



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

NATÁLIA FREITAS DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA E DA MELHORIA CONTÍNUA PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Recife

2020

NATÁLIA FREITAS DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA E DA MELHORIA CONTÍNUA PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia da Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gerência de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Dumke de Medeiros.

Recife

2020

Catálogo na fonte:
Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S729u Souza, Natália Freitas de.
Utilização da metodologia PDCA e da melhoria contínua para a redução de perdas / Natália Freitas de Souza. – 2020.
90 f.: il., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Dumke de Medeiros.
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, Recife, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Melhoria contínua. 3. PDCA. 4. Nível de maturidade. I. Medeiros, Denise Dumke de (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-195

NATÁLIA FREITAS DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA E DA MELHORIA CONTÍNUA PARA A
REDUÇÃO DE PERDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia da Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Gerência de Produção.

Aprovada em: 29 / 12 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Denise Dumke de Medeiros (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Eduarda Asfora Frej (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Maria Creuza Borges de Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande

Dedico esse trabalho a todas as mulheres, mães, engenheiras que diariamente quebram barreiras de preconceito no chão de fábrica.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Prof. Dra. Denise Dumke de Medeiros, que foi fundamental no desenvolvimento deste trabalho, com seu alto conhecimento, atenção, sensibilidade e dedicação constante.

As professoras Maria Creusa e Eduarda Asfora pelas valiosas contribuições para este trabalho.

A minha mãe, Sueli, pelo exemplo de mulher forte, por estar sempre ao meu lado, por acreditar em mim e não ter desistido de buscar na educação o caminho para seus filhos mesmo diante de tantas dificuldades.

Ao meu esposo, Gustavo, pelo incentivo, dedicação, parceria, amor e compreensão durante esses últimos dois anos.

Ao meu filho, Matheus, por me ensinar que sou capaz de realizar tudo aquilo que me dedicar a fazer com amor.

Aos professores do curso de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção que se dispuseram a me ajudar no atingimento desse objetivo.

Aos meus colegas de turma de Mestrado pelas demonstrações de amizade e colaborações sempre enriquecedoras.

A todos os colegas de fábrica que colaboraram durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A Melhoria Contínua é uma metodologia utilizada por empresas que buscam elevar seus resultados e assim aumentar a sua competitividade no mercado. A redução de atividades que não agregam valor ao produto, como por exemplo o retrabalho de peças, pode trazer ganhos operacionais e financeiros representativos para as organizações. Este trabalho apresenta o desenvolvimento das etapas de um projeto kaizen de melhoria contínua para redução de perdas por retrabalho em uma indústria de baterias aplicando o ciclo PDCA. Segundo especialistas, o sucesso das iniciativas kaizens está diretamente ligado ao nível de maturidade do programa de melhoria nas organizações. Por isso, durante a execução do projeto, foi realizado paralelamente o diagnóstico da maturidade do programa de melhoria na empresa. Essa análise foi realizada comparando o cenário observado aos modelos evolutivos presentes na literatura. Após a conclusão do projeto, a quantidade de lotes retrabalhados caiu drasticamente e houve também outros ganhos indiretos relatados pela equipe envolvida, tais como: redução dos custos industriais com insumos para o retrabalho das peças, aumento da produtividade da linha de produção, aumento do conhecimento técnico da equipe sobre a operação de torres de resfriamento e redução expressiva no consumo de água no processo produtivo. Dessa forma, o projeto desenvolvido obteve ganhos econômicos e ambientais para empresa e população da região. Os ganhos econômicos garantiram o retorno sobre o investimento realizado, a saúde financeira da empresa e a possibilidade de realização de novos investimentos no futuro. O ganho ambiental com a redução de 40% do consumo de água bruta para abastecimento da torre de resfriamento comprovou que o reuso de água de purga de torres de resfriamento é uma alternativa viável para as indústrias que buscam melhorar sua visão de sustentabilidade.

Palavras-chave: melhoria contínua; PDCA; nível de maturidade.

ABSTRACT

Continuous Improvement is a methodology used by companies that seek to increase their results and increase their use in the market. The reduction of activities that do not add value to the product, such as the rework of parts, can bring significant operational and financial gains for the associations. This work presents the development of the stages of a project of continuous improvement to reduce losses due to rework in a battery industry applying the PDCA cycle. According to experts, the success of the Kaizen initiatives is directly linked to the maturity level of the improvement program in the associations. Therefore, during the execution of the project, a diagnosis of the maturity of the improvement program in the company was carried out in parallel. This analysis was performed by comparing the observed scenario to the evolutionary models present in the literature. After the completion of the project, the quantity of reworked batches dropped dramatically and there were also other indirect gains reported by the team involved, such as: reduction of industrial costs with inputs for the rework of parts, increased productivity of the production line, increased knowledge team technician on the operation of cooling towers and a significant reduction in water consumption in the production process. In this way, the developed project achieves economic and environmental gains for the company and the population of the region. The economic gains guaranteed the return on the investment made, the financial health of the company and the realization of new investments in the future. The environmental gain with the 40% reduction in the consumption of raw water to supply the cooling tower proved that the reuse of purging water from cooling towers is a viable alternative for industries seeking to improve their vision of sustainab.

Keywords: continuous improvement; PDCA; degree of maturity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Bateria Automotiva	16
Figura 2 -	Representação do funcionamento dos banhos de imersão	17
Figura 3 -	Lote de baterias reprovado aguardando retrabalho	18
Figura 4 -	Detalhamento das etapas da pesquisa	20
Figura 5 -	Realização das etapas da pesquisa	21
Figura 6 -	Sub-etapas de aplicação do PDCA	21
Figura 7 -	Níveis de melhoria	25
Figura 8 -	Representação detalhada das etapas do ciclo PDCA	30
Figura 9 -	Relação entre PDCA e SDCA	31
Figura 10 -	Etapas do crescimento do cristal.	36
Figura 11 -	Etapas da formação de incrustação e parâmetros de influência.	37
Figura 12 -	Tubulação de petróleo incrustada com carbonato de cálcio	38
Figura 13 -	Ilustração do balanço hídrico de uma torre de resfriamento	41
Figura 14 -	Estrutura de atuação da área de gestão de melhoria	49
Figura 15 -	Estrutura do setor de acabamento por GAUPs	51
Figura 16 -	Desdobramento de metas na EEC S/A	52
Figura 17 -	Caminho da melhoria	52
Figura 18 -	Etapa P do ciclo PDCA	57
Figura 19 -	Reprovação de lotes após ativação	58
Figura 20 -	Fluxo da água de resfriamento	58
Figura 21 -	Bacia da Torre (Tanque de água quente)	60
Figura 22 -	Foto da incrustação nas paredes de um tanque de imersão	62
Figura 23 -	Diferentes tipos de incrustação das baterias	62
Figura 24 -	Diagrama Ishikawa	64
Figura 25 -	Plano de Ação para eliminação da ocorrência da incrustação	66
Figura 26 -	Etapa D do ciclo PDCA	67
Figura 27 -	Novo Fluxo da água de resfriamento	68
Figura 28 -	Etapa C do ciclo PDCA	71
Figura 29 -	Foto de lote de bateria após o início da implantação das ações.	71
Figura 30 -	Acompanhamento mensal do número de lotes reprovados	72
Figura 31 -	Resultado reprovação lotes/mês	72
Figura 32 -	Resultado consumo de água	74
Figura 33 -	Resultado de custo com insumos	75

Figura 34 -	Etapa A do ciclo PDCA	76
Figura 35 -	FQP de água de Make-up e de processo	77
Figura 36 -	POP atividade de operar torre	78
Figura 37 -	Plano de reação de água Make-up	79
Figura 38 -	Plano de reação água da torre	80
Figura 39 -	Análise de pH e condutividade da água durante o treinamento	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Fatores críticos para o sucesso da iniciativa de melhoria contínua.	26
Tabela 2 -	Solubilidade de alguns sais comuns em incrustações	35
Tabela 3 -	Valores de referência de qualidade do make-up	40
Tabela 4 -	Avaliação da maturidade da melhoria contínua da EEC S/A.	53
Tabela 5 -	Análise água bruta	59
Tabela 6 -	Análise de teor de metais na água Bruta	59
Tabela 7 -	Análise de teor de metais na água da torre	61
Tabela 8 -	Água da torre	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGM	Área de Gestão da Melhoria
DTO	Diagnóstico de Trabalho Operacional
EEC S/A	Empresa Estudo de Caso S/A
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FC	Fatores Críticos
FQP	Folha de Qualidade de Processo
GAUP	Grupo Autônomo de Produção
IC	<i>Continuous Improvement</i>
POP	Procedimento Operacional Padrão
PR	Plano de Reação
RAR	Reunião de Apresentação de Resultados
MC	Melhoria Contínua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	16
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	METODOLOGIA	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	MELHORIA CONTÍNUA	23
2.1.1	Kaizen	27
2.1.2	PDCA, SDCA e Ferramentas da qualidade	30
	CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE BATERIAS	
2.2	AUTOMOTIVAS	32
	MECANISMOS DE FORMAÇÃO E PREVENÇÃO DE	
2.3	INCRUSTAÇÕES EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO	34
2.3.1	Mecanismo de formação das incrustações	34
2.3.2	Prevenção de incrustação em sistemas de resfriamento	37
2.3.2.1	Pré-tratamento da água de abastecimento e make-up	40
2.3.2.2	Controle do ciclo de concentração da água da torre	41
2.3.2.3	Tratamento químico com inibidores de incrustação	42
2.4	REVISÃO DA LITERATURA	43
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO	47
	HISTÓRICO E AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA MELHORIA	
3	CONTÍNUA NA EEC S/A	49
3.1	HISTÓRICO DA MELHORIA CONTÍNUA NA EEC S/A	49
3.2	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE ADERÊNCIA A MELHORIA NA EEC S/A	51
	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DA MELHORIA	
3.3	CONTÍNUA NA EEC S/A	53
3.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO	55
	APLICAÇÃO DA MELHORIA CONTÍNUA PARA REDUÇÃO DE	
4	PERDAS POR RETRABALHO NA EEC S/A	56

4.1	PROJETO KAIZEN	56
4.2	APLICAÇÃO DA ETAPA PLANEJAMENTO (P)	57
4.2.1	Identificação do problema	57
4.2.2	Fase de observação	58
4.2.2.1	Abastecimento e estocagem de água	59
4.2.2.2	Torres de resfriamento	60
4.2.2.3	Tanques de imersão	61
4.2.3	Fase de análise	63
4.2.4	Fase de elaboração do plano de ação	65
	APLICAÇÃO DA ETAPA FAZER (D): EXECUÇÃO DO PLANO DE	
4.3	AÇÃO	67
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO	70
5	RESULTADOS OBTIDOS	71
	APLICAÇÃO DA ETAPA CHECAR (C): VERIFICAÇÃO DE	
5.1	RESULTADOS E CONTRAMEDIDAS	71
5.1.1	Ganhos indiretos	73
	APLICAÇÃO DA ETAPA AGIR (A): PADRONIZAÇÃO E	
5.2	TREINAMENTO	75
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO	83
6	CONCLUSÕES	84
6.1	LIMITAÇÕES E DIFICULDADES	86
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	86
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

Alcançar a máxima lucratividade é o principal objetivo da grande maioria das empresas. O lucro é o resultado do preço de venda do produto após o abatimento dos custos de produção. Portanto, quanto maior for o preço de venda e menores forem os custos de produção, melhor será o lucro obtido (OLIVEIRA et al, 2011). Alguns custos fabris como o de mão-de-obra, matéria-prima, energia e maquinário, podem ser reduzidos através de esforços para eliminação de perdas. As perdas são conceituadas como operações ou movimentos desnecessários que geram custos e não agregam valor e, portanto, devem ser eliminados (BORNIA, 2002).

O Sistema Toyota de Produção identifica e ataca sete tipos de perdas, dentre elas, está a perda pela não qualidade. Produtos fora de especificação não podem ser vendidos, ou pelo menos não deveriam o que gera perdas diretas no resultado financeiro da organização. Produtos defeituosos necessitam de recursos extras para serem retrabalhados ou sucateados, o que geralmente foge do fluxo padrão de produção, resultando em mais perdas. Além disso, defeitos que chegam ao cliente, interno ou externo, causam impactos negativos na credibilidade do processo, departamento ou organização (SHINGO, 2008).

A melhoria contínua (*continuous improvement* ou kaizen) é um princípio que procura assegurar esforços contínuos no tempo para reagir a problemas crônicos e esporádicos da qualidade e realizar melhorias nos processos. Segundo Martins et al. (2004), a melhoria contínua vem sendo vista por muitos gerentes e pesquisadores como uma forma de aumentar ou restaurar a competitividade de empresas frente à concorrência. Nesse contexto, é fundamental o domínio empírico e prático das Ferramentas da Qualidade que consistem em um conjunto de técnicas ou métodos usados para medir, definir, analisar e propor soluções para os problemas encontrados. Dentre as mais aplicadas estão o Diagrama de Pareto, Diagrama causa-efeito, Brainstorming, 5W2H e PDCA (FURUKITA, 2017). O ciclo PDCA ou ciclo de Deming é uma ferramenta da qualidade utilizada no controle de processos, que tem como foco a solução de problemas. Sua aplicação consiste em quatro fases: Plan, Do, Check e Act (LEONEL, 2008). É uma ferramenta baseada na repetição, aplicada sucessivamente nos processos buscando a melhoria de forma continuada para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização (FURUKITA, 2017).

Contudo, apesar das vantagens do método, nem todas as iniciativas de implantação da melhoria contínua nas empresas são bem sucedidas. Em alguns casos, a iniciativa fracassa ou os resultados obtidos são tímidos, gerando frustração nos gestores e colaboradores. Realizando a revisão da literatura é possível encontrar alguns trabalhos que tentaram identificar o motivo do total insucesso ou baixo retorno da melhoria contínua em algumas organizações no mundo. Nguyen (2015) investigou os desafios para implantação e manutenção da melhoria contínua em 09 empresas no Vietnã a partir de entrevistas detalhadas com funcionários de diferentes níveis hierárquicos e concluiu que o déficit de treinamento, questões culturais e ausência de planejamento estratégico eram fatores que prejudicavam o sucesso do método nas organizações vietnamitas. Kornfeld e Kara (2011) mostram que a seleção ineficaz do portfólio de projetos de melhoria pode gerar oportunidades perdidas, alocação ineficiente de recursos escassos e subotimização do sistema como um todo. Ainda segundo os autores, a seleção de projetos ou portfólio é uma atividade complexa e multifacetada para a tomada de decisões que se torna cada vez mais complicada à medida que o tamanho da organização e o número de projetos em potencial aumentam. Martins et al. (2004) pesquisaram as armadilhas na gestão do processo de melhoria contínua numa pequena empresa de usinagem no interior de São Paulo. Para tal, foram realizadas entrevistas com o diretor industrial e a coordenadora do sistema de gestão da qualidade. O trabalho concluiu que a alta rotatividade (*turnover*) de mão de obra, a falta de tempo dos grupos de melhoria para implantar os planos de ação e o baixo comprometimento dos indivíduos quanto à busca pela solução do problema eram os fatores que provocaram uma redução na quantidade de projetos implantados com sucesso nos dois anos anteriores a pesquisa.

Para Bessant et al (2001), o sucesso do programa de melhoria está ligado ao nível de maturidade da organização na melhoria contínua. Diante disso, os autores criaram uma estratégia de classificação em 05 níveis de maturidade de acordo com alguns pré-requisitos. Quanto maior o nível de classificação da empresa conforme esses requisitos, maior será a probabilidade de sucesso do programa. Nesse contexto, Landwójtowicz (2015) realizou uma análise do processo de implantação da IC em uma empresa produtora de dispositivos eletrônicos e concluiu que existem Fatores Críticos (FC) para o sucesso da implantação do programa. O autor classificou tais fatores em 9 dimensões, sendo elas: Formalização do programa,

determinação dos princípios e controles, distribuição do intervalo de atividades, treinamento, processos de gerenciamento, coordenação do programa, métodos e ferramentas, medição de resultados e comunicação dos resultados/motivação. Segundo Rockart (1979), os fatores críticos de sucesso um limitado número de práticas, processos ou áreas, onde se os resultados são satisfatórios, grandes são as chances de ganhos de desempenho e competitividade para a empresa. Portanto, o entendimento do posicionamento na classificação de nível de maturidade e o diagnóstico da condição dos fatores críticos para o sucesso do programa de melhoria podem auxiliar a organização a traçar a estratégia de aperfeiçoamento do programa no futuro garantindo assim maior taxa de sucesso.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Dentre as diversas indústrias instaladas no Brasil, a indústria de fabricação de bateria automotivas é responsável por abastecer cerca de 75% do mercado interno, produzindo aproximadamente 20 milhões de baterias por ano, sendo São Paulo, Paraná e Pernambuco os estados destaque desta produção (BNDES, 2013). Uma bateria é um acumulador, que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, normalmente por meio de uma reação de oxirredução. O processo de fabricação de baterias é bastante extenso e possui várias etapas, dentre elas: fabricação das placas de potencial negativo e positivo, montagem das placas na caixa plástica, adição de solução ácida, ativação, rotulagem e embalagem das peças (CHACÓN-SANHUEZA, 2007).

Figura 1 - Bateria Automotiva



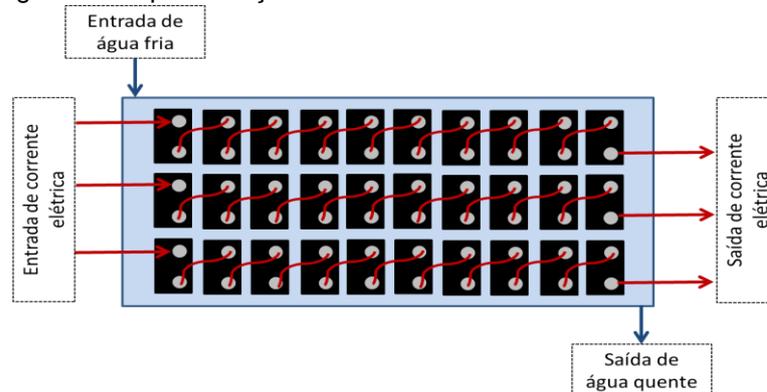
Fonte: BNDES (2013)

Como em qualquer outra indústria, são estabelecidos internamente padrões de qualidade que devem ser atendidos em cada uma das etapas de produção. Lotes

que não atendam a algum desses padrões são reprovados e dependendo do defeito apresentado seguem para sucateamento ou retrabalho das peças. O acompanhamento e controle dos índices de reprovação, sucateamento e retrabalho de peças é feito geralmente pelo setor de controle de qualidade da empresa (BARROS JUNIOR et al., 2017).

Neste cenário surge o problema de pesquisa, em que uma indústria de baterias denominada neste trabalho por EEC S/A observou um aumento expressivo no índice de reprovação de peças na etapa de ativação de baterias. Na etapa de ativação ocorre a adição de carga elétrica nas peças o que permitirá o funcionamento dos equipamentos elétricos após a instalação do componente nos veículos. Geralmente essa etapa do processo ocorre com as peças imersas parcialmente em um banho com água. Isso se faz necessário porque além do aquecimento gerado pela passagem da corrente elétrica, a reação química de formação do sulfato de chumbo libera calor (Reação exotérmica).

Figura 2 - Representação do funcionamento dos banhos de imersão



Fonte: A autora (2020)

Durante esse processo é importante executar um controle rigoroso da temperatura que não deve ultrapassar os 80,0°C, pois caso isso ocorra pode acarretar na degradação de componentes e consequente redução de performance e tempo de vida do produto. Por tal motivo é comum encontrar nas indústrias sistemas que monitoram a temperatura das peças e executam automaticamente ajustes na carga elétrica de alimentação e na vazão de água de refrigeração dos banhos para impedir o aquecimento excessivo.

Os banhos de imersão são basicamente tanques onde ocorre à entrada da água fria por uma extremidade e a saída da água quente pela extremidade contrária.

Os modelos de tanques mais completos possuem bombas de recirculação interna para otimizar a troca térmica baterias-água permitindo a adição de corrente elétrica com maior densidade e dessa forma reduzindo o tempo necessário de processamento. A EEC adquiriu recentemente alguns desses equipamentos e obteve uma expressiva redução no tempo de fabricação e aumento na produtividade do setor. Entretanto, houve também um aumento considerável na reprovação de lotes por não atendimento do padrão visual de qualidade. Tal reprovação ocorre devido ao depósito de partículas oriundas da água de refrigeração na caixa plástica da bateria durante sua permanência no banho de imersão gerando incrustações nas laterais das peças conforme pode ser observado na Figura 03.

Esse defeito não interfere no funcionamento do produto, entretanto, a bateria fica com o aspecto de “suja” e precisa ser limpa. Esse retrabalho é realizado no setor de acabamento por seis colaboradores nos três turnos e são utilizados insumos como: solvente líquido, detergente e escova de sapateiro. Além do aumento dos custos com a mão-de-obra e insumos, há também o aumento do estoque em processo e redução na eficiência da linha.

Figura 3 - Lote de baterias reprovado aguardando retrabalho



Fonte: A autora (2020)

Além do aumento dos custos com a mão-de-obra e insumos, há também o aumento do estoque em processo, pois o retrabalho das peças é bastante lento. Portanto, esse problema de qualidade está penalizando o desempenho financeiro da empresa e gerando insatisfação do cliente interno.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve por objetivo geral aplicar a metodologia PDCA visando reduzir o índice de reprovação de peças em uma indústria de acumuladores elétricos.

1.2.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar diagnóstico do nível de maturidade e dos fatores críticos de sucesso na EEC S/A através da coleta de informações e comparativo com modelos idealizados por Bessant et al (2001) e Landwójtowicz (2015).
- Levantar dados sobre o índice de reprovação e retrabalho na EEC S/A.
- Definir a equipe de trabalho e analisar o processo aonde ocorre o problema utilizando ferramentas da qualidade.
- Propor ações de correção e melhorias para resolução do problema e construir plano de ação.
- Realizar a verificação da eficácia das ações através da análise dos resultados.
- Realizar padronização das ações para garantir a perenidade da melhoria.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho foi classificado como uma pesquisa do tipo estudo de caso exploratório. O estudo de caso exploratório visa buscar mais familiaridade com o problema a partir de entrevistas com os envolvidos e revisão bibliográfica sobre o tema (YIN, 2015). Além disso, ele permite a abordagem qualitativa cuja principal preocupação é a observação do fenômeno estudado numa situação e a captação da perspectiva dos envolvidos na problemática estudada (BRYMAN, 1989).

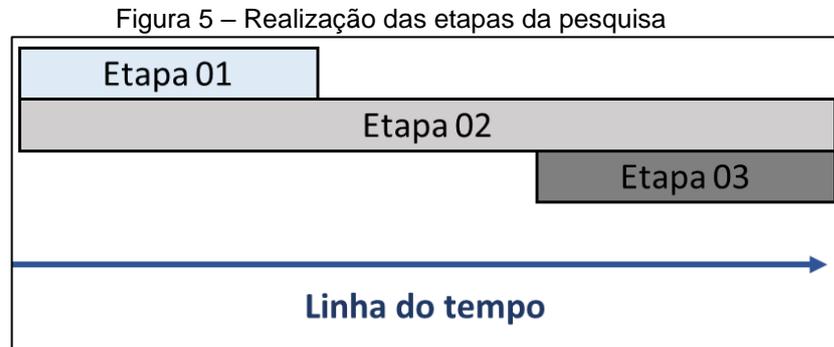
A pesquisa foi desenvolvida em 03 etapas. Na etapa 01 foi realizada a análise do nível de maturidade e dos Fatores Críticos de Sucesso através da comparação dos modelos teóricos que serão detalhados na fundamentação teórica com os dados coletados na EEC S/A. Na etapa 02, foi desenvolvido o projeto PDCA para a redução do índice de reprovação de lotes. A coleta de dados dessa etapa foi realizada através da consulta de dados históricos e relatos da equipe do projeto. Na Etapa 03, foi realizada a avaliação dos ganhos indiretos obtidos pelo projeto PDCA através da realização de entrevistas semiestruturadas com a equipe do projeto. Na Figura 04 abaixo é apresentado o detalhamento das 03 etapas da pesquisa quanto a natureza, objetivo, classificação e coleta de dados.

Figura 4 – Detalhamento das etapas da pesquisa

Etapa 01: Análise do nível de maturidade e dos Fatores Críticos de Sucesso na EEC S/A.	Etapa 02: Desenvolvimento do projeto PDCA para redução do índice de reprovação de lotes.	Etapa 03: Avaliação dos ganhos indiretos obtidos pelo projeto PDCA.
Natureza: Pesquisa Aplicada	Natureza: Pesquisa Aplicada	Natureza: Pesquisa Aplicada
Objetivo: Pesquisa exploratória	Objetivo: Pesquisa exploratória	Objetivo: Pesquisa exploratória
Classificação: Pesquisa qualitativa (Estudo de caso)	Classificação: Pesquisa qualitativa (Estudo de caso)	Classificação: Pesquisa qualitativa (Estudo de caso)
Coleta de dados: Entrevistas e observação das práticas na EEC S/A.	Coleta de dados: Consulta de dados históricos de reprovação e relatos da equipe do projeto.	Coleta de dados: Entrevistas com a equipe do projeto.

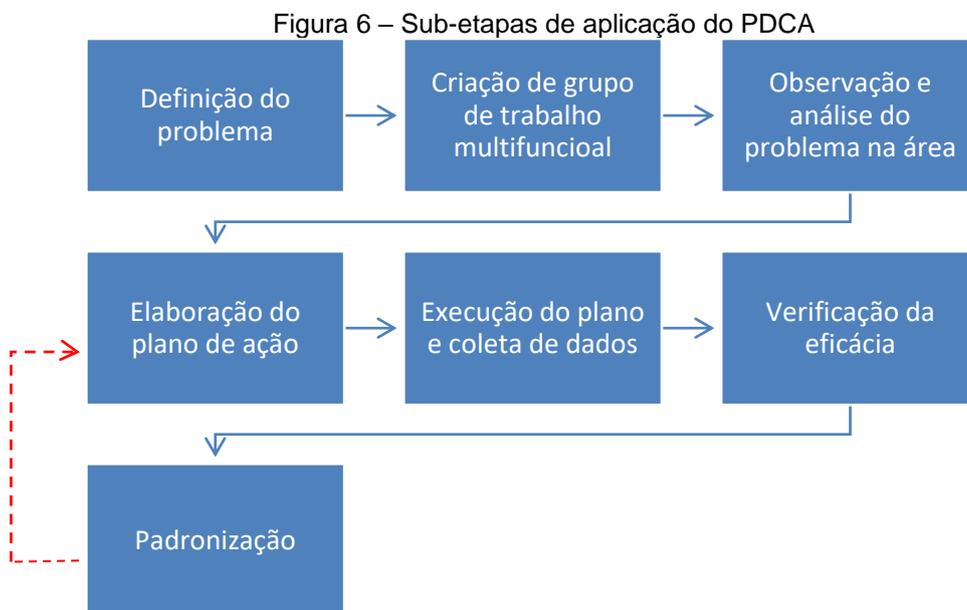
Fonte: A autora (2020)

As etapas 01 e 02 foram iniciadas simultaneamente em janeiro de 2020. A etapa 03 foi iniciada em maio de 2020. Na Figura 05 a seguir é possível verificar a temporalidade da execução das etapas da pesquisa.



Fonte: A autora (2020)

A etapa 02 foi a mais longa, isso ocorreu porque tal etapa envolvia múltiplas sub-etapas. Nesse estágio foi realizado o planejamento das ações para eliminação do problema de qualidade seguido da execução do plano de ação, verificação da eficácia e padronização. Na Figura 06 a seguir é possível observar as sub-etapas da aplicação do PDCA.



Fonte: A autora (2020)

Na definição do problema é realizado o levantamento dos dados de número de lotes reprovados e custo médio mensal com insumos para execução dos retrabalhos. Posteriormente, são sucessivamente evidenciados os critérios para definição da equipe do projeto, a análise do problema no local de ocorrência e a definição do plano de ação.

Durante a execução do plano de ação, são mapeadas dificuldades para realização das ações propostas que levaram ao atraso do cronograma inicial. Após a finalização das ações é verificada a eficácia do projeto através da análise do indicador de lotes reprovados. Com a comprovação da melhora do indicador, é feita a padronização das ações através da criação de procedimentos e treinamento da operação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente seção contém a introdução do trabalho, destacando a contextualização do problema e o objetivo do estudo.

No segundo capítulo está descrita a base conceitual sobre Melhoria contínua, Características de qualidade de baterias automotivas e Mecanismos de formação e prevenção de incrustações em sistemas de resfriamento. Além disso é disponibilizada uma Revisão da Literatura com foco em aplicações da metodologia PDCA para melhoria de resultados nas organizações.

No terceiro capítulo é apresentada uma breve retrospectiva histórica dos principais marcos evolutivos do programa de melhoria da EEC S/A. Diante dos dados observados é feita uma avaliação do nível de maturidade e dos Fatores Críticos de Sucesso.

No quarto capítulo estão apresentadas as etapas **P** (*Plan*) e **D** (*Do*) do projeto Kaizen para eliminação da incrustação das peças subdivididas nas seções: identificação do problema, observação do problema, análise do problema, elaboração do plano de ação e execução do plano de ação.

No quinto capítulo estão apresentadas as etapas **C** (*Check*) e **A** (*Act*) do projeto Kaizen e os resultados obtidos.

No sexto capítulo estão apresentadas as conclusões, limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a base conceitual que deu suporte ao desenvolvimento da pesquisa, ela é composta de três tópicos sendo respectivamente: Melhoria contínua, Características de qualidade de baterias automotivas e Mecanismos de formação e prevenção de incrustações em sistemas de resfriamento. Além disso, para demonstrar a eficácia da metodologia PDCA, é apresentada uma revisão da literatura com alguns cases de sucesso em empresas brasileiras.

2.1 MELHORIA CONTÍNUA

Melhoria Contínua é uma prática adotada por diversas empresas que visa atingir, ininterruptamente, resultados cada vez melhores. Sendo estes resultados referentes aos produtos e serviços da empresa, ou então em seus processos internos. O melhoramento contínuo (*Continuous improvement* ou IC) pode ser definido, de acordo com Bessant *et al.* (1994), como um processo de inovação incremental caracterizada por baixos custos, pequenos passos, elevada frequência e ciclos curtos de mudanças. A melhoria contínua também pode ser considerada como um processo de renovação empresarial, no âmbito do pensamento ideológico gerencial e também no nível das práticas organizacionais, que ocorre com diferente intensidade e velocidade em cada empresa (SAVOLAINEN, 1999).

Quando comparada com outras estratégias de mudança, como por exemplo a reengenharia de processos, a melhoria contínua requer um investimento financeiro muito menor. Um investimento inicial, no entanto, é necessário para que os agentes da organização aprendam a participar do sistema. Finalmente, a melhoria contínua é caracterizada por melhorias incrementais ou graduais que possibilitam a empresa formalizar os avanços mais importantes e disseminá-los em toda a organização como uma nova rotina de trabalho (LANGE-ROS; BOER, 2001).

Um dos principais objetivos das empresas ocidentais nas últimas décadas tem sido melhorar a competitividade por meio de melhorias incrementais contínuas nas áreas de qualidade do produto e eficiência de processos (CAFFYN; BESSANT, 1996). Contudo, estudos apontam que o processo de implementação da IC nas organizações deve ser conduzido de forma gradual e possui níveis de aderência (JØRGENSEN *et al.*, 2006). Para explicar essa realidade, foram propostos modelos

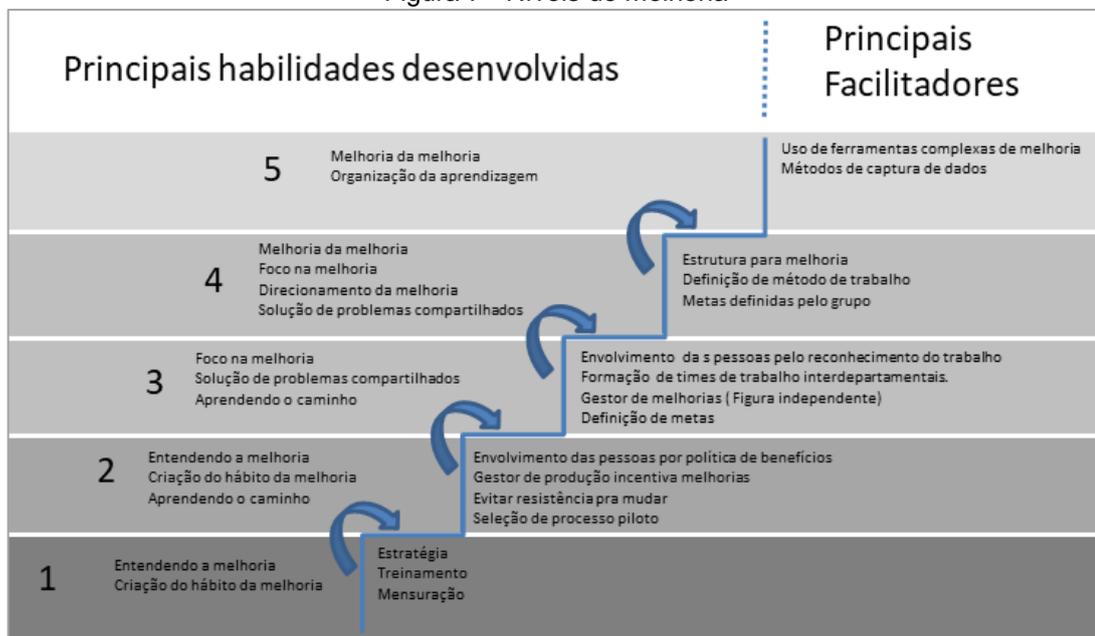
evolutivos que consistem em várias etapas de desenvolvimento. Uma das mais citadas é a formulada por Bessant et al (2001), em que cinco níveis caracterizam a evolução dos programas de melhoria contínua dentro das empresas:

- Nível 1 (Pré-melhoria contínua): Esse tipo de melhoria é caracterizado por algum interesse no conceito de melhoria contínua, mas a implementação é bastante básica. Não há rotina de gestão de resultados por indicadores nem direcionamento estratégico. O treinamento da equipe no tema melhoria é escasso. Não há foco na melhoria. A prioridade é apagar incêndios, resolver problemas e, em seguida, melhorar.
- Nível 2 (Melhoria contínua estruturada): Existe um compromisso formal para construir um sistema que possa avançar na melhoria contínua em toda a empresa. Incentivo a participação dos colaboradores por política de benefícios. Apresentação do programa de forma atrativa para evitar resistência a mudanças. O gestor de produção deve se dedicar parcialmente a treinar e disseminar a cultura da melhoria em sua equipe. Escolha das áreas piloto para início das atividades. Criação de grupos de trabalho para melhoria do processo/produto. Apresentação dos primeiros resultados obtidos para organização.
- Nível 3 (Melhoria contínua orientada a metas; melhoria focada): Existe um procedimento para interligar atividades de melhoria contínua estabelecidas em nível local, com a estratégia global mais ampla da empresa. As metas são desdobradas para cada departamento a partir do objetivo traçado no planejamento estratégico. Recomenda-se a presença de um gestor dedicado integralmente as tarefas de melhoria contínua. Tal colaborador deve se reportar apenas à gestão imediata e não a outros departamentos para eliminar a possibilidade de conflitos de interesse. Deve ter uma posição hierárquica, no mínimo, no mesmo nível dos gestores dos outros departamentos para garantir a equiparidade. Começa a surgir grupos de trabalho inter-departamentais para tratar temas estratégicos.
- Nível 4 (Melhoria contínua proativa): Grande parcela dos colaboradores da fábrica está inserida em um Grupo de Produção Autônomo (GAUP's). Geralmente esse grupos são formados por funcionários de uma mesma linha produtiva ou que executam atividades semelhantes (ex: manutenção). Podendo

assim haver vários GAUP's em um único departamento. O resultado do departamento será a soma dos resultados obtidos pelos GAUP's. Um esforço é feito para delegar autonomia e poder aos GAUP's para selecionar e gerenciar seus próprios projetos de melhoria. Esses grupos possuem funções definidas para cada integrante e uma rotina diária de reuniões para monitoramento e tratativa de indicadores. Além disso, empresas nesse nível possuem normalmente uma estrutura de apoio aos grupos de melhoria encarregada de várias funções como o direcionamento e verificação do andamento do cronograma de trabalho. Ou seja, existe investimento na estrutura e suporte ao programa. Esse setor de apoio normalmente define e implementa uma metodologia de trabalho padronizada para desenvolvimento das etapas da concepção, planejamento e implementação das melhorias.

- Nível 5 (Capacidade de melhoria contínua completa): Existem altos níveis de experimentação por parte de todos os funcionários de uma organização. A maioria dos funcionários conhecem e dominam ferramentas complexas de análise de problemas (Ex: análise estatística). A cultura e metodologias utilizada é a mesma em todas as plantas da empresa.

Figura 7 - Níveis de melhoria



Fonte: Adaptado de Garcia-Sabater e Marin-Garcia (2011)

Na Figura 07 é apresentado o resumo dos facilitadores identificados em cada etapa ao lado das principais habilidades desenvolvidas em cada uma das etapas.

Embora não sejam mostrados na figura, esses comportamentos e habilidades desenvolvidos pelas empresas em uma etapa anterior permanecem presentes à medida que o negócio continua a evoluir.

O avanço de um nível para o outro é realizada dentro de uma organização de acordo com as habilidades específicas adquiridas. Essas habilidades são organizadas na seguinte ordem: "entender a melhoria contínua", "obter o hábito de melhoria contínua", "focar a melhoria contínua", "liderar o caminho", "alinhar a melhoria contínua", "resolução compartilhada de problemas", "melhoria contínua da melhoria contínua" e "a organização de aprendizagem" (Bessant et al., 2001). A aquisição de capacidade é manifestada através de padrões de comportamento característicos (Bessant et al., 2001). O modelo evolutivo tem sido corroborado por estudos quantitativos que confirmam essa hierarquia de estágios e o crescente impacto da melhoria contínua nos indicadores de desempenho empresarial, concomitante com o avanço para etapas subsequentes (JØRGENSEN et al., 2006).

Landwójtowicz (2015) realizou uma análise do processo de implantação da IC em uma empresa produtora de dispositivos eletrônicos e concluiu que existem fatores críticos para o sucesso da implantação do programa. Ele os dividiu em 9 dimensões com seus respectivos requisitos conforme apresentado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Fatores críticos para o sucesso da iniciativa de melhoria contínua.

Dimensão	Requisito
1 Formalização do programa de MC na organização e definição da estrutura de ação.	A Melhoria contínua como elemento central do programa de gestão de resultados da empresa. Formalização de métodos e ferramentas padrão para aplicação em trabalhos focados.
2 Determinação dos princípios de continuidade e controle de seus tempos de resposta	Programa de MC deve gerenciar o avanço dos direcionadores estratégicos da empresa. Objetivos devem ser claros e prazos devem ser acompanhados.
3 A distribuição e o intervalo de atividades	Abordagem sistêmica. Metodologia dever usada em todos os níveis da organização, do gerencial ao operacional. Priorizando as metas desdobradas dos direcionadores estratégicos. Os ciclos de trabalho devem ser predefinidos e contínuos.
4 Treinamento	A organização deve ofertar treinamentos em: Métodos e ferramentas para analisar e resolver problemas ; Os princípios do trabalho em equipe; Métodos e técnicas para aperfeiçoar processos.

5	Processo de gerenciamento	Fornecer os recursos necessários (financeiro, mão-de-obra, gestão); Construir uma cultura interna de MC.
6	Coordenação do programa	Nomeação dos coordenadores internos para apoiar as atividades da IC, facilitando o acesso aos recursos e ao aconselhamento metodológico para os membros das equipes de melhoria e outros funcionários.
7	Métodos e ferramentas	A aplicação de métodos científicos e ferramentas para identificar problemas, analisar suas razões e realizar os projetos incluídos nos planos de melhoria elaborados.
8	Medição de resultados	Definição de metas mensuráveis. Monitoramento dos resultados através de indicadores.
9	Comunicação dos resultados e motivação	Aplicação de formas de comunicação selecionadas: quadros de informações, reuniões de equipe, periódicos internos, seminários, outros. Identificação e aplicação do sistema de incentivos (reconhecimento e incentivo): bônus financeiro ou outros tipos de premiação (viagens, eletrodomésticos, etc)

Fonte: Adaptado de Landwójtowicz (2015)

A melhoria contínua pode ser atingida através da aplicação de diversas técnicas. Dentre as mais conhecidas temos: TQM (*Total Productive Maintenance*), WCM (*World Class Manufacturing*), Kaizen *Lean Manufacturing*, *Lean Seis Sigma*, Ciclo PDCA, Ferramentas da Qualidade e Controle Estatístico de Processos. Muitas organizações utilizam um desses programas ou aplicam um misto de técnicas adaptados a sua realidade. A seguir segue um maior detalhamento do método Kaizen, Ciclo PDCA e das ferramentas da qualidade.

2.1.1 Kaizen

O método Kaizen é um sistema de gerenciamento corporativo que visa fornecer uma orientação metodológica para a melhoria contínua dos processos de uma organização. Esse método foi criado na década de 1950 no Japão, visando a reconstrução do país após a Segunda Guerra Mundial. O Kaizen visa maximizar a produção, melhorar constantemente o aparelho produtivo do negócio e reduzir ineficiências.

Para Masaaki Imai, considerado o pai do kaizen e autor do livro “GEMBA KAIZEN”, existem alguns “mandamentos” para a aplicação da filosofia em uma empresa:

- O desperdício deve ser eliminado, pois melhorias graduais devem ocorrer continuamente.
- Todos os colaboradores devem estar envolvidos, de gestores do topo até intermediários e pessoal de base.
- O Kaizen é baseado em uma estratégia barata; acredita-se que um aumento de produtividade pode ser obtido sem investimentos significativos.
- Este ocorre sem a necessidade de se aplicar somas astronômicas em tecnologias e consultores.
- Apoia-se no princípio de uma gestão visual, de total transparência de procedimentos, processos e valores, tornando os problemas e os desperdícios visíveis aos olhos de todos;
- A atenção deve ser dirigida ao local onde se cria realmente valor, ou seja, o chão de fábrica (isto no caso de uma indústria – no da sua empresa, priorize o ambiente de trabalho).
- Pode ser aplicado em qualquer lugar e não somente dentro da cultura japonesa.
- O Kaizen é orientado para os processos.
- O esforço de melhoria deve vir de uma nova mentalidade e de um estilo de trabalho diferente por parte das pessoas. Isso por meio da orientação pessoal para a qualidade e para valores como: espírito de equipe, sabedoria, moral e autodisciplina.
- O lema essencial da aprendizagem organizacional é: aprender fazendo.

Portanto, o Kaizen é uma estratégia de melhoramento que reflete um esforço constante para oferecer produtos melhores a preços menores. Pode-se dividir o Kaizen em duas partes, uma Técnica e outra Humana:

- Técnica: Descobrir e eliminar todas as atividades que não agregam valor ao produto, ou a eliminação total dos desperdícios.

- Humana: Total envolvimento de todos na empresa com a pré-disposição para mudanças e novos rumos em processos.

Nesta filosofia estão inclusas uma série de técnicas que envolvem a manutenção de máquinas, controle de tempos na produção, controle de qualidade de produtos, sugestões de funcionários, atendimento ao cliente entre outras atividades dependentes do homem, ou melhor, do relacionamento humano. No ambiente de uma empresa, o processo de melhoria contínua está intimamente associado ao espírito de equipe. Isso implica o envolvimento de todas as pessoas da organização no aperfeiçoamento dos processos. A participação ativa de toda a força de trabalho de uma empresa na busca pela melhoria contínua, tem sido estabelecida como uma poderosa ferramenta para alcançar vantagens competitivas (GARCIA-LORENZO; PRADO, 2003). Segundo Cole (2001) o envolvimento dos funcionários no processo de melhoria tem diversas vantagens, dentre elas:

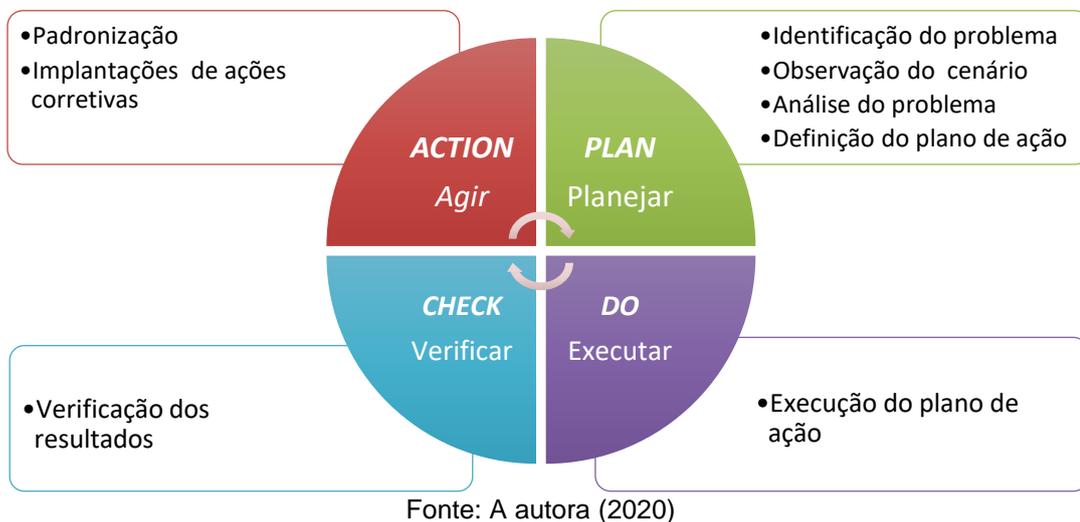
- Aumento no comprometimento e na visão de inovação do funcionário.
- Ampliação do resultado da empresa através de pequenas vitórias que ocorrem simultaneamente na organização.
- Ações de baixo custo e considerável efetividade.
- O aprendizado é incentivado na prática da atividade e os padrões criados são implantados e homologados pelo mesmo grupo de pessoas que sugeriu as mudanças.
- O conhecimento tácito adquirido por um grupo de funcionários pode ser replicado para toda a organização.

Nesse contexto, surgem os grupos de melhoria Kaizen. Esses grupos, formados por colaboradores de diferentes setores e funções, tem como objetivo tratar temas específicos ligados aos indicadores setoriais oriundos das metas estratégicas da organização. Os grupos de Kaizen costumam atuar da seguinte forma: Inicialmente realiza-se um estudo do problema proposto na área, identifica-se possíveis causas e discute-se propostas de ação, define-se prazos/responsáveis e posteriormente verifica-se a eficácia/eficiência do tratamento. Essa forma de atuação é baseada no modelo PDCA difundido por Deming que será apresentado a seguir.

2.1.2 PDCA, SDCA e Ferramentas da qualidade

O ciclo PDCA é uma metodologia simples e de fácil aplicação. Ele foi criado na década de 1920 pelo físico norte-americano Walter Andrew Shewart, que ficou muito conhecido por sua atuação na área de controle estatístico de qualidade. Porém, só na década de 1950 ele foi popularizado em todo mundo pelo, também americano, professor William Edwards Deming, conhecido por dedicar-se às melhorias dos processos produtivos dos EUA durante a segunda guerra mundial e por ter o título de guru do gerenciamento de qualidade (SARAIVA, 2012).

Figura 8 - Representação detalhada das etapas do ciclo PDCA



Na Figura 8, é possível observar uma representação detalhada dos objetivos das quatro etapas do ciclo PDCA. O ciclo PDCA, também chamado de Ciclo de Deming ou Ciclo de Shewart, é uma ferramenta de gestão que tem como objetivo promover a melhoria contínua dos processos por meio de um circuito de quatro ações: planejar (*plan*), fazer (*do*), checar (*check*) e agir (*action*). De acordo com Campos (2014) as etapas do ciclo PDCA possuem os seguintes significados:

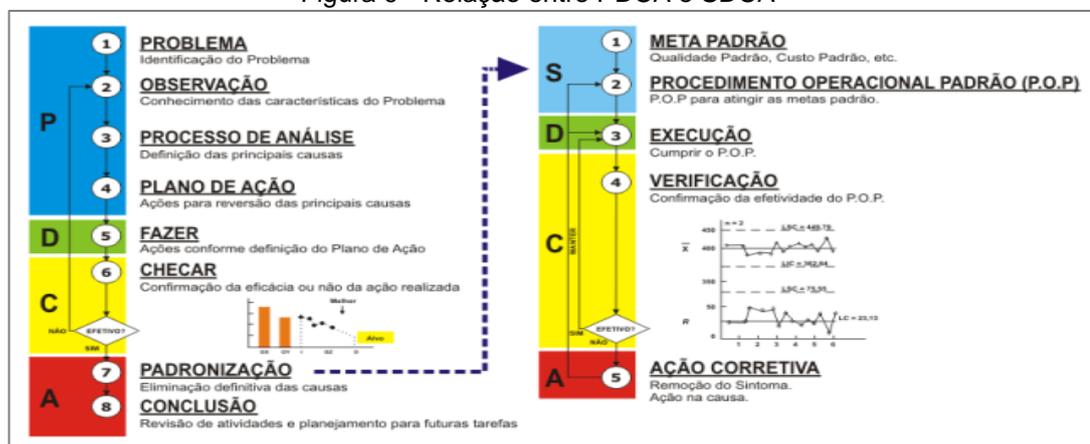
- 1ª Etapa (*Plan*): A etapa de planejamento consiste em identificar claramente o problema (levantamento de dados e observação do Gemba), definir a meta (indicador de desempenho) e encontrar meios e caminhos (plano de ação) para atingir o objetivo.
- 2ª Etapa (*Do*): Esta etapa consiste em colocar em prática o plano de ação

determinado na etapa do planejamento e coletar as informações/dados para obtenção da meta.

- 3ª Etapa (*Check*): Nesta etapa ocorre à verificação e análise dos dados e informações coletados na etapa de execução e relacionando com o alcance da meta.
- 4ª Etapa (*Action*): Nesta última etapa depende dos resultados alcançados nas três primeiras etapas. Caso a meta for alcançada devem-se criar meios de manter os bons resultados (criação de padrões de trabalho, registro de lições aprendidas, etc), caso a meta não seja alcançada o ciclo retorna novamente para a primeira etapa com intuito de atingir a meta estabelecida.

Para que os resultados do Ciclo PDCA sejam mais consistentes e as tomadas de decisões sejam adequadas, podem-se utilizar algumas ferramentas da qualidade como: Brainstorming, Matriz GUT, Diagrama de Ishikawa, 5W2H, entre outras. Cada ferramenta da qualidade tem um objetivo e uma forma diferente em auxiliar nas análises e verificações.

Figura 9 - Relação entre PDCA e SDCA



Fonte: A autora (2020)

A Figura 9 apresenta a relação entre o PDCA e o SDCA. É possível verificar que o SDCA e o PDCA representam respectivamente o gerenciamento da rotina e o gerenciamento da melhoria. Após girar o PDCA e encontrar o resultado esperado, deve-se padronizar a atividade através do SDCA para garantir a qualidade e estabilidade do processo (baixa variação).

Logo, o SDCA existe para controlar e manter o que foi melhorado pelo PDCA.

O SDCA possui quatro etapas (*Standardize, Do, Check* e *Act*), que são detalhadas a seguir:

- Etapa Padronizar (*Standardize*): Desenvolver o Procedimento Operacional Padrão (POP). O POP é um documento que contém os passos necessários para execução de uma atividade. Após desenvolvido e aprovado, deve-se treinar os envolvidos na atividade. Um procedimento padrão deve: ser simples, claro, fácil, seguro, garantir a qualidade, custo e entregas esperadas.
- Etapa Executar (*Do*): Cumprir o POP. Garantir que aquilo que foi especificado no POP está sendo seguido pela operação, através da aplicação do Diagnóstico de Trabalho Operacional (DTO). Na execução do DTO, o avaliador deve acompanhar o colaborador auditado durante alguns ciclos da atividade no local de implantação da melhoria, e assim verificar o alinhamento entre o que está previsto e o que de fato está ocorrendo no processo. Essa avaliação deve ser feita de preferência sem aviso prévio e por auditor externo ou avaliador da área de gestão de melhoria (AGM) para que assim possa apresentar um retrato fiel do cenário.
- Etapa Verificar (*Check*): Checar a efetividade do POP. Observar a aplicabilidade e efetividade do procedimento na área. Caso o procedimento esteja incompleto ou de difícil execução ele deve ser refeito.
- Etapa Agir (*Act*): Disparar ações corretivas se for observada alguma anomalia. Caso haja desvios voltar para a primeira etapa do PDCA, para achar as causas raízes e estabelecer ações. Caso contrário, continuar executando o procedimento.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE BATERIAS AUTOMOTIVAS

Durante o projeto de um produto devem ser definidas as características de qualidade que serão mensuradas e controladas na fabricação do item. Segundo Slack et al. (2009), essas características podem ser classificadas em seis dimensões: funcionalidade, aparência, confiabilidade, durabilidade, recuperação e contato. Aplicando essa classificação, seguem abaixo as características da qualidade esperadas para uma bateria automotiva:

- Funcionalidade: Capacidade energética (Garante a partida do motor a

combustível e suporta o funcionamento do rádio, computador de bordo e qualquer outro dispositivo eletrônico presente no veículo).

- Aparência: Visual da peça (Embalagem intacta, peça sem sujeira ou arranhada).
- Confiabilidade: Baixo índice de devolução de peças em garantia.
- Durabilidade: Vida útil (Expectativa de superação do período da garantia da peça).
- Recuperação: Solução de falhas de serviço (Disponibilidade de canais de atendimento e tempo para tratamento das reclamações).
- Contato: Cordialidade do vendedor e disponibilidade de pontos de venda.

A qualidade de conformação é o esforço para o pleno atendimento dessas características pelo processo de produção (PALADINI, 2010). Para tal, é necessário o estabelecimento de padrões e especificações para o produto e processo. Um produto será considerado “defeituoso” quando estiver em desacordo com alguma especificação que foi previamente estabelecida. Existem vários tipos de defeito. Por isso é comum que as organizações realizem algum tipo de classificação visando dessa forma garantir a priorização de recursos para prevenção de defeitos de maior impacto no produto. Dentre as formas de classificação utilizadas, tem-se:

- Defeitos críticos: Impedem o uso do produto. Exemplo: Falta de freio em um veículo.
- Defeitos maiores: Não inviabiliza totalmente o uso, mas prejudica o desempenho do produto. Exemplo: Consumo excessivo de combustível por um motor desregulado.
- Irregularidades: Não afetam o uso do produto, sendo geralmente defeitos de acabamento. Esse tipo de defeito costuma apresentar impacto psicológico negativo nos consumidores. Exemplo: Veículo novo com a lataria arranhada.

As empresas devem realizar esforços para impedir a chegada de produtos defeituosos no cliente interno ou externo. O cliente interno pode ser a etapa seguinte de processamento, o setor de distribuição, o vendedor, ou seja, envolve o conjunto de pessoas que trabalha na organização. Produtos defeituosos enviados para

clientes internos podem gerar sucateamento de peças ou retrabalho além prejudicar o clima no ambiente de trabalho. O cliente externo é aquele que consome o produto final. Defeitos enviados a esse tipo de cliente podem prejudicar a fidelização e reduzir as vendas.

2.3 MECANISMOS DE FORMAÇÃO E PREVENÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Diante da reprovação de lotes de baterias por defeito no visual das peças após o processo de ativação nos banhos devido a incrustações nas caixas, foi necessário buscar na literatura um maior entendimento desse fenômeno. Após a consulta bibliográfica, foram identificados os mecanismos de formação e prevenção de incrustações apresentados nos sub-tópicos abaixo.

2.3.1 Mecanismo de formação das incrustações

A grande maioria das águas naturais contém quantidades significativas de impurezas dissolvidas que estão presentes na forma de íons. A combinação de alguns desses íons resulta em compostos que possuem baixa solubilidade na água. A cristalização e a formação de uma incrustação requerem a ocorrência de três fatores simultâneos: supersaturação, nucleação e tempo de contato (RIBEIRO, 2013).

A solubilidade é um parâmetro que mede o quanto uma substância pode permanecer em uma solução sem precipitação, determinando a quantidade máxima que um soluto pode ser dissolvido em um solvente sob certas condições físico-químicas (pressão, temperatura, pH, etc.), podendo mudar de acordo com a variação destas condições. Diferentes compostos possuem diferentes solubilidades. Quanto maior a solubilidade de um produto, maior quantidade deste pode ser dissolvida em uma solução sem haver precipitação. Na Tabela 2 é possível visualizar a solubilidade em água a 20°C do carbonato de cálcio, sulfato de bário e sulfato de cálcio que são alguns dos sais mais comuns em incrustações.

Tabela 2 - Solubilidade de alguns sais comuns em incrustações

Sal	Solubilidade (mg/L)
Sulfato de bário (BaSO ₄)	2,3
Carbonato de cálcio(CaCO ₃)	14
Sulfato de Cálcio (CaSO ₄)	2000

Fonte: Adaptado Menger (2015)

O Índice de Saturação (IS) de um composto em uma solução aquosa é a medida da diferença da quantidade do sal dissolvido na mesma e aquela que estaria presente no equilíbrio. Para que uma solução supersaturada retorne ao estado de equilíbrio parte do sal deve precipitar. O Índice de Saturação (IS) é uma medida termodinâmica da força determinante da precipitação. O IS pode ser calculado a partir da equação 01 apresentada a seguir:

$$IS = \log_{10} \frac{(a_i^{v+})(a_j^{v-})}{Kps_{ij}} = \log_{10} \frac{([m_i]^{v+}[m_j]^{v-})(y_i^{v+}y_j^{v-})}{Kps_{ij}} \quad (1)$$

Onde,

a_i = *atividade química do cátion i;*

a_j = *atividade química do ânion j;*

y_i = *coeficiente de atividade química do cátion i;*

y_j = *coeficiente de atividade química do ânion j;*

m_i = *molaridade do cátion i;*

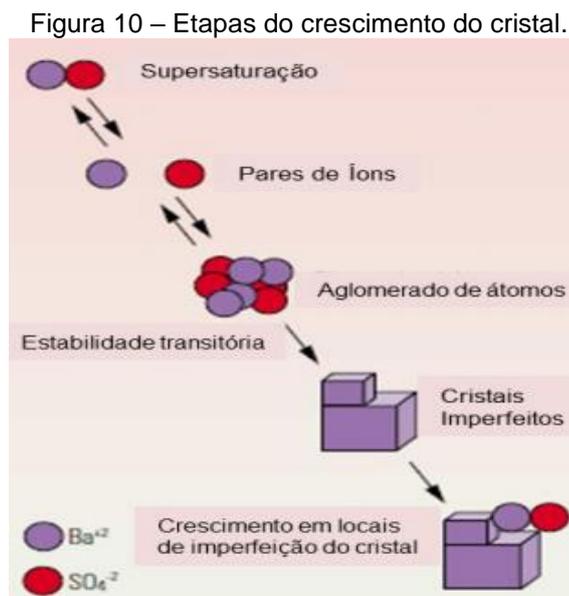
m_j = *molaridade do ânion j;*

Kps_{ij} = *produto de solubilidade do composto ij.*

A etapa seguinte à supersaturação é a nucleação. Em soluções homogêneas, a nucleação ocorre a partir do encontro de íons eletricamente carregados que são atraídos pela carga oposta e formam aglomerados. Esse grupo de íons é chamado de íons aglomerados e continuamente eles se formam e depois se quebram.

Caso estes aglomerados se tornem suficientemente grandes, então eles se tornam estáveis e, ao invés de se quebrarem, eles continuam a crescer e se tornam o que é chamado de cristais.

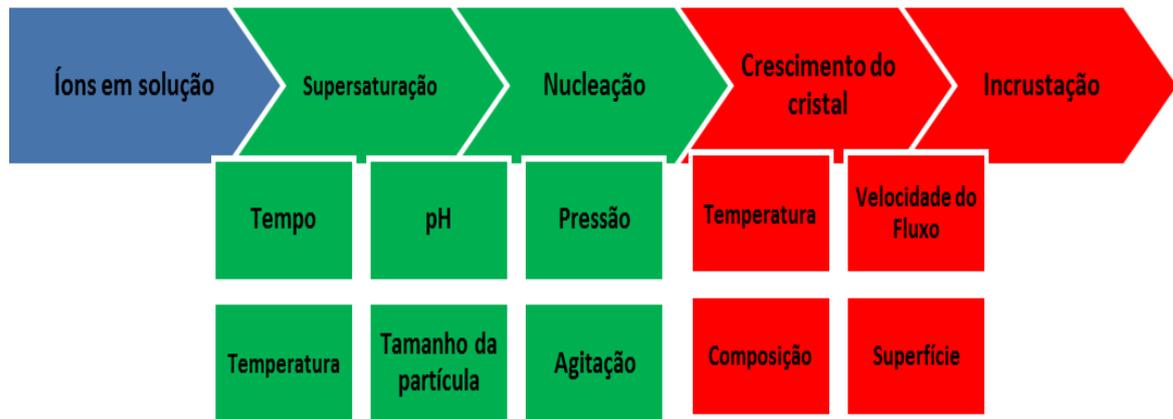
A formação de cristais a partir dos aglomerados é conhecida como o processo de nucleação. A partir da formação dos núcleos a solução ainda se encontra supersaturada, ocorrendo associação de espécies em solução com o núcleo (tamanho crítico), iniciando o processo de crescimento do cristal conforme pode ser visto na Figura 10.



Fonte: Castro (2015)

A adesão dos cristais em uma determinada superfície levando a formação de incrustações superficiais é influenciada pela hidrodinâmica (regime de escoamento constante ou turbulento), morfologia e tamanho dos cristais formados, características físicas das superfícies e propriedades mecânicas da incrustação. Ambientes com imperfeições na superfície de materiais sólidos, rugosidades, incrustações já existentes, orifícios em revestimentos de produção e até mesmo em conexões e junções de tubulações aceleram a adesão, pois facilitam a formação de uma superfície aderente inicial, favorecendo a formação de cristais.

Figura 11 - Etapas da formação de incrustação e parâmetros de influência.



Fonte: A autora (2020)

Portanto, a formação de incrustação é um processo complexo com diversas etapas que pode ser influenciado por variáveis químicas (concentração, solubilidade, tipo de sal) e físicas (temperatura, regime de escoamento, agitação, tempo de contato). A Figura 11 apresenta uma ilustração das etapas do processo de formação das incrustações, assim como os parâmetros que devem ser considerados.

2.3.2 Prevenção de incrustação em sistemas de resfriamento

A água é largamente utilizada em processos como agente de resfriamento. Além de sua abundância em nosso planeta e seu baixo custo em relação a outros líquidos refrigerantes, a água apresenta um calor específico relativamente elevado, tornando-a própria para as operações de resfriamento. Segundo Mancuso (2001), o resfriamento da água e o seu reaproveitamento podem ocorrer a partir de sistemas não evaporativos (sistemas fechados com recirculação de água) ou sistemas evaporativos (sistemas em circuitos semiabertos com recirculação de água). Nos sistemas em circuitos semiabertos, a água geralmente passa por uma rede de trocadores de calor, e em seguida é enviada para uma torre de resfriamento. As torres de resfriamento são normalmente aplicadas na geração de fluido de resfriamento para refinarias de petróleo, estações de energia, siderúrgicas e indústrias de processamento químico. Neste equipamento, a transferência de calor e massa entre a água e o fluxo de ar atmosférico proporciona a redução de temperatura da água, a qual retorna para absorver o calor de um novo ciclo de processo (CORTINOVIS, 2015).

Figura 12 - Tubulação de petróleo incrustada com carbonato de cálcio



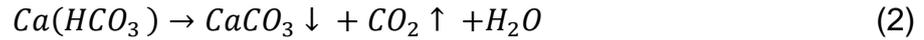
Fonte: Castro (2015)

Quando há algum desequilíbrio no sistema pode ocorrer formação de depósitos ou incrustações nas tubulações e superfícies dos equipamentos. Os depósitos são acúmulos de materiais sobre determinada superfície que podem ser removidos manualmente com facilidade. Normalmente aparecem em locais com baixa velocidade de circulação de água ou nas extremidades inferiores dos equipamentos. Geralmente, materiais orgânicos resultantes do desenvolvimento microbológico e material em suspensão formam depósitos nas superfícies. Já as incrustações caracterizam-se por um acúmulo de material fortemente aderido sobre uma superfície, necessitando de esforços consideráveis para sua remoção (limpezas mecânicas ou químicas). Normalmente, as incrustações são formadas por precipitação de sais e/ou óxidos na forma cristalina, o que geram incrustações altamente coesas e aderidas conforme pode ser observado na Figura 12.

Segundo Silva (2015) as incrustações inorgânicas mais comuns em sistemas de resfriamento são formadas pelos seguintes compostos:

Carbonato de cálcio

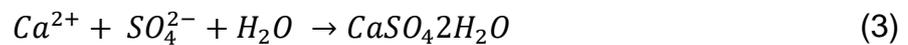
Algumas águas naturais contêm elevada concentração de bicarbonato de cálcio. Quando a água, contendo bicarbonato é aquecida, ocorre a precipitação de carbonato de cálcio conforme a equação 2.



Para reduzir a possibilidade de precipitação, o pH da água deve ser mantido num valor baixo. Esse tipo de precipitado tem aparência embranquecida e elevada dureza.

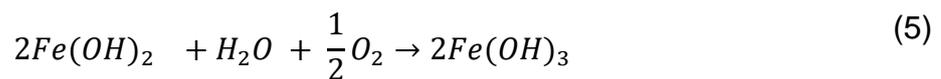
Sulfato de Cálcio

A solubilidade do sulfato de cálcio aumenta até 43°C, mas decresce rapidamente em temperaturas mais altas formando precipitados.



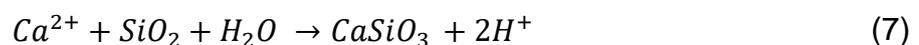
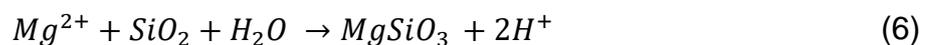
Hidróxido de ferro

Os hidróxidos de ferro formados a partir de íons de ferro oriundos da água bruta ou por corrosão de componentes do sistema. A precipitação desses hidróxidos ocorre geralmente com o pH acima de 7.



Sílica

A sílica solúvel é oriunda da dissolução de parte da própria areia e rochas com as quais a água mantém contato. A sílica pode reagir com magnésio ou cálcio para formar depósitos insolúveis.



Segundo Affonso (2017), existem três formas de prevenir e combater o surgimento de depósitos e incrustações em sistemas de resfriamento: pré-

tratamento da água de abastecimento e make-up, controle do ciclo de concentração da água da torre através de controle dos parâmetros operacionais do sistema e tratamento químico com inibidores de incrustação. A escolha de qual método deve ser usado ou a combinação de métodos geralmente é dada pelo custo econômico da operação associado a cada um deles.

2.3.2.1 Pré-tratamento da água de abastecimento e make-up

Quanto menor for a quantidade de sais circulando no sistema de resfriamento menor será a probabilidade de saturação e formação de cristais. Por isso o pré-tratamento da água de abastecimento e água de reposição (make-up) para retirada dos compostos oriundos da água bruta é importante.

A escolha do tratamento normalmente é feita analisando as características físico-químicas da água bruta recebida, especificação a ser alcançada, vazão desejada e valor do investimento para aquisição e operação dos equipamentos.

A Tabela 03 a seguir apresenta as concentrações químicas ideais indicadas para a água de alimentação ou *make-up*:

Tabela 3 - Valores de referência de qualidade do make-up

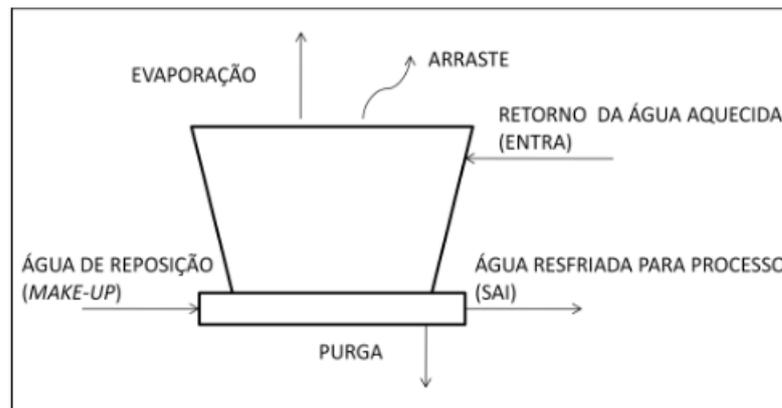
Parâmetro	Limite
Cloretos (mg/L)	500,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500,0
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	100,0
Dureza (mg/L)	650,0
Alcalinidade (mg/L)	350,0
pH	6,9 - 9,0
Turbidez (NTU)	50,0
Fosfato (mg/L)	4,0
Sílica (mg/L)	50,0
Alumínio (mg/L)	1,0
Ferro (mg/L)	0,5
Manganês (mg/L)	0,5
Cálcio (mg/L)	50,0
Magnésio (mg/L)	0,5
Sulfato (mg/L)	200,0

Fonte: Carvalho e Machado (2010).

2.3.2.2 Controle do ciclo de concentração da água da torre

Nas torres de resfriamento, parte da água é evaporada em função do diferencial de temperatura, umidade do ar, temperatura do bulbo úmido, entre outros. Além disso, ocorre também perda de água por arraste de gotículas e potenciais vazamentos no sistema e conseqüentemente há um aumento na concentração de sais dissolvidos na água. Na Figura 13, é possível observar uma imagem ilustrativa do balanço de água de uma torre de resfriamento.

Figura 13 - Ilustração do balanço hídrico de uma torre de resfriamento



Fonte: Adaptado REVISTA MEIO FILTRANTE (2003)

Segundo Mancuso (2001), o ciclo de concentração (CC) é usualmente determinado pela comparação da concentração de alguns íons muito solúveis, tais como cloreto ou magnésio, na água de reposição (make-up) com a concentração na água de circulação (AC).

$$CC = \frac{[Cl^-]_{AC}}{[Cl^-]_{make-up}} \text{ ou } \frac{[Mg^{++}]_{AC}}{[Mg^{++}]_{make-up}} \quad (8)$$

Segundo Buecker (1997), as equações 9 e 10 podem ser usadas para mensurar o balanço de água em sistemas de resfriamento abertos com recirculação. Considerando, para efeito ilustrativo, que as perdas por vazamento são insignificantes, temos:

$$P + A = \frac{E}{CC - 1} \quad (9)$$

$$Make - up = E + A + P \quad (10)$$

Onde,

E = Perda por evaporação;

A = Perdas por arraste ou respingo;

P = Purgas

Segundo Perry (1997), as perdas por evaporação e por arraste em sistema de resfriamento aberto por recirculação forçada podem ser calculados pelas equações 11 e 12:

$$E = \frac{Q \cdot \Delta T(^{\circ}C)}{560} \quad (11)$$

$$A = 0,02 \cdot Q \quad (12)$$

Onde,

Q = Vazão de água (m³/h);

Para realizar o controle do CC é recomendada a realização de descarte parcial da água da bacia da torre (purgas) e reposição de água no sistema (make-up). Caso a purga realizada no sistema seja insuficiente, ocorrerá um aumento no ciclo de concentração e maior risco de formação de incrustações e depósitos. Por outro lado, se a vazão de purga for excessiva reduzirá o ciclo de concentração, contudo levará ao maior consumo de água e produtos químicos.

2.3.2.3 Tratamento químico com inibidores de incrustação

Com o objetivo de evitar a formação de incrustações e as perdas financeiras relacionadas, as indústrias químicas vêm desenvolvendo substâncias que possam atuar inibindo os principais mecanismos da precipitação. Essas substâncias ou compostos são chamados inibidores de incrustação. Os inibidores podem pertencer a diversas classes químicas (fosfonatos, policarboxilatos, poliácridatos, sulfonatos, ácidos correspondentes, entre outros) e possuir diferentes mecanismos de atuação, podendo atuar por quelatação formando um composto solúvel, na nucleação ou

inibindo o sítio ativo do cristal ocasionando um crescimento irregular e, conseqüentemente, menor aderência da incrustação na superfície.

Segundo Aray (2010), alguns fatores devem ser considerados na seleção do inibidor ideal para cada cenário, tais como: (a) tipo de incrustação - sabendo a composição da incrustação, é possível escolher o melhor inibidor químico; (b) potencial da incrustação - alguns produtos são efetivos a altas taxas de incrustação; (c) custo - algumas vezes o produto mais barato possui a melhor relação custo benefício; (d) estabilidade térmica – resistência a altas temperaturas.

2.4 REVISÃO DA LITERATURA

A competitividade é a base do sucesso ou do fracasso de um negócio onde há livre concorrência. Empresas com alto grau de competitividade prosperam e destacam-se de seus concorrentes. Para tal, as empresas devem buscar continuamente a otimização de recursos e a redução de desperdícios (QUINQUIOLO, 2002).

Filho e Gasparotto (2019) apontam a utilização do ciclo PDCA no ambiente organizacional como um caminho para melhorar os resultados e alavancar o desempenho das empresas. Nessa mesma linha, Coltro (1996) afirma que o uso do método PDCA pelas empresas se dá pela eficiência em gerir os processos internos, de maneira a assegurar a aquisição das metas colocadas, utilizando os dados como fonte de direção das decisões. Para Furukita (2017) é possível melhorar a produtividade de uma empresa através da execução das 04 etapas do método PDCA que são respectivamente Planejamento (Plan), Execução (Do), Verificação (Check) e Atuação (Act). O uso associado da técnica do PDCA e das ferramentas da qualidade é apontado por Leonel (2008) como uma forma eficaz de gerenciamento de processos industriais para melhoria e manutenção dos resultados. Dentre as ferramentas destacadas pelo autor estão o gráfico de pareto, o diagrama de Ishikawa, Brainstorming, Folha de verificação e 5W2H.

No cenário nacional, empresas de diversos segmentos vêm utilizando o ciclo PDCA como forma de aumentar a produtividade, reduzir custos, reduzir desperdícios, reduzir estoques intermediários e otimizar fluxos internos (MARTINS, 2004). A seguir são apresentados alguns exemplos dessas aplicações.

Maia e Neto (2016) utilizaram a metodologia do ciclo PDCA para reduzir as perdas por qualidade em uma indústria de embalagens. Para tal, inicialmente realizaram a análise do problema pela estratificação dos modos de falha das rejeições ocorridas durante o processamento. O gráfico de pareto gerado a partir desse levantamento apontou como principal defeito a impressão borrada e com falha das embalagens (59,5%). A fim de identificar as causas dos problemas elencados, os autores realizaram o brainstorming com a equipe operacional. A partir dos dados coletados foi elaborado um diagrama de Ishikawa classificando as causas por fonte geradora (Método, Mão-de-obra, Material e Manutenção). O resultado do trabalho foi a construção de um plano de ação para eliminar as fontes do problema utilizando o formato 5W2H.

Outro exemplo de aplicação do método PDCA é o trabalho desenvolvido por Neto e Paes (2020) voltado para a redução do tempo de fluxo interno de carregamento de caminhões em uma indústria de bebidas. Para tal, foi realizada inicialmente uma estratificação dos tempos em cada etapa do presente fluxo logístico. A partir dos dados mensurados foi possível identificar a etapa gargalo. Em seguida foi realizado um Brainstorming com a equipe e as causas identificadas foram aplicadas no Diagrama de Ishikawa. A próxima etapa foi a construção de um Plano de ação no modelo 5W2H. Dentre as ações implantadas a partir do plano estão o aumento do número de locais de carregamento, redimensionamento da equipe de carregamento e implantação de procedimento padronizado de checagem dos veículos. Após a implantação das ações, foi obtida uma redução média de 20% no tempo do fluxo de carregamento na referida empresa. Dessa forma, aumentando a produtividade da operação.

Aumentar a disponibilidade dos equipamentos através da redução da quantidade e tempo médio de paradas para manutenção também é uma forma de melhorar a produtividade de uma empresa. Nesse sentido, Rodrigues et al (2017) realizaram um estudo de caso em uma empresa de mineração utilizando a metodologia PDCA com o objetivo de aumentar a disponibilidade das correias transportadoras de minério denominadas Shuts. Segundo os autores, qualquer dano sofrido no Shut ocasiona paradas na operação o que leva a perdas de horas de produção, geração de resíduos e uma maior exposição dos empregados a riscos de acidentes. Para a análise das falhas foram estratificados os dados históricos referentes à realização de inspeções corretivas e inspeções preditivas. Além disso,

foram realizadas visitas in loco no qual foram observados vários defeitos nos Shuts. Para organizar os dados coletados foram usados o Diagrama de Ishikawa e análise dos 5 Porquês. A partir das análises realizadas, concluiu-se que as falhas relacionadas aos Shuts ocorriam principalmente em pontos onde existiam atritos contínuo do material que ocasionavam trincas e condições de desgaste. Para eliminar o problema foi elaborado um plano de ação para aplicação de revestimento protetor nos Shuts. As correias que apresentavam a maior taxa de quebra foram inicialmente priorizadas e em seguida as demais. Para garantir a manutenção da melhoria, a inspeção do revestimento das correias foi inserida como item de verificação no sistema de manutenção preventiva da empresa. Após a conclusão das ações foi observada uma redução expressiva no número de quebra desses equipamento (cerca de 80% de redução).

O desperdício elevado de itens durante o processamento onera o custo das empresas e reduz sua competitividade. Nesse contexto, Moser et al (2012) realizaram um trabalho em uma indústria de alimentos do ramo frigorífico utilizando a metodologia PDCA para reduzir as perdas de sangue após o abate. Em frigoríficos de grande porte o sangue bovino é utilizado para a produção de farinha de sangue, que serve como matéria-prima para ração animal. Esse sangue, quando não aproveitado pelo frigorífico, apresenta-se como material de elevado índice poluente. Portanto, tem-se o interesse e a necessidade de sua exploração econômica. O rendimento da farinha de sangue é calculado dividindo a quantidade de animais abatidos no mês pela quantidade de farinha de sangue produzida no mesmo mês. Durante a investigação e estratificação dos dados foi observado um elevado nível de variação entre os resultados dos 4 meses anteriores a pesquisa. Para identificar as fontes dessa variação foi realizado um brainstorming com os supervisores de todas as áreas, o controle de qualidade, o gerente da manutenção e o gerente industrial. Dentre as causas mapeadas estavam a perda de sangue devido ao material está caindo na calha de vomito durante o abate e dificuldade de escoamento do sangue na calha coletora devido a presença de objetos estranhos atrasando o cozimento. Para organizar as causas foi utilizado o Diagrama de causa e efeito (Ishikawa) e em seguida foi montado um plano de ação conforme modelo 5W1H. Segundo os autores, a empresa teve um aumento de produção de 5.343 kg de farinha de sangue no mês de aplicação da metodologia do ciclo PDCA em comparação a média de produção de farinha de sangue nos quatro meses anteriores. Sendo R\$0,60 o preço

de venda do Kg da farinha de sangue, a empresa obteve um aumento do faturamento de R\$3.205,00 com a maior quantidade de produto para a venda. Portanto, o ciclo PDCA mostrou-se uma ferramenta muito útil e eficaz para se aplicar-se no ambiente de produção, trazendo melhorias e lucro para a empresa.

As pessoas são um dos fatores chaves na busca das organizações por melhores resultados. Para Garcia et al (2012), os índices de acidentes de trabalho tem influência direta na eficiência de produção devido a necessidade eventual de reposição ou realocação de pessoas por conta destes acidentes gerando custos adicionais para empresa. Outro fator mencionado é o desgaste motivacional presente em um ambiente com elevados índices de acidentes. Diante do exposto, os autores realizaram um estudo de caso em uma indústria têxtil utilizando a metodologia PDCA com o objetivo de reduzir a ocorrência de acidentes de trabalho. A primeira etapa realizada foi a análise do histórico de acidentes e estratificação dos dados do ano anterior ao estudo utilizando gráficos de Pareto. A partir dessa análise foi identificada elevada ocorrência de acidentes de trabalho com afastamento, nas funções de mecânico e preparador de banhos, atingindo olhos e pernas, tendo como causa o fator comportamental. Em seguida foi elaborado o plano de ação no formato 5W1H com as seguintes medidas: reestruturação do Diálogo de Segurança nos setores produtivos e área de manutenção adequando a particularidade de cada área, reestruturação da sistemática de tratamento e registro de quase acidentes (RQA), Implantação da Reunião Gerencial para apresentar e debater os resultados do RQA e acidentes das respectivas áreas, discutindo as ações preventivas e corretivas mensalmente e aplicação de palestra para gestores sobre responsabilidade civil e criminal em casos de acidentes. Segundo os autores, após aplicação do plano, foi observada uma redução do índice de acidentes nessas áreas em 43%. Dessa forma, o resultado obtivo demonstra a viabilidade do uso da metodologia PDCA como suporte na gestão de temas nas áreas de saúde e segurança ocupacional.

Para atingir suas metas e objetivos uma organização deve buscar a melhoria contínua de todos os seus processos. Historicamente, a indústria automotiva é referência em criação e aplicação de modelos de gestão de produção (SHINGO, 2008). Dentre eles, o Sistema Toyota de Produção busca a melhoria do desempenho organizacional através da eliminação de 7 tipos de perdas (superprodução, espera, reprocessamento, movimentação, transporte, estoque e

defeito). Nesse contexto, Barboza (2019) utilizou a metodologia PDCA em um estudo de caso em uma indústria automotiva pesada, especificamente na divisão de peças de reposição, com o objetivo de reduzir o custo com o estoque de peças de baixo giro. O estoque excessivo (Surplus) onera a armazenagem dos produtos impactando em custos adicionais de manutenção do armazém, assim como, ocupa o espaço disponível para estocagem de produtos de alto giro e com expressivo retorno financeiro para a companhia. Na tratativa do problema em questão, inicialmente o autor realizou uma análise do cenário através do levantamento do giro do estoque considerando o histórico de vendas à rede de concessionários dentro do período compreendido entre 01/01/2014 e 31/12/2017. Através da análise dos dados foram mapeados 7.886 códigos de peças, sendo que, cada um destes códigos possuía ao menos 01 peça em estoque na empresa estudada. Para tentar identificar as causas do problema foi realizada uma reunião de brainstorming com a equipe operacional. Dentre as causas do problema, foi mapeada a falha no dimensionamento dos estoques, pois não era mensurado a partir de dados históricos. Também foi vista a oportunidade de devolução de alguns itens sem giro aos fornecedores para assim reduzir o custo. Dessa forma, foi construído um plano de ação para elaboração de uma curva ABC de controle estoque das peças de reposição e negociação junto aos fornecedores da devolução das peças sem giro. O autor aponta que ao final do projeto houve uma redução de 6,64% na quantidade de códigos e 14,15% na quantidade de peças (unidades) presentes no estoque da empresa. Além disso, houve um retorno financeiro de R\$ 771.985,44 com a devolução das peças sem giro aos fornecedores.

2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

O visual da bateria é uma característica de qualidade que não afeta o funcionamento do produto, mas pode causar impacto negativo na percepção do cliente reduzindo o valor do bem de consumo. O problema de bateria “suja” na EEC S/A obriga o retrabalho interno das peças antes de envio para o cliente final gerando custos elevados para fábrica. A solução do problema pode ser alcançada através da aplicação do conceito de melhoria contínua e da atuação de um grupo de melhoria Kaizen. Esse grupo deverá realizar a análise profunda das causas do problema de incrustação nas peças durante o processo de ativação utilizando os conceitos

teóricos apresentados nesse capítulo e propor ações para resolução do problema. O PDCA será a metodologia de trabalho adotada e além dela, para aprofundamento das análises, serão aplicadas outras ferramentas da qualidade.

Diante dos cases de sucesso apresentados na Revisão de Literatura, é possível afirmar que o uso da metodologia PDCA é um caminho para as empresas que buscam melhorar seus resultados se tornando assim continuamente competitivas.

No capítulo 3 será apresentado um detalhamento histórico da evolução da melhoria contínua na EEC S/A e em seguida será feita uma avaliação da aderência e maturidade do programa utilizando respectivamente os modelos propostos por Bessant et al (2001) e Landwójtowicz (2015).

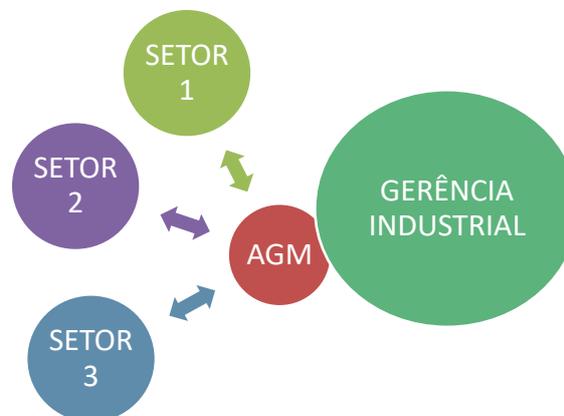
3 HISTÓRICO E AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA MELHORIA CONTÍNUA NA EEC S/A

A iniciativa de melhoria contínua na EEC S/A vem sendo aperfeiçoada ao longo dos anos de sua trajetória. Na última década a empresa passou por mudanças estruturais que fortaleceram e potencializaram o sucesso do programa. Neste capítulo será feita uma breve retrospectiva histórica dos principais marcos e uma avaliação da atual aderência e maturidade do programa.

3.1 HISTÓRICO DA MELHORIA CONTÍNUA NA EEC S/A

A EEC S/A modificou sua estrutura organizacional em 2012 com a criação de uma área autônoma de gestão da melhoria (AGM) ligada diretamente ao gerente industrial. O coordenador de melhoria foi responsável pelo desdobramento das metas estratégicas até o nível operacional. Conforme representado na Figura 14.

Figura 14 - Estrutura de atuação da área de gestão de melhoria



Fonte: A autora (2020)

Foram criados indicadores de monitoramento de desempenho nas 5 dimensões da Qualidade (Segurança, Clima, Custos, Entregas e Qualidade). Desde então esses indicadores são monitorados pela AGM e apresentados ao gerente da planta mensalmente em reuniões de apresentação de resultados (RAR). Caso algum indicador esteja fora da meta deve ser apresentada pelo responsável uma análise das causas e quais serão as ações corretivas. Ao final de cada ano é realizada a avaliação do fechamento das metas do período e definidas as metas do novo ciclo. Em 2014 o percentual de atingimento das metas individuais passou a ser

considerado no cálculo do bônus da participação dos lucros dos coordenadores de setor. Nesse mesmo período as promoções passaram a ser concedidas a aqueles com melhores resultados em seus indicadores.

Outro grande marco ocorreu em 2015 quando o conceito de projeto kaizen foi introduzido à planta. O kaizen é um conjunto de técnicas de análise reunidas com o objetivo de analisar um problema mais claramente para assim conseguir eliminar suas causas. Foram definidos três níveis de kaizen: kaizen básico, kaizen técnico e kaizen especialista. O kaizen básico é usado em problemas de baixa complexidade onde é possível visualizar claramente a fonte e sugerir a ação corretiva. Esse tipo de kaizen é o mais usado pelos operadores de linha. O kaizen técnico é usado para tratar problemas de média complexidade onde a fonte do problema não está clara e precisa ser investigada. Nesse tipo de kaizen são utilizadas ferramentas de análise como PDCA, 5G e 5W2H. Esse tipo de kaizen é geralmente utilizado pelos coordenadores e líderes de equipe para tratativa de indicadores. O kaizen especialista é usado para tratar problemas com alta complexidade ou que necessitem de mudanças profundas em seu processo. Envolve geralmente análises estatísticas e ou mudanças no FMEA. Esse tipo de kaizen geralmente é feito por engenheiros de processo e de produto. A equipe da AGM padronizou os formulários para os três tipos de melhoria e treinou todos os funcionários da planta para identificar oportunidades de melhoria. Todos os projetos identificados passaram a ser cadastrados em uma matriz com o responsável e ganho esperado.

O sucesso do processo de melhoria, segundo Souza, Melo e Medeiros (2020), depende do envolvimento das pessoas, da disciplina na aplicação da ferramenta utilizada, da disponibilidade de recursos e de uma boa priorização dos temas estratégicos para empresa.

Para incentivar a abertura de projetos foram realizadas semanas kaizens de identificação de perdas e criado um ranking de setores com maior *saving* de projetos a partir dos dados da matriz. Padronizou-se que cada liderança deve desenvolver ao menos 03 projetos ao ano. Posteriormente os projetos destaque passaram a ser selecionados anualmente para serem apresentados em um seminário para a diretoria. Os projetos selecionados recebem uma premiação em dinheiro proporcional ao ganho gerado para empresa. Com o aumento exponencial da demanda de melhorias foi necessário estruturar uma oficina kaizen com 2 mecânicos e 01 eletricista para viabilizar pequenas melhorias. Além disso, na dotação

orçamentária anual, passou a ser reservada uma verba para projetos de melhoria levantados pelas plantas que tivessem ganho comprovado mas que precisavam de maiores investimentos. Diante do exposto, é possível perceber que a EEC S/A vem investindo no melhoramento de seus processos e desenvolvimento da sua equipe ao longo dos anos.

3.2 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE ADERÊNCIA A MELHORIA NA EEC S/A

Para avaliar o nível de aderência a melhoria contínua na EEC S/A é necessário entender como é a estrutura funcional e como ocorre o desdobramento das metas. As plantas industriais da EEC S/A são divididas em setores. Cada setor possui um coordenador. Nos setores, todos os colaboradores trabalham em Grupos de Produção Autônomo (GAUPs) definidos por atividade/turno. Cada GAUP possui um líder (Geralmente o líder de equipe ou supervisor). Tomando como exemplo ilustrativo um setor de acabamento com 3 linhas rodando em três turnos (manhã/tarde/noite) teremos, portanto, 9 GAUPs de produção. Já a equipe de manutenção que atende o setor nos três turnos formará um GAUP de apoio liderado pelo supervisor de manutenção. Essa estrutura de trabalho está ilustrada na Figura 15 abaixo.

Figura 15 - Estrutura do setor de acabamento por GAUPs

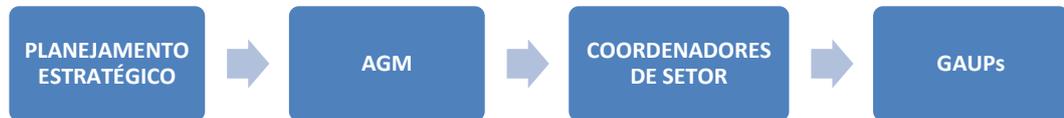


Fonte: A autora (2020)

Anualmente, o coordenador de setor recebe as metas desdobradas do planejamento estratégico pela AGM e em seguida desdobra para os GAUPs

conforme Figura 16.

Figura 16 - Desdobramento de metas na EEC S/A

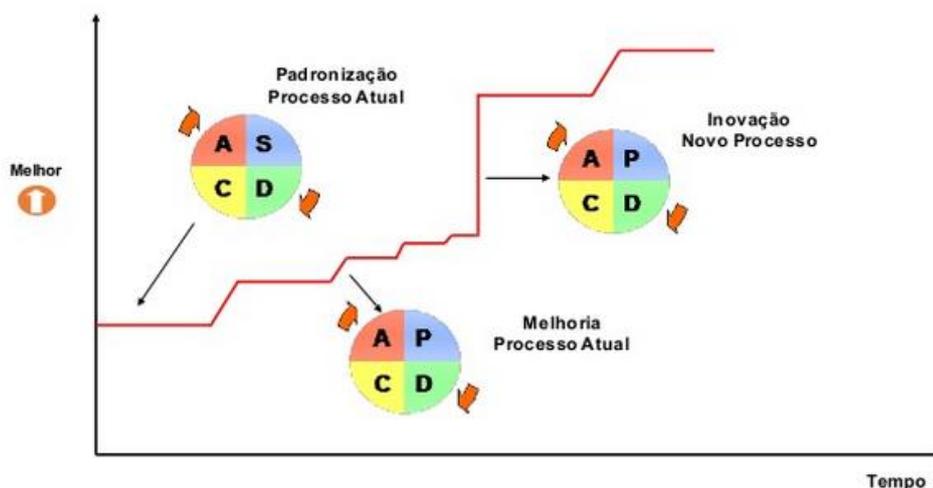


Fonte: A autora (2020)

O resultado do setor será constituído pela soma dos resultados obtidos pelos GAUPs de produção e de apoio. Portanto, uma das principais atividades do coordenador de setor é monitorar e dar suporte aos GAUPs.

O líder do GAUP é responsável por apresentar as metas à equipe e definir junto aos colaboradores a estratégia para alcançar os objetivos traçados. Essa demanda por melhorias focadas resulta na abertura de projetos kaizen. Alguns desses projetos são multisetorias. Esses projetos são abertos em uma sequência definida pelo GAUP a partir de uma priorização interna. O monitoramento do cronograma desses projetos é feito pela AGM e pelo coordenador de setor.

Figura 17 - Caminho da melhoria



Fonte: A autora (2020)

Segundo Bessant et al (2001), o maior nível de aderência a melhoria contínua (nível 05) ocorre quando uma empresa possui altos níveis de experimentação por seus funcionários.

Na EEC/AS a melhoria ainda é majoritariamente feita devido à necessidade de

atingir uma meta específica. Há poucas iniciativas onde a melhoria foi percebida por experimentação ou prototipagem espontânea. O olhar de melhoria enxerga basicamente na direção do indicador que precisa ser atingido. Sendo, portanto, uma visão ainda parcial.

A inovação na EEC S/A é gerada apenas em setores específicos como a engenharia. Por definição a melhoria é tornar algo melhor e a inovação é reinventar, fazer algo como não era feito antes. A inovação pode trazer ganhos expressivos aos resultados das empresas conforme apresentado na Figura 17.

Diante do exposto, a classificação atual mais adequada da aderência da EEC S/A a melhoria contínua é nível 04 por haver uma cultura de melhoria, incentivo a participação dos colaboradores, desdobramento de metas estratégicas, melhoria focada, resolução compartilhada de problemas, procedimentos bem definidos e estrutura de suporte a melhoria.

3.3 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DA MELHORIA CONTÍNUA NA EEC S/A

Para avaliar o nível de maturidade da melhoria contínua na EEC S/A foi realizada a análise dos fatores críticos para o sucesso propostos por Landwójtowicz (2015) em suas 09 dimensões através da observação de práticas e entrevistas com colaboradores, as informações coletadas seguem na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Avaliação da maturidade da melhoria contínua da EEC S/A.

Dimensão	Requisito
1 Formalização do programa IC na organização e definição da estrutura de ação.	Anualmente a empresa EEC S/A realiza seu planejamento estratégico em reuniões com sócios, diretores e gerentes avaliando os resultados do ano vigente e informações captadas através da análise do mercado e do cenário econômico. Os frutos desse planejamento são medidas classificadas em nível 01 e nível 02 de acordo com o impacto para o negócio. Os gerentes e diretores respondem diretamente por essas medidas ao conselho administrador em reuniões trimestrais.
2 Determinação dos princípios de continuidade e controle de seus tempos de resposta.	A AGM gerencia os direcionadores estratégicos da planta e através da comparação de resultados mensais com dados históricos, dá suporte a decisões gerenciais. Indicando a necessidade de alguma ação corretiva ou ajuste.
3 A distribuição e o intervalo de atividades	Na EEC S/A as metas estratégicas são desdobradas pela AGM anualmente para todos os níveis da organização. Em seguida é criado um indicador mensurável para monitorar mensalmente o resultado. Como exemplo ilustrativo temos: <ul style="list-style-type: none"> • Meta estratégica (Medidas de nível 1 e 2): Aumentar em 5% a produtividade do negócio.

	<ul style="list-style-type: none"> • Meta gerencial desdobrada: Aumentar em 5% a produtividade da planta sob sua gestão em 2020; • Meta setorial desdobrada: Aumentar 6% a produtividade no setor 1 até dezembro 2020; Aumentar 8% a produtividade no setor 2 até dezembro de 2020. Aumentar 11% a produtividade do setor 3 até dezembro de 2020;
3	<p>A distribuição e o intervalo de atividades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meta do líder de equipe (GAUP): Aumentar de 800 baterias/turno para 888 baterias/ turno a produção na linha 01 de montagem no setor 3 até dezembro de 2020; • Meta operacional desdobrada: Aumentar de 100 baterias/hora para 111 baterias/ hora a produção na linha 01 de montagem no setor 03 até dezembro de 2020;
4	<p>Treinamento</p> <p>A AGM é responsável por garantir o conhecimento de todos os envolvidos e maximizar a aplicação das técnicas de análise e resolução de problema. Cada projeto cadastrado na matriz é previamente analisado para garantir a profundidade da investigação e a viabilidade do ganho proposto pela equipe do kaizen.</p>
5	<p>Processo de gerenciamento</p> <p>Para progressivamente construir uma cultura interna de IC, a gerência da planta investiu na criação da AGM e oficina kaizen.</p>
6	<p>Coordenação do programa</p> <p>Além do coordenador da área de gestão da melhoria, os coordenadores de setor são responsáveis por incentivar, orientar e viabilizar as iniciativas de melhoria nas suas áreas. Definindo temas e priorizando recursos.</p>
7	<p>Métodos e ferramentas</p> <p>A AGM definiu os métodos e ferramentas a serem utilizados em todos os níveis da organização:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador fora da meta: Análise do fato, causa e ação proposta (FCA) – na análise pode ser verificado a oportunidade de abertura de um projeto kaizen; • Kaizen básico: problemas de baixa complexidade; • Kaizen técnico: problemas de média complexidade; • Kaizen especialista: problemas com alta complexidade ou que necessitem de mudanças profundas em seu processo;
8	<p>Medição de resultados</p> <p>Os resultados de todos os indicadores são atualizados mensalmente pela AGM. Esses dados ficam disponíveis para consulta em uma rede interna da organização a qual todos os gestores têm acesso por senha. Nessa rede é possível visualizar os resultados dos outros coordenadores e supervisores da mesma diretoria.</p>
9	<p>Comunicação dos resultados e motivação</p> <p>A comunicação dos resultados ocorre através de reuniões intersetoriais, multisetoriais, RARs, seminários com a diretoria e quadros de aviso. A EEC S/A prega a meritocracia (reconhecimento pelo resultado). Os bons resultados são reconhecidos e premiados em todos os níveis da organização. As premiações ocorrem por promoções, seleção de projetos para apresentação em fóruns exclusivos, participação nos lucros, viagens e outros.</p>

Fonte: A autora (2020)

Portanto, a EEC S/A atende as 09 dimensões dos fatores críticos para o sucesso propostos por Landwójtowicz (2015) e tem alta maturidade no seu programa de melhoramento contínuo.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

A EEC S/A investiu na criação de uma estrutura de apoio a melhoria e com isso conseguiu direcionar, padronizar e monitorar seus projetos. Dessa forma criando uma cultura sólida de melhoria em seus funcionários. Alinhando expectativas através da definição clara das metas e premiando o resultado positivo. A empresa, portanto, possui elevado grau de aderência e maturidade a iniciativa de melhoria. Uma oportunidade é ampliar a visão de inovação nos colaboradores de chão de fábrica para assim potencializar os ganhos.

No capítulo 3 serão apresentadas as etapas **P** (*Plan*) e **D** (*Do*) da aplicação da melhoria contínua para redução de perdas por retrabalho no setor de acabamento da empresa EEC S/A. Além disso, são apresentadas as dificuldades observadas pelos integrantes da equipe do projeto kaizen durante o andamento do projeto.

4 APLICAÇÃO DA MELHORIA CONTÍNUA PARA REDUÇÃO DE PERDAS POR RETRABALHO NA EEC S/A

Este capítulo apresenta as etapas **P** (*Plan*) e **D** (*Do*) do projeto Kaizen para eliminação da incrustação das peças subdivididas nas seções: identificação do problema, observação do problema, análise do problema, elaboração do plano de ação e execução do plano de ação.

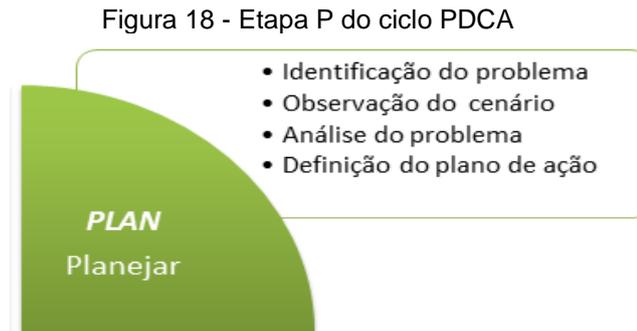
4.1 PROJETO KAIZEN

Dentre as metas estratégicas da EEC S/A está a busca contínua por uma maior produtividade nos processos e operações. Nesse contexto, a eliminação de perdas por retrabalhos é uma oportunidade de reduzir custos e aumentar o volume de produção das linhas de acabamento. Portanto, a implantação do projeto kaizen para eliminação do retrabalho de baterias “suja” está alinhada com o desdobramento das metas estratégicas.

A primeira etapa do projeto foi a definição de uma equipe multifuncional para atuar no tema. Para escolher os participantes utilizei o seguinte critério: 01 integrante do setor fornecedor de água para os banhos, 01 integrante do setor onde o problema ocorre (ativação), 01 integrante do setor seguinte afetado pelo problema (acabamento), 01 integrante da manutenção e 01 integrante da engenharia para dar suporte técnico. Portanto, a equipe do projeto foi composta por 05 integrantes, sendo respectivamente: coordenadora de produção da área de ativação (líder do grupo – minha função), coordenador de manutenção, estagiária de engenharia, coordenador de produção da área de acabamento e coordenadora da área de águas e efluentes. Em seguida o grupo fez a análise do *saving* esperado e realizou o cadastro do kaizen junto a área de gestão de melhorias (AGM). Foi realizada a escolha pelo kaizen técnico por tratar-se de um problema complexo e com múltiplas variáveis. A seguir são apresentadas as etapas de planejamento (P) e execução (D) do plano de ação.

4.2 APLICAÇÃO DA ETAPA PLANEJAMENTO (P)

A primeira etapa do ciclo PDCA, o Planejamento (*Plan*) é composta pelas fases de identificação do problema, de observação do cenário, de análise do problema e de elaboração do plano de ação conforme ilustrado na Figura 18 a seguir.



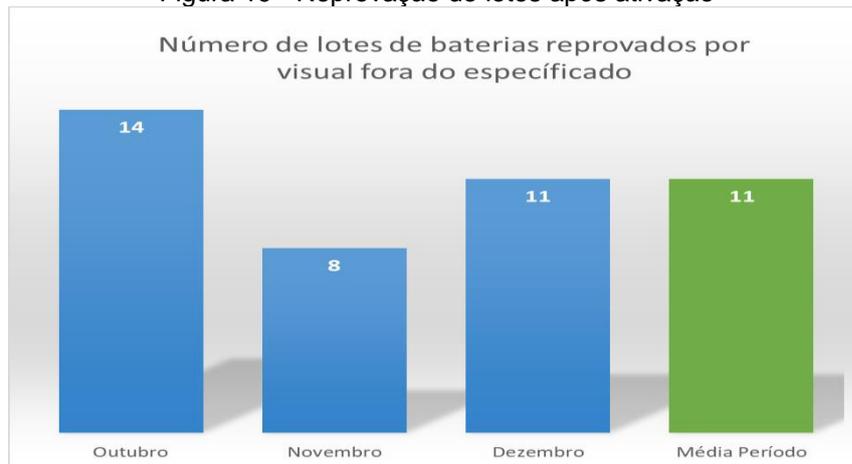
Fonte: A autora (2020)

4.2.1 Identificação do problema

Nos últimos anos a empresa EEC S/A vem investindo na aquisição de equipamentos com o objetivo de aumentar a produtividade da fábrica. Nesse período foram adquiridos novos modelos de tanques de imersão para o processo de ativação da bateria. Esses equipamentos reduziram substancialmente o tempo de ciclo do processo em comparação ao modelo antigo. Em contrapartida, após alguns meses de operação, começaram a surgir lotes de baterias com aparente incrustação nas laterais das peças ao nível da água do banho.

Trata-se, portanto, de um novo tipo de defeito ligado diretamente à mudança no processo. Essas incrustações são resistentes e para eliminá-las é necessário realizar o retrabalho das peças com limpeza mecânica (esfregar) e química (uso de solventes). A Figura 19 apresenta a quantidade de lotes reprovados por esse defeito nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2019.

Figura 19 - Reprovação de lotes após ativação

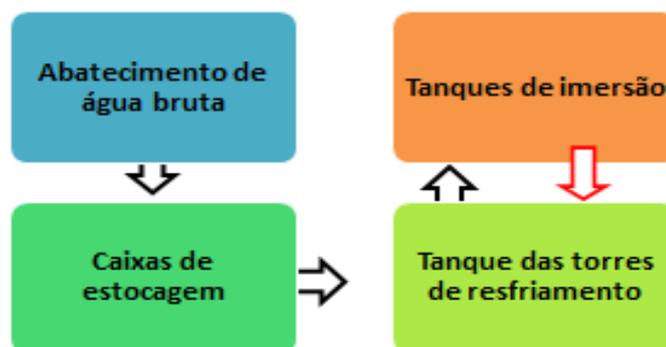


Fonte: A autora (2020)

4.2.2 Fase de observação

Para buscar entender os fatores que geram o problema da incrustação foi realizada a observação de todo o ciclo da água de resfriamento desde as fontes de captação, o transporte para fábrica, a armazenagem, o sistema de resfriamento utilizado e o modo de funcionamento dos tanques de imersão onde ocorre o processo de ativação das baterias. Na Figura 20, é possível observar uma representação esquemática do fluxo da água de resfriamento utilizada nos tanques de imersão. Em seguida será descrito o resultado das observações realizadas pelo grupo de trabalho em cada uma das etapas do ciclo da água.

Figura 20 - Fluxo da água de resfriamento



Fonte: A autora (2020)

4.2.2.1 Abastecimento e estocagem de água

A água que abastece a unidade fabril é captada em açudes, barragens e poços artesianos da região. Cada uma dessas fontes possui água com características químicas diferentes. A água oriunda de barragens possui maior quantidade de sólidos em suspensão e maior turbidez. Atualmente, toda água que entra na empresa é destinada a um conjunto de caixas de armazenagem que serve como um estoque pulmão para evitar interrupção nos processos caso ocorra falha no abastecimento.

Tabela 5 - Análise água bruta

Análise	Resultado
Condutividade (μS)	169
pH	7,4
SDT (ppm)	68,2
Dureza Total (ppm)	24
Cloretos	35

Fonte: A autora (2020)

Não há um padrão formal de recebimento de água ou uma separação por origem. O abastecimento hoje é feito parte por uso de adutora e parte por caminhão Pipa. Foi coletada uma amostra de água de abastecimento (bruta) nas caixas de estocagem para análise em laboratório. Na Tabela 5 estão listados os valores de pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (SDT) e dureza total da água bruta

Na Tabela 6 estão listados os teores de metais que foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) em extrato de solubilizado (os valores indicados com *<L.Q. foram menores que o limite de quantificação).

Tabela 6 - Análise de teor de metais na água Bruta

Elemento (ppm)	Água Torre
Ag	*<L.Q.
As	*<L.Q.
Bi	*<L.Q.
Cd	*<L.Q.
Co	0,02
Cr	0,02

Cu	0,06
Fe	0,13
Mn	0,08
Ni	*<L.Q.
Sb	0,01
Sn	*<L.Q.
Te	0,02
Zn	*<L.Q.

Fonte: A autora (2020)

4.2.2.2 Torres de resfriamento

Com a finalidade de permitir a observação interna da condição da torre de resfriamento foi agendada a parada e drenagem do sistema o que possibilitou o acesso e a visualização das paredes e fundo da bacia. Na Figura 21 é possível perceber incrustações alaranjadas nas paredes dos tanques de água fria e água quente. No piso dos tanques havia ainda uma camada espessa de material precipitado. Foi realizada a limpeza mecânica do tanque com o jateamento das paredes e drenagem do material para tratamento na estação de tratamento de efluentes. Foi realizada a coleta de amostra de água na bacia da torre para análise em laboratório. A coloração da amostra estava levemente amarelada.

Figura 21 - Bacia da Torre (Tanque de água quente)



Fonte: A autora (2020)

Na Tabela 7 estão listados os teores de metais que foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) em extrato de solubilizado (os valores indicados com *<L.Q. foram menores que o limite de quantificação). O aumento no teor de ferro indica a ocorrência de processos

corrosivos em máquinas e equipamentos.

Tabela 7 - Análise de teor de metais na água da torre

Elemento (ppm)	Água Torre
Ag	0,04
As	*<L.Q.
Bi	0,34
Cd	*<L.Q.
Co	0,01
Cr	0,15
Cu	0,3
Fe	0,97
Mn	0,42
Ni	0,14
Sb	0,07
Sn	0,06
Te	*<L.Q.
Zn	0,14

Fonte: A autora (2020)

Na Tabela 8 estão listados os valores de pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (SDT) e dureza total da amostra de água coletada na bacia da torre. Observando o resultado das análises é possível verificar que a água na bacia da torre tem elevado ciclo de concentração (aumento de 146 vezes na concentração de cloretos), presença de material em suspensão perceptível pelo aumento nos sólidos totais dissolvidos (SDT), pH ácido e alta condutividade.

Tabela 8 - Água da torre

Análise	Resultado
Condutividade (μS)	3.900
pH	3,2
SDT (ppm)	1.663
Dureza Total (ppm)	641
Cloretos	5.142

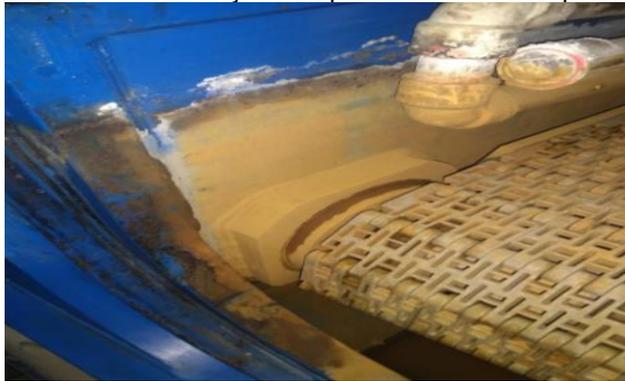
Fonte: A autora (2020)

4.2.2.3 Tanques de imersão

Nos tanques de imersão é realizada a ativação das baterias que é o processo de adição da primeira carga elétrica ao acumulador. O processo de ativação se inicia pela adição de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) nas peças em uma máquina de

enchimento. Posteriormente as peças seguem por esteira transportadora até um tanque pré-selecionado onde são enfileiradas e conectadas em circuitos elétricos seriados para recebimento da carga. Em seguida o operador realiza a escolha da receita no computador e inicia o processo. Durante o processo de ativação ocorrem reações químicas com formação de gases. Esses gases arrastam gotículas da solução de ácido sulfúrico que posteriormente condensam e caem na água de resfriamento deixando-a levemente ácida.

Figura 22 - Foto da incrustação nas paredes de um tanque de imersão



Fonte: A autora (2020)

Além disso, observando o equipamento é possível perceber que as paredes internas e piso dos tanques de imersão apresentavam incrustações semelhantes às observadas nos tanques das torres de resfriamento conforme apresentado na Figura 22. Outro fato é que a drenagem do tanque ao final do processo não é completa devido ao projeto do fabricante e por isso parte da água permanece retida.

Figura 23 - Diferentes tipos de incrustação das baterias



Fonte: A autora (2020)

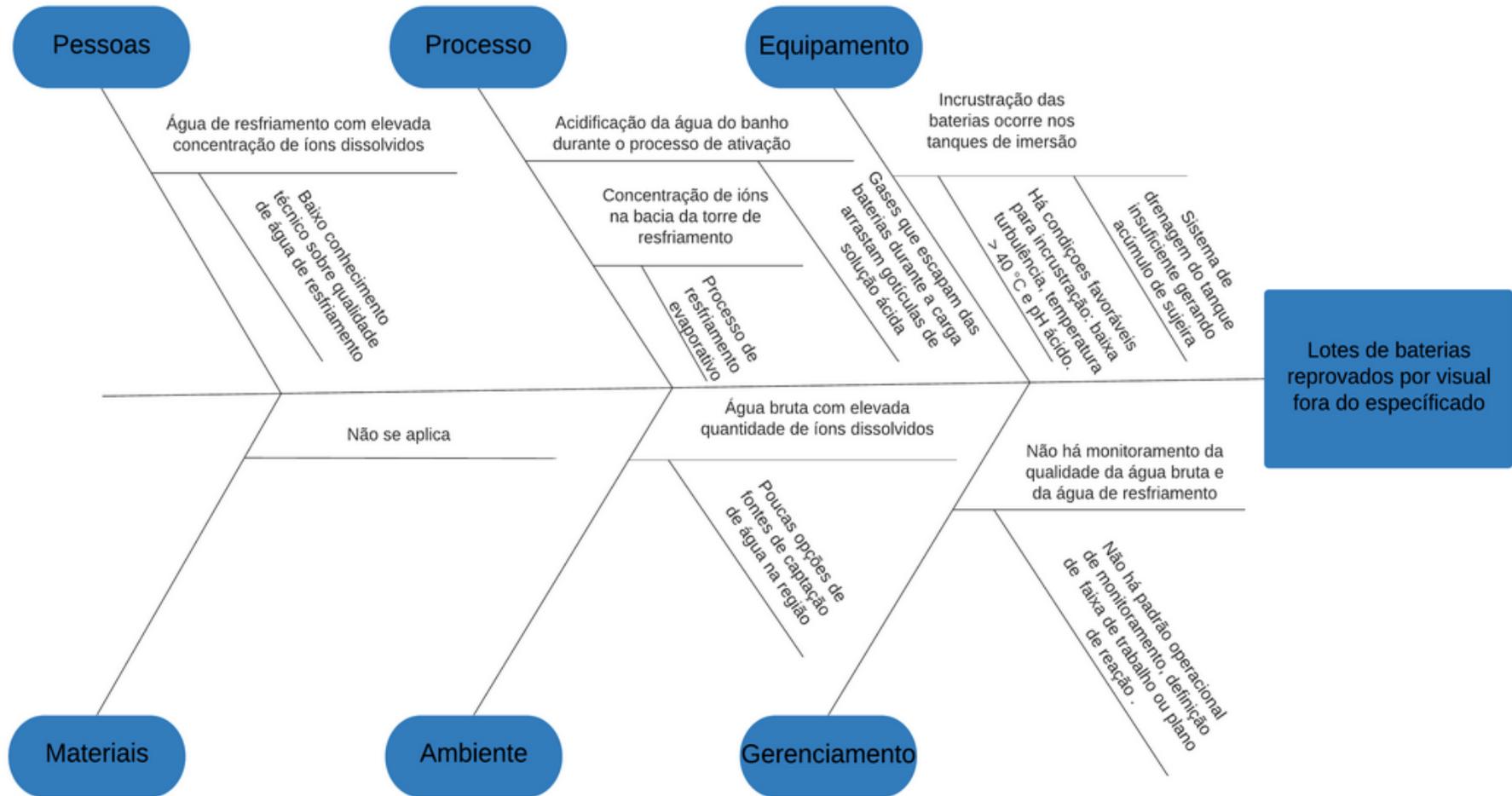
No processo de carga é monitorada a temperatura das peças e da água do banho. Caso a água do banho ultrapasse 45 graus celsius, o sistema aciona a bomba do tanque e descarta parte da água repondo por água fria em seguida e

dessa forma é feito o controle de temperatura do sistema. Na análise do problema, foi possível observar a formação de incrustação nas laterais das baterias durante a permanência no tanque. Essas incrustações ficavam exatamente até o nível da água nas peças e apresentaram-se de três formas distintas: a primeira é amarronzada semelhante à deposição de sílica (barro), a segunda é embranquecida semelhante à originada por deposição de sais (provável de cálcio e/ou magnésio) e a terceira é alaranjada semelhante à provocada por deposição de compostos de ferro. Na Figura 23 é possível observar os três tipos de incrustação.

4.2.3 Fase de análise

Nessa etapa foram listadas todas as evidências (pistas) coletadas na fase de observação e através de um *Brainstorming* (chuva de ideias), descrita por Werkema (1995), como sessões realizadas com os membros da equipe para explorar a potencialidade criativa de cada participante. Desta forma foram realizadas dinâmicas de grupo, de forma organizada, onde todos puderam opinar sobre várias hipóteses que poderiam influenciar sobre os problemas. As causas que foram levantadas no *Brainstorming* foram organizadas na estrutura do diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Diagrama Ishikawa



Fonte: A autora (2020)

Este diagrama permite estruturar hierarquicamente as causas de um determinado problema e relacionar com seu efeito (SLACK *et al.*, 2007).

Desta forma as causas foram associadas conforme a sua natureza: máquina, material, mão de obra ou método. Por motivo de sigilo da empresa, algumas informações foram omitidas no Ishikawa.

4.2.4 Fase de elaboração do plano de ação

Após a análise das causas fundamentais da falha, elaborou-se o plano de ação. O objetivo deste plano de ação é colocar em prática as contramedidas para cessar a reprovação de lotes por defeito de qualidade.

Este plano de ação foi elaborado com a participação de todos os envolvidos, definindo as ações a serem executadas, quem será o responsável pela ação e o prazo para a execução. Os prazos foram estimados a partir da experiência da equipe na realização de outros projetos kaizens anteriormente desenvolvidos.

Na Figura 25 a seguir é possível visualizar o plano de ação para eliminação da ocorrência da incrustação nos lotes de baterias.

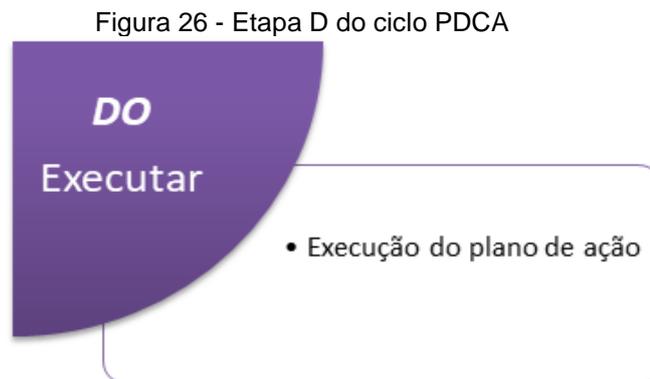
Figura 25 - Plano de Ação para eliminação da ocorrência da incrustação

N°	Ação	Responsável	-	Mês 01				Mês 02				Mês 03				Mês 04			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Consultar literatura sobre parâmetros físico-químicos recomendados para água de abastecimento/resfriamento e estabelecer padrões internos.	N. F.	P																
			E																
2	Realizar estruturação de sistema de tratamento preliminar da água de resfriamento que atenda ao padrão estabelecido.	C. P.	P																
			E																
3	Realizar troca de água e limpeza do sistema.	N. F.	P																
			E																
4	Desenvolver instruções operacionais de monitoramento do sistema e plano de reação em caso de não conformidade.	C. P.	P																
			E																
5	Modificar estrutura do tanque de imersão para aumentar a turbulência da água do banho e viabilizar o completo esgotamento do tanque	N. F.	P																
			E																

Fonte: A autora (2020)

4.3 APLICAÇÃO DA ETAPA FAZER (D): EXECUÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

A segunda etapa do ciclo PDCA, a etapa Fazer (*Do*) é composta pela execução do plano de ação proposto. A execução deste plano teve um acompanhamento efetivo, através de reuniões periódicas bem estruturadas, de forma a se verificar o andamento da execução de cada ação do plano. A Figura 26 apresenta a segunda etapa do ciclo.



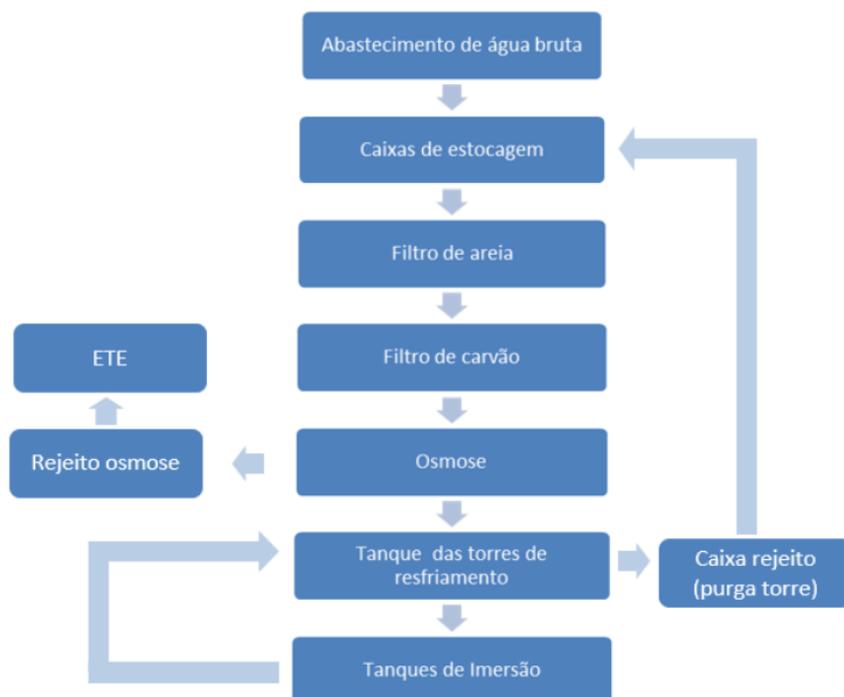
Fonte: A autora (2020)

Nessas reuniões os integrantes do grupo de trabalho relataram algumas dificuldades encontradas, como: Demora na liberação de verba para o projeto, Dificuldade na liberação dos tanques de imersão pela produção, Escassez de mão de obra para realização das atividades de manutenção/melhoria nos equipamentos e Falha na análise de risco do projeto, que serão detalhadas a seguir.

Demora na liberação de verba para o projeto: Na investigação do problema da incrustação das baterias ficou clara a necessidade de realizar um tratamento da água de make-up antes da entrada na torre. Diante da disponibilidade de um sistema de osmose reversa em outra planta da empresa o grupo decidiu consultar o fabricante do equipamento sobre a viabilidade da aplicação. Foram enviados os dados físico-químicos obtidos através da análise da água bruta e a vazão necessária obtida através do cálculo teórico de evaporação/arraste. Foi também considerada uma perda de 5% no sistema por vazamentos. Após análise, o fabricante sugeriu a troca do tipo de membrana e instalação previa de filtros de carvão e areia no circuito de tratamento. O passo seguinte foi realizar a cotação para transferência do sistema,

aquisição e instalação dos filtros e compra das membranas. Anualmente a empresa realiza uma estimativa dos investimentos do ano seguinte através de desdobramento de metas estratégicas montando assim um portfólio de projetos. Portanto, caso surja a necessidade de outro investimento ao longo do ano contábil a unidade produtiva deve solicitar junto a central de projetos a substituição por um projeto em carteira comprovando o maior ganho financeiro ou estratégico. Foi realizada a solicitação da troca de projetos e a verba solicitada foi liberada. Contudo, essa negociação teve impacto sobre o prazo da ação gerando atraso. A ação inicialmente prevista para ser concluída em um prazo de 3 meses levou 6 meses para ser finalizada. Com o início da atividade do sistema foi verificada possibilidade de ele tratar não somente a água bruta (Make-up) mas também a água da purga. Dessa forma reduzindo o rejeito de água. A Figura 27 apresenta o novo fluxo da água de resfriamento.

Figura 27 - Novo Fluxo da água de resfriamento



Fonte: A autora (2020)

Dificuldade na liberação dos tanques de imersão pela produção: A limpeza e modificação na estrutura de cada tanque levam cerca de um dia. O tempo elevado de intervenção ocorre devido as mudanças necessárias para viabilizar a drenagem total do tanque e aumento da turbulência (agitação da água do banho) para inibir a formação incrustações. O equipamento fica sem produzir nesse período.

Inicialmente ficou acordado que seria liberado um tanque por dia para a realização da atividade. Porém, após o início da intervenção, foi visto que isso impactaria no prazo de entrega dos pedidos e foi limitado a 03 tanques por semana.

Escassez de mão de obra para realização das atividades de manutenção nos equipamentos: Grande quantidade de projetos abertos ao mesmo tempo e falta de um método de priorização para direcionar a equipe da oficina kaizen. Ações de projetos de menor potencial de ganho sendo realizadas primeiro. Prazos negociados foram descumpridos. Ocorreram momentos em que a produção liberou o equipamento para intervenção, mas não havia mão de obra para execução.

Falha na análise de risco do projeto: Foram definidos padrões de qualidade para monitoramento da água de make-up e água da bacia da torre conforme referência técnica obtida na fundamentação teórica. Esses padrões serão detalhados posteriormente na etapa de Padronização. No plano de reação construído pela equipe kaizen, ficou estabelecido o gatilho, baseado na análise da condutividade/pH/Visual da amostra de água, para realização de purgas na bacia garantindo assim o controle do ciclo de concentração e evitando a supersaturação do sistema. Contudo, não ficou definido qual tempo de duração de cada ciclo de purga e a quantidade máxima de purgas por período. Nos primeiros 02 dias ocorreram uma quantidade elevada de purgas o que acarretou na diminuição do nível de água na bacia. Algumas bombas que puxam da bacia da torre precisaram ser desligadas por algumas horas para que não cavitassem e por isso parte dos tanques de ativação ficaram parados gerando atraso na produção. A equipe do projeto não previu o risco de parada de produção ao programar o ajuste do sistema e isso gerou perda financeira. Ao todo foram 15 horas de sistema parado nesses dois dias. Após o ocorrido a equipe se reuniu e verificou que deveria ter sido montada uma estratégia escalonada para transição do sistema antigo para o novo pois a água na bacia, tubulações e tanques de imersão estava com teor muito elevado de contaminantes. Foi também verificado a ausência de um campo que exija a análise de risco no formulário Kaizen. Ou seja, atualmente fica a critério do grupo realizar essa análise e na maioria das vezes ela não é feita. Portanto, a inclusão no formulário de uma análise de perigos e riscos (APR) e o treinamento dos envolvidos para realizar esse diagnóstico pode evitar que ocorra novamente essa falha em

outros projetos. Prevenindo perdas e forçando uma avaliação da influência das ações do plano em todas as 05 dimensões (Segurança, Clima, Custos, Entregas e Qualidade).

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

O problema de incrustação nas baterias tem como principais causas a presença de contaminantes na água de resfriamento e condições físico-químicas favoráveis dentro do banho de imersão (baixa agitação, aumento da temperatura e diminuição do pH). Por isso, as ações levantadas pelo grupo para tratativa do problema focaram no controle operacional da qualidade da água de resfriamento e na modificação estrutural do tanque de imersão.

Apesar do programa de melhoria continua da EEC S/A ser considerado de alta maturidade de acordo com a avaliação de Landwójtowicz (2015), foram encontradas várias dificuldades na execução do plano de ação do projeto. Isso acarretou em atrasos no cronograma e perdas de produção. Portanto, ainda existem oportunidades de melhoria no programa.

No capítulo 5 serão apresentadas as etapas checar (C) e agir (A) do ciclo PDCA, da aplicação da melhoria contínua para redução de perdas por retrabalho no setor de acabamento da empresa EEC S/A.

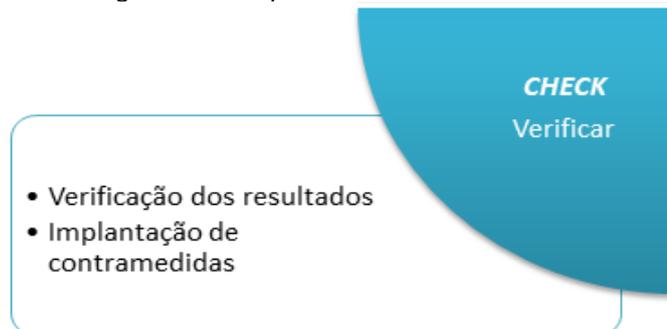
5 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo está o detalhamento das etapas de Checar (*Check*) e Agir (*Act*) do ciclo PDCA. Nele são apresentados a análise dos resultados obtidos após a execução do plano de ação do projeto e o plano de padronização das ações.

5.1 APLICAÇÃO DA ETAPA CHECAR (C): VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS E CONTRAMEDIDAS

A terceira etapa do Ciclo PDCA é a etapa de Checar (*Check*) e/ou Verificar os resultados obtidos para comprovar a eficácia das ações realizadas pela equipe do projeto. Na Figura 28 é representada esta etapa.

Figura 28 - Etapa C do ciclo PDCA



Fonte: A autora (2020)

Ao longo dos 6 meses da implantação das contramedidas do plano de ação, foi inicialmente observada uma redução da extensão e intensidade das manchas conforme pode ser observado na Figura 29.

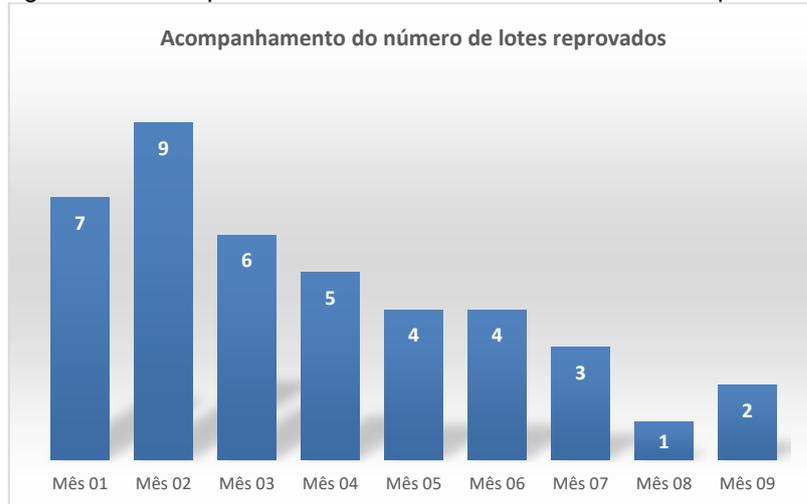
Figura 29 - Foto de lote de bateria após o início da implantação das ações.



Fonte: A autora (2020)

As manchas ainda ocorriam, contudo eram menores e mais fáceis de serem removidas na limpeza. Houve uma redução gradual no número de lotes reprovados mensalmente. Nos 3 meses seguintes após a finalização das ações, a média de reprovações ficou em 02 Lotes/Mês conforme pode ser observado no gráfico de monitoramento apresentado na Figura 30.

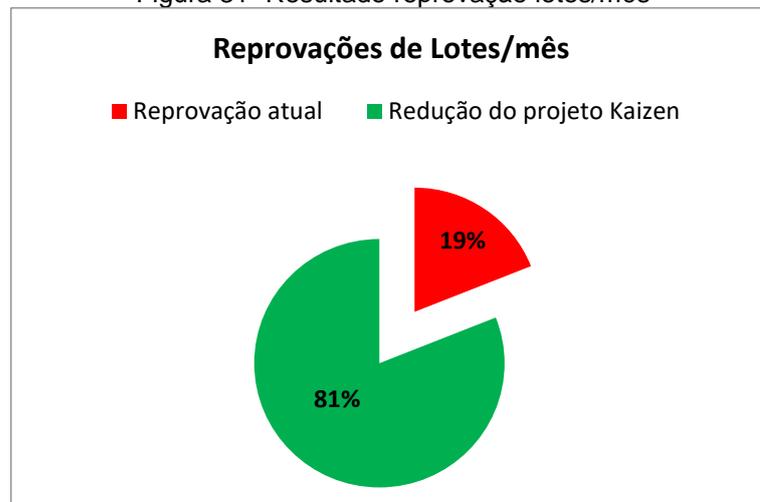
Figura 30 - Acompanhamento mensal do número de lotes reprovados



Fonte: A autora (2020)

Portanto, comparando com o número médio de reprovações antes do início do projeto que era de 11 Lotes/Mês, houve uma redução de cerca de 81% na ocorrência conforme destacado na Figura 31.

Figura 31- Resultado reprovação lotes/mês



Fonte: A autora (2020)

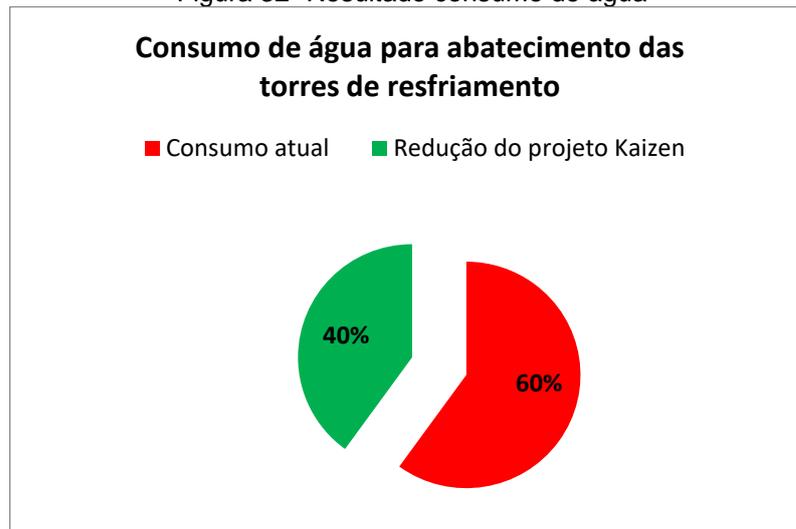
Na busca de eliminar completamente a ocorrência de reprovações, o grupo Kaizen entrou em contato com algumas empresas especializadas em tratamento de águas industriais para realizar testes de tratamento químico da água da bacia da torre. Contudo, os testes realizados por duas dessas empresas com dispersantes e anti-incrustantes não demonstraram eficácia. Segundo os técnicos das empresas que acompanharam os testes, o pH da água interfere no desempenho dos produtos. Além disso, será necessário verificar a viabilidade da ação, pois o custo da aquisição desses produtos é altíssimo. Cerca de 3 vezes o custo atual de insumos do retrabalho de lotes reprovados. Portanto, neste momento, é mais viável economicamente realizar a limpeza manual do lote, do que efetuar o tratamento químico da água da bacia da torre. Outra opção que está sendo estudada é restringir a faixa de condutividade inicialmente proposta para a água da torre. Estreitando a faixa de trabalho e aumentando a renovação da água da bacia, acredita-se que a formação das manchas seria reduzida.

5.1.1 Ganhos indiretos

Para identificar outros ganhos indiretos (quantitativos e qualitativos) obtidos com o projeto kaizen, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os participantes da equipe de trabalho. As entrevistas foram feitas presencialmente e individualmente, com horário pré-agendado e nas dependências da empresa. As entrevistas tiveram duração média de 25 minutos.

Durante a entrevista os participantes responderam duas perguntas: Além da redução na reprovação de lotes, quais ganhos indiretos foram obtidos com o projeto? e Para você, qual a etapa mais importante na aplicação da metodologia PDCA para garantir o sucesso do projeto?

Figura 32- Resultado consumo de água



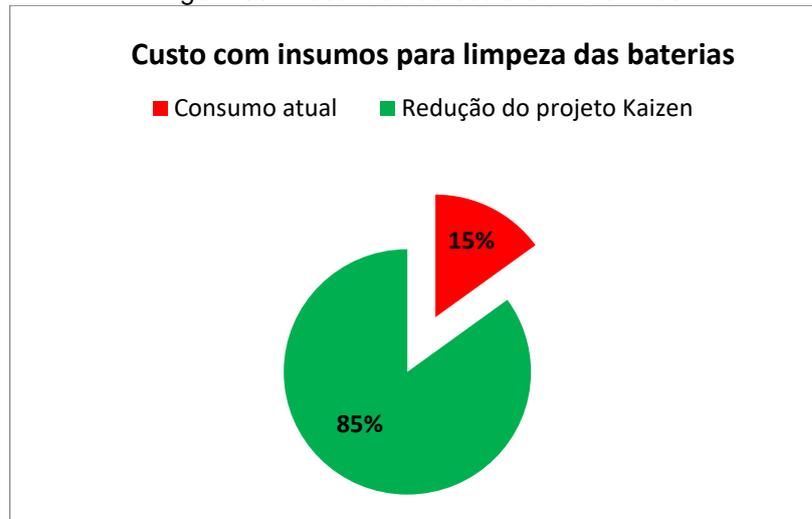
Fonte: A autora (2020)

Segundo a coordenadora da área de águas e efluentes o projeto reduziu em 40% a demanda de água das torres de resfriamento devido ao controle do nível da bacia e ao reuso da água de purga (Figura 32).

Para ela o projeto elevou o conhecimento técnico da equipe de operação, manutenção e gestão nas torres de resfriamento. Isso ocorreu devido à necessidade da análise profunda do mecanismo de funcionamento do equipamento e dos modos de falha que podem acarretar incrustações que foi realizada na etapa de planejamento do projeto – “Hoje sabemos as variáveis que causam o problema e podemos controlar o sistema”.

O coordenador de produção na área de acabamento ressalta a importância do projeto kaizen para melhoria do indicador de produtividade da linha. Segundo o participante, o resultado de baterias/dia aumentou em média 7% nos dois meses seguintes à finalização do plano de ação. Ele também destaca a redução de custo com a requisição de itens para limpeza das baterias em 85%. Além dos ganhos financeiros, o coordenador relata um aumento na satisfação dos operadores, pois a elevada quantidade de retrabalho feito de forma manual gerava queixas dos colaboradores – “A limpeza das peças é cansativa, pois é preciso esfregar para sujeira sair, isso gerava muita reclamação da operação”.

Figura 33- Resultado de custo com insumos



Fonte: A autora (2020)

A formação de uma equipe de trabalho multidisciplinar é apontada pela estagiária de engenharia como crucial para garantir uma ampla análise durante a investigação do cenário problema - “Ter uma equipe múltipla na investigação enriqueceu a análise e com certeza ajudou na assertividade do projeto”. O gestor de manutenção relata que durante a execução do plano de ação foi possível identificar um gargalo na oficina Kaizen. A oficina kaizen possui uma estrutura limitada e utiliza atualmente um esquema de atendimento por fila (ordem de chegada). Como a quantidade de projetos simultâneos é elevada acaba ocorrendo atrasos no cronograma e projetos de menor ganho são executados antes de outros com maior possibilidade de retorno.

5.2 APLICAÇÃO DA ETAPA AGIR (A): PADRONIZAÇÃO E TREINAMENTO

A quarta etapa do Ciclo PDCA é a etapa Agir (*Action*) e nela é feita a padronização das atividades que se mostraram eficazes na redução do problema e treinamento da equipe envolvida. A Figura 34 representa o detalhamento desta etapa.

Figura 34 - Etapa A do ciclo PDCA



Fonte: A autora (2020)

A padronização tem o objetivo de através de um processo documentado e divulgado entre todos os *stakeholders*, manter um bloqueio efetivo ao problema atacado. Diante do exposto, para garantir a perenidade do resultado obtido, através das ações do projeto kaizen de redução de perdas por retrabalho de lotes de baterias, foi implantado o SDCA na etapa de padronização conforme descrito detalhadamente abaixo.

Etapa Padronizar (*Standardize*): O primeiro passo foi definir a faixa de trabalho ideal e os parâmetros para monitoramento e controle da água de Make-up (alimentação) e água da bacia da torre (processo). Os parâmetros escolhidos foram pH, condutividade e turbidez pela facilidade de medição e disponibilidade dos equipamentos. Foram definidos os pontos de coleta das amostras (Torneira da caixa de água Make-up e Torneira de água da bacia da torre), frequência de verificação (a cada 2 horas) e o responsável (operador da torre em cada turno). Tais informações foram compiladas na a Folha de Qualidade do Processo (FQP) apresentada na Figura 35. Esse documento tem o objetivo de deixar claro para quem for realizar a operação qual deve ser a rotina de monitoramento e dessa forma garantir que mesmo havendo *turnover* a informação não se perca e a atividade continue sendo feita da mesma forma. Por motivo de sigilo, os valores das faixas de trabalho de pH e condutividade foram suprimidos.

Figura 35 - FQP de água de Make-up e de processo

EEC S/A		FQP (N ***) Edição 01 – Out/20		Folha de Qualidade do Processo		
Setor: Tratamento de água		Posto: Operador de Torre		Característica: Qualidade de água de Make-up e de processo		
Amostra	Parâmetros	Faixa de trabalho	Quem	Quando	Onde	
Água Make-up	pH	Entre X e Y	Operador da torre	A cada 2 horas (Registrar em <i>checklist</i>)	Torneira da caixa de água Make-up	
	Condutividade	Menor que Z				
	Turbidez	Água cristalina, sem sólidos em suspensão visíveis				
Água Bacia	pH	Entre M e N	Operador da torre	A cada 2 horas (Registrar em <i>checklist</i>)	Torneira de água da bacia da torre	
	Condutividade	Menor que W				
	Turbidez	Água cristalina, sem sólidos em suspensão visíveis				
Distribuição: N*****		Aprovação do Responsável Controle de Qualidade: _____		Aprovação do Responsável Coordenação do Setor: _____		

Fonte: A autora (2020)

O próximo passo foi a criação do Procedimento Operacionais Padrão (POP) para operação da torre de resfriamento (Figura 36). Existem vários formatos de POP encontrados na literatura, contudo o grupo do projeto optou pelo formato: ‘o que fazer’, ‘como fazer’ e ‘porque fazer’, por ser simples e de fácil entendimento. Nesse documento o colaborador tem listados quais são suas principais sub-atividades, como realiza-las e o motivo de realiza-las.

Figura 36 - POP atividade de operar torre

EEC S/A	POP (N ***) Edição 01 – Out/20	Procedimento Operacional Padrão	
Setor: Tratamento de água		Posto: Operador de Torre	Atividade: Operar torre
O Que Fazer		Como Fazer	Por Que Fazer
Garantir oferta de água de Make-up para torre de resfriamento		Garantir nível mínimo de água na caixa de água de make-up conforme marcação na caixa.	Reduzir risco de falta de água para complemento da torre.
Monitorar qualidade de água de Make-up		Monitorar pH, condutividade e turbidez da água da caixa de Make-up conforme FQP XXX	Garantir uma boa qualidade da água de abastecimento para torre de resfriamento.
Controlar nível de água na bacia da torre.		Acompanhar nível pela marcação no tanque.	Reduzir risco de transbordo no tanque ou parada de bomba por nível muito baixo.
Monitorar qualidade da água na bacia da torre		Monitorar pH, condutividade e turbidez da água da bacia da torre conforme FQP XXX.	Garantir o controle do ciclo de concentração da água na torre de resfriamento.
Distribuição: N*****		Aprovação do Responsável Controle de Qualidade: _____	Aprovação do Responsável Coordenação do Setor: _____

Fonte: A autora (2020)

Em seguida, foram elaborados 2 Planos de Reação (PR) com a finalidade de orientar o operador como proceder, caso seja observado algum desvio durante o monitoramento da água de *Make-up* e água da bacia da torre. Nesses documentos está detalhado como proceder, quando a especificação de nível da água no reservatório e/ou qualidade da amostra esteja fora da especificação do POP.

Com isso, o colaborador possui conhecimento e autonomia para atuar na regulação do processo buscando reestabelecer a normalidade do sistema. Caso após três intervenções o processo ainda permaneça fora da especificação, ele deverá acionar a cadeia de ajuda. As Figuras 37 e 38 a seguir mostram esses documentos.

Figura 37 - Plano de reação de água Make-up

EEC S/A	PR (N° XXXX) Edição 01 – Out/20	Plano de Reação	
Sector: Tratamento de água	Posto: Operador de Torre	Atividade: Monitoramento da água de Make-up	
Desvio	O Que Fazer		Por Que Fazer
Nível alto da caixa (acima da marcação)	Desligar sistema de Osmose reversa.		Evitar transbordo da caixa
Nível baixo da caixa (abaixo da marcação)	Ligar sistema de Osmose Reversa. Caso a vazão do sistema esteja baixa trocar os filtros.		Reduzir risco de falta de água para complemento da torre.
Medição de pH da amostra menor que X	Parar distribuição e repassar água da caixa no sistema de osmose reversa. Remedir ao final do processo e se necessário repetir a ação.		Garantir uma boa qualidade da água de abastecimento para torre de resfriamento.
Medição de pH da amostra maior que Y	Parar a distribuição e repassar água da caixa no sistema de osmose reversa. Remedir ao final do processo e se necessário repetir a ação.		
Medição de condutividade da amostra maior que Z	Parar a distribuição e repassar água da caixa no sistema de osmose reversa. Remedir ao final do processo e se necessário repetir a ação.		
Presença de cor ou sólidos na amostra	Parar a distribuição, verificar integridade dos filtros e repassar água da caixa no sistema de osmose reversa. Remedir ao final do processo e se necessário repetir a ação.		
Atenção: Após repetir o processo de correção 03 vezes seguidas sem êxito acionar o encarregado.			
Distribuição: N° YYYY		Aprovação do Responsável Controle de Qualidade: _____	Aprovação do Responsável Coordenação do Setor: _____

Fonte: A autora (2020)

Figura 38 - Plano de reação água da torre

EEC S/A	PR (N° XXXX) Edição 01 – Out/20	Plano de Reação	
Setor: Tratamento de água		Posto: Operador de Torre	Atividade: Monitoramento da água da bacia da torre
Desvio	O Que Fazer		Por Que Fazer
Nível alto do tanque (acima da marcação)	Suspender entrada de água <i>Make-up</i> . Realizar purga da bacia por 20 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		Reduzir risco de transbordo do tanque
Nível baixo do tanque (abaixo da marcação)	Desligar purga. Realizar complemento com água de make-up por 20 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		Reduzir risco de parada de bomba por nível baixo.
Medição de pH da amostra menor que M	Realizar dosagem de solução neutralizante por 10 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		Garantir o controle do ciclo de concentração da água na torre de resfriamento.
Medição de pH da amostra maior que N	Realizar purga da bacia por 20 min e em seguida realizar complemento com água de make-up por 20 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		
Medição de condutividade da amostra maior que W	Realizar purga da bacia por 20 min e seguida realizar complemento com água de make-up por 20 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		
Presença de cor ou sólidos na amostra	Realizar purga da bacia por 20 min e seguida realizar complemento com água de make-up por 20 min. Avaliar e se necessário repetir a ação.		
Atenção: Após repetir o processo de correção 03 vezes seguidas sem êxito acionar o encarregado.			
Distribuição: N° YYYY		Aprovação do Responsável Controle de Qualidade: _____	Aprovação do Responsável Coordenação do Setor: _____

Fonte: A autora (2020)

Os documentos foram aprovados pela supervisora da área de tratamento de água e pelo supervisor de controle de qualidade. Em seguida, os documentos seguiram para cadastro no sistema de controle de documentos da fábrica onde receberam o número de registro e o número de distribuição.

Após o cadastro dos documentos, foi verificada a necessidade de revisar o FMEA e o Plano de Controle do Processo adicionando os novos parâmetros de monitoramento da água como itens críticos para qualidade do produto. Outro ponto

observado foi a necessidade de adicionar na lista de lições aprendidas da Engenharia de Instalações a melhoria realizada nos tanques de imersão para aumentar a turbulência da água dificultando a formação de incrustações. Desta forma, caso sejam adquiridos novos tanques de imersão para futuras expansões da fábrica, não haverá a possibilidade de o problema voltar a ocorrer.

O passo seguinte foi agendar o treinamento da equipe (Líderes e Operadores). Devido ao cenário da pandemia, esse treinamento teve que ser feito individualmente no turno de trabalho para evitar aglomerações. Como a fábrica opera em três turnos fixos (manhã, tarde e noite), houve muita dificuldade para realizar os treinamentos.

Figura 39 - Análise de pH e condutividade da água durante o treinamento



Fonte: A autora (2020)

Nos treinamentos foram apresentados os novos documentemos (FQP, POPs e PRs). Além disso, foram simuladas coletas de amostras de água de Make-up e bacia das torres e em seguida realizadas análises dessas amostras junto com os colaboradores. A Figura 39 ilustra as análises realizadas durante os treinamentos.

Etapa Executar (Do): Nessa etapa ocorreu o acompanhamento da utilização do novo padrão. Foi observada inicialmente uma dificuldade em atingir os valores especificados de pH e condutividade para água de resfriamento. Para alcançar a faixa de trabalho proposta pela AFQ, foi necessário realizar várias purgas de água na bacia da torre, seguidas de abastecimento de água de *make-up* conforme indicação do Plano de Reação. Entretanto, ao realizar o procedimento, o nível do tanque da torre baixou drasticamente gerando paradas das bombas de distribuição por risco de cavitação.

Ao analisar o problema foi verificado que a potência da bomba de purga era superior à potência da bomba de abastecimento *Make-up*. Como a instrução do PR era realizar a drenagem e o reabastecimento com o mesmo tempo (20 minutos) e as potências das bombas eram diferentes, a saída água foi maior que a entrada e isso gerou a anomalia. Como tratativa, foi instalada uma bomba de maior capacidade para reabastecimento a bacia. Após esse episódio inicial, foi verificada uma estabilização do sistema. através da realização do DTO semanal.

Etapa Verificar (*Check*): Através do monitoramento por *checklist* das características da qualidade da água da bacia da torre (pH, condutividade, turbidez) foi possível verificar que a alimentação da torre com água tratada na osmose reversa foi eficaz. Ao longo das semanas houve uma redução gradual na quantidade de intervenções do operador e na realização de purgas da bacia. Também foi observada uma redução do número de lotes de bateria reprovados no setor de ativação. Durante o acompanhamento do sistema de resfriamento, surgiu a ideia de diluir a água da purga e repassar na osmose reversa para reduzir ainda mais o consumo de água bruta. Foi realizada uma nova consulta ao fabricante do equipamento e um teste controlado com essa água diluída.

O resultado do teste foi satisfatório e com isso o sistema passou a operar em circuito fechado. Esse novo desenho de processo reduziu em 40% o consumo de água bruta abastecimento da torre de resfriamento.

Etapa Agir (*Act*): O único ponto de ajuste observado foi a potência da bomba de reabastecimento conforme relatado anteriormente. Após a troca da bomba não houve mais ocorrências. Portanto, não houve necessidade de alteração na documentação (AFQ, POP, PRs).

Portanto, a aplicação das quatro etapas do ciclo SDCA (*Standardize, Do, Check e Act*) garantiu a padronização das atividades operacionais e ajudou a identificar os ajustes necessários nas ações inicialmente propostas pelo grupo Kaizen.

5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foi possível observar a efetividade das ações propostas pelo grupo kaizen para tratativa do problema da bateria '*suja*', através da redução do indicador de acompanhamento de número de lotes reprovados no setor de ativação.

Além disso, foi apresentada a importância do uso do ciclo SDCA para garantir a padronização e perenidade das ações de melhoria mapeadas pelo PDCA.

No próximo capítulo, será apresentada a conclusão do trabalho com a análise das limitações, dificuldades e sugestão de trabalhos futuros.

6 CONCLUSÕES

Durante a operação de uma empresa podem surgir anomalias no processo produtivo, que representam perdas no processo. Portanto, as empresas devem ser suficientemente ágeis para identificar essas perdas, de forma a reduzi-las ou eliminá-las, garantindo assim a máxima produtividade de seus processos.

A melhoria contínua é uma pratica adotada pela EEC S/A que visa atingir resultados cada vez melhores. Nos últimos anos a empresa investiu na formação de uma estrutura de suporte ao programa de melhoria (AGM) e alcançou atualmente uma alta aderência e maturidade conforme diagnósticos realizados neste trabalho utilizando modelos descritos na literatura.

Para tratar o problema de perda por retrabalho exposto no estudo de caso na EEC S/A, foi montado um grupo multifuncional de trabalho Kaizen que utilizou a metodologia PDCA na tratativa do tema. Após uma análise profunda do defeito e do processo produtivo, realizada pelo grupo Kaizen foram identificadas as possíveis causas e construído um plano de ação. Durante o andamento do plano surgiram algumas dificuldades como: Demora na liberação de verba para o projeto, Dificuldade na liberação dos tanques de imersão pela produção, Escassez de mão de obra para realização das atividades de manutenção nos equipamentos e Falha na análise de risco do projeto. Contudo, também foram observados pontos positivos como: forte envolvimento das lideranças/operadores no projeto, pois havia uma disposição genuína de compartilhar ideias/sugestões e flexibilidade no orçamento para substituir projetos de acordo com a nova priorização.

Com a conclusão das ações propostas foi obtida uma redução média de 81% no número de lotes reprovados. Este trabalho trouxe vários ganhos para empresa, dentre eles: Redução de custo do retrabalho (85%), Redução da quantidade de produto em processo, Aumento da produtividade da linha de acabamento (7%), Aumento na satisfação do cliente interno, Aumento do conhecimento técnico dos envolvidos, Aumento da visão de inovação dos envolvidos e Formação de consultores internos para tratamento de água. Dessa forma, o projeto desenvolvido obteve ganhos econômicos e ambientais para empresa e população da região.

Os ganhos econômicos garantiram o retorno sobre o investimento realizado, a saúde financeira da empresa e a possibilidade de realização de novos investimentos no futuro. Dentre as oportunidades de investimento mapeadas é possível listar a

compra de novos equipamentos, expansão de alguma planta fabril ou construção de novas plantas. Para executar tais projetos, normalmente ocorre a contratação de empresas prestadoras de serviço da região o que gera empregos indiretos e movimentação a economia local.

A EEC S/A está instalada em um município do interior do estado com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). A economia deste município é atualmente prioritariamente voltada para agricultura familiar e avicultura. Contudo, este cenário está mudando. Com a geração de demanda por mão de obra especializada nos últimos anos, a cidade está atraindo cursos profissionalizantes e até faculdades. Existe hoje oportunidades para o jovem da zona rural trabalhar, estudar e dessa forma melhorar o padrão de vida da sua família. A EEC S/A possui um programa de desenvolvimento de talentos locais onde jovens da região são selecionados e capacitados para assumirem posteriormente cargos técnicos ou de gestão. Dentro do plano de desenvolvimento desses jovens está a realização de projetos de melhoria. Dessa forma a empresa exerce a responsabilidade social melhorando a distribuição de renda na região e desperta talentos.

Além dos ganhos econômicos e sociais, houve também um importante ganho ambiental com a redução de 40% do consumo de água bruta para abastecimento da torre de resfriamento. Diante da escassez cada vez maior desse recurso natural, o reuso de água de processo é uma alternativa viável para as indústrias que buscam melhorar sua visão de sustentabilidade.

A EEC S/A incentiva e valoriza projetos de melhoria contínua na organização. Inclusive premiando anualmente os melhores projetos. Isso construiu uma cultura de melhoria que pode ser facilmente observada nos diferentes níveis da organização. Mensalmente são iniciados vários projetos para redução de perdas, aumento de produtividade, redução de custo, dentre outros. Esses trabalhos competem por recurso financeiro e humano. Logo, a priorização dos temas a serem trabalhados em cada momento é necessária para garantir que haja recurso para o que for mais estratégico para organização. O excesso de trabalhos simultâneos gera atraso na conclusão das ações e prejudica o resultado.

6.1 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES

A principal limitação deste trabalho é o fato de que a solução proposta é adequada para a condição de água encontrada na região da instalação da EEC S/A. Caso o perfil da água bruta recebida pela planta seja diferente deve ser avaliado se de fato o tratamento por processo de osmose reversa é eficaz.

Do ponto de vista das dificuldades encontradas para o desenvolvimento deste trabalho, a principal foi a pandemia pelo COVID-19 durante o ano de 2020. Devido ao risco de contágio, as reuniões do grupo Kaizen passaram a ser realizadas por videoconferência e os treinamentos da equipe operacional tiveram que ser feitos individualmente no turno de operação. Além disso, o início dos testes com dispersantes e anti-incrustantes para complementar o tratamento da água de resfriamento foi adiado por 4 meses pois tais testes ocorrem com o acompanhamento de técnicos externos e a empresa optou por restringir as visitas a planta nesse período.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o andamento do projeto foi possível identificar duas oportunidades de trabalhos acadêmicos futuros. A primeira é implantar o uso de métodos de priorização para direcionar o melhor sequenciamento de atividades na oficina Kaizen. É possível utilizar métodos de tomada de decisão a partir de critérios (ganho esperado, custo da ação, tempo de atuação, outros).

A segunda é a implantar ferramentas qualitativas e quantitativas para a análise risco de projetos, na execução dos Kaizens da EEC S/A. Gerenciar os riscos é importante para conseguir visualizar antecipadamente problemas, bloqueá-los e assim garantir melhores resultados ao projeto.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, B. F. **Estudo sobre corrosão e incrustação inorgânica na indústria de petróleo com ênfase no desenvolvimento de um combo comercial para tratamento químico.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Departamento de Engenharia do Petróleo. Universidade Federal Fluminense. 2017.
- ARAY, A.; DUARTE, L. R. **Estudo da formação de incrustações carbonáticas.** Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 48, 2010.
- BARBOSA, M. M. **Aplicação do ciclo PDCA para redução de surplus em estoque da divisão de peças de reposição de uma indústria automotiva pesada.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- BARROS JUNIOR, S. T. et al. Aplicação do controle estatístico de processo: estudo de caso em uma empresa de calçados. **In: XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Joinville, 2017.
- BESSANT, J. et al. **Rediscovering continuous improvement.** *Technovation*, v.14, n.1, p.17-29, 1994.
- BORNIA, A. C. **Análise Gerencial de Custos.** São Paulo: Artmed Editora S.A., 2002.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**, Unwin Hyman, London, 1989.
- BUECKER, B. **Power plant chemistry a practical guide.** 1st ed. Oklahoma: Pennwell Publishing Company, 1997.
- CAFFYN, S.; BESSANT, J. Ability-based model for continuous improvement, **in: Proceedings of 3th International Conference of the EUROMA**, London, 1996.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês).** 9º ed.- Nova Lima – Editora FALCONI, 2014.
- CARVALHO, D. D. and MACHADO, B. J. F. **“Reuso de efluentes em torres de resfriamento – Estudo conceitual: Aeroporto internacional do Rio de Janeiro”.** *Acta Scientiarum Technology*, v. 32, n 3, pp. 295-302, 2010.
- CASTRO, B. B. **Avaliação da corrosão em operações de remoção de incrustações carbonáticas.** Dissertação de Mestrado. Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015
- CASTRO, B. H. R. C.; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. V. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES**. Setorial, v. 37, pp. 443-496, 2013.

CHACÓN SANHUEZA, Abel Edmundo. **Desenvolvimento na indústria de acumulação de energia em baterias chumbo-ácido: processos alternativos de recuperação de chumbo**. 2007. 121 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru, 2007.

COLE, R.E. From continuous improvement to continuous innovation. **Quality Management Journal**, 8(4), 7-21. 2001.

COLTRO, Alex. A gestão da qualidade total e suas influências na competitividade empresarial. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v.1, n. 2, 1996.

CORTINOVIS, G. F.; SONG, T. W. Funcionamento de uma torre de resfriamento de água. **Revista de Graduação da Engenharia Química**. São Paulo, 14, p. 5-10, 2005.

DEMING, W. E. The New Economics: For Industry, Government, Education. **Cambridge: MIT Center for Advanced Engineering Study**, 1993.

FURUKITA, A. C. **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.

GALLAGHER, M.; AUSTIN, S.; CAFFYN, S. The Journey of eight Companies: Strategies for Successful Implementation and Operation. London: **Kogan Page**. 1997.

GARCIA, C. A. B.; GARCIA, H. L.; ROCHA, S. P. B.; GOMES, A. G. Uso do PDCA para redução de acidentes do trabalho: estudo de caso em uma indústria têxtil localizada em Nossa Senhora do Socorro – Sergipe. XII Safety, **Health and Environment World Congress**, July 22 - 25, 2012, São Paulo, Brasil.

GARCIA-LORENZO, A.; PRADO, J. C. Employee participation systems in Spain. Past, present and future. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 14, n. 1, p. 15-24, 2003.

GARCIA-SABATER, J.J.; MARIN-GARCIA, J.A. Can we still talk about continuous improvement? Rethinking enablers and inhibitors for successful implementation. **International Journal Technology Management**, 55, 28-42, 2011.

Gomes Filho, V., & Gasparotto, A. M. S. (2019). A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2 p. 383-392, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.660>>. Acesso em: 12 de dez. 2019.

IMAI, M. GEMBA KAIZEN. Bookman. Porto Alegre, 2014.

JØRGENSEN, F. ; BOER, H. e LAUGEN, B. T. Ci Implementation: An Empirical Test of the Ci Maturity Model. **Creativity and innovation management**, vol. 15, No. 4, pp. 328-337, 2006.

KORNFELD, B. J.; KARA, S. Project portfolio selection in continuous improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31 n 10, pp. 1071-1088, 2011.

LAM, M.; O'Donnell, M.; Robertson, D. Achieving employee commitment for continuous improvement initiatives. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, No. 2, pp. 201-215, 2015.

LANDWÓJTOWICZ, A.K. Determinants of the Concept of Continuous Improvement in Manufacturing Company- Case Study. **9th Research/ Expert Conference with International Participations**. Opole, Poland. 2015.

LANGE-ROS, ED ; Boer, H. Teoria e prática de melhoria contínua em equipes de chão de fábrica . **International Journal of Technology Management** , (4), 344-358. 2001.

LEONEL, P. H. **Aplicação prática da técnica do PDCA e das ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais para melhoria e manutenção de resultados**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.

LIKER, J.K. **O Modelo Toyota - 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Trad. Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MANCUSO, P. C. S., Reuso de água para torre de resfriamento. **Biblioteca Virtual da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2001.

MARTINS, A. M.; MERGULHÃO, R. C.; MIRADA, R. A. de M. Armadilhas na gestão do processo de melhoria contínua numa pequena empresa: um estudo de caso. In: **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2004.

MOSER, A. S.; PARRILHA, L.R.; MANTOVANI, D.; RAMOS, D. F.; JÚNIOR, A. M. Aplicação do ciclo PDCA (plan, do, check, action) no rendimento de farinha de sangue em uma indústria frigorífica. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5, n.1, p. 11-27, jan./abr. 2012.

NEGUYEN, P. A. Issues and Challenges in the Establishment of Continuous Improvement in Vietnam. **International Journal of Business and Social Research**, v. 05, pp.10-21, 2015.

OLIVEIRA, J. A.; NADAE, J.; OLIVEIRA, O. J.; SALGADO, M. H. Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo. **Revista Scielo**, v.21, n.4, 2011.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. **Perry's Chemical Engineers**. Handbook. 7th ed., McGraw hill, Nova York, 1997.

QUINQUIOLO, J. M. **Avaliação da Eficácia de um Sistema de Gerenciamento para Melhorias Implantado na Área de Carroceria de uma Linha de Produção Automotiva.** Taubaté/SP: Universidade de Taubaté, 2002.

REVISTA MEIO FILTRANTE. Água de resfriamento, porquê mantê-la limpa? Ano II, 6º ed., jul-set, 2003.

RIBEIRO, Leonardo. **Estudo da formação de incrustações – Sulfato de Bário.** Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 2013.

ROCKART, J. F. Chief executives define their own data needs. **Harvard Business Review**, v. 57, n. 2, p. 81-93, Mar./Apr. 1979.

RODRIGUES, A. L. P.; SANTOS, M. S.; SERRA, M. C.; PINHEIRO; E. M. A utilização do ciclo PDCA para melhoria da qualidade na manutenção de shuts. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, v.9 , n. 18, p. 48-70, 2017.

SANTOS, H. O.; ALVES, J. L. S.; MELO, F. J. M.; MEDEIROS, D. D. An approach to implement Cleaner Production in services: integrating quality management process. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, pp. 118985, 2020.

SARAIVA, M. A Filosofia de Deming e a Gestão da Qualidade Total no Ensino Superior Português. **Revista Portuguesa de Management**, Ano 3, N.º 5-6, 95-116, 2012.

SAVOLAINEN, T. I. Cycles of continuous improvement: realizing competitive advantages through quality. **International Journal of Operations & Production Management**, v.19, n.11, pp.1203-1222, 1999.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: Quatro revoluções na gestão da qualidade.** Artes Médicas. Porto Alegre, 1997.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção: Do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

SILVA, F. A. **Otimização de torres de resfriamento.** Dissertação de mestrado. Escola de química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

SLACK, N et al. **Administração da produção.** 8. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, N. F.; MELO, J. C.; MEDEIROS, D. D. Aplicação do ciclo PDCA: um estudo de caso no processo de fabricação na indústria de baterias. **III SENGI - Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação.** 2020.

YIN, R. K. **Estudo de Caso – Planejamento e métodos.** Bookman. Porto Alegre, 2015.