pareto	21
Figura 4 – Estrutura de um diagrama de causa e efeito com as vertentes de causa 6 M's.	22
Figura 5 – Exemplo de construção de uma matriz de priorização.	24
Figura 6 – Estação de Tratamento de Efluentes da Empresa em estudo	26
Figura 7 – Representação de um reator UASB para o tratamento de efluentes.	29
Figura 8 – Etapas do Estudo de Caso	32
Figura 9 – Redução de carga orgânica (2017 x 2018).	34
Figura 10 – Diagrama de Pareto por sistema	35
Figura 11 – Diagrama de Pareto por equipamento no Sistema Aeróbio	35
Figura 12 – Diagrama de Pareto por equipamento	36
Figura 13 – Árvore de ICs e IVs	43
Figura 14 – Resultados para Indicador de Eficiência ETEI	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diagramas de Causa e Efeito para Sistema Anaeróbico e Aeróbico	37
Tabela 2 – Matriz de priorização para o sistema anaeróbico.	39
Tabela 3 – Matriz de priorização para o sistema aeróbico.	39
Tabela 4 – Análise de 5 Porquês do sistema Anaeróbico	40
Tabela 5 – Análise de 5 Porquês do sistema Aeróbico	40
Tabela 6 – Plano de Ação	41
Tabela 7 – Padronização	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Definição do Problema	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	13
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	13
1.3	Estrutura do Trabalho	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Ciclo PDCA	15
2.1.1	<i>Etapa de Planejamento (Plan)</i>	15
2.1.2	<i>Etapa de Execução (Do)</i>	17
2.1.3	<i>Etapa de Verificação (Check)</i>	18
2.1.4	<i>Etapa de Ação (Act)</i>	18
2.2	Ferramentas da Qualidade	19
2.2.1	<i>Fluxo do Processo</i>	20
2.2.2	<i>Estratificação</i>	20
2.2.3	<i>Diagrama de Pareto</i>	20
2.2.4	<i>Diagrama de Causa e Efeito</i>	21
2.2.5	<i>5 Porquês</i>	23
2.2.6	<i>Matriz de Priorização</i>	23
2.3	Tratamento de Efluentes	23
2.3.1	<i>Estação de Tratamento de Efluentes</i>	25
2.3.1.1	<i>Gradeamento</i>	27
2.3.1.2	<i>Caixa de Areia</i>	27
2.3.1.3	<i>Peneiramento</i>	27
2.3.1.4	<i>Tanque de Equalização e Tanque de Acondicionamento</i>	27
2.3.1.5	<i>Reator UASB</i>	28
2.3.1.6	<i>Lagoa de Aeração e Tanque de Recirculação</i>	28
2.3.1.7	<i>Decantador</i>	30
2.3.1.8	<i>Lagoa de Polimento e Calha de Parshal</i>	30
2.3.1.9	<i>Adensador de Lodo e Centrífuga</i>	30

3	ESTUDO DE CASO	32
3.1	Metodologia	32
3.2	Etapas do Estudo	32
3.3	<i>Plan</i>	33
3.3.1	<i>Identificação do Problema</i>	33
3.3.2	<i>Observação do Problema</i>	34
3.3.3	<i>Análise do Processo</i>	36
3.4	<i>Do</i>	41
3.5	<i>Check</i>	42
3.5.1	<i>Verificação de Resultados</i>	42
3.6	<i>Act</i>	44
4	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	45

1 INTRODUÇÃO

O mercado vem exigindo cada vez mais da Indústria medidas eficazes para conservação ambiental, o que está relacionado a questões de legislação ambiental e ao engajamento de muitos consumidores a práticas sustentáveis.

Os efluentes industriais têm origem em uma grande gama de processos, e representam um dos grandes fatores de degradação ambiental, principalmente quando se fala do despejo desses efluentes em corpos d'água sem um tratamento prévio eficiente. Esses efluentes apresentam grande carga orgânica, sólidos em suspensão e alguns compostos inorgânicos. Quando despejados nos corpos hídricos sem o tratamento adequado, esses efluentes causam problemas ambientais e sanitários, e podem prejudicar os biomas aquáticos. (ARCHELA, 2003)

A indústria de alimentos, em especial a de bebidas, gera uma quantidade significativa de efluentes com elevada quantidade de carga orgânica, necessitando de sistemas de tratamento de efluentes eficientes e complexos. As demandas ambientais, decorrentes de políticas governamentais, são cada vez mais rígidas, forçando os processos de tratamento a atingirem valores cada vez mais altos de eficiência, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais nos cursos de água onde são despejados os efluentes.

1.1 Definição do Problema

A problemática proposta no trabalho foi baseada na utilização de ferramentas de gestão da qualidade para o aumento da eficiência de remoção de carga orgânica de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI), o que é verificado através de um indicador denominado Eficiência ETEI.

Baseado nas metas de sustentabilidade definidas pela Empresa, foi estipulado um valor a ser alcançado para o indicador em questão. Para o ano de 2018, a meta a ser alcançada foi de 98,45% de eficiência, o que significa uma necessidade de melhoria de resultado. Essa meta, uma vez definida, é mantida sem alterações durante o ano e é responsabilidade da fábrica garantir a obtenção desse índice no resultado acumulado geral ao final do ano.

Nesse contexto, devido a alta relação com o impacto ambiental causado pela ETEI e por ser um indicador diretamente ligado às metas de sustentabilidade definidas pela empresa em estudo, este trabalho possui grande relevância.

1.2 Objetivos

Nesta seção, serão descritos os objetivos almejados no desenvolvimento deste trabalho, tanto geral, quanto específicos.

1.2.1 *Objetivo Geral*

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar a aplicação das ferramentas da qualidade para a melhoria da eficiência de uma Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria de bebidas, identificando as possíveis anomalias associadas ao sistema e buscando soluções que atuem de forma efetiva para a melhoria dos indicadores em estudo.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

São objetivos específicos desse trabalho:

- Analisar e estratificar as etapas referentes ao tratamento de efluentes da Indústria em estudo.
- Identificar e discutir possíveis anomalias no sistema de tratamento de efluentes.
- Aplicar método PDCA para tratar anomalias identificadas.
- Padronizar alterações feitas no processo.
- Obter melhoria do indicador de eficiência de remoção de Matéria Orgânica do Efluente bruto.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é dividido em quatro capítulos, tendo cada um deles seções que detalham e organizam de forma mais clara as informações.

O primeiro capítulo encontra-se estruturado a partir desta introdução, contendo os objetivos geral e específicos, a problemática e a justificativa, bem como a própria estrutura do trabalho.

O segundo capítulo engloba o referencial teórico, abordando as definições de tratamento de efluentes através de sistemas aeróbios e anaeróbios, Ciclo PDCA e Ferramentas de Gestão da Qualidade.

O terceiro capítulo aborda a metodologia utilizada na execução deste trabalho, expe-

rienciando e detalhando a sua aplicação na empresa estudada, descrevendo de forma detalhada a aplicação da metodologia proposta, bem como os resultados obtidos com a sua execução.

O quarto capítulo, aborda a conclusão do trabalho, onde serão apresentadas as considerações finais a cerca da execução deste trabalho quanto ao atingimento dos objetivos propostos, além de sugestões para trabalhos futuros.

Ao final deste trabalho, serão apresentadas as referências bibliográficas que serviram como base teórica para os temas abordados.

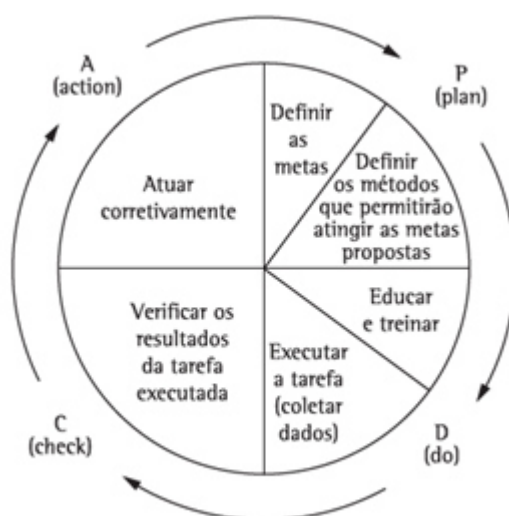


Figura 1 – Caption

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ciclo PDCA

Uma crescente preocupação de muitas organizações tem sido a forma de lidar com clientes mais exigentes, novas exigências relativas ao meio ambiente e à competitividade elevada de concorrentes que cada vez mais buscam aprimorar seus produtos, serviços processos. A adoção de sistemas de gestão da qualidade pelas empresas tem sido uma forma de manter seus processos e serviços competitivos dentro desse novo mercado mais exigente () (OLIVEIRA et al., 2011).

A vantagem obtida pelas organizações através da implementação de sistemas de qualidade vem do fato que o foco desses métodos é no desenvolvimento, na implementação, na padronização e na melhoria dos processos, produtos e serviços, além de se preocuparem com a forma de manutenção dos resultados alcançados (OLIVEIRA et al., 2011).

Como forma de implementação dos conceitos de gestão da qualidade, muitas empresas utilizam o ciclo PDCA aplicado em diferentes áreas da organização. O ciclo PDCA é uma metodologia que foi desenvolvida para direcionar a resolução de problemas em uma organização. Esse método funciona como uma forma de buscar a melhoria contínua de processos e serviço, com o intuito de atingir os objetivos traçados pela empresa. A vantagem na utilização do ciclo PDCA está ligada ao fato que esse método direciona as ações de forma sistemática na busca e resolução de problemas, de forma a agilizar a obtenção de resultados (MARUTA, 2012; MARTINS et al., 2016).

O ciclo PDCA é estruturado em quatro partes, são elas a etapa de planejamento (*Plan*), execução (*Do*), verificação (*Check*) e ação (*Act*), como observado na Figura 2.

2.1.1 Etapa de Planejamento (*Plan*)

Essa etapa tem como proposta a identificação do problema a ser corrigido ou eliminado, o estabelecimento das metas que se pretende atingir, a análise e estudo dos processos que afetam o alcance da meta estabelecida, a análise das causas do problema sendo estudado e a elaboração de um plano de ação consistente. É importante que nesta etapa sejam identificadas claramente quais são as oportunidades de melhoramento para que estas sejam priorizadas (PAGANI et al., 2009; SILVA et al., 2017).

Para que o planejamento seja feito da melhor forma, é necessário que seja feito

Fonte: Oliveira et al. (2011)

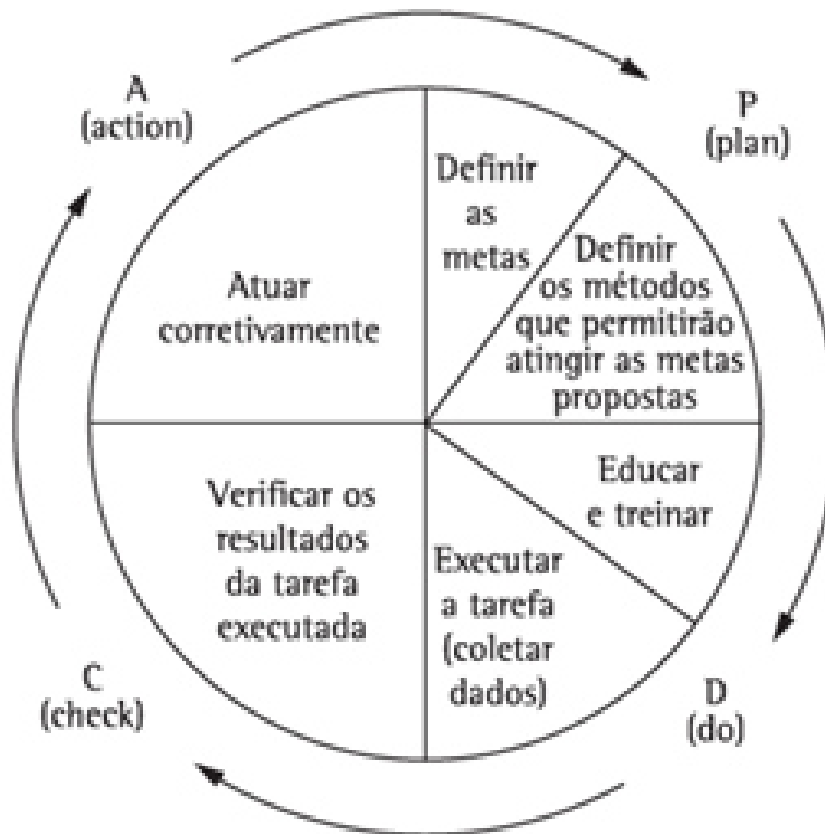


Figura 2 – O Ciclo PDCA

um estudo cuidadoso de como o processo ocorre no momento atual, baseando essa análise em dados consistentes disponíveis sobre o processo e/ou pela obtenção de novos dados relevantes. A determinação de métodos a serem utilizados, dos custos, dos recursos disponíveis e prazos a serem cumpridos também são pontos a serem definidos durante o planejamento. Dessa forma fica claro que essa etapa é crucial para o sucesso da aplicação do ciclo PDCA, sendo assim, essa fase do PDCA pode ser dividida em subfases para a melhor construção do planejamento (LEONEL, 2008).

- Identificação do problema: a primeira ação durante a aplicação do PDCA deve ser o reconhecimento do problema no processo que se deseja melhorar, sendo essa identificação guiada pela meta de melhoria estabelecida pela organização. Após a identificação e declaração do problema, é importante que durante o avanço do processo de planejamento, o problema seja, se necessário, reavaliado para garantir o direcionamento correto na busca das metas.
- Observação do problema: Para que o problema seja corrigido é necessário identificar a origem desse problema. Nessa etapa, é feita uma busca pelo foco do problema, com o

intuito de entender as características do problema. A observação do problema deve ser baseada no histórico do problema, ou seja, através da análise de dados disponíveis sobre o processo. Além disso a utilização de relatos das pessoas envolvidas no processo também pode ajudar na observação do problema.

- **Análise do processo:** na análise do processo o objetivo é entender as causas fundamentais do problema. Diferentemente da etapa anterior, que se preocupa em entender onde e como o problema surge no processo, essa etapa busca reconhecer qual a relação entre o processo, suas deficiências, e o problema gerado, para que enfim se reconheça a causa fundamental do problema e o plano de ação possa ser formulado.
- **Elaboração do plano de ação:** o último estágio da etapa de planejamento é estabelecer um plano de ação para agir sobre as causas do problema identificado no processo. No plano de ação as causas prioritárias do problema devem ser alvos de ações específicas para que se possa eliminar o problema. De forma geral, o plano de ação deve conter informações sobre o que deve ser feito, quem serão os responsáveis e os prazos estabelecidos.

Apesar de sua aparente complexidade, a etapa de planejamento deve ser desenvolvida cuidadosamente, pois as mudanças propostas para os processos podem levar ao surgimento de novos problemas a serem solucionados. É importante que na concepção do plano de ação se tenha em mente que para a sua execução serão necessários recursos, sejam eles financeiros, pessoal ou mesmo tempo para implantação das mudanças propostas, e o modo como esse plano venha a ser formulado pode impossibilitar a sua realização (FURUKITA, 2017).

2.1.2 Etapa de Execução (Do)

Na etapa de execução o plano de ação formulado é colocado em prática, as pessoas envolvidas na execução devem ser educadas e treinadas a respeito do plano de ação e durante a execução das tarefas devem ser coletados dados que permitam analisar os efeitos das mudanças no processo. Novos problemas que eventualmente surjam devem ser documentados, assim como comportamentos inesperados decorrentes da aplicação das mudanças, para que se mantenha o controle das ações (FURUKITA, 2017).

2.1.3 Etapa de Verificação (Check)

A etapa de verificação consiste em avaliar quais foram os efeitos das intervenções aplicadas no processo e se as metas propostas no planejamento foram alcançadas. As análises dessa etapa são baseadas nos dados coletados durante a execução, através da comparação com os dados de referência do processo obtidos durante o planejamento. A documentação de todos os aspectos relevantes observados a respeito das mudanças no processo deve ser feita na verificação, pois as informações poderão ser úteis em uma nova aplicação do ciclo PDCA (PAGANI et al., 2009).

A avaliação da estabilidade do processo quando aplicadas as ações e o impacto que isso causa nos objetivos também pode ajudar na análise e aperfeiçoamento do plano de ação. Após feitas essas análises será possível chegar à conclusão se o plano de ação escolhido foi bem-sucedido e as metas traçadas foram atingidas, ou se não foi obtido êxito com o plano traçado e os objetivos não foram alcançados (FURUKITA, 2017).

Quando é feita a constatação que os objetivos não foram alcançados pelo plano de ação proposto, o caminho tomado deve ser o de retornar à análise do processo. Fazer uma reavaliação dos pontos considerados na elaboração do plano de ação, agregar novos pontos de vista sobre o processo através da adição de novos membros na equipe, obter e analisar mais dados sobre o problema, essas são algumas medidas a serem tomadas para a reformulação do plano de ação (MACHADO, 2007; ZÒIA, 2018).

O retorno para a fase inicial do ciclo quando não são atingidas as metas não deve ser considerado como motivo para descartar o conhecimento gerado no primeiro ciclo. O ideal é identificar quais causas levaram ao não atingimento dos objetivos, e a partir desse conhecimento complementar o plano de ação anterior para agir sobre os novos pontos problemáticos identificados. Quando as metas estabelecidas são atingidas, o próximo passo no ciclo PDCA deve ser realizado (FUKURITA, 2017; LEONEL, 2008).

2.1.4 Etapa de Ação (Act)

No encerramento de um ciclo do PDCA são possíveis dois caminhos a seguir. No caso em que o plano de ação foi efetivo para o alcance dos objetivos, deverão ser desenvolvidos métodos de padronização das ações executadas para garantir que as melhorias obtidas no processo sejam mantidas e a nova forma de operação se torne a padrão (SILVA et al., 2017).

A complexidade dessa etapa está ligada à sua abrangência e impacto no processo, no sentido em que todas as pessoas ligadas à realização do processo deverão ser envolvidas para a consolidação das mudanças. Elaborar um novo padrão ou modificar um padrão já existente dentro da organização exige treinamento das equipes afetadas, além de ser necessário uma forma de monitoramento do novo padrão de processo até garantir que a nova padronização foi atingida e consolidada na rotina da organização (FURUKITA, 2017).

O segundo caminho a ser tomado no encerramento de um ciclo do PDCA é necessário quando não foi possível atingir as metas com o planejamento realizado. A equipe responsável pelo PDCA deverá avaliar as causas que levaram ao resultado atingido e partir para a aplicação de ações corretivas no método de intervenção proposto para aquele processo. Nesse ponto poderão ser feitas algumas adaptações no planejamento inicial e então repetir a etapa de execução, ou então o planejamento original deverá ser abandonado e um novo ser formulado, levando em consideração os aprendizados adquiridos durante o primeiro ciclo (GRANERO, 2014; MACHADO, 2007).

2.2 Ferramentas da Qualidade

Durante todas as etapas do PDCA é necessário utilizar formas de realmente operacionalizar as ações daquela etapa. Essa operacionalização do ciclo PDCA é feita através da utilização das ferramentas da qualidade, que servirão para a coleta, processamento e estruturação das informações do processo. A utilização das ferramentas é necessária pois no decorrer do ciclo PDCA a quantidade de dados e informações vai aumentando, e as ferramentas da qualidade são formas eficazes de lidar com as informações disponíveis, além de facilitarem na tomada de decisão em uma etapa (OLIVEIRA et al., 2011).

A aplicação das ferramentas da qualidade em planos de melhoria contínua aumenta a capacidade de solução dos problemas e traz a praticidade da utilização de ferramentas bem estruturadas e aprimoradas para a aplicação na gestão da qualidade das organizações. Essas ferramentas podem ser baseadas em métodos gráficos ou estatísticos, e dessa forma a correta aplicação dessas ferramentas está sujeita ao entendimento de sua forma de aplicação, sua função e de quando determinada ferramenta deve ser utilizada (FURUKITA, 2017).

2.2.1 Fluxo do Processo

O fluxograma é uma das ferramentas da qualidade mais utilizadas, tem como função representar a sequência de atividades ou processos. A partir do fluxograma é possível entender de forma rápida o funcionamento do processo e o fluxo das ações, sendo uma ferramenta útil para ajudar na identificação de problemas no processo. Um fluxograma é construído a partir de diagramas postos em sequência, sendo que cada um desses diagramas possui uma simbologia para representar uma ação, decisão, uma resposta ou o fim de etapas em um processo (LINS, 1993).

2.2.2 Estratificação

A estratificação consiste em subdividir um estudo em partes menores com base em alguns fatores definidos pela equipe que estuda o problema. Com essa subdivisão se busca facilitar a análise e a busca pelas soluções de determinado problema no processo. Com a estratificação do estudo é possível definir o efeito dos subgrupos no cenário geral e dessa forma direcionar as ações para os pontos críticos do processo, sendo essa uma ferramenta muito útil na formulação do plano de ação do PDCA (CARPINETTI, 2012).

Na realização da estratificação de um estudo devem ser consideradas as particularidades de cada processo, devido às grandes diferenças existentes nos processos das organizações. Quando se fala em estratificação na área industrial é comum que alguns fatores de estratificação mais comuns sejam aqueles de maior impacto no processo, como turnos, operadores, métodos, máquinas e material, por exemplo (LINS, 1993).

2.2.3 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é uma forma de representar a frequência de determinado evento através de um gráfico de barras onde são ordenados os eventos de maior frequência até os de menor frequência, além de apresentar uma curva das porcentagens acumuladas para cada evento. Esse gráfico apresenta grande utilidade na identificação das causas ou problemas mais significativos a serem considerados (LEONEL, 2008; OLIVEIRA et al., 2011).

Após a construção do diagrama de Pareto e a identificação das principais causas de determinado problema, devem ser formuladas ações para atuar sobre essas causas, enquanto as causas de menor frequência e que contribuem menos para o problema devem ser tratadas

em um segundo momento, caso haja a necessidade. Uma grande vantagem dessa abordagem é que os esforços para solucionar um problema podem ser focados nas causas de maior impacto, eliminando ações desnecessárias em causas menores (TRIVELLATO, 2010).

Outra vantagem na utilização do gráfico de Pareto é que sua aplicação pode ser feita sobre a frequência de problemas ou causas de determinado problema, sendo assim uma ferramenta útil na busca dos principais problemas e principais causas que afetam o processo. Todavia para que o gráfico de Pareto seja realmente representativo sobre a realidade do processo é necessário que a coleta de dados para sua construção e a divisão das causas e problemas seja feita cuidadosamente, evitando o agrupamento de informações que deveriam ser avaliadas separadamente (TRIVELLATO, 2010). Na figura 3 é apresentada a estrutura de um gráfico de Pareto.

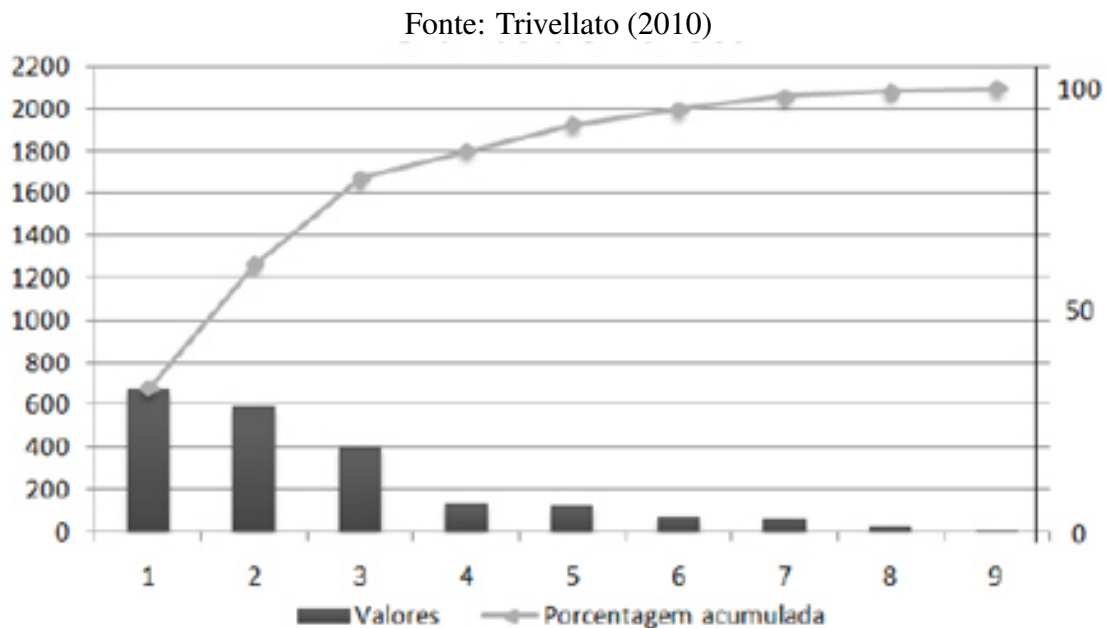


Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Pareto

2.2.4 Diagrama de Causa e Efeito

A função do diagrama de causa e efeito é representar a relação existente determinado efeito e as causas desse efeito, e dessa forma possibilita uma análise a respeito das principais causas de um problema e ajuda no direcionamento das ações para solucionar falhas no processo. Com o diagrama de causa e efeito é possível sumarizar as principais causas e direcionar de forma mais adequada o plano de ação (OLIVEIRA et al., 2011; SILVA et al., 2013).

Durante a construção do diagrama de causa e efeito é desejável que tanto as causas quanto o efeito sejam mensuráveis, pois isso traz maior confiabilidade para a análise e facilita o acompanhamento dos resultados das ações tomadas. Além disso o problema deve estar bem definido, para que causas de diferentes problemas não sejam agrupadas em um mesmo diagrama (TRIVELLATO, 2010).

As causas utilizadas no diagrama de causa e efeito podem ser de diferentes naturezas a depender do tipo de processo, por isso para que se construa o diagrama com as causas mais relevantes é aconselhável que o maior número possível de pessoas envolvidas com o processo contribua na sua criação. É comum que como principais vertentes de causas dos problemas, quando se trata de problemas operacionais, sejam usados os fatores máquinas, materiais, mão-de-obra, métodos e meio ambiente, conhecido como 6 M's (SILVA et al., 2013; TRIVELLATO, 2010).

Na figura 4 é representado um diagrama de causa e efeito com os 6 M's.

Fonte: Furukita (2017)

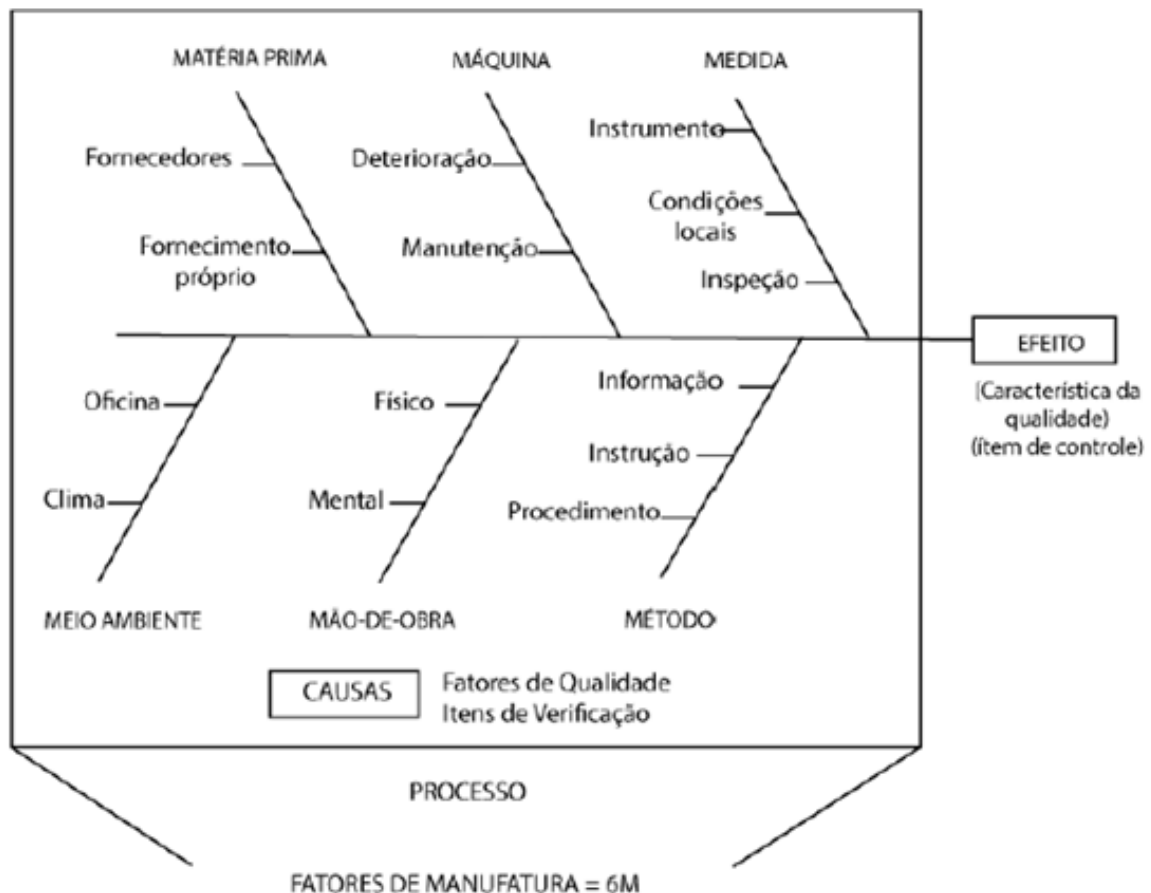


Figura 4 – Estrutura de um diagrama de causa e efeito com as vertentes de causa 6 M's.

2.2.5 5 Porquês

Essa é uma ferramenta bastante utilizada quando se procura a causa raiz de um problema. A ferramenta dos 5 Porquês consiste em fazer 5 perguntas a respeito da causa de um determinado problema, sempre relacionado a próxima pergunta à anterior, com a finalidade de eliminar a fonte do problema durante o processo até que se identifique somente a causa raiz do problema (CINTRA, 2015).

Devido à capacidade de separar dessa ferramenta de separar as causas dos efeitos, ele se torna muito útil na análise de problemas, contudo para que seja eficiente é preciso formular as perguntas com cuidado e com o conhecimento aprofundado sobre o processo e o problema em questão. A aplicação equivocada dessa ferramenta, não respeitando as relações de causa e efeito na construção das perguntas, pode levar a uma análise confusa a respeito da causa raiz do problema (AGUIAR, 2014).

Um ponto importante na utilização dessa ferramenta é que para cada resposta dada a uma das perguntas formuladas é importante que se tenha a certeza que a resposta é baseada em um fato ou dados concretos sobre o problema, em vez de ser baseada apenas em hipóteses que podem direcionar as ações de forma menos eficiente. Tendo isso em mente as ações corretivas propostas serão muito mais eficientes e agirão sobre a verdadeira causa raiz do problema (AGUIAR, 2014).

2.2.6 Matriz de Priorização

A matriz de priorização é utilizada como forma de definir o nível de importância de determinados fatores através da atribuição de prioridades para cada fator com base em pré-estabelecidos, com a finalidade de agilizar o processo de tomada de decisão a respeito das ações a serem executadas (CARPINETTI, 2012). Na figura 5 é ilustrada uma das formas de montar uma matriz de priorização.

2.3 Tratamento de Efluentes

A empresa avaliada durante esse estudo de caso é uma Indústria de Bebidas, localizada no Estado do Ceará, responsável pela fabricação de cervejas e refrigerantes que são distribuídos e comercializados nos estados das regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo que do volume total produzido, aproximadamente, 60% é referente à cerveja e 40% refrigerantes.

A geração dos efluentes industriais em cervejarias está ligada à várias etapas do

Fonte: Carpinetti (2012).

	GRUPO B				Prioridade
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	...	
Grupo A	peso 1	peso 2	peso 3	...	
Fator 1					
Fator 2					
Fator 3					
Fator 4					
...					

Figura 5 – Exemplo de construção de uma matriz de priorização.

processo produtivo, como lavagem de máquinas, processos de resfriamento, geração de vapor, lavagem de tubulações e pisos, descarte de produtos fora de especificação e da utilização de água em etapas do processo produtivo. Cada uma dessas etapas pode levar a alterações nas propriedades da água, alterações essas que podem ser de origem física, química ou biológica. Essas alterações fazem com que a água saia das especificações legais sobre limites de poluentes e passe a ser considerada um efluente industrial (FILHO et al., 2013).

O efluente tratado na ETEI provém de toda a extensão da Fábrica e são tratados apenas resíduos gerados no processo produtivo, que são principalmente resíduos de higienização de equipamentos e rejeito das unidades de osmose reversa da Estação de Tratamento de Água (ETA). Toda a água utilizada pela Indústria provém do Açude Pacoti e aproximadamente 20% do efluente tratado retorna para o Rio Pacoti, 40% é destinado a uma Olaria localizada em proximidades vizinhas para a fabricação de tijolos e cerâmicas e os 40% restantes retornam para a ETA, onde passam por um sistema de Reuso de água, que funciona através de Ultrafiltração.

As áreas produtivas que geram efluentes são cinco:

- área de processo cervejeiro;
- processo de refrigerantes;
- área de envase;
- área de meio ambiente
- utilidades.

As demais áreas de suporte não geram quantidade significativa de efluente que impacte na ETEI.

Os efluentes oriundos de diferentes atividades do processo têm características diferentes. Nos processos de lavagem, por exemplo, são gerados grandes volumes de efluente, porém com baixa carga orgânica, enquanto aqueles gerados diretamente do processo podem apresentar uma carga orgânica bastante elevada. Dos processos de fermentação e maturação, por exemplo, são gerados efluentes com a presença de álcoois, ácidos orgânicos, leveduras, aldeídos, cetonas e proteínas (AYABE, 2013).

Gauto e Rosa (2011) destacam a importância do conhecimento das características do efluente para definir como será feito o tratamento e assim atingir o padrão definido para que o efluente possa ser incorporado ao corpo hídrico. Sendo assim os autores apresentam quais são os parâmetros comumente utilizados na análise do efluente, em relação as análises físicas, químicas e biológicas, que são: Turbidez, cor, pH, Alcalinidade e Demanda Química e Biológica de Oxigênio.

A degradação dos compostos orgânicos presentes nos efluentes pode ser feita biologicamente ou quimicamente. Para que ocorra oxidação desses compostos orgânicos é necessária a presença de oxigênio, sendo assim foram definidas duas formas de medir a necessidade de oxigênio para oxidar poluentes orgânicos. A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é a medida da quantidade necessária de oxigênio para degradação da matéria orgânica através do metabolismo de bactérias aeróbicas. A DQO (Demanda Química de Oxigênio) mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através da ação de oxidantes fortes, como o dicromato de potássio ou ácido sulfúrico.

O conceito de DQO é importante para a mensuração dos resultados do trabalho em questão, pois o indicador de Eficiência ETEI é calculado a partir da diferença nos valores obtidos em análises de DQO no efluente bruto e no efluente tratado pela estação, uma razão expressa em porcentagem. O acompanhamento do indicador foi feito diariamente, através de uma análise de DQO Composta, que consiste na análise de uma amostra coletada doze vezes ao dia, compondo uma amostra total dentro de um dia inteiro. A quantidade de efluente recolhido em cada uma as coletas é proporcional a vazão de chegada do efluente bruto.

2.3.1 Estação de Tratamento de Efluentes

O tratamento dos efluentes pode ser dividido em 4 etapas básicas, o tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, nos quais podem estar presentes processos de origem física, química ou biológica. O tratamento preliminar consiste basicamente de processos físicos

com a finalidade de remover materiais grosseiros do efluente. No tratamento primário são removidos materiais em suspensão, sendo necessário maiores tempos de retenção do material nessa etapa do que na separação preliminar. A remoção dos contaminantes orgânicos dissolvidos no efluente é feita do tratamento secundário, através do tratamento biológico com microorganismos, enquanto que no tratamento terciário se busca remover materiais que não podem ser retirados nas etapas anteriores e matéria orgânica não biodegradável (GAUTO e ROSA, 2011; STEIN, 2012). Algumas das etapas mais comuns no tratamento de efluentes serão descritas nas próximas sessões.

A estação de Tratamento de Efluente da Empresa em estudo está descrita na figura 6. Esta é dividida em três subáreas: Pré tratamento (Gradeamento, caixa de areia, peneiras estáticas), Tratamento Anaeróbio (Tanque de Equalização e Reator UASB) e Tratamento Aeróbio (Lagoa de Aeração, Decantador e Lagoa de Polimento). Além do tratamento de efluentes, considera-se o tratamento do excesso de lodo da lagoa de aeração, que entra no processo como um tratamento de subprodutos gerados pelo sistema aeróbio (Adensador de lodo e Centrífuga).

Fonte: Elaborado pela autora

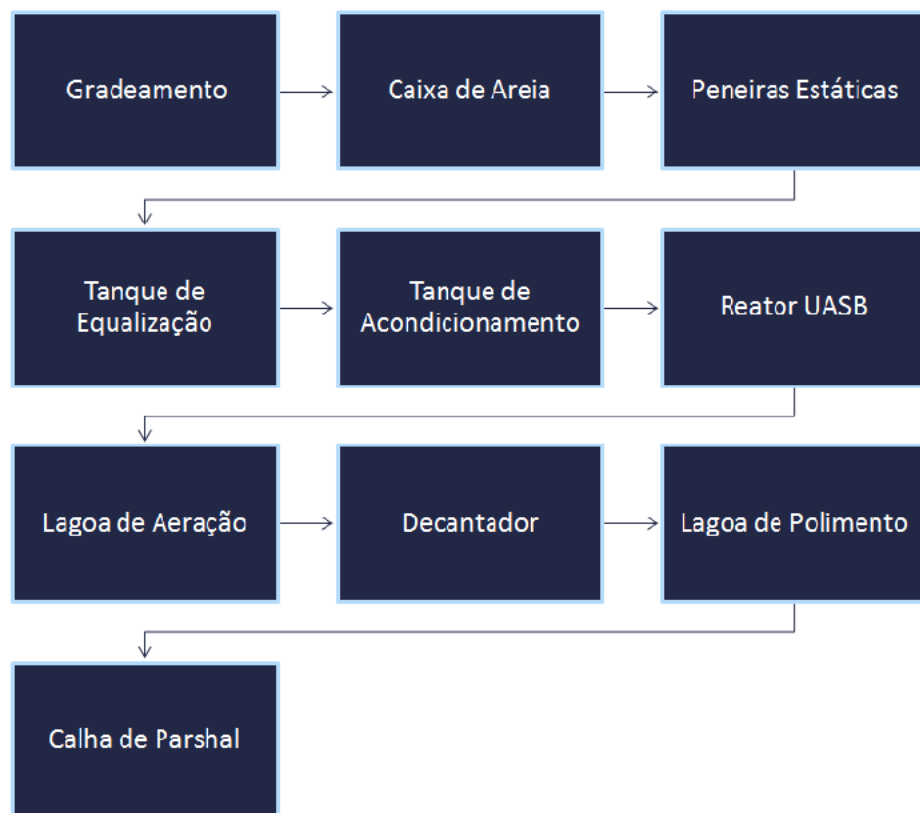


Figura 6 – Estação de Tratamento de Efluentes da Empresa em estudo

2.3.1.1 *Gradeamento*

O gradeamento é uma operação unitário que tem como finalidade a remoção de sólidos grosseiros presentes no efluente. A remoção desses materiais grosseiros nessa etapa preliminar é necessária para evitar o entupimento na ETEI. O gradeamento pode ser feito com grades simples, nas quais a limpeza é manual, ou com grades mecanizadas, utilizadas quando o volume de sólidos é maior (SILVEIRA, 2010).

2.3.1.2 *Caixa de Areia*

O contato de areia com sedimentadores ou com o reator anaeróbio pode causar desgaste por abrasão dos equipamentos, por isso é necessário a remoção da areia presente no efluente através da sedimentação, além disso a remoção da areia evita o acúmulo desse material em tubulações ou tanques e facilita o transporte do efluente (GAUTO e ROSA, 2011; GEREMIAS, 2017).

2.3.1.3 *Peneiramento*

Assim como o gradeamento, as peneiras são utilizadas na remoção de sólidos do efluente, porém as peneiras são utilizadas para contaminantes de menor tamanho e que podem causar entupimentos ou que possuem carga orgânica considerável, sendo assim indispensável para ETEI's de cervejarias (GAUTO e ROSA, 2011).

2.3.1.4 *Tanque de Equalização e Tanque de Acondicionamento*

A principal função do tanque de equalização é homogeneizar o efluente que seguirá para o reator anaeróbio. Com a homogeneização se espera tornar uniforme principalmente o pH, a DQO e a temperatura do efluente. Quando se utiliza tanques de equalização é possível melhorar a eficiência do tratamento, através da diminuição de problemas decorrentes da variação nas características do efluente. Após o tanque de equalização pode haver um segundo tanque destinado a um ajuste final de pH. Esses tanques podem também funcionar como forma de regular a vazão de efluente para o reator (GEREMIAS, 2017; SILVEIRA, 2010).

2.3.1.5 Reator UASB

Após a equalização do efluente, ele é dirigido para o reator anaeróbio para a degradação da matéria orgânica do efluente, com a finalidade de diminuir a DBO. O reator UASB é um tipo de reator de fluxo ascendente no qual microorganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica enquanto ela flui através de uma manta de lodo com alta concentração celular do microorganismo (AYABE, 2013).

A partir do processo de biodigestão da carga orgânica do efluente no reator UASB, esses poluentes são transformados em moléculas mais simples e solúveis que logo podem ser degradadas por diferentes tipos de bactérias. Além disso, ocorre a formação de biogás rico em metano e gás carbônico, que é retirado pela parte superior do reator. Os principais tipos de bactérias utilizadas na constituição do lodo anaeróbio são metanogênicas e acidogênicas, porém é comum a presença de outros tipos de bactérias no lodo (CRUZ, 2007; SILVA, 2014).

O reator UASB é constituído por cinco partes, sendo elas a câmara de digestão, lugar onde a manta de lodo está depositada e onde de fato acontece a digestão anaeróbia. A segunda parte do reator é o separador de fases, onde o gás produzido é separado das fases líquida e sólida. A terceira parte é apenas uma transição entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação. Na quarta parte, a zona de sedimentação, as partículas de lodo carregadas pelo fluido atingem uma velocidade na qual começam a sedimentar pela lateral do reator até as áreas de transição e de digestão. A última parte do reator é chamada de zona de acumulação de gás, e serve para fazer a coleta do biogás produzido (GEREMIAS, 2017). Na figura 7 está representado a estrutura do Reator UASB.

2.3.1.6 Lagoa de Aeração e Tanque de Recirculação

Após a etapa de tratamento anaeróbio, é iniciado o tratamento aeróbio na lagoa de aeração. Assim como no reator UASB, na lagoa de aeração o objetivo é a degradação de material orgânico, entretanto na lagoa de aeração são utilizados lodos ricos em células de bactérias aeróbicas, que necessitam de aeração contínua para que possam degradar o restante da carga orgânica que saiu do reator UASB (GAUTO e ROSA, 2011).

A vantagem da utilização das lagoas de aeração está na possibilidade de redução do tamanho da área necessária para o tratamento do efluente, o que não seria possível com a utilização apenas das lagoas de estabilização. Além disso os próprios aeradores fornecem a

Fonte: Fonte: Geremias (2017)

Reator UASB princípio de funcionamento

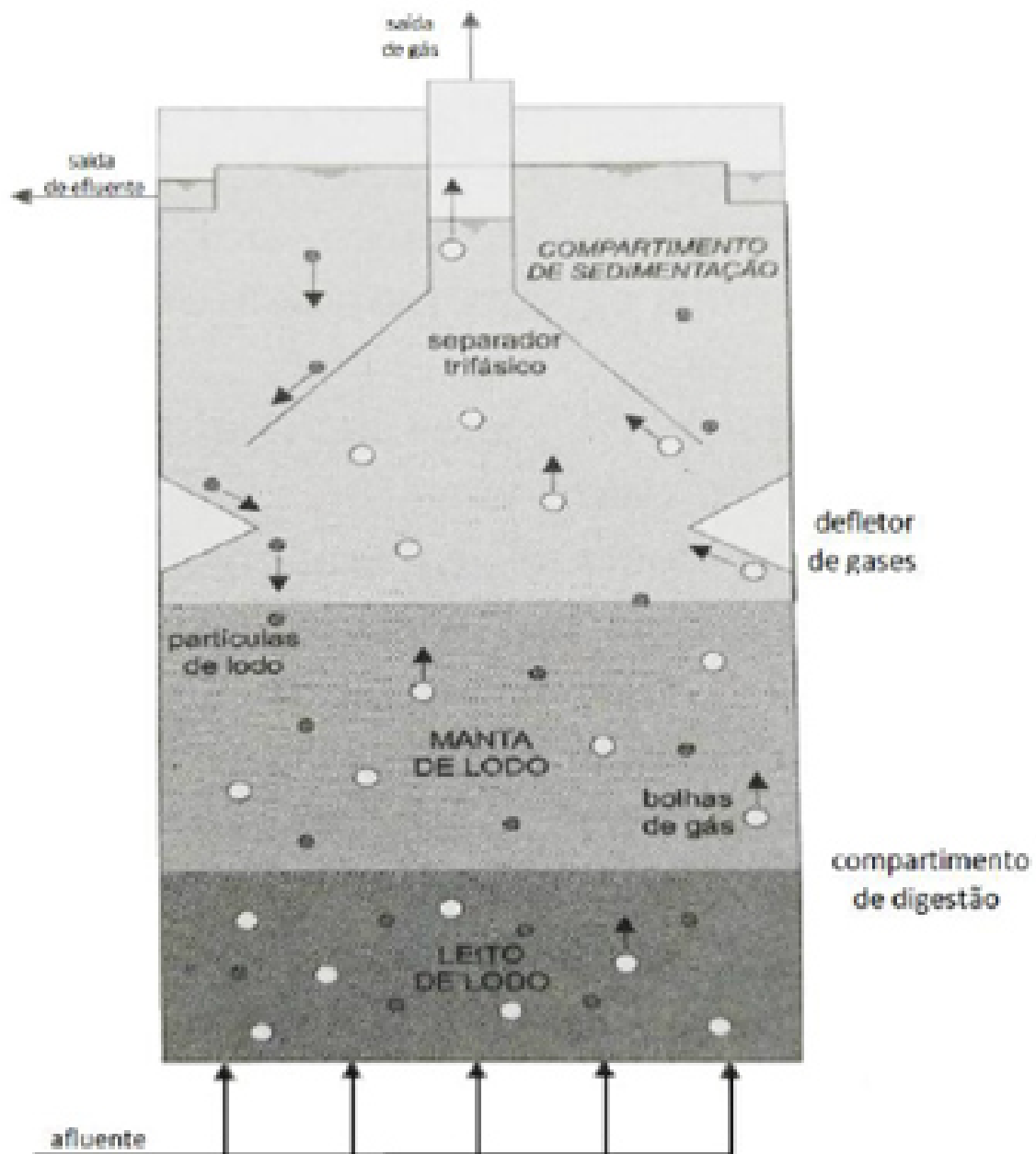


Figura 7 – Representação de um reator UASB para o tratamento de efluentes.

energia necessária para manter a biomassa distribuída na lagoa, evitando assim a sedimentação do lodo. Tanques de recirculação são utilizados antes da lagoa de aeração para fazer que parte do efluente da lagoa seja recirculado (BRITO et al., 2015).

A estação de tratamento em estudo possui um total de quinze aeradores, que funcionam através de um sistema de intertravamento com o valor de oxigênio dissolvido na lagoa que é

medido automaticamente através de oxímetros submersos.

2.3.1.7 Decantador

Essa etapa é necessária para retirada de partículas de lodo que possam ter passado pela lagoa de aeração. A decantação é uma etapa de clarificação do efluente baseada no tamanho das partículas presentes no sistema. Esse processo pode ou não ser associado a etapas de coagulação e floculação, dependendo do projeto da ETEI. Quando não são utilizadas etapas que visem aumentar o tamanho médio das partículas suspensas, os sedimentadores tendem a ser maiores para que o material possa decantar, em virtude da menor velocidade terminal das partículas de pequena granulometria (GAUTO e ROSA, 2011; SILVA, 2008).

O acúmulo de lodo orgânico no fundo dos sedimentadores pode levar à produção de gases que causam flutuação na lama formada. Para evitar isso o lodo com alta carga orgânica deve ser removido com frequência através de sistemas de raspagem mecânica, sucção ou utilizando pressão hidrostática. O lodo retido nessa etapa é devolvido à lagoa de aeração (GAUTO e ROSA, 2011).

2.3.1.8 Lagoa de Polimento e Calha de Parshal

A lagoa de polimento é utilizada na estabilização do efluente após a saída do sedimentador. É a última etapa do tratamento do efluente e funciona como um refinamento após todos os outros tratamentos biológicos. Na lagoa de estabilização não é feita a aeração forçada, e se espera que a ação natural de bactérias faça a oxidação da matéria orgânica presente e que o oxigênio dissolvido seja estabilizado na lagoa através da ação de microalgas. Após a lagoa de polimento o efluente é conduzido ao corpo hídrico receptor através de calhas com chicanas, a Calha de Parshal, com o objetivo de aumentar o tempo de residência do efluente em um curto espaço até que os sólidos restantes possam sedimentar (SOUZA, 2015).

2.3.1.9 Adensador de Lodo e Centrífuga

Para se retirar o excesso de lodo aeróbio da lagoa de aeração, há um sistema de captação através de bombas de deslocamento positivo, que direcionam o lodo para um adensador, onde há uma compactação do lodo que é conduzido para um processo de centrifugação. Após esse processo, o lodo é armazenado em caçambas e doado para uma Olaria vizinha que utiliza o

subproduto para fabricação de tijolos e cerâmica.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Metodologia

A metodologia de pesquisa é classificada como Estudo de Caso (??), ou seja um estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos com o objetivo de permitir um conhecimento profundo sobre o objeto de estudo.

Estão apresentados o método proposto, sua aplicação e os resultados obtidos no indicador de Eficiência ETEI, assim como uma breve caracterização da empresa em estudo e da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais.

3.2 Etapas do Estudo

O método proposto foi dividido em quatro etapas, usando o conceito de gestão do Ciclo PDCA, tendo como auxílio o uso das ferramentas da qualidade, sendo as quatro etapas denominadas: *Plan* (P), *Do* (D), *Check* (C) e *Act* (A). Cada uma das etapas conforme mostradas na Figura 8 possui passos definidos, que serão descritas nas sessões à seguir.

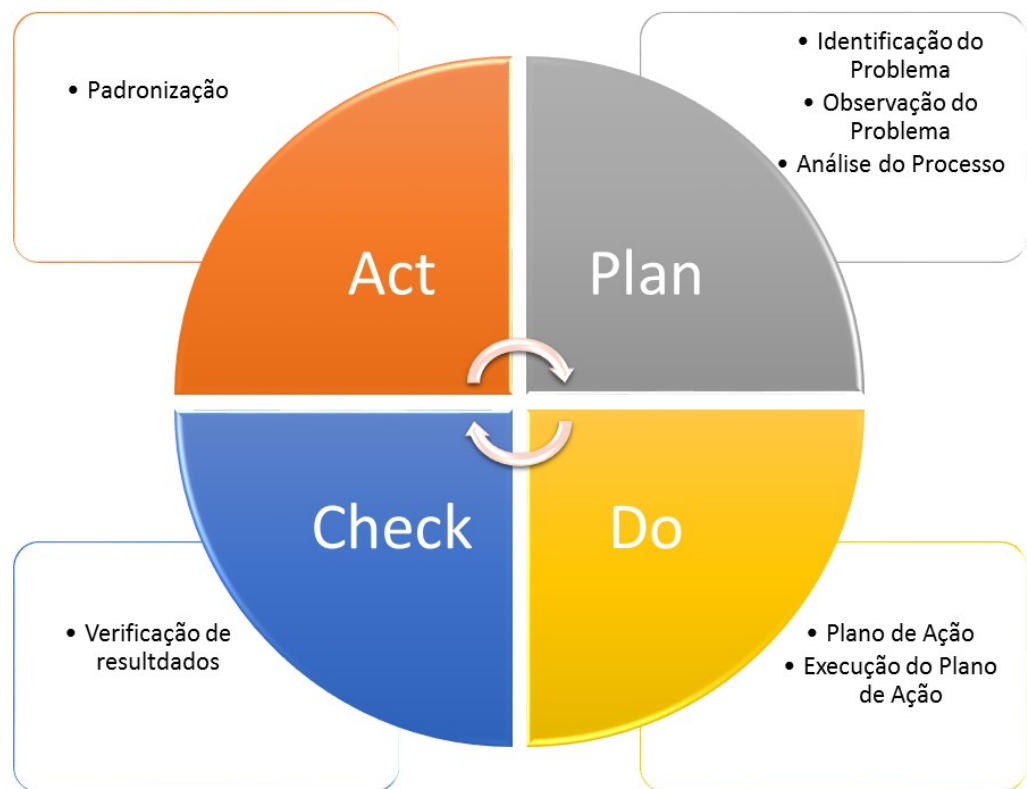


Figura 8 – Etapas do Estudo de Caso

3.3 Plan

A primeira etapa, correspondente a etapa *Plan* do método PDCA. Como o nome já diz, essa etapa corresponde ao Planejamento, onde se define os principais objetivos a serem alcançados, levanta-se as informações necessárias através de análises mais complexas e assim, define-se como será alcançado o resultado. Essa etapa serve como base para a segunda etapa do ciclo e é dividida em três passos: a identificação do problema, a observação do problema e a análise do processo.

Essa é a etapa mais crítica do Ciclo PDCA, e onde mais se gasta energia e tempo. Uma análise bem feita e bem delineada garante que se empregue a energia certa focando na resolução dos problemas certos, que de fato trarão os resultados esperados. O período de execução desta etapa corresponde ao mês de janeiro de 2018.

3.3.1 Identificação do Problema

Na Identificação do problema, o principal objetivo é entender e dimensionar o problema, e , para isso, foi feita uma análise histórica dos resultados do indicador nos últimos 12 meses e da meta definida para o ano vigente. A comparação foi feita através de um gráfico que confronta duas séries, uma contendo os resultados obtidos em 2017 e a outra a meta de 2018, a fim de se quantificar qual a lacuna entre os dois resultados e assim se ter uma noção exata da evolução necessária no indicador de Eficiência da ETEI.

O projeto teve início em janeiro de 2018, dessa forma, foi considerada a base de dados de resultados obtidos em todos os meses do ano de 2017, bem como a meta definida para o indicador no ano 2018, mês a mês. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 9.

Através dessa análise, foi constatado que se os resultados mantivessem o mesmo comportamento do ano de 2017, a meta de 2018 não seria batida, evidenciando a necessidade da execução de um trabalho de melhoria, justificando a aplicação do método PDCA.

Como é possível observar no gráfico, os resultados obtidos para o ano de 2017 foram instáveis, apresentando uma grande variação, o que indica um processo pouco controlado e com pouca previsibilidade.

Fonte: Elaborado pela autora

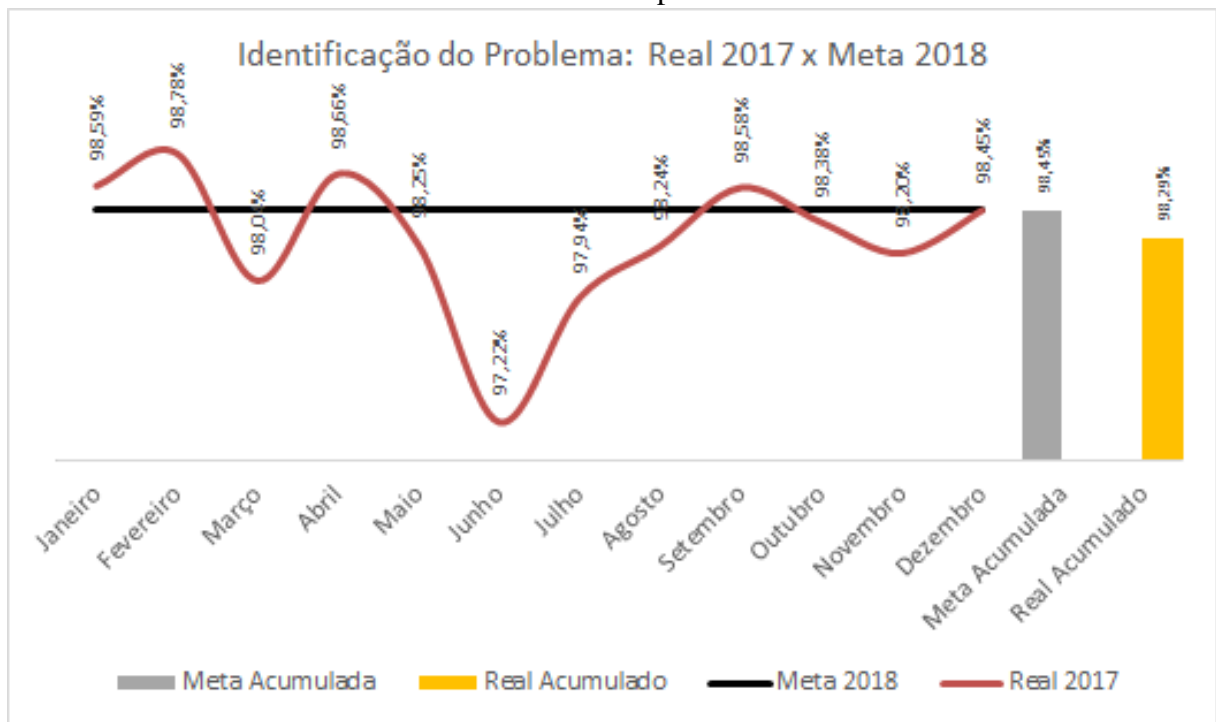


Figura 9 – Redução de carga orgânica (2017 x 2018).

3.3.2 Observação do Problema

Durante a observação do problema, o principal objetivo foi entender quais os maiores impactos no resultado do indicador, identificação que foi feita através do uso do Diagrama de Pareto. Dessa forma, dentro do processo, foi possível entender qual dos dois tipos de sistemas (aeróbio e anaeróbio) apresenta maior influência no resultado dos atributos de redução da carga poluidora, bem como quais equipamentos dentro de cada sistema apresentam maior impacto no mesmo índice. Essa estratificação serviu como base para direcionar o plano de ação de forma mais efetiva, garantindo a alocação de recursos e energia para resolver o problema certo.

A ferramenta do Diagrama de Pareto foi aplicada três vezes, a fim de se estratificar ainda mais o resultado e realizar de forma mais efetiva a priorização dos problemas. O primeiro Diagrama comparou o impacto de remoção de carga orgânica dos dois sistemas que compõem a estação de tratamento, o sistema anaeróbio e o sistema aeróbio. O resultado dessa análise está representada na figura 10 e é possível verificar que o sistema anaeróbio tem maior impacto no tratamento, sendo responsável pela remoção de 92% de toda a matéria orgânica que vem no efluente bruto.

O segundo diagrama, que está representado na figura 11 foi aplicado a fim de se entender qual dos equipamentos da ETEI mais impactavam na eficiência de remoção de DQO.

Fonte: Elaborado pela autora

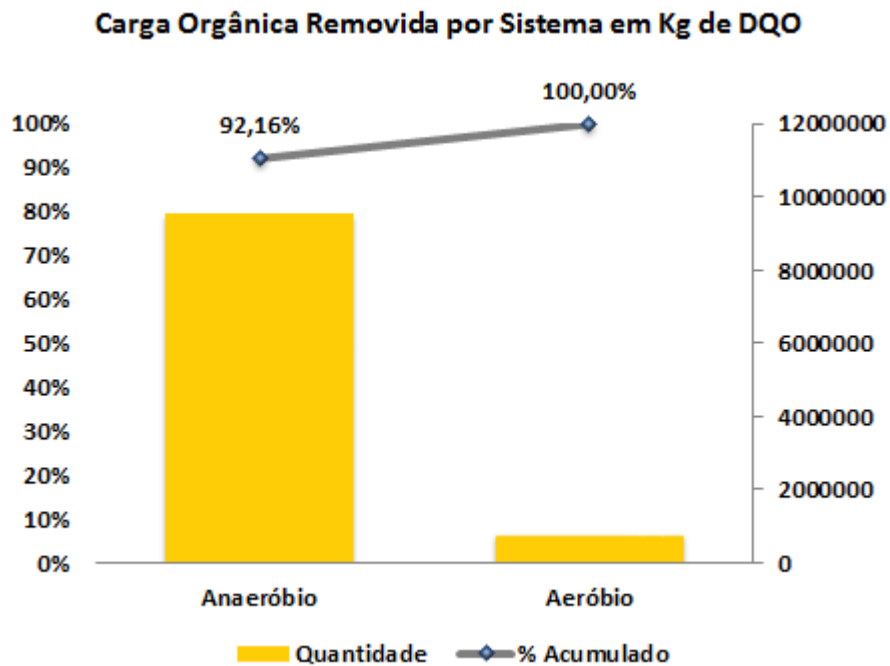


Figura 10 – Diagrama de Pareto por sistema

Para essa análise foi considerado o Reator UASB, a Lagoa de Aeração e a Lagoa de Polimento, as três etapas do tratamento em que há remoção de carga orgânica, evidenciando-se que o Reator UASB é o equipamento que mais influencia no resultado do indicador.

Fonte: Elaborado pela autora

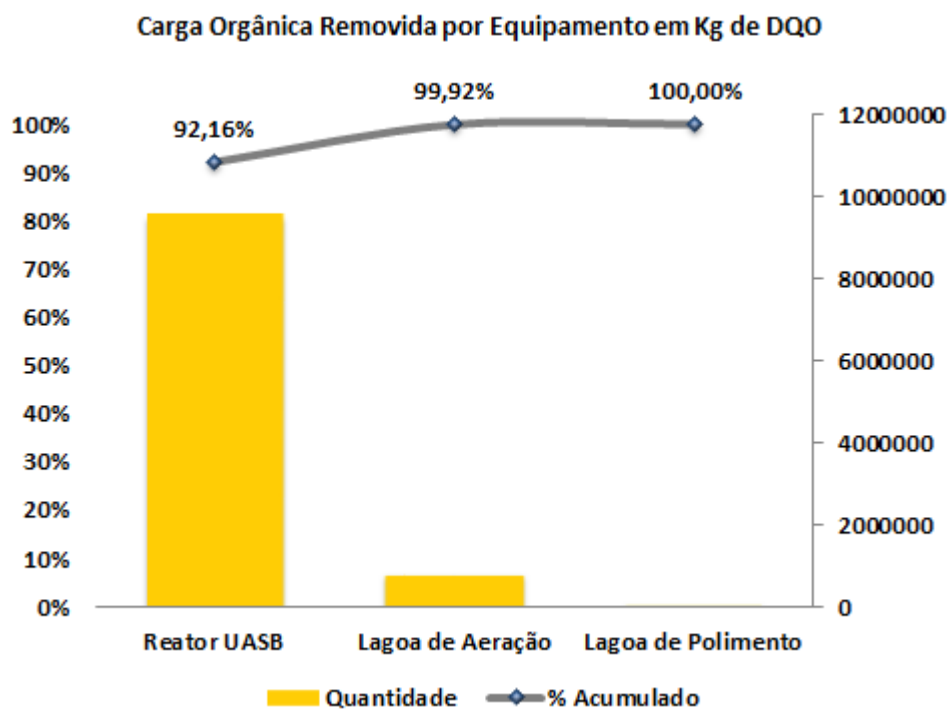


Figura 11 – Diagrama de Pareto por equipamento no Sistema Aeróbio

O terceiro diagrama, exposto na figura 12, foca apenas no tratamento aeróbio, que, mesmo com o menor impacto, ainda é indispensável para o alcance da meta de 98,45% de eficiência. Assim, é possível observar que a Lagoa de Aeração é a etapa em que há a maior remoção de DQO dentro do tratamento aeróbio, sendo o foco do trabalho de melhoria para esse sistema.

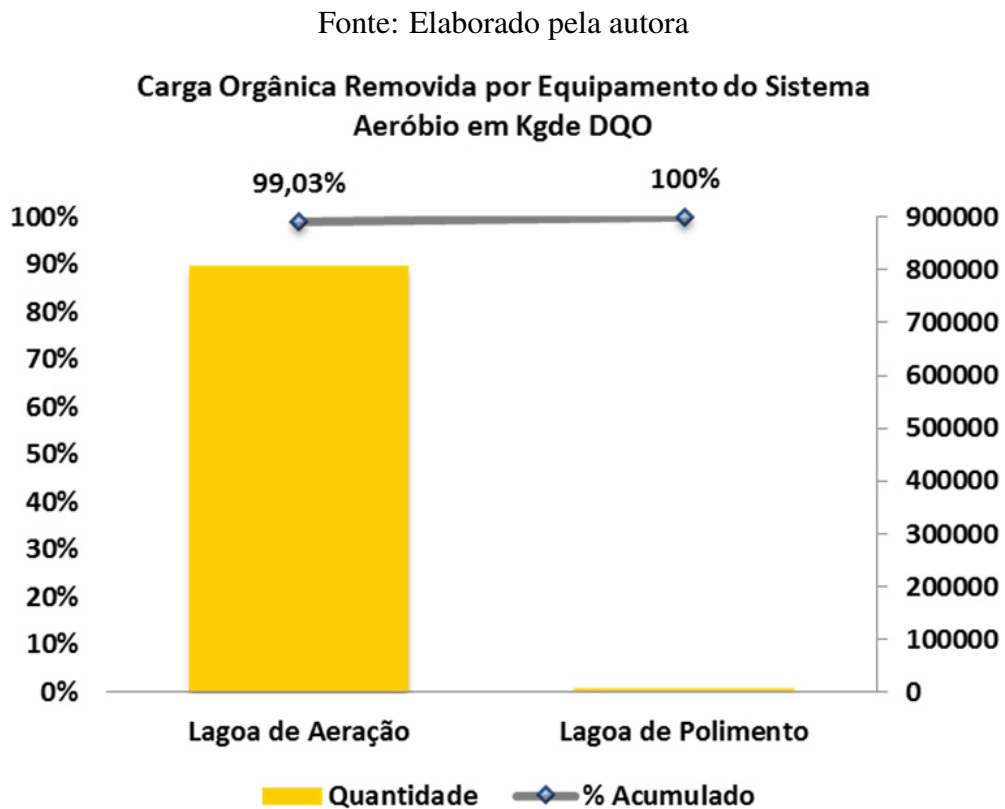


Figura 12 – Diagrama de Pareto por equipamento

O Diagrama de Pareto além de permitir a correta interpretação das etapas responsáveis por maior impacto no processo também é importante como base para o Diagrama de Causa e Efeito, que será executado na Etapa de Análise do Processo.

3.3.3 Análise do Processo

Depois de se entender e observar o problema, foi possível mapear todas as atividades do processo e priorizar quais atividades eram mais críticas, em um passo denominado Análise do Processo. Dessa forma, obteve-se um melhor entendimento de como estava estruturado o processo, bem como o funcionamento da ETEI e quais problemas e etapas tinham o maior influência na Eficiência ETEI.

Para isso, de início, foi feita uma análise das etapas do processo, a fim de se entender todos os passos envolvidos no tratamento do efluente, desde a sua origem, até o desaguamento final e quais equipamentos envolvidos. As etapas do tratamento de efluentes estão representadas na Figura 6.

Com base nos resultados obtidos no Diagrama de Pareto, foi utilizado o Diagrama de Causa e Efeito, uma ferramenta da qualidade que ajuda a levantar as causas-raízes de um problema, analisando todos os fatores que envolvem a execução do processo. No Diagrama, as possíveis causas-raízes foram agrupadas em seis categorias, que foram: Máquina, Materiais, Mão de obra, Meio-ambiente, Método e Medidas (os 6Ms).

A ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito foi aplicada duas vezes durante o trabalho. Assim, se realizou um Diagrama de Causa e Efeito para o Sistema Anaeróbio e outro para o Sistema Aeróbio, análises que estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Diagramas de Causa e Efeito para Sistema Anaeróbio e Aeróbio

1. Sistema Anaeróbio					
Problema: Baixa Eficiência do Sistema Anaeróbio					
Método	Mão de Obra	Matéria-Prima	Meio Ambiente	Máquina	Medida
1. Carga orgânica Aplicada no reator UASB não constante 2. Vazão de tratamento do reator UASB não constante	1. Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	1. Excesso de Lodo no Reator Anaeróbio	1. Média de pH do Efluente bruto muito elevada 2. Áreas descartam efluente para ETEI sem comunicar	1. Bombas de homogeneização do Tanque equalizado 1 não funcionam	1. Tanque de Equalização 3 sem medidor de volume
2. Sistema Aeróbio					
Problema: Baixa Eficiência do Sistema Aeróbio					
Método	Mão de Obra	Matéria-Prima	Meio Ambiente	Máquina	Medida
	1. Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	1. Excesso de Lodo na Lagoa de Aeração	1. Baixa relação F/M	Aeradores 8,9 e 15 parados 2. Centrífuga quebrada 3. Decantador sem funcionar	1. Oxímetros de Lagoa de Aeração descalibrados

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentro de cada Diagrama, foram apontadas possíveis causas para os problemas encontrados tanto no Sistema aeróbio, quanto anaeróbio, sendo a maior parte dos problemas

relacionados à máquinas, o que direciona uma das frentes do trabalho principalmente para a manutenção dos equipamentos.

Depois de aplicada o Diagrama de Causa e Efeito, foi utilizado uma Matriz de Priorização, uma ferramenta que serve para classificar cada possível causa levantada no Diagrama e analisá-las uma a uma com o objetivo de se entender quais causas devem ser tratadas primeiro.

A Matriz de Priorização consiste em enumerar as causas prováveis e classificá-las quanto a três critérios: Impacto Sobre o Problema, Autoridade e Dificuldade. O impacto sobre o problema mensura o quanto a causa provável tem influência no resultado, a autoridade determina o quanto a pessoa que está executando o ciclo PDCA tem autoridade para resolver o problema em questão e a Dificuldade representa qual o nível de complexidade da possível causa, ou seja o quão difícil esse problema é de se resolver.

Todos os critérios da Matriz de Priorização podem ser classificados em três numerações: 1, 3 e 5. No caso do impacto do Problema, quanto mais próximo de 1, menor o impacto, no caso da autoridade, quanto mais próximo de 5, mais autoridade se tem sobre o problema e no critério de Dificuldade, quanto mais próximo de 5, mais fácil o problema será de ser resolvido. Ao final da classificação de todas as possíveis causas prováveis, há um somatório dos pontos atribuídos e as causas com maiores pontuação serão prioridade na execução do plano de ação.

Como foram executados dois Diagramas de Causa e Efeito, foram feitas também duas matrizes de priorização, uma para as possíveis causas do Sistema Anaeróbico e outra para o Sistema Aeróbico. As duas matrizes estão representadas nas Tabelas 2 e 3.

Feita a Matriz de Priorização, foi executado a análise de 5 Porquês, outra ferramenta da qualidade, onde para cada possível causa foi feito a repetição da pergunta “Por quê?”, a fim de se chegar à raiz do problema com clareza. Para cada causa fundamental encontrada, foram definidas ações para o tratamento, o que gerou um plano de ação, que foi executado na Etapa Do.

Dessa forma, o principal objetivo da execução da ferramenta de 5 Porquês é, além de chegar a causa fundamental do problema, servir como base para a definição de ações efetivas para cada uma das causas levantadas, obtendo-se, de fato, resultados consistentes.

Tanto para o sistema anaeróbico quanto para o sistema aeróbico foram executados os 5 Porquês, para cada uma das possíveis causas fundamentais levantadas, para todas as categorias - máquinas, mão de obra, método, medida, materiais e meio ambiente. Os resultados da execução dessa ferramenta estão expostos nas Tabelas 4 e 5.

Por fim, foram definidas ações que embasaram a criação de um plano de ação. Um

Tabela 2 – Matriz de priorização para o sistema anaeróbio.

	Impacto sobre o problema	Autoridade	Dificuldade	Total
Vazão de Tratamento do reator UASB não constante	5	5	5	125
Carga orgânica aplicada no reator UASB não constante	5	5	3	75
Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	3	5	5	75
Excesso de Lodo no Reator Anaeróbio	5	3	1	15
Média de pH do efluente bruto muito elevada	5	3	1	15
Bombas de homogeneização do tanque equalizado 1 não funcionam	5	3	5	75
Tanque de equalização 3 sem medidor de volume	3	3	5	45
Áreas descartam efluente para ETEI sem comunicar	5	3	3	45

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 3 – Matriz de priorização para o sistema aeróbio.

	Impacto sobre o problema	Autoridade	Dificuldade	Total
Excesso de lodo aeróbio na lagoa de aeração	5	3	3	45
Baixa relação F/M	5	3	3	45
Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	3	5	5	75
Aeradores 8, 9 e 15 parados	5	3	3	45
Centrífuga quebrada	5	3	3	45
Decantador com roda quebrada	5	5	3	25
Oxímetros da lagoa de aeração descalibrados	3	5	5	75

Fonte: Elaborado pela autora

plano de ação quando bem estruturado e com ações mapeadas de forma correta é essencial para o alcance de um bom resultado. A ferramenta de 5 Porquês executada na etapa anterior foi a principal fonte para a elaboração do plano. Outra fonte considerada para elaboração do plano de ação foram ações de *output* das reuniões de rotina da área; as reuniões de produtividade diárias e as reuniões semanais.

Tabela 4 – Análise de 5 Porquês do sistema Anaeróbio

Problema	Causa Fundamental	Ações
Carga Orgânica Aplicada no Reator UASB não constante	Padrão de operação não contempla os parâmetros de vazão para tratamento do reator	Elaborar carta de controle de vazão de tratamento do reator UASB e revisar padrão operacional
Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	Falha no cumprimento do cronograma de treinamentos da área	Retreinar a Operação nos padrões de operação da ETEI
Excesso de Lodo no Reator Anaeróbio	Não retirada de lodo na frequência correta	Transferir excesso de lodo anaeróbio para outra unidade
Média de PH do Efluente bruto muito elevada	Excesso de consumo de Soda Cáustica na fábrica	Estratificar áreas com maior consumo e tratar causas
Bombas de Homogeneização do Tanque equalizado 1 não funcionam	Erro de instalação	Consertar bomba, alinhar base e reinstalar
Tanque de Equalização 3 sem medidor de volume	Sem cabo de comunicação instalado	Comprar cabo e instalar
Vazão de Tratamento do reator UASB não constante	Padrão de operação não contempla os parâmetros de vazão para tratamento do reator	Elaborar carta de controle de vazão de tratamento do reator UASB e revisar padrão operacional
Áreas descartam efluente para a ETEI sem comunicar	Acordo de Nível de Serviço entre as áreas não atualizado	Atualizar Acordo de Nível de Serviço e criar farol de acompanhamento do cumprimento

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5 – Análise de 5 Porquês do sistema Aeróbio

Problema	Causa Fundamental	Ações
Centrífuga quebrada	Motor queimado devido vazamento no selo mecânico	Consertar centrífuga e revisar plano de manutenção
Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	Falha no cumprimento do cronograma de treinamentos da área	Retreinar a Operação nos padrões de operação da ETEI
Excesso de Lodo aeróbio na Lagoa de Aeração	Centrífuga quebrada e decantador parado	Consertar centrífuga
Decantador quebrado	Roda da ponte com material inadequado e pista danificada	Revestir a roda com material adequado e restaurar a pista
Aeradores 8, 9 e 15 parados	Cabos danificados	Trocar cabos dos aeradores
Baixa Relação F/M	Excesso de lodo na lagoa de aeração	Consertar centrífuga
Oxímetros da Lagoa de Aeração descalibrados	Sem plano de calibração	Calibrar oxímetros e criar plano de calibração

Fonte: Elaborado pela autora

O plano de ação elaborado para este trabalho está representado na Tabela 6.

Tabela 6 – Plano de Ação

O que?	Como?	Quem?	Quando	Status
Criar carta de controle de vazão de tratamento do reator UASB	Calcular novos parâmetros para vazão em m^3/h e retreinar a operação	Larisse	15/01/2018	Concluído
Retreinar a Operação nos padrões de operação da ETEI	Definir cronograma de treinamentos e executar	Operador Elite	07/02/2018	Concluído
Consertar Bombas de Homogeneização do Tanque Equalizado	Alinhar base, trocar rotor e reinstalar a bomba	Time da Manutenção	24/02/2018	Concluído
Calibrar e consertar oxímetros da lagoa de aeração	Abrir nota, detalhar, gerar ordem de serviço e executar	Operação	28/02/2018	Concluído
Consertar centrífuga	Rebobinar motor queimado, trocar selo mecânico e reinstalar motor	Supervisor de área	31/03/2018	Concluído
Consertar aeradores 8, 9 e 15	Comprar novos cabos elétricos e instalar	Time Manutenção	25/04/2018	Concluído
Atualizar Acordo de Nível de Serviço	Atualizar o acordo, divulgar para todas as áreas e enviar farol de acompanhamento do cumprimento por e-mail semanalmente	Larisse	30/04/2018	Concluído
Consertar decantador	Vulcanizar roda e recuperar a estrutura da pista de rodagem da ponte	Gerente da área	30/06/2018	Concluído

Fonte: Elaborado pela autora

3.4 Do

A segunda etapa, denominada Etapa *Do*, que é a execução do plano de ação representado na tabela 6. Depois do período de análise foi possível direcionar os esforços para as ações certas, executá-las é, de fato, garantir o resultado e resolver o problema.

De acordo com o que foi levantado na matriz de priorização, ocorreu a execução das ações definidas no plano de ação. Foram priorizadas ações com soma total de fatores da Matriz de Priorização até 45. Também foram levados em consideração fatores como a pessoa responsável pela ação, o tempo necessário para a execução da ação e a disponibilidade de recursos para a execução.

O período de execução do plano de ação foi de janeiro à junho, e o acompanhamento do andamento das ações foi feito nas reuniões de rotina da área, ou seja, reuniões diárias de produtividade, reuniões de farol da área.

3.5 Check

Depois de se ter o plano de ação estruturado e de iniciado a execução das ações mapeadas, foi possível rodar a terceira etapa, denominada *Check*. Essa etapa foi essencial para garantir a efetividade das ações e propor alterações caso os resultados obtidos não estivessem sendo satisfatórios. O maior objetivo desta etapa é identificar falhas no processo que possam ter ocorrido nas últimas duas etapas e saná-las.

3.5.1 Verificação de Resultados

O *Check* foi realizado através do acompanhamento de IVs (Itens de verificação) críticos definidos com base nos dados levantados nas etapas anteriores, análise do fluxo de processo e Brainstorming com a Operação da área. Os IVs definidos foram representados na Figura13

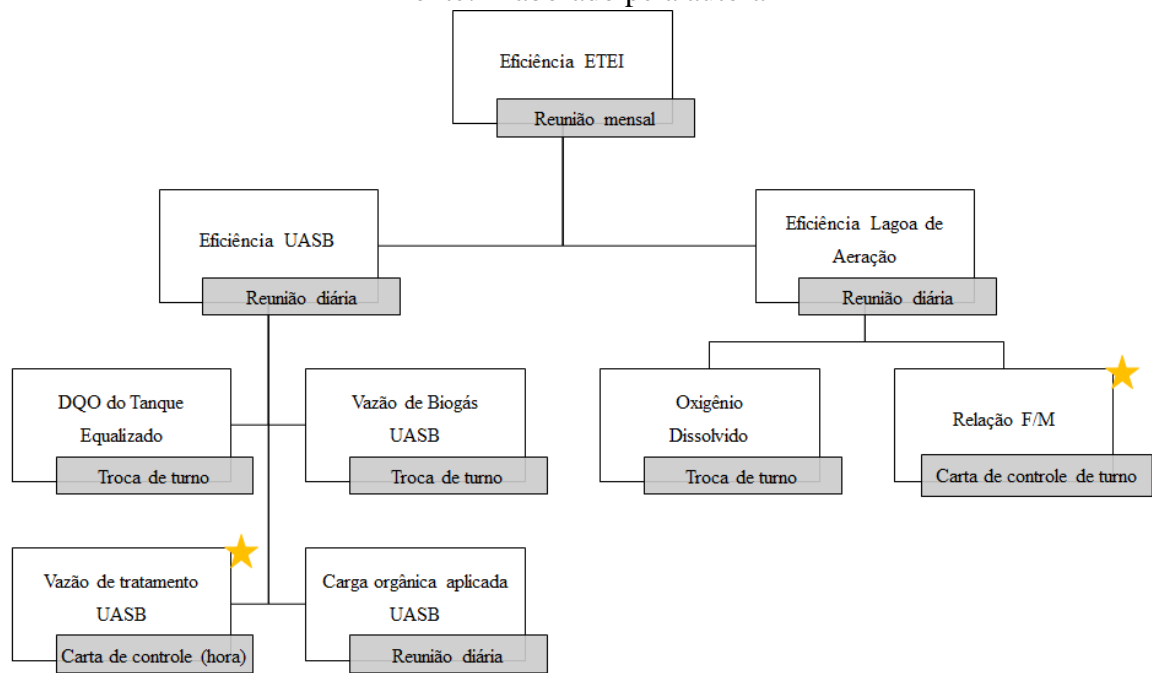
Os IVs foram acompanhados em diferentes fóruns e serviram como comprovação da efetividade dos resultados. Os IVs de Eficiência de remoção de carga orgânica do Reator UASB e da Lagoa de Aeração foram acompanhados diariamente, na reunião diária de produtividade; Os IVs de DQO do Tanque Equalizado, Vazão de Biogás do Reator UASB, Carga Orgânica aplicada ao Reator UASB e Oxigênio Dissolvido na Lagoa de Aeração foram acompanhados três vezes ao dia, na reunião de passagem de turno.

Os IVs de Vazão de Tratamento do Reator UASB e Relação F/M, sinalizados na figura 13 como IVs foco, eram monitorados via carta de controle, onde, para cada item com resultado fora do limite estabelecido, a operação deveria fazer uma análise de 5 Porquês, a fim de se achar a causa fundamental do problema e impedir que os problemas voltassem a acontecer.

Na Figura 14, estão representados os resultados obtidos para o Indicador de Eficiência ETEI desde agosto de 2017. Como o período de execução do projeto de melhoria contínua foi de janeiro a julho de 2018, sendo a primeira ação executada em 15 de janeiro de 2018, fica evidente a evolução obtida no resultado, comprovando a eficiência do primeiro Giro do Ciclo PDCA.

Além de se ter obtido uma evolução no indicador, também foi possível notar que

Fonte: Elaborado pela autora



★ Item de verificação foco

Figura 13 – Árvore de ICs e IVs

houve maior estabilidade no processo, passando de um cenário com resultados em "Efeito serrate", para um indicador com resultados estáveis e consistentes, com certa previsibilidade.

Fonte: Elaborado pela autora

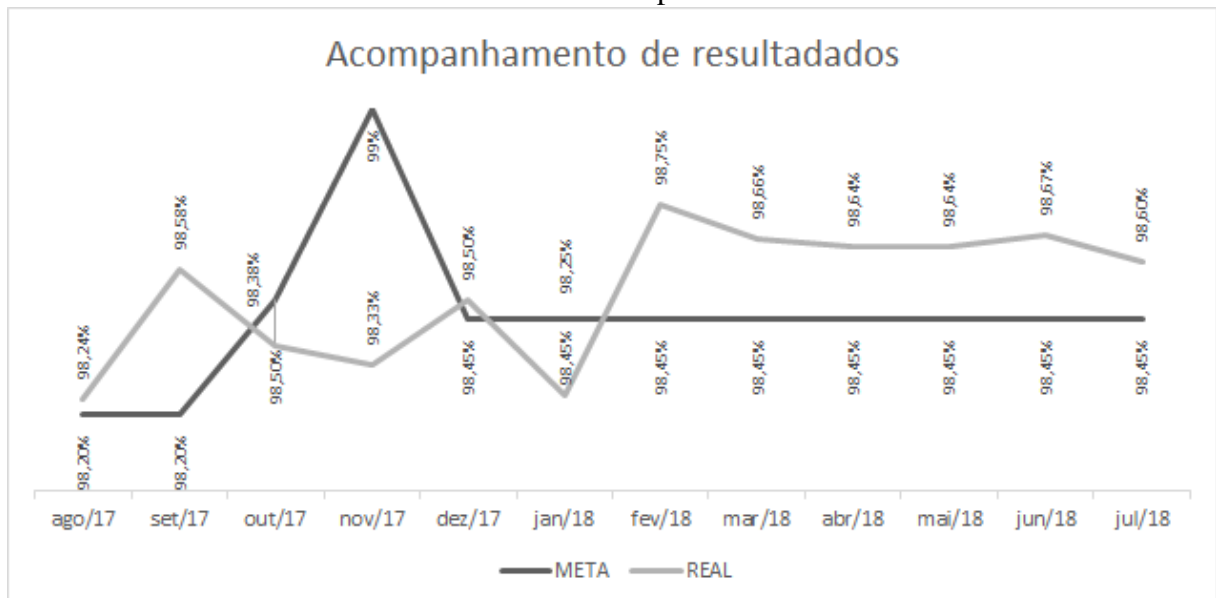


Figura 14 – Resultados para Indicador de Eficiência ETEI

3.6 Act

Por fim, a última fase da execução deste trabalho consistiu em uma etapa denominada Etapa Act, onde foi feita uma análise de todas as melhorias alcançadas com a aplicação do método por meio da padronização, através da criação e revisão de padrões e o treinamento do time, de forma a garantir que os resultados obtidos, de fato, se mantivessem sustentáveis.

Para a padronização, foram feitas revisões de padrões operacionais, planos de manutenção preventiva e também realizados treinamentos com a Operação da área, as principais ações estão representadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Padronização

Problema	Ações	Status
Carga Orgânica Aplicada no Reator UASB não constante	Padronização através de uma carta de controle de vazão e revisão do padrão Operação do Reator UASB	Concluído
Operador do Turno B com lacunas de conhecimento	Retreinar a Operação nos padrões de operação da ETEI	Concluído
Bombas de Homogeneização do Tanque equalizado 1 não funcionam	Revisão do plano de manutenção preventiva do equipamento	Concluído
Áreas descartam efluente para a ETEI sem comunicar	Revisar Acordo de Nível de Serviço e treinar áreas no seu cumprimento	Concluído
Centrífuga quebrada	Revisar plano de manutenção preventiva do equipamento	Concluído

Fonte: Elaborado pela autora

4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos no presente estudo, é possível concluir que o objetivo principal de demonstrar a aplicação das ferramentas da qualidade para a melhoria da eficiência de uma Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria de bebidas foi alcançado, bem como a identificação de tratamento de anomalias encontradas no processo através da aplicação das ferramentas.

Os Objetivos Específicos desse trabalho também foram alcançados, visto que na etapa *Plan*, foi possível analisar e estratificar as etapas referentes ao tratamento de efluentes da Indústria em estudo e identificar e discutir possíveis anomalias no sistema de tratamento de efluentes. Na etapa *Do*, foi possível executar ações para tratar as anomalias identificadas e na etapa *Act*, ocorreu a padronização das alterações feitas no processo com a aplicação do ciclo.

Por fim, a aplicação do método PDCA possibilitou a obtenção de melhoria dos resultados do indicador de Eficiência de remoção de Matéria Orgânica do Efluente bruto (Eficiência ETEI), o que evidenciou a contribuição positiva que a execução deste projeto trouxe para a Empresa em estudo. O alcance de tais resultados está diretamente alinhado com a frente de Sustentabilidade trabalhada pela empresa, melhorando a qualidade do efluente despejado no Rio Pacoti, o que acelera o processo de autodepuração, impactando menos no ecossistema em questão.

Durante a execução do trabalho, algumas dificuldades foram enfrentadas, que envolviam principalmente a disponibilidade de peças e ferramentas para realizar manutenções necessárias, o que era ocasionado em sua maioria por longos prazos de entrega dados por fornecedores, o que aumentou o tempo médio de execução do plano de ação.

Para estudos futuros, o conceito de PDCA juntamente com as ferramentas de Gestão da Qualidade podem ser aplicadas para um segundo giro do PDCA de Eficiência ETEI, contemplando ações e problemas ainda não mapeadas pelo primeiro giro. O Estudo em questão também pode ser aplicado em outras unidades da Empresa, para que estas alcancem a mesma evolução de resultado no indicador.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. A. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2014.
- ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **GEOGRAFIA**, Londrine, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.
- AYABE, Danilo Nagata et al. **Avaliação da produção de hidrogênio e metano em reatores anaeróbios de leito fixo e fluxo ascendente tratando efluente de indústria cervejeira**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 2013.
- BRITO, Laryssa Farias et al. Tratamento de Esgotos Sanitários por meio de Lagoas de aeração. **Ciências Exatas e Tecnológicas** (Maceió), v. 3, n. 1, p. 165-176, 2015.
- CARPINETTI, Luiz César Ribeiro. **Gestão da qualidade**. Grupo Gen-Atlas, 2016.
- CINTRA, Ana Livia Barbosa. **Utilização da Metodologia 8D para resolução de Problemas: Estudo de caso de fornecedores de uma multinacional da Linha Branca**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo. 2015.
- CRUZ, Juliana Gisele Belote D. et al. **Utilização de reatores microbianos com células imobilizadas no tratamento de efluente de uma indústria de bebidas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Campinas. 2007.
- FURUKITA, Amanda Cristina. **Aplicação do ciclo PDCA para redução do desperdício de embalagens de papelão: estudo de caso em uma indústria alimentícia**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017.
- GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. Processos e operações unitárias da indústria Química. **Ciência Moderna Ltda**, Rio de Janeiro, 2011.
- GEREMIAS, Cléber. **Dimensionamento de uma microestação de tratamento de efluentes de uma microcervejaria**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Sul de Santa Catarina. 2017.
- GIL, A. C. Método e técnicas de pesquisa social. [S.l.]: **Atlas S.A**, 2008. ISBN978-85-224-5142-5.
- GRANERO, Jéssica Cardoso. **Aplicação do ciclo PDCA em um produto alimentício**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica federal do Paraná. 2014.
- LEONEL, Paulo Henrique. **Aplicação pratica da técnica do PDCA e das ferramentas da**

qualidade no gerenciamento de processos industriais para melhoria e manutenção de resultados. Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

LINS, Bernardo FE. Ferramentas básicas da qualidade. **Ciência da Informação**, v. 22, n. 2, 1993.

MACHADO, Liliana Gonçalves. **Aplicação da metodologia PDCA: etapa P (Plan) com suporte das ferramentas da qualidade.** Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora. 2007.

MARTINS, Gleison Hidalgo; MARTINS, Sonia Ferreira; FERREIRA, Renata Lincy. Aplicabilidade da metodologia de análise de soluções de problemas MASP através do ciclo PDCA no setor de embalagens: estudo de caso na "indústria de embalagens" no Brasil. **Journal of Lean Systems**, v. 1, n. 4, p. 02-22, 2016.

MARUTA, Rikio. Maximizing knowledge work productivity: a time constrained and activity visualized PDCA cycle. **Knowledge and process Management**, v. 19, n. 4, p. 203-214, 2012.

OLIVEIRA, José Augusto de et al. Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo. **Produção**, p. 708-723, 2011.

PAGANI, Regina Negri; DE RESENDE, Luis Mauricio; MARÇAL, Rui Francisco Martins. Proposta de aplicação do método PDCA na estruturação de um SPL na região dos Campos Gerais, PR, Brasil. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 2, 2009.

PORTES, Amanda Costa et al. **Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

SERENO FILHO, José Amaro et al. TRATAMENTO de efluentes da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC). **Revista Internacional de Ciências**, v. 3, n. 1, p. 21-42, 2013.

SILVA, Adriana Ribeiro. **Viabilidade Econômica da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás gerado em Estação de Tratamento de Efluente Industrial de Cervejarias.** Tese de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão. 2014.

SILVA, Adriana S.; MEDEIROS, Carla F.; VIEIRA, Raimundo Kennedy. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of cleaner production**, v. 150, p. 324-338, 2017.

SILVA, Cristiane Fernanda da. **Remoção de oocistos e de indicadores físicos de *Cryptosporidium parvum* em águas de abastecimento por meio da decantação – estudo em escala**

- piloto.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.
- SILVEIRA, Gustavo Echenique. **Sistemas de tratamento de efluentes industriais.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.
- SOUZA, Tales Abreu Tavares de. **Pós-tratamento de efluente anaeróbio em lagoa de polimento.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba. 2015.
- STEIN, Ronei Tiago. **Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso.** Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário UNIVATES. 2014
- TRIVELLATO, Arthur Antunes et al. **Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 2010.
- ZÓIA, Kauê Alves Pereira et al. **Ciclo pdca aplicado na manutenção de sistemas de refrigeração.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Uberlândia. 2018.