

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

THAIANNE MOREIRA DE MORAIS



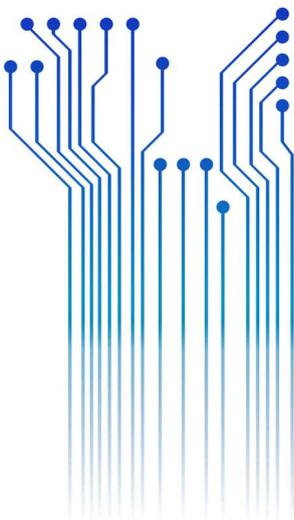
Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM INDÚSTRIA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
20/05/2024

THAIANNE MOREIRA DE MORAIS

METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM  
INDUSTRIA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:

Dr. Luis Reyes Rosales Montero.

Campina Grande, 2024

THAIANNE MOREIRA DE MORAIS

METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM  
INDÚSTRIA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em 20/05/2024

**Roberto Silva de Siqueira, D.Sc**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

**Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho ao meu pai Geraldo Moreira da Silva (in memoriam), que não está mais entre nós, mas continua sendo minha força. Sua lembrança me inspira e me faz persistir.

# AGRADECIMENTOS

Para chegar ao objetivo final de quando traçamos uma meta, contamos com a ajuda de muitas pessoas, afinal, ninguém vence sozinho. Ao longo desses anos na Universidade, convivi com pessoas diferentes, com pensamentos diferentes e que fizeram parte da minha trajetória. É com este pensamento que agradeço, humildemente, a cada uma das pessoas que mencionarei aqui.

Obviamente, meu primeiro agradecimento está voltado para Deus e Nossa Senhora das Graças – protetores do meu lar e da minha família. Meus agradecimentos eternos ao meu pai, Geraldo, que não está mais entre nós, mesmo sem poder vê-lo, sinto sua presença me guiando a cada passo que dou. E a minha mãe, Maria Rita, meu exemplo diário e meu orgulho. Obrigada pelo incentivo aos estudos e por sempre me lembrar da importância disso tudo. Amo vocês.

Aos meus irmãos, Rinaldo e Thayse, pelo apoio e por me incentivarem nos momentos mais difíceis. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço em me ajudar a superar cada obstáculo e, principalmente, pelo imenso amor que têm por mim.

Aos amigos de sala de aula, que posteriormente se tornaram minha família em Campina Grande, que trilharam comigo esse mesmo caminho árduo e de amadurecimento.

Um agradecimento especial para Djancley, Raimunda e Ygor, que acompanharam de perto a minha reta final e nunca me negaram apoio nos momentos em que mais precisei. Vivenciei com eles alguns dos melhores momentos da minha vida e levarei cada um no meu coração e na memória.

Agradeço também aos meus professores de graduação, em especial ao professor orientador Luis Reyes, pela orientação e contribuições ao trabalho. Além disso, expresso minha gratidão ao avaliador Roberto Siqueira. Tenho orgulho de ter aprendido e convivido com profissionais excelentes como vocês.

Às experiências vividas ao longo de dois anos na Empresa Júnior do curso de Engenharia Elétrica - Voltech Consultoria e Projetos Elétricos. Amadureci e aprendi com cada pessoa que passou por lá.

Meus agradecimentos sinceros a cada pessoa citada neste humilde lembrete. Vocês são importantes na minha vida.

*“Todas as grandes coisas são difíceis e raras.”*

Spinoza.

## RESUMO

Reduzir custos na fabricação industrial é essencial para a manutenibilidade das empresas, levando-se em conta o cenário de competição a nível mundial. Deste modo, o World Class Manufacturing (WCM) fornece uma metodologia robusta de identificação de perdas e desperdícios, além de ferramentas para saná-las ou atenuá-las, reduzindo os custos de transformação e melhorando os resultados da organização. Os insumos energéticos são essenciais dentro de qualquer processo industrial, devendo ser trabalhados da melhor forma para elevar sua eficiência. Dentro do WCM o tema é pouco explorado, sendo abordado no quarto passo do pilar de meio ambiente, entretanto sem uma estruturação da forma como devem ser seguidos os direcionamentos a seu respeito. Neste trabalho, será apresentada a estruturação do pilar de energia tomando como base os sete passos do WCM e sua aplicação em uma indústria de produção de baterias de chumbo-ácido.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, *World Class Manufacturing*, insumos energéticos, pilar de energia.

# ABSTRACT

Reducing costs in industrial manufacturing is essential for the maintainability of companies, taking into account the global competition scenario. In this way, World Class Manufacturing (WCM) provides a robust methodology for identifying losses and waste, as well as tools to remedy or mitigate them, reducing transformation costs and improving the organization's results. Energy inputs are essential within any industrial process, and must be worked in the best way to increase its efficiency. Within the WCM the topic is little explored, being addressed in the fourth step of the environment pillar, however without structuring how the guidelines regarding it should be followed. In this work, a structuring of the energy pillar will be presented based on the seven steps of the WCM and its application in a lead-acid battery production industry.

**Keywords:** Energy Efficiency, World Class Manufacturing, energy inputs, energy pillar.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - FLUXO DE PROCESSOS SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA.....	18
FIGURA 2 - PILARES DO WCM.....	20
FIGURA 3 - ESTRUTURA RESUMIDA DO WCM.....	23
FIGURA 4 - OS 7 PASSOS DO DESDOBRAMENTO DE CUSTOS.....	24
FIGURA 5 - CICLO KAIZEN.....	25
FIGURA 6 - CICLO PDCA.....	27
FIGURA 7 - FASES DE IMPLANTAÇÃO DO WCM POR PILAR.....	28
FIGURA 8 - PASSOS DO PILAR MEIO AMBIENTE.....	29
FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO DE PERDA.....	31
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DE DESPERDÍCIO.....	32
FIGURA 11 - COMPLEXO SERRA DO GAVIÃO.....	32
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DAS SUBESTAÇÕES.....	34
FIGURA 13 - MAPEAMENTO DOS VETORES ENERGÉTICOS.....	37
FIGURA 14 - ANALISADOR DE ENERGIA (FLUKE 1734).....	37
FIGURA 15 - MEDIÇÕES NA ÁREA MODELO.....	39
FIGURA 16 - CURVA DE CONSUMO.....	39
FIGURA 17 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO E R\$.....	40
FIGURA 18 - CHECKLIST DE MEDIÇÕES.....	40
FIGURA 19 - SISTEMA DE ESTEIRAS COLETORA E TRANSPORTADORA.....	41
FIGURA 20 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO (CHILLER).....	42
FIGURA 21 - SISTEMA DE COMPRESSORES.....	42
FIGURA 22 - VENTILADORES DAS TORRES DE RESFRIAMENTO.....	43
FIGURA 23 - MEDIÇÃO DO RETIFICADOR 126.....	43
FIGURA 24 - SISTEMA DE BOMBEAMENTO.....	44
FIGURA 25 - LINHA DE AR COMPRIMIDO.....	44
FIGURA 26 - DESLIGAMENTO SENSORIAL DAS ESTEIRAS.....	45
FIGURA 27 - REDUÇÃO NA QUANT. DE COMPRESSORES.....	46
FIGURA 28 - PLANO DE AÇÃO.....	46
FIGURA 29 - IHM E PIRÔMETROS.....	47
FIGURA 30 - MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA APÓS A MELHORIA....	48
FIGURA 31 - EXEMPLO DE FONTE CHAVEADA.....	49
FIGURA 32 - COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS.....	49
FIGURA 33 - SISTEMA DE ECODRIVE.....	50
FIGURA 34 - BOMBA DE VÁCUO.....	50

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ABORDAGEM PARA SOLUÇÃO DE PROBELMAS .....	25
GRÁFICO 2 – OS 7 TIPOS DE PERDAS DE ENERGIA.....	30
GRÁFICO 3 – CONSUMO DOS INSUMOS ENERGÉTICOS EM 2023 .....	33
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO CONSUMOS DE ENERGIA DAS FÁBRICAS.....	34
GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO CONSUMOS DE ENERGIA POR SETOR.....	35
GRÁFICO 6 – CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE FORMAÇÃO .....	36
GRÁFICO 7 – PARETO DE CONSUMO.....	38
GRÁFICO 8 – CUSTO ANUAL COM ENERGIA ELÉTRICA DAS TORRES .....	48
GRÁFICO 9 – CONSUMO ANTES E DEPOIS DA MELHORIA .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNI	Confederação Nacional da Indústria
ESG	<i>Environmental, Social, and Governance</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Firjan	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
MTTR	Tempo Médio para Reparos
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SGen	Sistema de Gestão de Energia
STP	Sistema Toyota de Produção
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	OBJETIVO DO TRABALHO .....	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	17
2.2	<i>WORD CLASS MANUFACTURING</i> .....	19
2.2.1	INTRODUÇÃO AO WCM.....	19
2.2.2	A COST DEPLOYMENT AMBIENTAL .....	23
2.2.3	PILAR DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA .....	24
2.2.4	ABORDAGEM PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS .....	25
3	METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO.....	27
3.1	APLICAÇÃO DO PILAR .....	27
3.2	OS 7 PASSOS DE ENERGIA.....	28
3.3	TIPOS DE PERDAS.....	30
3.4	CONCEITO DE PERDA E DESPERDÍCIO .....	31
4	ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	32
4.1.1	PASSO 0: DEFINIÇÃO DA ÁREA E O TIPO DE ENERGIA.....	33
4.1.2	PASSO 1: ESCOLHA DO PROCESSO MODELO.....	34
4.1.3	PASSO 2: MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL .....	36
4.1.4	PASSO 3: MEDIÇÕES.....	38
4.1.5	PASSO 4: ANÁLISE E PLANO DE AÇÃO.....	40
4.1.6	PASSO 5: CONTRAMEDIDAS.....	45
4.1.7	PASSO 6 E 7: PADRONIZAÇÃO E EXPANSÃO HORIZONTAL.....	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
	REFERÊNCIAS .....	54

# 1 INTRODUÇÃO

As indústrias estão sendo cada vez mais impulsionadas a possuir processos de transformação eficientes, produzindo mais ou o mesmo quantitativo de produtos a menores custos. Desta forma, as empresas necessitam elaborar estratégias para obter melhores performances, eliminando os desperdícios, reduzindo custos e promovendo a melhoria contínua.

O melhor aproveitamento das fontes de energia na indústria é um tema que tem ganhado força no Brasil, mas que ainda tem muito a ser feito para alcançar um maior nível de relevância nas estratégias das companhias. Em análise mais ampla, verifica-se que o setor industrial brasileiro corresponde a 36,2% do consumo de energia elétrica do país, de acordo com o relatório divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética: Balanço Energético Nacional 2023 – ano base 2022. Segundo dados apresentados por um estudo da Firjan (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), publicado em Setembro de 2022, os gastos relacionados à energia elétrica podem representar mais de 40% dos custos de produção do mercado industrial.

Com o agravamento das crises hídricas em 2021, se tornou urgente pensar em alternativas para atingir a eficiência energética. Segundo a Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica da EPE (Ministério das Minas e Energia), houve um aumento no consumo de energia elétrica no segmento industrial sendo este o maior fator de crescimento. Em maio de 2021 os setores metalúrgico, químico e automotivo puxaram um crescimento no consumo em 22,5% em relação ao mesmo período do ano anterior. Cabe neste sentido, considerar que os custos de produção de indústrias são principalmente relacionados ao consumo de energia elétrica, desta forma, o uso adequado e eficiente de energia torna-se necessário dentro de um planejamento de indústrias.

Conforme (FOSSA & SGARBI, 2017) “A energia é um insumo crítico na operação das organizações, qualquer que seja o setor ou atividade econômica à qual elas pertencem. Portanto os atores econômicos devem buscar o seu uso sustentável em toda a cadeia de fornecimento.” O uso deste insumo de forma eficiente traz benefícios em termos de redução de custos na produção e redução dos impactos ambientais ocasionados pelo consumo excessivo.

Segundo Schinazi, um dos acrônimos mais difundidos atualmente no ambiente corporativo, o ESG (Environmental, Social, and Governance) é evidência de que as empresas devem adotar medidas que ampliem sua influência benéfica no mundo para não serem superadas. As empresas devem ser capazes de evidenciar sistemas internos de governança transparentes e éticos; operar

com base em princípios de equidade e justiça social. No contexto ambiental – representado pelo "E" na sigla em inglês – a eficácia energética pode desempenhar um papel crucial para a empresa, proporcionando oportunidades para minimizar seus excessos e alcançar maior competitividade. Isso, por sua vez, pode contribuir para melhorar sua capacidade de atrair investimentos e clientes, resultando em uma classificação ESG mais elevada. Afinal, o impulso do movimento ESG é originado, principalmente, pelos investidores.

Diante disso, faz-se importante que seja abordado a respeito de programas e ações de eficiência energética, no entanto, este conceito ainda é pouco conhecido, fazendo-se necessário então uma melhor compreensão destes programas, visando assim reduzir custos e melhorar a produtividade das indústrias.

Nesse contexto, uma das metodologias que podem ser empregadas para aprimorar a eficiência energética nas empresas é o sistema de gestão World Class Manufacturing (WCM), uma vez que é eficaz na eliminação de perdas (LC Demarchi, 2020). Seguindo tal lógica, o estudo foi desenvolvido em uma grande empresa com sede em Pernambuco, que já faz uso da metodologia para otimizar o sistema produtivo.

Esta metodologia está estruturada em dez pilares técnicos e dez pilares gerenciais e utiliza um conjunto de métodos e ferramentas para que as empresas possam alcançar níveis de classe mundial, ou seja, atingir as performances das grandes organizações industriais do mundo. Neste trabalho serão avaliados os pilares técnicos de meio ambiente e energia.

De acordo com (PEREIRA, 2015) "O pilar de meio ambiente tem como objetivo atender as normas de gerenciamento ambiental, e desenvolver uma cultura de proteção ao meio ambiente." O quarto passo de aplicação deste pilar é referente a redução dos vetores energéticos, entretanto, não aborda métodos de priorização e modelos de gerenciamento para análise das perdas de energia e seus impactos na cadeia produtiva. Desta forma, o pilar de energia surge como um modelo de gestão energética capaz de gerenciar de forma sistemática o consumo dos insumos energéticos e promover a implantação de projetos que garantam o uso eficiente destes insumos.

## 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem como propósito aplicar uma metodologia para implementação de trabalhos de eficiência energética, voltadas a realidade da empresa, no seu programa de melhoria de processos produtivo, visando a substancial redução do consumo de energia elétrica.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Aplicar conceitos que fazem parte da metodologia WCM;
- Propor melhorias no sistema de gerenciamento de energia elétrica, com base nos conceitos da ISO 50001;
- Reduzir o consumo de energia na unidade piloto em (kWh/ano);
- Reduzir os impactos ambientais e consumo dos recursos naturais;
- Propor recomendações práticas para o uso eficiente dos recursos energéticos.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No Capítulo 1, são apresentados o contexto no qual a pesquisa está inserida, as motivações que a impulsionaram, os objetivos a serem alcançados e a forma como os demais capítulos estão dispostos para conduzir o leitor pela trajetória da investigação.

O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico, abordando conceitos relacionados à eficiência energética e ao World Class Manufacturing (WCM). Desde uma introdução ao WCM até sua fundamentação teórica, passando pelos conceitos de perdas e sua estruturação, este capítulo fornece uma base para a compreensão dos pilares de meio ambiente e energia que sustentam o WCM.

No Capítulo 3, a Metodologia de Implementação é descrita destacando os sete passos de energia e os diferentes tipos de perdas considerados durante o processo. Aqui, os métodos utilizados para aplicar a teoria na prática são delineados.

O Capítulo 4 é dedicado ao Estudo de Caso, onde os conceitos teóricos e metodológicos são postos à prova na aplicação prática.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões finais do estudo, derivadas das descobertas e análises realizadas ao longo do trabalho. Aqui, são discutidas as contribuições do estudo para a área de pesquisa, suas limitações e possíveis direções para futuras investigações, encerrando o trabalho de forma reflexiva e conclusiva.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste tópico serão apresentados os conceitos de eficiência energética, World Class Manufacturing (WCM), pilar de meio ambiente, metodologia de implantação do pilar de energia, seus *steps* e por fim, o kaizen e como este é aplicado.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a eficiência é essencialmente a capacidade de realizar mais, ou, pelo menos, o mesmo, utilizando menos recursos, enquanto ainda se mantém quantidade produzida e a qualidade. Isso implica em consumir menos para produzir mais, enfatizando a necessidade de correlacionar o consumo com a produção. É importante destacar que a eficiência energética não deve ser confundida com a mera redução absoluta do consumo de energia em uma área específica, fábrica ou equipamento, pois essa redução isolada não garante um verdadeiro estado de eficiência.

Conforme Seixas (2020) a eficiência energética, configura-se por uma atividade que tem como objetivo a conscientização em relação ao consumo dos recursos energéticos de forma consciente e racional, isto é relevante, uma vez que estudos da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan), a tarifa média de energia elétrica paga pela indústria brasileira é quase 50% a mais que a média mundial, além de pagar altos preços pela energia, acabam desperdiçando-a, tornando necessário que seja repensado um trabalho de conscientização do uso da mesma.

Neste sentido, alguns pontos podem ser trabalhados de forma direta na redução de consumo energético, sendo eles: motores elétricos, iluminação artificial, e sistemas de climatização e ventilação mecânica. Dentro do contexto industrial, os motores elétricos caracterizam-se como componentes que mais consomem energia. Dentre os desafios presentes nestes motores temos o superaquecimento, este muitas vezes causado pelo não conhecimento no processo de instalação, de valor de carga, o que acaba por gerar um maior custo na instalação, manutenção e proteção deste motor (LOPES; MERIGUE; MELO, 2022).

Segundo a Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), os motores elétricos são responsáveis pelo consumo de 68% da energia elétrica das fábricas. Desta forma, torna-se essencial verificar o rendimento dos mesmos e utilizar sistemas de controle que sejam capazes de identificar períodos não produtivos e que realizem o desligamento destes equipamentos ou ajustem sua rotação com o objetivo de reduzir o consumo. No que concerne

iluminação, pode-se avaliar o correto método de dimensionamento e seleção do conjunto de luminárias que podem ser aplicadas ao local de instalação, com o intuito de reduzir a potência instalada e garantir uma luminosidade adequada. Além disso, os sistemas de controle do tempo de utilização da iluminação são de grande importância para aumento da eficiência.

Em relação aos sistemas de climatização e ventilação mecânica, é necessária a avaliação da carga térmica do ambiente, para que seja promovido o conforto térmico no local de instalação. Para que haja uma melhor eficiência energética, devem ser verificados os tipos de sistemas instalados e seu desempenho através da razão entre a potência térmica retirada do ambiente climatizado pela potência elétrica consumida por meio do sistema de climatização, realizando a aplicação da solução mais viável.

Há diversas normas aplicadas na avaliação de desempenho de instalações, dentre elas a ISO 50001 – Sistema de Gestão de Energia (SGEn), que tem por objetivo estabelecer os requisitos mínimos e específicos que garantam a melhoria contínua do desempenho energético. Esta norma tem como principal propósito permitir que as empresas estabeleçam processos para melhorar seu desempenho energético, guiar o processo de redução da emissão de gases de efeito estufa fazendo uso do método PDCA (Plan, Do, Check, Act) como base para o seu sistema de gestão, conforme Figura 1.

FIGURA 1 - FLUXO DE PROCESSOS EM UM SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA



FONTE: (SIMÕES-MOREIRA & AL., 2023)

## 2.2 *WORD CLASS MANUFACTURING*

Ao longo da evolução do cenário industrial global, diversas ferramentas e metodologias foram concebidas e implementadas com o objetivo de aprimorar os índices de eficiência e desempenho. Muitas dessas práticas têm sua origem na indústria automobilística e eletrônica do Japão. Segundo (LACERDA, 2020) “O WCM – *World Class Manufacturing* (Manufatura de Classe Mundial) são um conjunto de conceitos, princípios e técnicas para gestão de processos fabris em uma organização.” Os seus ideais consistem na obtenção do mínimo de fornecedores, entregas rápidas, ter equipamentos menores, diminuir as distâncias, diminuir atividades de controle e baixar os estoques intermediários que, por sua vez, é baseada no Sistema Toyota de Produção (STP).

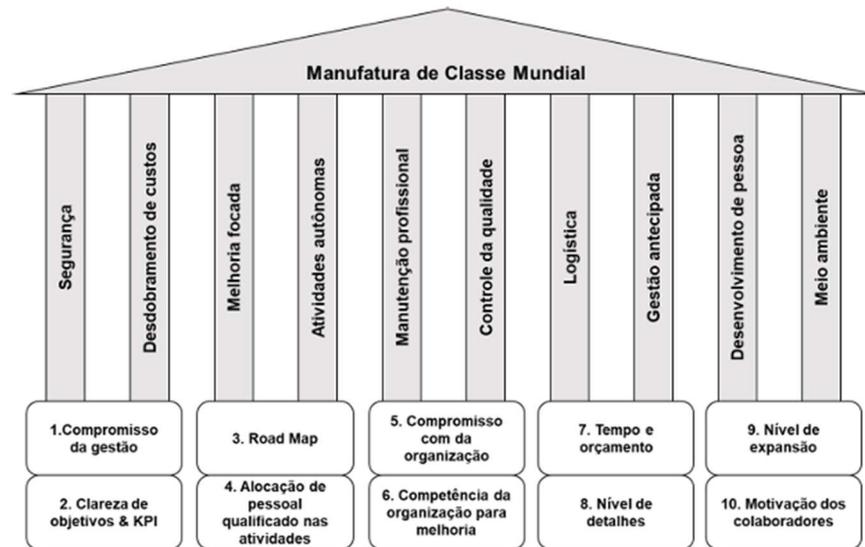
Os conceitos de WCM começaram a ser difundidos em 1984, por Hayes Wheelwright, que apresentou técnicas desenvolvidas por empresas alemãs e japonesas em seus processos. Em 1986, Richard Schonberger, publicou o livro *World Class Manufacturing: The Lessons of Simplicity Applied*, que apresenta esta metodologia como meio para alcançar a melhoria contínua de forma rápida.

De acordo com (DEMARCHI, 2020), “O modelo do WCM mencionado por Schonberger consistia na adequação das técnicas de produção Just in Time (JIT), no forte compromisso com o Total Quality Management (TQM) e o Total Productive Maintenance (TPM), e no desenvolvimento de todos os colaboradores nas atividades de melhoria.” O principal responsável pela difusão destes conceitos, atualmente, é o professor Dr. Kyoto Hajime Yamashina.

### 2.2.1 INTRODUÇÃO AO WCM

A filosofia do WCM, é sustentada por alguns conceitos, que acabam sendo alicerces da metodologia. A sua estrutura é baseada em dez pilares técnicos e dez pilares gerenciais, conforme apresentado na Figura 2. Os pilares técnicos estão relacionados a produção, apresentando objetivos específicos a serem implantados pela empresa para o desenvolvimento do sistema. Os pilares gerenciais estão relacionados ao comprometimento que as pessoas e a organização devem demonstrar no decorrer da aplicação do método para que seja possível alcançar os objetivos.

FIGURA 2 - PILARES DO WCM



FONTE: ADAPTADO DE (DEMARCHI, 2020)

Na Manufatura Classe Mundial (WCM), o conjunto dos pilares técnicos perpassa praticamente todos os processos de uma organização. Breves descrições são apresentadas a seguir (SANTOS, 2017)

1 – *Safety* (Segurança): Encarregado de promover um ambiente de trabalho completamente seguro e controlado, visando garantir a integridade física e mental dos colaboradores. O foco primordial reside na eliminação de acidentes, por meio de uma abordagem robusta em ações preventivas.

2 – *Cost Deployment* (Desdobramento de Custos): Pilar incumbido de identificar e quantificar financeiramente todas as perdas e desperdícios do sistema produtivo, bem como priorizar a abordagem das perdas que ofereçam as maiores potencialidades de redução de custos.

3 – *Focused Improvement* (Melhoria Focada): Responsável por fornecer suporte metodológico adequado para combater as perdas, de acordo com a priorização estabelecida pelo pilar Desdobramento de Custos, além de monitorar o progresso dos projetos por meio de avaliações de benefícios, custos e economias, e recomendar a aplicação de ferramentas mais avançadas para solucionar problemas de maior complexidade.

4 – *Autonomous Activities* (Atividades Autônomas): Este pilar é subdividido em dois segmentos: Manutenção Autônoma e Organização do Posto de Trabalho, os quais devem ser tratados em conjunto. O primeiro concentra-se nas atividades das máquinas, enquanto o segundo diz respeito às atividades manuais.

5 – *Professional Maintenance* (Manutenção Profissional): Pilar responsável pela restauração das condições originais dos equipamentos, realizada por profissionais de manutenção, a fim de prevenir a quebra das máquinas e contribuir para a prolongação da vida útil dos componentes, reduzindo o tempo médio para reparos (MTTR) e aumentando o tempo médio entre falhas (MTBF).

6 – *Quality Control* (Controle da Qualidade): Neste pilar estão inseridos métodos e ferramentas específicas que auxiliam no controle e monitoramento das entradas dos processos.

7 – *Logistics* (Logística): Baseado na reorganização dos processos por meio do mapeamento do fluxo de valor e na implementação de práticas que garantam um melhor fluxo, como JIT, Material Handling, Milk Run e alterações de layout. O objetivo é reduzir estoques, movimentações e transporte, abrangendo desde o fornecedor até o cliente final.

8 – *Early Equipment and Product Management* (Gestão Antecipada de Equipamento e Produto): Relacionado às atividades necessárias para o desenvolvimento de um projeto de aquisição de um novo equipamento para a planta, visando adquirir máquinas com desempenho produtivo de classe mundial, como produtividade, custos, qualidade e manutenção, e reduzir o tempo de inicialização vertical para obter uma eficácia geral do equipamento (OEE) entre 80% e 90%.

9 – *People Development* (Desenvolvimento de Pessoas): Visa garantir, por meio de um sistema estruturado de treinamento, as habilidades necessárias para cada posto de trabalho, formando especialistas como agentes propagadores da metodologia MCM para todos os colaboradores da empresa.

10 – *Environment* (Meio Ambiente): Aborda o desenvolvimento da organização em termos de sustentabilidade ambiental e social, buscando reduzir os impactos ambientais e sociais, utilizando recursos mínimos para produção.

A filosofia do WCM é sustentada por alguns princípios que se tornam pilares da metodologia. Segundo DEMARCHI (2020), o WCM tem sete conceitos fundamentais:

1. Importância de ter uma visão abrangente, partindo do macro para o detalhe;
2. Consciência de custos, valorando financeiramente todas as perdas e desperdícios;
3. Visualização das informações, informação a vista de todos os envolvidos;
4. Utilização de métodos e ferramentas apropriadas para o que se deseja abordar;
5. Conceito Zero, buscando sempre zero acidentes, zero quebras, zero defeitos, zero estoque.
6. Contramedidas sempre focadas na causa raiz do problema, nunca no sintoma;
7. Orientação detalhada.

Além dos sete conceitos fundamentais, outro elemento intrínseco ao WCM, de acordo com DEMARCHI (2020), são os cinco pontos de vista, que são extremamente relevantes para a implantação da metodologia, conforme segue abaixo:

1. Lógica: Identificar os desperdícios e trabalhar para eliminá-los;
2. Método e ferramentas: Abordar cada problema de maneira adequada, utilizando a ferramenta apropriada;
3. Rigor: Especificar minuciosamente o problema em questão, assim como o método e os instrumentos a serem empregados;
4. Ritmo: É crucial envolver as pessoas, desenvolver competências nas equipes e estabelecer formas de monitoramento, de modo que os prazos sejam cumpridos;
5. Resultados: Todas as atividades devem gerar resultados positivos.

A figura 03 resume o funcionamento da metodologia WCM:

FIGURA 3 - ESTRUTURA RESUMIDA DO WCM



FONTE: MATERIAL DE DIVULGAÇÃO INTERNA DA EMPRESA (2023)

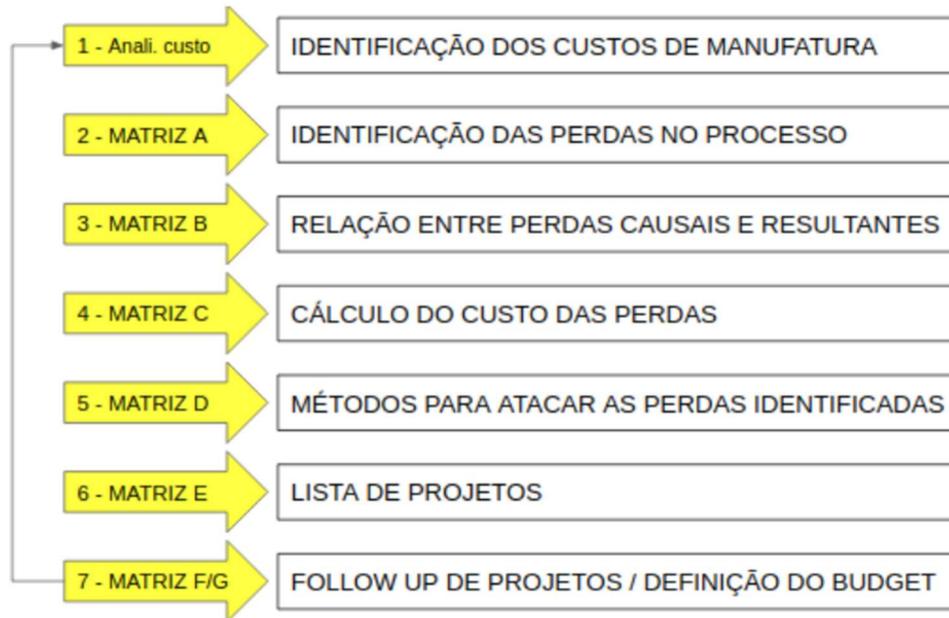
### 2.2.2 A COST DEPLOYMENT AMBIENTAL

A lógica do WCM permite focar as intervenções de melhoramento a serem realizadas, ancorando-as à implementação de um *Cost Deployment*, que reside na capacidade de transformar as perdas em custos, quantificando em medidas físicas: horas, kWh, números de unidade de material, etc.

A aplicação do Cost Deployment, ilustrado na figura 4, permite uma forte aceleração dos resultados e o alcance de vantagens importantes na redução das perdas. Esse método constitui a bússola que orienta e guia os projetos de melhoramento constante, permitindo enfocar as áreas em que são colocadas as maiores perdas casuais que fornecem as possibilidades de maior eficiência e eficácia na redução / eliminação, de agilizar a escolha das metodologias e dos pilares técnicos a ser ativados para a remoção das causas de perda, permitindo uma fácil avaliação de custos e benefícios.

A lógica do percurso de realização do Cost Deployment é a seguinte:

FIGURA 4 - OS 7 PASSOS DO DESDOBRAMENTO DE CUSTOS



FONTE: WITTIMANN (2020)

1. Identificam-se as perdas e os desperdícios de modo qualitativo, colocando-os nos processos em que acontecem (Matriz A – Perdas / Processos);
2. Identifica-se a relação entre perdas causais e todas as perdas resultantes (Matriz B – Causais /Resultantes);
3. Transformam-se as dimensões das perdas e dos desperdícios individualizados como causa originais de custos (Matriz C – Custos / Perdas);
4. Selecionam-se metodologias (WCM Pilares) para remover as causas originais das perdas e dos desperdícios e estabelecem-se prioridades (Matriz D Perdas/Métodos);
5. Estimam-se os custos de implementação dos Projetos para a remoção das causas e as vantagens em termos de redução de custos que comportam (Matriz E Custos/Benefícios);

### 2.2.3 PILAR DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA

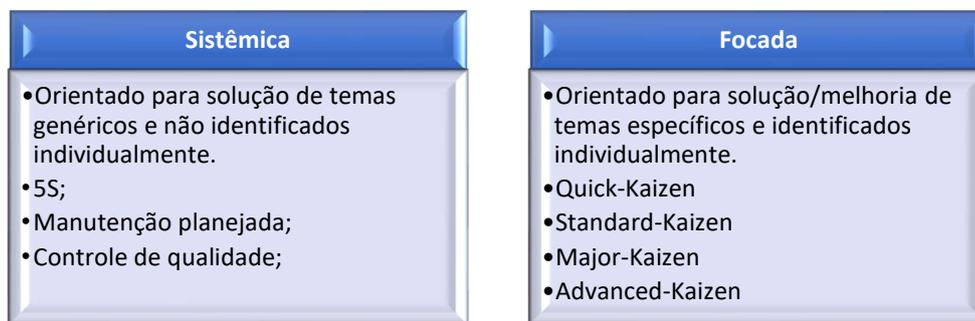
O pilar de meio ambiente, 10º pilar técnico do WCM, tem como objetivo prevenir a poluição, reduzir os impactos ambientais e reduzir o consumo dos recursos naturais. As ações são voltadas para o consumo consciente de energia e água, a diminuição da quantidade de

resíduos gerados, a melhoria da coleta seletiva e a melhoria da qualidade das emissões na atmosfera. O objetivo é auferir uma redução no desperdício, o que resultará na diminuição dos custos energéticos e ambientais em relação ao custo total da produção.

#### 2.2.4 ABORDAGEM PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

As abordagens para solução dos problemas, eliminação de perdas, pode ser de forma focada, ou sistêmica. O gráfico abaixo, demonstra a diferença entre ambas:

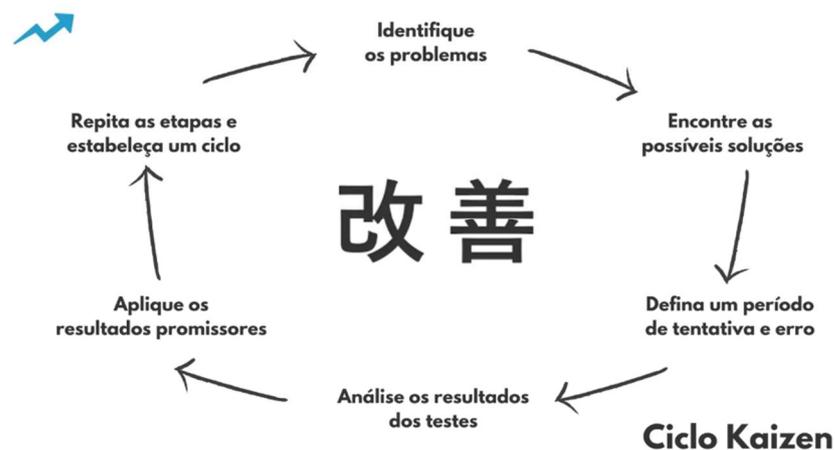
GRÁFICO 1 – ABORDAGEM PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS



FONTE: ADAPTADO DE (DEMARCHI, 2020)

No âmbito da abordagem focada, o *kaizen*, palavra de origem japonesa, que significa mudar para melhor: *Kai* (改): mudança e *zen* (善): melhoria, refere-se a um processo de melhoria contínua, conforme ilustrado na figura 5, de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de se agregar mais valor com menos desperdício.

FIGURA 5 - CICLO KAIZEN



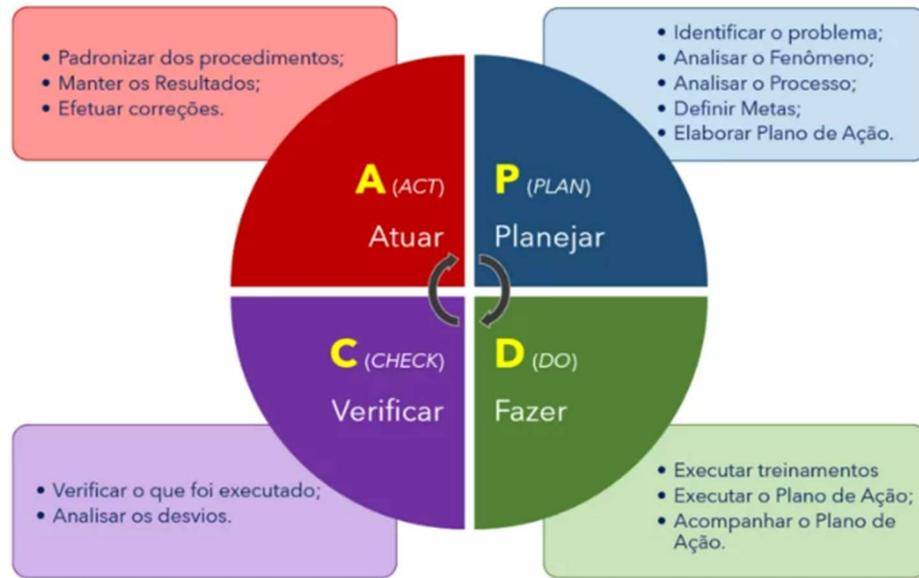
FONTE: ADAPTADO DE (LUÍS DIAS, 2023)

Existem algumas ferramentas de melhoria de qualidade trabalhadas no *Kaizen*, sendo elas: *Brainstorming*, 5S, 5 porquês, Diagrama de causa e efeito, 5W1H e o PDCA, também conhecido como Ciclo de Deming, que é uma metodologia de gestão amplamente utilizada para a melhoria contínua de processos e resultados.

O PDCA, conhecido como Ciclo PDCA ou Ciclo de Deming, ilustrado na figura 6, é um método de gestão amplamente adotado para promover a melhoria contínua nos processos e alcançar resultados consistentes. Desenvolvido originalmente por Walter Shewhart na década de 1920 e posteriormente popularizado por Edward Deming nos anos 1950, este método é composto por quatro etapas inter-relacionadas e cíclicas: Planejar, Fazer, Verificar e Agir.:

- **Planejar (Plan):** Nesta etapa, são estabelecidos os objetivos e metas a serem alcançados, bem como os planos e estratégias para atingi-los. Isso envolve identificar problemas, analisar causas raiz e desenvolver soluções.
- **Fazer (Do):** Na fase de "Fazer", os planos e estratégias definidos na etapa anterior são colocados em prática. São executadas as atividades planejadas e são implementadas as mudanças necessárias nos processos.
- **Verificar (Check):** Após a implementação das ações, é realizada uma avaliação para verificar se os resultados alcançados estão de acordo com as metas estabelecidas. Nesta etapa, são coletados dados e realizadas análises para comparar o desempenho atual com o desempenho esperado.
- **Agir (Act):** Na última etapa, com base nos resultados da etapa anterior, são tomadas medidas corretivas e preventivas para ajustar e aprimorar continuamente o processo. Isso pode envolver a padronização de práticas eficazes, a correção de falhas identificadas ou a implementação de melhorias adicionais.

FIGURA 6 - CICLO PDCA



FONTE: MATERIAL DE DIVULGAÇÃO INTERNA DA EMPRESA (2023)

### 3 METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

#### 3.1 APLICAÇÃO DO PILAR

Tipicamente, a gestão energética é centrada no consumo total, sem uma abordagem direcionada à identificação das causas raiz das ineficiências. Qualquer forma de ineficiência, inclusive a energética, é indicativa de um desempenho inadequado ou, pelo menos, de oportunidades de aprimoramento, dado que há um claro excesso de gastos em relação ao necessário.

No contexto da empresa em que o presente estudo será conduzido, segue-se a abordagem dos sete passos. Este processo inicia-se com a definição da visão organizacional e das estratégias empresariais, seguido pelo detalhamento e mapeamento dos processos produtivos. Tal procedimento de mapeamento possibilita a identificação de aspectos energéticos relevantes, os quais servem como base para a elaboração e implementação de planos de aprimoramento.

Após a delimitação da metodologia, esta será implementada em um processo produtivo específico na empresa, transformando-o em um estudo de caso de aplicação prática. O propósito é verificar empiricamente a eficácia da metodologia, visando alcançar resultados tangíveis de redução de custos.

Os pilares técnicos são implementados em uma lógica de 7 passos, cujas atividades devem ser realizadas e certificadas para que o a metodologia do pilar seja implementada. O

prossequimento na implantação dos passos subsequentes passa pela evidência da maturidade na implementação do passo anterior. Os sete passos em questão são divididos em três fases: reativa, preventiva e proativa, conforme Figura 7.

FIGURA 7 - FASES DE IMPLANTAÇÃO DO WCM POR PILAR



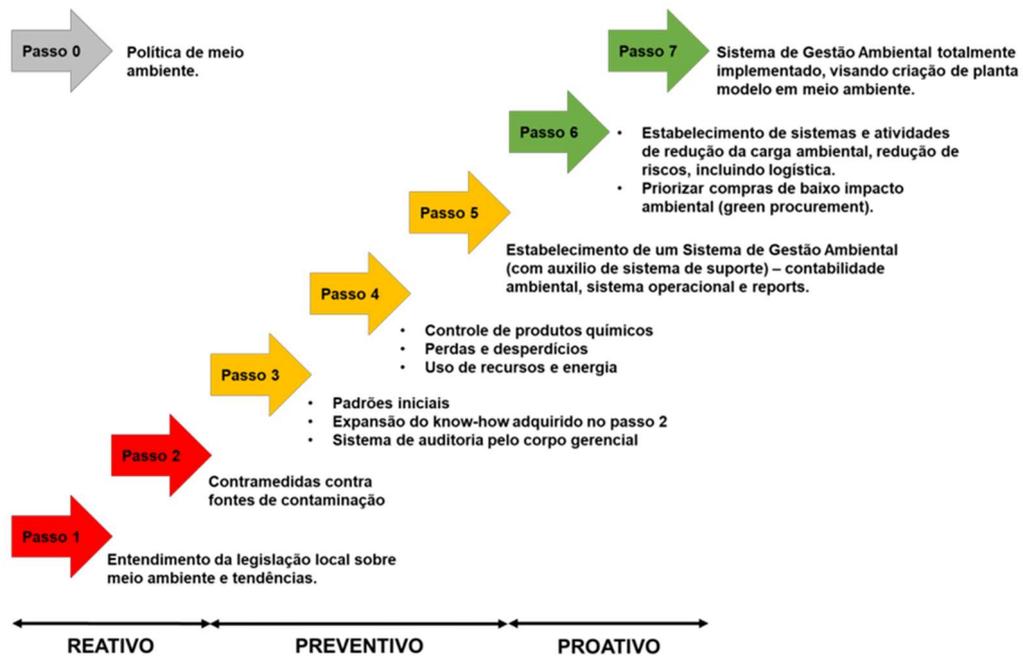
FONTE: WEG (2016).

Na fase reativa (inicial) o foco está na identificação de causas raízes e implementação de contramedidas, após a ocorrência do problema. Na fase preventiva, os históricos de problemas são informações de referência para se evitar que os mesmos problemas voltem a ocorrer. Já a fase proativa é baseada na análise teórica dos riscos potenciais, sendo que as contramedidas apropriadas são tomadas, com o intuito de se evitar a ocorrência de um evento severo (SANTOS, 2017).

### 3.2 OS 7 PASSOS DE ENERGIA

A Figura 8 expõe os sete passos para implementação desse pilar, que consistem em uma abordagem sistemática e gerencial para reduzir ou eliminar os impactos ambientais causados pela organização.

FIGURA 8 - PASSOS DO PILAR MEIO AMBIENTE

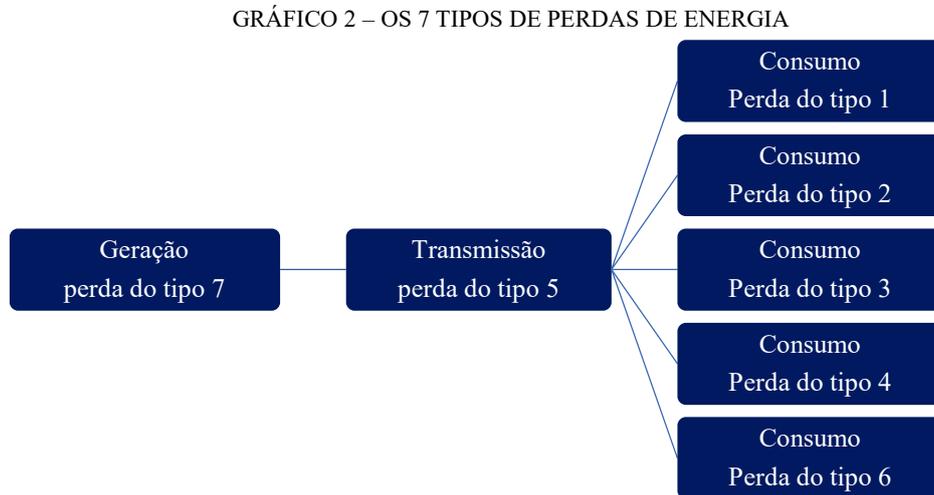


FONTE: ADAPTADO DE (DEMARCHI, 2020)

- O passo 0 é preliminar e está voltado para a definição da política de meio ambiente;
- O passo 1 visa o atendimento às legislações locais;
- O passo 2 tem como foco a eliminação das fontes de contaminação;
- O passo 3 estabelece a expansão das melhorias e conhecimentos adquiridos no passo 2 para todas as áreas que possuem atividades similares.
- O passo 4 tem por objetivo controlar os produtos químicos e economizar os recursos naturais e energéticos, nesta etapa é onde se trabalha a redução de perdas com energia elétrica.
- O passo 5 estabelece um sistema de gestão ambiental para todas as atividades dentro da empresa. Todos os aspectos, impactos, leis, atividades, riscos são monitorados permanentemente, de modo a garantir nenhum distúrbio ambiental.
- O passo 6 busca reduzir ainda mais o consumo de recursos naturais na empresa, buscar reduzir ou eliminar o uso de materiais na produção.
- O passo 7 busca consolidar por completo o sistema de gerenciamento ambiental, visando ter a planta toda como modelo na gestão de meio ambiente.

### 3.3 TIPOS DE PERDAS

Os 7 tipos de perdas que são classificados de acordo com a sua origem/causa, conforme mostrado abaixo no gráfico 2:



FONTE: AUTOR

A seguir, apresenta-se a definição de cada tipo de perda identificado:

Tipo 1: Essa categoria de perda ocorre devido ao consumo desnecessário em ambientes sem produção. Um exemplo ilustrativo seria a iluminação de áreas de armazenamento durante períodos de inatividade operacional, resultando em um desperdício desnecessário de energia elétrica.

- Tipo 2: Esta tipologia refere-se ao consumo excessivo durante a produção normal. Um exemplo concreto seria a operação contínua de maquinário de alta potência, mesmo quando a demanda de produção é mínima, levando a um consumo desproporcional de energia.

- Tipo 3: Essa classificação de perda decorre da falta de otimização dos equipamentos industriais. Um exemplo prático seria a utilização de equipamentos desatualizados ou mal ajustados, resultando em um consumo energético superior ao necessário para a realização das atividades operacionais.

- Tipo 4: Esta categoria de perda resulta da não recuperação de parte da energia consumida. Um exemplo elucidativo seria o desperdício de calor gerado por máquinas industriais que não é aproveitado para outros fins, como o aquecimento de água ou ambientes.

- Tipo 5: Essa tipologia envolve as perdas na distribuição e transmissão de energia. Um exemplo tangível seria a perda de energia ao longo de cabos elétricos devido à resistência do material, resultando em uma entrega reduzida de energia ao destino final.

- Tipo 6: Perdas durante a fase de transformação da energia elétrica. Um exemplo prático seria a dissipação de energia durante a conversão de energia elétrica em energia mecânica em motores elétricos, devido a atritos e ineficiências no sistema.

Após a identificação e classificação das perdas, a etapa seguinte consiste em avaliá-las financeiramente, a fim de posteriormente priorizar quais devem ser abordadas.

### 3.4 CONCEITO DE PERDA E DESPERDÍCIO

Dentro do WCM, a noção de perda é intrinsecamente ligada ao trabalho que adiciona custo, mas não adiciona valor, é a diferença entre o esperado e o resultado obtido, dada certa quantidade de recurso de entrada. A perda pode ser vista como entrada efetivamente não utilizada. Um exemplo de perda é o balde furado recebendo água, conforme ilustrado na figura 9. Será necessário muito mais água do que a necessidade real do recipiente, e talvez não seja possível ele chegar a ficar cheio.

FIGURA 9 - REPRESENTAÇÃO DE PERDA



FONTE: ADAPTADO DE (DEMARCHI, 2020)

Por outro lado, o conceito de desperdício se refere à uma utilização excessiva dos recursos de entrada para obter uma saída. De certa forma é basicamente um excesso de quantidade de entrada. Um exemplo de desperdício é o balde transbordando porque a quantidade de água a ser depositada no balde é maior que a capacidade do recipiente do mesmo, conforme a figura 10.

FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DE DESPÉRDICIO



FONTE: ADAPTADO DE (DEMARCHI, 2020)

#### 4 ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O estudo de aplicação da metodologia conduzido neste trabalho fora desenvolvido durante o estágio realizado na empresa Acumuladores Moura S/A, localizada no município de Belo Jardim, no estado de Pernambuco. Na Figura 11, é apresentado o Complexo Industrial Serra do Gavião, localizado no município de Belo Jardim.

FIGURA 11 - COMPLEXO SERRA DO GAVIÃO.



FONTE: AUTOR

O setor de Insumos Energéticos é parte integrante da Diretoria de Metais e Sustentabilidade, incumbido de gerenciar o consumo de energia elétrica das unidades fabris do grupo.

Entre as responsabilidades atribuídas ao setor na empresa, destaca-se o estabelecimento de metas para eficiência energética, relacionando o consumo de energia elétrica com a produção de cada unidade fabril.

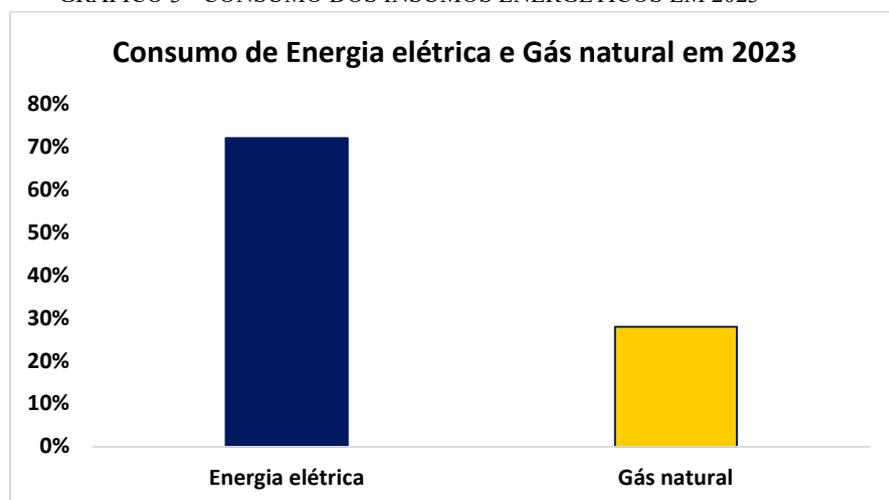
Durante o período de estudo e desenvolvimento deste trabalho, coube à estagiária a investigação sobre a aplicação da metodologia para projetos de eficiência energética nas unidades fabris do Grupo, visando alcançar uma meta interna de redução anual no consumo de kWh. Neste contexto, foram realizados os sete passos da metodologia WCM, identificando oportunidades de eficiência energética e aplicando o método Kaizen para os projetos. A gestão desses projetos foi conduzida utilizando o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), garantindo uma abordagem sistemática e contínua para a melhoria dos processos.

Diante do exposto, procedeu-se à aplicação da metodologia conforme descrita abaixo.

#### 4.1.1 PASSO 0: DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA E O TIPO DE ENERGIA

O escopo da pesquisa em questão será direcionado à análise da energia elétrica, tendo em vista sua predominância como fonte energética preponderante nesta empresa durante o ano de 2023, representando 72% do consumo total, enquanto o gás natural representou 28%. Para determinar o escopo do trabalho, foi realizada uma análise do percentual de consumo de energia em 2023, conforme o gráfico 3.

GRÁFICO 3 - CONSUMO DOS INSUMOS ENERGÉTICOS EM 2023



FONTE: AUTOR

#### 4.1.2 PASSO 1: ESCOLHA DO PROCESSO MODELO

A planta industrial da unidade A é alimentada em 69KV, através de uma subestação com dois transformadores de 12,5MVA, que possuem entrada em 69KV e saída em 13,8KV.

A energia é distribuída na fábrica através de nove subestações de 13,8KV com saída para tensões de 440V, 380V e 220V a depender da necessidade do local, conforme apresentado na Figura 12.

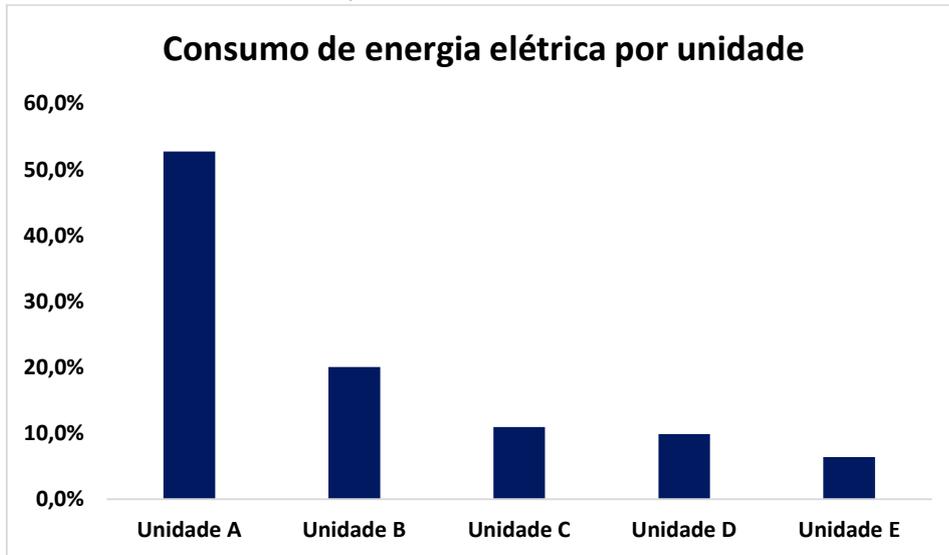
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DAS SUBESTAÇÕES



FONTE: ADAPTADO DE FRANÇA, M. (2023).

No levantamento efetuado, constatou-se que a unidade A corresponde a 52,8%, a unidade B a 20%, a unidade C a 10,9%, a unidade D a 9,9% e a unidade E a 6,4%, conforme ilustrado no gráfico 4. A partir da estratificação realizada, tornou-se viável selecionar área de maior consumo.

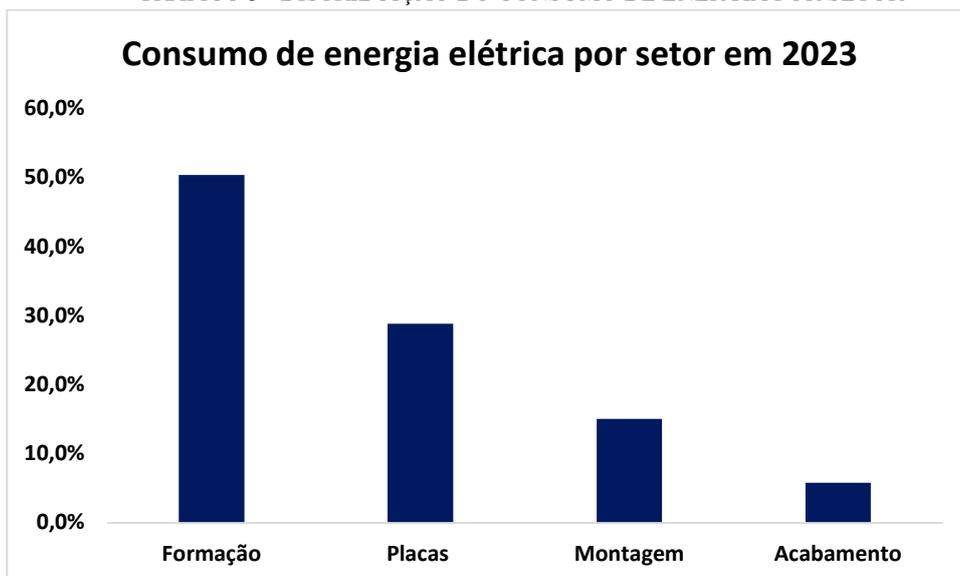
GRÁFICO 4 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DAS FÁBRICAS



FONTE: AUTOR

Assim, definiu-se concentrar os esforços na eficiência energética, com foco na unidade A, e simultaneamente abordar os domínios das unidades B, C, D e E, que compartilham o uso de equipamentos semelhantes em seus processos produtivos, visando à replicação dos resultados obtidos. Considerando a distribuição mencionada, procedeu-se ao levantamento do consumo de energia elétrica de cada setor, de acordo com a representação do gráfico 5. A formação representa 50,4% do consumo total da planta, seguida por placas com 28,8%, montagem com 15,0% e acabamento com 5,8%.

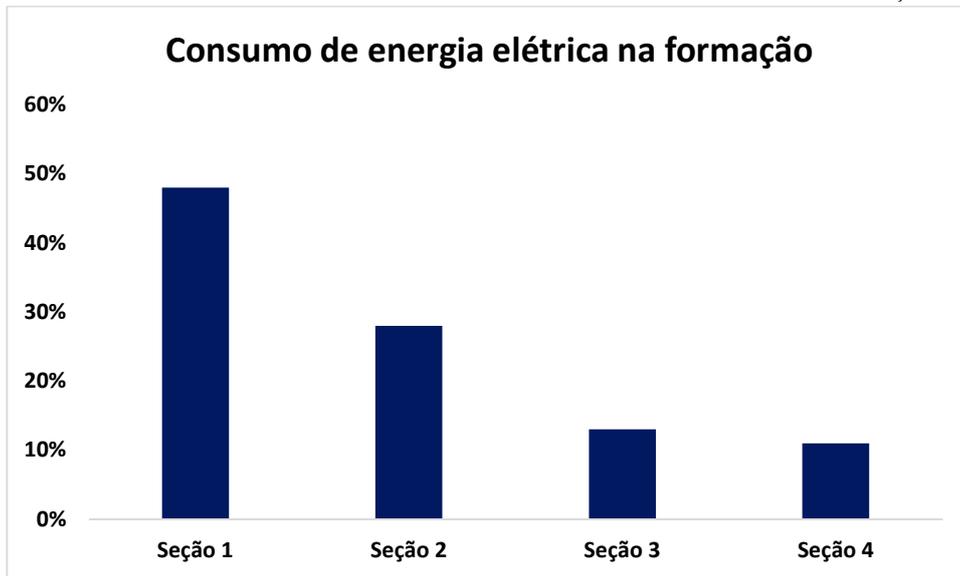
GRÁFICO 5 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR



FONTE: AUTOR

O setor de formação é subdividido em quatro seções: a seção 1, responsável por 48% do consumo; a seção 2, correspondente a 28%; a seção 3, que consome 13%; e a seção 4, responsável por 11% do total, assim como demonstra o gráfico 6.

GRÁFICO 6 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR DE FORMAÇÃO



FONTE: AUTOR

#### 4.1.3 PASSO 2: MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

A empresa é segmentada em unidades de negócio, a seleção do processo modelo deve seguir preferencialmente uma ordem de prioridade baseada no maior valor de consumo de energia que deve ser estratificado com base no histórico de consumo e medições específicas.

Para isso, foi necessário avaliar as medições já disponíveis e providenciar a implantação das demais que apresentarem relevância significativa para o estudo. A princípio, deu-se início a uma atividade de mapeamento dos vetores energéticos das cinco unidades existentes na planta, coletando informações das que já possuíam sistemas integrados de telemetria e concentrando todas as informações em planilhas de acompanhamento como no exemplo exposto na figura 13:

FIGURA 13 - MAPEAMENTO DOS VETORES ENERGÉTICOS

Conjunto/Informação do local	Informações do equipamento		Horas de produção						
Descrição do equipamento	Potência (KW)	Rendimento (%) Corrente (A)	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom
FMG - 02	44.8	81.4 A	24	24	24	24	24	24	24
LAVADOR AR	75	94.6%	24	24	24	24	24	24	24
COMPRESSOR	337		24	24	24	24	24	24	24
COMPRESSOR	45		24	24	24	24	24	24	24
FMG - 01	111.9	95.5%	24	24	24	24	24	24	24
FMG - 02	150	95.5%	24	24	24	24	24	24	24

FONTE: AUTOR

Para as unidades desprovidas de tal sistema, foram realizadas medições utilizando um analisador de energia, o FLUKE 1734, conforme ilustrado na figura 14. Com o intuito de verificar o perfil de consumo dos processos produtivos.

Nos casos em que não foi possível realizar medições diretamente, foram utilizados cálculos teóricos de consumo médio, com base nos dados de placa dos equipamentos e considerando o perfil de utilização ao longo do mês.

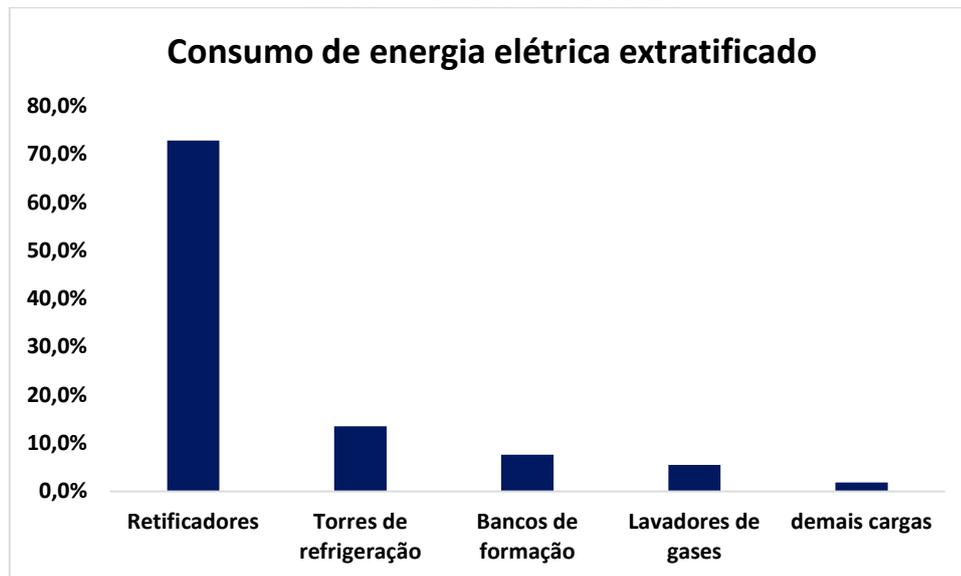
FIGURA 14 - ANALISADOR DE ENERGIA (FLUKE 1734)



FONTE: AUTOR

As principais cargas encontradas na seção 1 estão ilustradas no Pareto a seguir:

GRÁFICO 7 – PARETO DE CONSUMO



FONTE: AUTOR

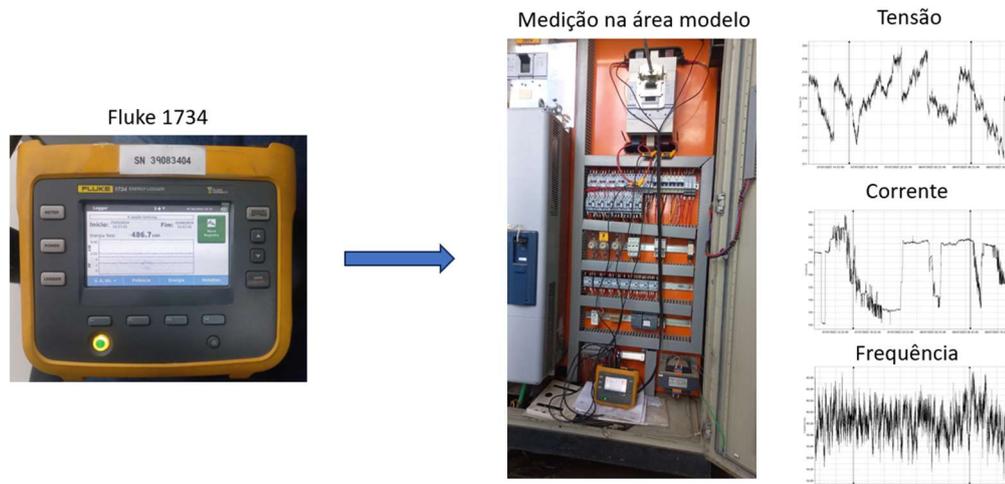
Logo, a escolha sob a ótica metodológica, deve ser direcionada à seção 1 do setor de formação. Outro aspecto relevante, igualmente ponderado, é a viabilidade de expansão para equipamentos similares, dada a presença do setor de formação em outras duas unidades presentes no complexo industrial. Observou-se também durante o mapeamento, que os retificadores representam 72% do consumo da seção 1, as torres de refrigeração 13,34%, os bancos de formação 7,46%, os lavadores de gases 5,36% e as demais cargas juntas 1,82%.

#### 4.1.4 PASSO 3: MEDIÇÕES

O propósito deste passo consiste em, mediante o levantamento da situação atual, adquirir um entendimento detalhado das instalações, equipamentos e processos, a fim de estabelecer dados que permitam identificar e quantificar as perdas. Essas informações servirão de base para a formulação de medidas visando à redução ou eliminação das mesmas.

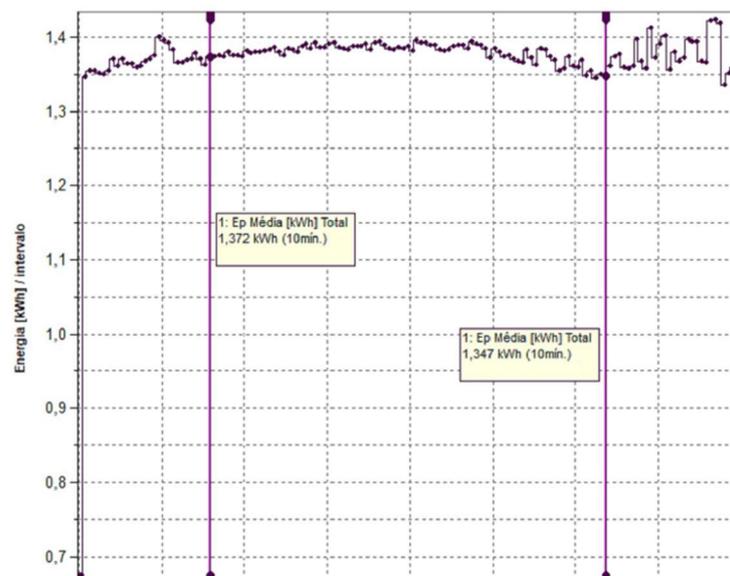
A abordagem adotada concentrou-se na instalação do medidor nos disjuntores principais das cargas mais significativas, conforme figura 15. Cada medidor foi posicionado em um ponto específico por uma semana, a fim de analisar a tendência de consumo. Posteriormente, com base nessa análise, conforme ilustrado na figura 16, foi elaborada uma projeção anual.

FIGURA 15 - MEDIÇÕES NA ÁREA MODELO



FONTE: AUTOR

FIGURA 16 - CURVA DE CONSUMO



FONTE: AUTOR

Acima, apresenta-se um exemplo de uma das medições realizadas em um dos conjuntos de Torres de Resfriamento pertencentes à unidade A. Durante um período de 24 horas, registrou-se um consumo de 609,14 kWh, resultando em um custo diário de R\$ 146,19, considerando um valor médio de tarifa de R\$ 0,24 por kWh. Levando em conta o funcionamento de três ventiladores, estima-se, conforme exposto na figura 17, que ao longo de um ano o conjunto que integra a Torre de Resfriamento consumirá aproximadamente de 219.290,832 kWh, o que corresponde a um custo de R\$ 52.629,79.

FIGURA 17 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO E R\$

Consumo de Energia - 3 ventiladores das Torres Alpinas				
kWh/dia	kWh/ano	Custo diário (R\$)		Custo anual (R\$)
609,14	219290,4	R\$	146,19	R\$ 52.629,70

FONTE: AUTOR

Durante a avaliação da operação do sistema, foram realizadas medições adicionais, incluindo verificações da temperatura da água nos tanques que armazenam a água quente destinada às torres de refrigeração, conforme a figura 18. Essas medições foram conduzidas para identificar possíveis anomalias no processo de refrigeração.

FIGURA 18 - CHECKLIST DE MEDIÇÕES

FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Essa abordagem foi aplicada em todas as áreas analisadas e pontuadas acima, resultando na formulação de um plano de ação para tratar cada uma das oportunidades identificadas, conforme detalhado no próximo passo.

#### 4.1.5 PASSO 4: ANÁLISE E PLANO DE AÇÃO

O objetivo desta etapa é avaliar as medições efetuadas, com o intuito inicial de identificar as perdas e classificá-las por tipo, permitindo, assim, a elaboração de medidas para sua mitigação. Após essa identificação, foram implementadas medidas de mitigação, as quais foram baseadas em projetos previamente desenvolvidos por colaboradores da empresa. Tais

projetos foram incorporados a este estudo com o objetivo de ilustrar e exemplificar cada tipo de perda abordado. Durante este processo, foram analisadas as perdas de energia decorrentes da operação dos equipamentos na área modelo. Para todos os casos, os cálculos consideraram um custo médio de tarifa de R\$0,24 por kWh. Para verificar o custo associado ao consumo identificado, realizou-se o cálculo multiplicando o consumo registrado pela tarifa média mencionada.

A perda do tipo 1, direcionada ao consumo de energia durante períodos não produtivos, foi identificada nas esteiras coletoras e transportadoras da unidade D, conforme exposto na figura 19. Esses equipamentos permaneciam ligados de modo contínuo, mesmo quando não havia produto para serem transportados, resultando em um desperdício substancial de energia. O custo anual estimado associado a esse consumo foi de R\$ 27.148,08.

FIGURA 19 - SISTEMA DE ESTEIRAS COLETORA E TRANSPORTADORA



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Além disso, na unidade D, foram identificadas perdas semelhantes nos *chillers*, utilizados no sistema de refrigeração das injetoras de plástico, como pode ser visualizado na figura 20. Esses equipamentos continuavam operando mesmo após a parada das máquinas, resultando em um consumo estimado em R\$ 1.810,88 por ano.

FIGURA 20 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO (CHILLER)



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Adicionalmente, na unidade E, foi constatada uma perda relacionada à quantidade de compressores ligados, gerando ar comprimido com uma vazão superior ao necessário para manter os processos das máquinas durante a produção, como ilustrado na figura 21. Isso resultou em um consumo estimado em R\$ 117.614,25 por ano.

FIGURA 21 - SISTEMA DE COMPRESSORES



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

A perda do tipo 2, referente ao consumo excessivo durante a produção, foi identificada nas torres de refrigeração, figura 22. Verificou-se que três motores permaneciam operacionais durante 24 horas. No entanto, em diversos momentos, a temperatura da água atingia níveis

adequados, tornando desnecessária a continuidade da operação desses equipamentos. Essa prática resultava em um consumo anual estimado em R\$ 52.629,79.

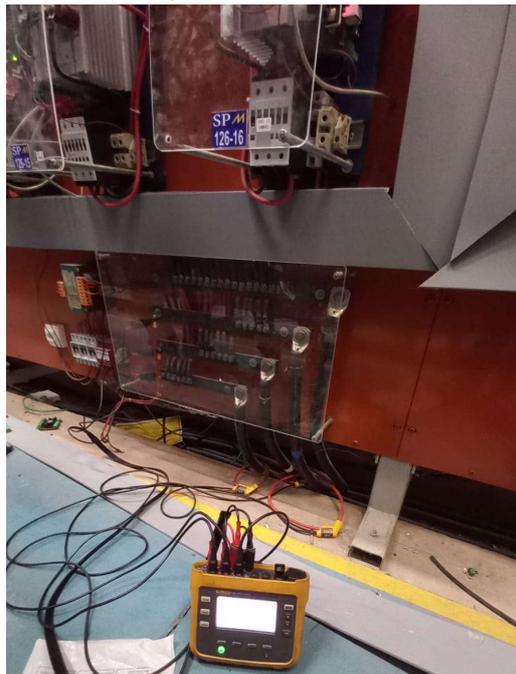
FIGURA 22 - VENTILADORES DAS TORRES DE RESFRIAMENTO



FONTE: AUTOR

A perda do tipo 3, é focada na não otimização dos equipamentos, esta foi verificada nos retificadores, expostos na figura 23. Eles são responsáveis pelo controle do processo de carga das baterias, que possuem planos de formação específicos para cada modelo. Verificando-se os planos de formação para seis modelos de bateria, foi observada a oportunidade de redução do tempo de operação dos retificadores e encontrada uma perda equivalente a R\$ 30.012,77 por ano.

FIGURA 23 - MEDIÇÃO DO RETIFICADOR 126



FONTE: AUTOR

Na unidade D, essa mesma modalidade de perda foi observada no sistema de bombeamento hidráulico que atende o processo de injeção, ilustrado na figura 24. Durante uma das fases, especificamente no resfriamento do produto, não havia necessidade de uma pressão hidráulica elevada na máquina injetora. As máquinas que não dispunham de inversor em sua motorização mantinham uma corrente elétrica nominal durante todo o ciclo, resultando em gastos desnecessários de energia elétrica durante o processo de injeção. Nesse caso, verificou-se um consumo de R\$ 61.406,52 por ano.

FIGURA 24 - SISTEMA DE BOMBEAMENTO



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

A perda do tipo 4, relacionada ao desperdício na distribuição de energia, foi identificada na unidade D. Durante a análise, observou-se vazamentos de ar comprimido nas linhas de ar do galpão, conforme figura 25, resultando em um considerável desperdício de ar. Esse problema causa um consumo estimado de \$ 11.761,43 por ano.

FIGURA 25 - LINHA DE AR COMPRIMIDO



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Não foram identificadas perdas dos tipos 5, 6 e 7.

#### 4.1.6 PASSO 5: CONTRAMEDIDAS

Para todas as perdas apresentadas no tópico 4.1.5, foram elaborados projetos utilizando a metodologia kaizen. No caso das esteiras, desenvolveu-se uma programação para identificar a presença de baterias em sua superfície, conforme figura 26, permitindo que entrem em operação apenas após essa identificação. Para esse caso, verificou-se:

$$\text{Consumo anual} = 314,213\text{kWh/dia} * 30\text{dias} * 12\text{meses}$$

$$\text{Consumo anual} = 113.117$$

Após implementação do desligamento sensorial das esteiras, verificou-se por meio de medições com o analisador FLUKE 1734, uma redução de 2.920,83 kWh/ ano, utilizando como base o mesmo cálculo e premissas descritas para o consumo anual. O custo de implementação foi de R\$2.000,00/ano, logo observou-se um B/C de 0,7 anos.

FIGURA 26 - DESLIGAMENTO SENSORIAL DAS ESTEIRAS



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Para os *chillers*, foi criado um sistema de controle que sincroniza a máquina com a geladeira, desligando esta última sempre que a produção parar e ligando-a novamente quando

a produção for retomada. Para esse caso, observou-se um *saving* de R\$1.810,88/ ano, custo de implantação de R\$3.000,00/ano, uma redução mensal de 150,90kWh/mês e um B/C de 1,7 anos.

No que diz respeito aos compressores, foram recalculadas as vazões necessárias de ar comprimido, resultando na conclusão de que seria suficiente utilizar apenas um compressor GA45 e um compressor GA22 para atender à demanda de injeção de plástico, ilustrado na figura 27. Para essa ação, observou-se um *saving* de R\$ 89.960,50/ ano, custo de implantação de R\$5.000,00/ano e B/C de 0,1 anos.

FIGURA 27 - REDUÇÃO NA QUANT. DE COMPRESSORES



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Para as torres de refrigeração, executou-se um plano de ação conforme visto na Figura abaixo:

FIGURA 28 - PLANO DE AÇÃO

CAUSA RAÍZ	AÇÃO	CUSTO	STATUS
Levantamento de materiais necessários para o projeto	Realizar o levantamento de custos	R\$ 0,00	Concluído
Necessidade de aplicação do sistema	Instalação do sistema de controle	R\$ 327,79	Concluído
Necessidade de controle do sistema	Realizar a programação do PLC	R\$ 0,00	Concluído
Necessidade de saber como o sistema se comporta	Verificar a funcionalidade do sistema	R\$ 0,00	Concluído
Levantar o ganho que o sistema proporciona	Realizar a medição do consumo de energia	R\$ 0,00	Concluído

FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Implementou-se um sistema de leitura de temperatura da água, garantindo que a bomba e os motores operem somente quando a temperatura estiver dentro dos parâmetros ideais do processo. Para o novo modelo de operação foram instalados dois sensores de temperatura PT 100, um no tanque de água quente e outro no tanque de água gelada das torres de resfriamento. Além disso, foram implantados dois pirômetros que captam as informações de temperatura obtidas dos sensores e as levam para o PLC, ilustrados na figura 29.

O pirômetro do “tanque frio”, está programado para que quando a água deste, chegue à temperatura ideal um sinal seja enviado ao PLC, que mandará a informação ao soft starter (que controla os motores dos ventiladores), para que estes sejam desligados.

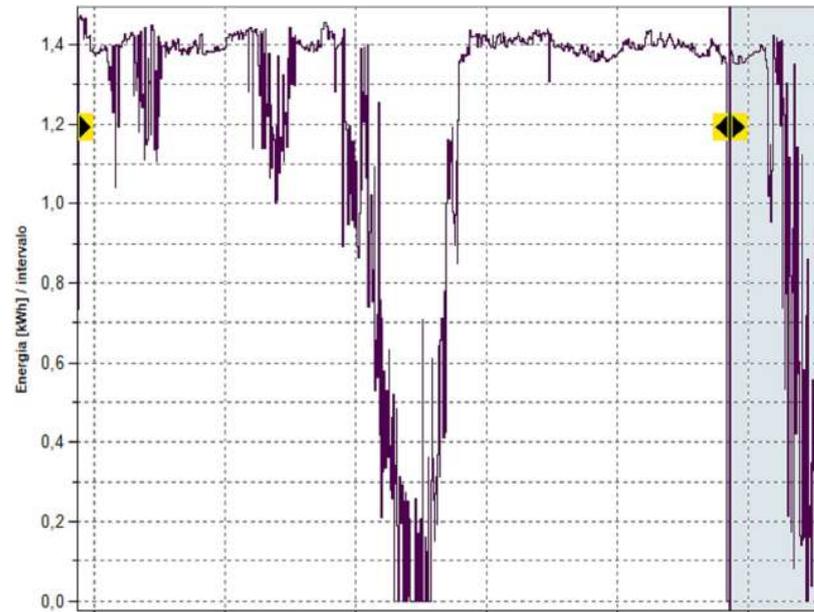
FIGURA 29 - IHM E PIRÔMETROS



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

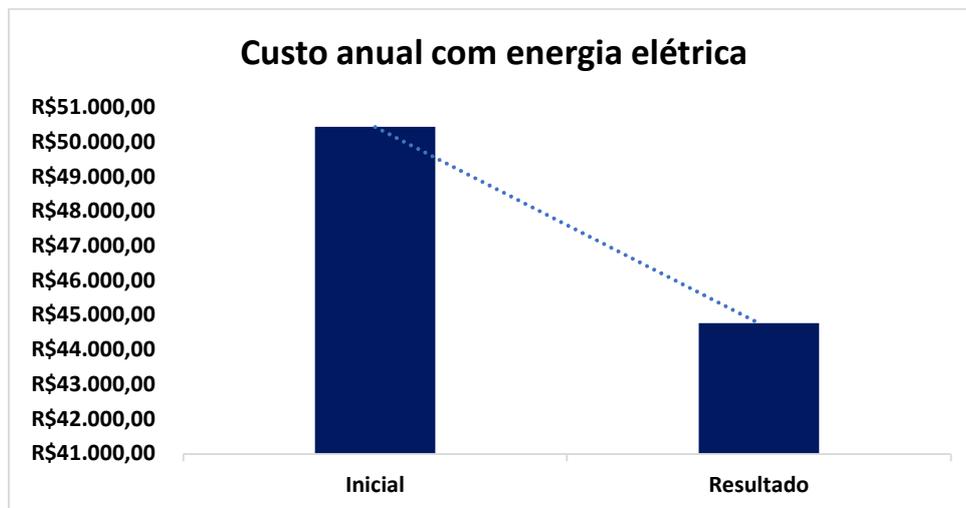
Foi realizada a medição do consumo de energia após a melhoria, durante um período de cinco dias. O resultado exposto na Figura 30, apresenta as reduções no consumo referente ao desligamento de um dos ventiladores das torres, o gráfico 8 apresenta um comparativo do custo com energia elétrica das Torres de resfriamento antes e depois da melhoria.

FIGURA 30 - MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA APÓS A MELHORIA



FONTE: AUTOR

GRÁFICO 8 – CUSTO ANUAL COM ENERGIA ELÉTRICA DAS TORRES



FONTE: AUTOR

Com a melhoria houve uma redução de 11% no consumo de energia com as torres alpinas por ano, equivalente a R\$ 5.665,50/ano.

No caso dos retificadores, conduziram-se estudos para modificar os planos de formação das baterias. Em paralelo, realizou-se uma análise de tecnologias recentes que promovem eficiência energética. Conforme destacado por SANTOS B., em seu artigo, a maioria dos equipamentos de formação disponíveis no mercado emprega retificadores tiristorizados, os quais são reconhecidos por sua robustez e confiabilidade, embora sejam menos eficientes se

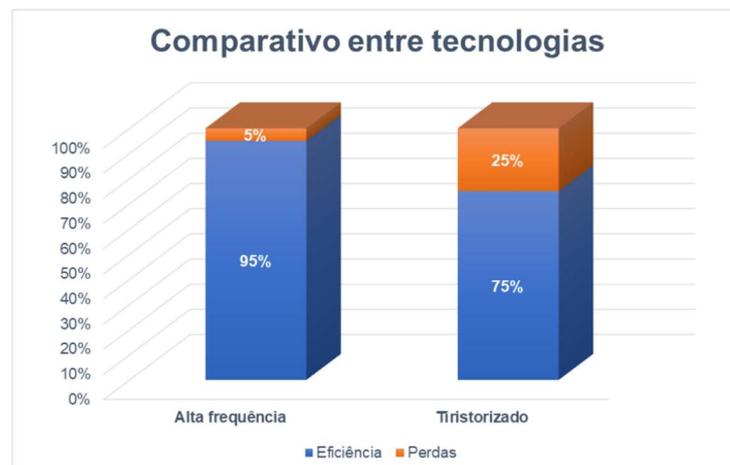
comparados às fontes chaveadas mais modernas, conforme ilustrado na figura 31. Estas últimas se utilizam de componentes como transistores IGBT e transformadores com núcleo de ferrite, permitindo operações em frequências consideravelmente mais elevadas, resultando na redução de perdas e no aumento da eficiência. Conforme ilustrado na figura 32 a nova linha de produtos, que utiliza fontes de alta frequência, alcança uma eficiência aproximada de 95%, contrastando com os 75% dos equipamentos convencionais. Esse avanço representa um ganho de 20% na eficiência, o que pode acarretar em significativa redução dos custos de produção e incremento da competitividade dos produtos. Contudo, a substituição dos retificadores demandaria um estudo mais aprofundado acerca de seus benefícios, bem como uma análise de payback, considerando o investimento considerável necessário, dada a quantidade de equipamentos existentes. Portanto, optou-se por não prosseguir com essa abordagem.

FIGURA 31 - EXEMPLO DE FONTE CHAVEADA



FONTE: SITE IDEVICES.COM.BR

FIGURA 32 - COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS



FONTE: SITE IDEVICES.COM.BR

No que concerne ao sistema de bombeamento hidráulico, instalou-se um sistema ECODRIVE para controlar o motor, conforme a figura 33, permitindo que o motor reduza sua carga durante partes do ciclo em que não é necessária alta pressão, resultando em menor consumo de energia. Para esse caso, observou-se um *saving* de R\$ 42.171,87/ano, e um custo de implementação de R\$ 61.180,25/ ano e B/C de 1,5 anos.

FIGURA 33 - SISTEMA DE ECODRIVE



FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

Em relação aos vazamentos de ar comprimido identificados, foi estabelecida uma rotina de inspeção para detectar e corrigir vazamentos, com a interrupção da fábrica quando necessário para facilitar a detecção, o que resultou em uma redução significativa na presença desses vazamentos, conforme visualizado na figura 34.

FIGURA 34 - BOMBA DE VÁCUO

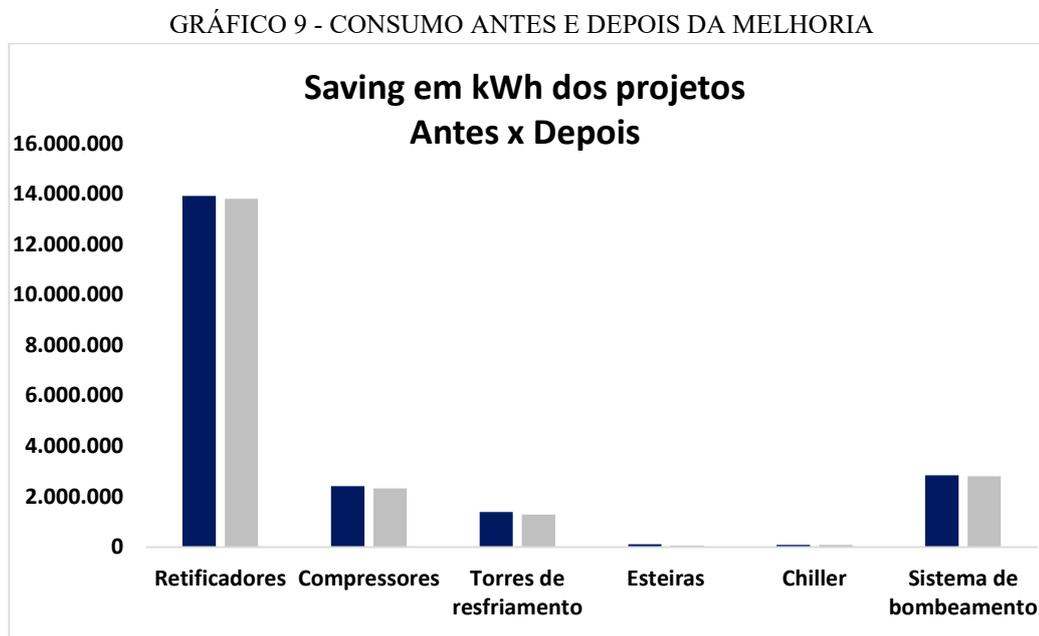


FONTE: ADAPTADO DE MATERIAL INTERNO DA EMPRESA

O novo sistema utilizado funciona como uma bomba de vácuo, utilizando o ar comprimido para gerar pressão negativa na linha, empurrando o PP. Esse equipamento não requer manutenção e consegue transportar para cada 100 litros de ar, 700 litros de PP.

Assim, tem-se uma elevada economia de ar comprimido, se comparado ao sistema anterior que utilizavam sistema de sopro de ar comprimido constante para empurrar o PP para dentro do silo, elevando muito o consumo do ar comprimido. Obtendo um *saving* R\$ 11.761,43/ano, custo de R\$3.000,00/ano e B/C de 0,3 anos.

Após a implementação das melhorias, os desperdícios foram eliminados e houve uma redução significativa nas porcentagens das perdas identificadas. Essas mudanças estão resumidas no gráfico 9, que apresenta uma comparação entre a situação anterior e a atual.



FONTE: AUTOR

#### 4.1.7 PASSO 6 E 7: PADRONIZAÇÃO E EXPANSÃO HORIZONTAL

A padronização envolve a documentação e formalização dos novos processos, procedimentos e práticas adotadas como resultado das iniciativas de melhoria implementadas durante as fases anteriores do WCM. Isso inclui a criação de manuais de trabalho, instruções operacionais padrão e protocolos de qualidade para garantir que as melhores práticas sejam seguidas consistentemente em toda a organização.

Por outro lado, a expansão horizontal se concentra em ampliar os benefícios das melhorias para outras áreas, departamentos ou unidades de negócios dentro da organização. Isso envolve a replicação das melhores práticas em novos contextos e a adaptação das lições aprendidas para atender às necessidades específicas de diferentes áreas da empresa.

Após a implementação das melhorias mencionadas anteriormente, procedeu-se à elaboração de documentos a fim de garantir a preservação e a continuidade do progresso alcançado.

Paralelamente, para as unidades que compartilhavam equipamentos semelhantes, foi conduzido um estudo detalhado para entender como as iniciativas poderiam ser replicadas, levando em consideração suas particularidades, visando a expansão dessas melhorias para toda a planta industrial. Os kaizens desenvolvidos foram devidamente registrados na matriz de projetos da empresa, assegurando sua integração e gestão eficazes no contexto organizacional.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência energética nas indústrias está estreitamente ligada à obtenção de uma produção igual ou superior à planejada pela empresa, com um menor consumo de insumos energéticos. Para reduzir as perdas dentro das organizações, podem ser adotadas diversas metodologias de trabalho, como Lean Manufacturing, Seis Sigma, WCM, entre outras.

No presente estudo, foi abordada a aplicação do WCM em uma indústria de produção de baterias de chumbo-ácido, visando mitigar as perdas de energia elétrica. Esta metodologia destaca-se pela sua abordagem focada na resolução de problemas crônicos, identificando e quantificando desperdícios para priorizar ações corretivas.

Dentro do WCM, um dos pilares técnicos é o meio ambiente, que preconiza a implementação de um sistema de gestão ambiental e a criação de uma área modelo como referência para organização. No quarto passo do WCM, são abordadas questões relacionadas ao uso responsável dos recursos energéticos, embora não haja uma metodologia específica apresentada.

Assim, foi realizado o estudo do pilar de energia, onde, são adotadas estratégias para identificar o principal vetor energético da organização, medir o consumo dos equipamentos na área modelo, identificar os sete tipos de perdas e implementar contramedidas para combatê-las.

Foram aplicados os sete passos do pilar, resultando em uma redução significativa, uma vez que, algumas melhorias apresentadas e implantadas foram de baixo custo, e com resultados rápidos, resultando em uma redução anual estimada de 627.894,9 kWh, correspondente a R\$ 150.694,77. O prosseguimento das atividades dentro da organização ocorre de forma contínua, sendo estabelecido um apoio mútuo entre os setores de produção, manutenção e processos. Este apoio visa debater os resultados de consumo de energia, apresentar os projetos e promover o uso consciente dos insumos de maneira eficaz

Diante disso, a metodologia demonstrou ser aplicável e promissora para empresas que buscam aprimorar sua eficiência energética.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. F. de; MELHADO, S. B. **O método de melhorias PDCA**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 50001 – 2011** – Sistema de gestão de energia.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês)**. 2ª. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992. (Rio de Janeiro; Bloch Ed.).
- DE BARROS, B., GEDRA, R., & BORELLI, R. (2015). **Eficiência Energética Técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos**. São Paulo: Érica Ltda.
- DEMARCHI, L. (2020). **Definição e aplicação de metodologia para melhorar a eficiência energética na indústria**. Curitiba
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. **Quanto custa a energia elétrica**. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- FOSSA, A., & SGARBI, F. (2017). Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 **Gestão de Energia**. Internacional Copper Association (ICA).
- GUIMARÃES, G. Quais são os 8 desperdícios. Disponível em: [Quais são os 8 desperdícios, Como Identificar e Como Eliminar \(foconaproducao.com.br\)](https://www.foconaproducao.com.br/quais-sao-os-8-desperdicios-como-identificar-e-como-eliminar). Acesso em: 09 mar. 2024.
- LACERDA, A. P. (2020). **Comparativo entre as metodologias Lean Manufacturing, Seis Sigma e Wcm**.
- LOPES, M.; MERIGUE, R. **Eficiência energética na indústria**. Rev. Terra & Cult., Londrina, v. 38, n. especial, 2022.
- FRANÇA, M. (2023). **Gestão energética em uma unidade industrial através da implantação do pilar de energia utilizando a metodologia do wcm**. [s.d.].
- MARTINS, T. **O que é perda? O que é desperdício?** Disponível em: [O que é perda? O que é desperdício? \(tuliomartins.com.br\)](https://www.tuliomartins.com.br/o-que-e-perda-o-que-e-desperdicio) . Acesso em: 09 mar. 2024.
- NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 50001** – Sistema de gestão de energia.
- ORTIZ, C. A. **Kaizen: E implementação de eventos Kaizen**. Porto Alegre, RS. Bookman, 2010. 168 p

PEREIRA, M. (2015). **Estudo da implementação do pilar de meio ambiente da metodologia WCM em uma indústria de sabonetes**. São Paulo.

PEREIRA, M. J. **Energia: eficiência e alternativas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

TECNOLOGIA, IDEVICES. **Eficiência energética no processo de formação de baterias chumbo ácido**. Disponível em: <<https://idevices.com.br/2022/10/07/eficiencia-energetica-no-processo-de-formacao-de-baterias-chumbo-acido/>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

WERKEMA, C. (2022). **Lean seis sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing**. Rio de Janeiro: GEN | Grupo Editorial Nacional. Publicado pelo selo Editora Atlas.

REDAÇÃO. **Eficiência energética: estamos fazendo as perguntas certas?** Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/eficiencia-energetica-estamos-fazendo-as-perguntas-certas/>>.