



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

HENRIQUE MONTE HERMANN

***OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE REFINO SECUNDÁRIO DE LIGAS DE
CHUMBO COM ANTIMÔNIO***

Recife
2023

HENRIQUE MONTE HERMANN

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE REFINO SECUNDÁRIO DE LIGAS DE
CHUMBO COM ANTIMÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do grau
de Engenheiro Químico.

Orientador (a): Antônio Carlos Duarte Coelho

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Hermann, Henrique Monte.

Otimização do processamento de refino secundário de ligas de chumbo com antimônio / Henrique Monte Hermann. - Recife, 2023.
66p. : il., tab.

Orientador(a): Antônio Carlos Duarte Coelho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, anexos.

1. Metalurgia. 2. Chumbo. 3. Melhoria continua. 4. Otimização de processo.
5. PDCA. I. Coelho, Antônio Carlos Duarte . (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

HENRIQUE MONTE HERMANN

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE REFINO SECUNDÁRIO DE LIGAS DE CHUMBO COM ANTIMÔNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado em: 04/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO CARLOS DUARTE COELHO**
Data: 28/09/2023 14:11:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Carlos Duarte Coelho (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Documento assinado digitalmente
 **CHESQUE CAVASSANO GALVAO**
Data: 22/09/2023 16:16:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Chesque Cavassano Galvão (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DE LOS ANGELES PEREZ FERNANDEZ**
Data: 19/09/2023 09:31:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

HENRIQUE MONTE HERMANN

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE REFINO SECUNDÁRIO DE LIGAS DE
CHUMBO COM ANTIMÔNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado em: 04/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Duarte Coelho (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Documento assinado digitalmente

CHESQUE CAVASSANO GALVAO

Data: 22/09/2023 16:16:58-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Chesque Cavassano Galvão (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Documento assinado digitalmente

MARIA DE LOS ANGELES PEREZ FERNANDEZ

Data: 19/09/2023 09:31:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre esteve presente me iluminando em todos os momentos.

À minha família, pilares de apoio e incentivo nos momentos em que desistir seria o caminho mais fácil.

Ao meu orientador, Prof. Antônio Carlos Duarte Coelho, por seu empenho.

À Sofia, cujo apoio foi essencial durante toda elaboração deste trabalho. Além de companheira durante todo período de faculdade, entendendo minha ausência, aconselhando e apoiando sempre que necessário.

À UFPE pela oportunidade de fazer o curso assim como a equipe de professores do Departamento de Engenharia Química, a professora Maria Angeles e professora Marta, pela dedicação em passar seus conhecimentos durante o curso.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente antes da pandemia, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

A todos da Baterias Moura, pelos ensinamentos, conversas, companheirismo e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento das minhas atividades na empresa durante o estágio.

Em especial à Tiago Lins, Gilson Rocha, Ronaldo Bezerra, Claudiomárzio Silva, José Joel e Robério Silva, mentores durante o estágio e ainda neste presente momento. Beatriz Aranha e Edésio Carvalho, companheiros de equipe que me auxiliaram no crescimento técnico e pessoal, com quem também pude ter o prazer de ver se desenvolverem.

E a todos cujo nomes não caberiam neste papel, mas ainda assim contribuíram de diversas maneiras para este trabalho.

RESUMO

A indústria de baterias é responsável por mais de 80% do consumo de chumbo no mundo e o chumbo reciclado é responsável pela oferta deste mesmo percentual no mercado deste metal. Tendo em mente que o chumbo como matéria prima corresponde à cerca de metade do custo de produção de uma bateria, otimizar custos de processo deste material reflete diretamente na competitividade de indústrias de baterias. Neste trabalho foram aplicadas metodologias de melhoria contínua, principalmente o ciclo PDCA, em uma linha de produção de uma planta metalúrgica recicladora de baterias de chumbo-ácido. Trata-se de um ramo com poucos estudos de custos produtivos, visando reduzir desperdícios e fontes de gastos no processo. Este estudo de caso foi motivado devido à existência de atrasos produtivos registrados na empresa. Através de uma abordagem sistêmica com o uso de metodologias de melhoria contínua, possibilitou-se desenvolver uma nova logística de processo no forno e refino para ligas de chumbo com altos teores de antimônio, que utilizam cobre em sua composição. Este projeto reduziu determinada causa de atraso no processo em 80%, impactando em uma redução do tempo total de processo de 4%.

Palavras-chave: Chumbo; Melhoria contínua; Metalurgia; Otimização de processo; PDCA.

Abstract

The battery industry is responsible for over 80% of lead consumption worldwide, and recycled lead accounts for the same percentage of supply in the metal market. Considering that lead as a raw material represents about half of the production cost of a battery, optimizing the process costs of this material directly affects the competitiveness of battery industry. In this work, continuous improvement methodologies, primarily the PDCA cycle, were applied in a production line of a lead-acid battery recycling metallurgical plant. This is a field with few studies on production costs, aimed at reducing waste and sources of expenses in the process. This case study was motivated by the existence of production delays recorded in the company. Through a systemic approach using continuous improvement methodologies, a new process logistics was developed for the furnace and refining of lead alloys with high levels of antimony, which include copper in their composition. This project reduced a specific cause of process delay by 80%, resulting in a 4% reduction in the total process time.

Keywords: Lead; Continuous improvement; Metallurgy; Process optimization; PDCA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuração de linhas de refino na unidade metalúrgica	12
Figura 2. Principais componentes da bateria de chumbo-ácido.	15
Figura 3. Esquema simplificado da reciclagem de baterias usadas por diferença de densidade	16
Figura 4. Chumbo líquido para refino.	17
Figura 5. Esquema simplificado do processamento de chumbo.....	18
Figura 6. Fluxograma de refino de chumbo	20
Figura 7. Refino de Chumbo mole e ligas de cálcio.....	21
Figura 8. Refino de ligas de Chumbo com Antimônio.....	22
Figura 9. Exemplo de diagrama de Ishikawa	23
Figura 10. Rampa de melhoria	27
Figura 11. Classificação de problemas	29
Figura 12. Exemplos de atrasos por motivo no refino(h)	32
Figura 13. Atrasos em horas por panela no 1º semestre de 2022	39
Figura 14. Atrasos por etapa na panela 8 (h).....	40
Figura 15. Atrasos por correção de cobre na panela 8 (h).....	40
Figura 16. Teor de cobre médio nas ligas de antimônio e limites de especificação em ppm...41	
Figura 17. Fios de cobre	42
Figura 18. Aplicação da ferramenta 5W1H ao problema.....	43
Figura 19. Aplicação do diagrama de Ishikawa para o problema	44
Figura 20. Teor inicial de cobre nas ligas de chumbo com Antimônio.....	46
Figura 21. Cabo de formação com fiação de cobre exposta.....	47
Figura 22. Peso do chumbo (A esquerda) e cobre (A direita) recuperados do cabo de formação	47
Figura 23. Corte do Diagrama de Ellingham.....	48
Figura 24. Corte do diagrama de Ellingham 1200°C.	51
Figura 25. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 22,5kg de cabos de cobre.....	52
Figura 26. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 50 kg de cabos de cobre.....	53
Figura 27. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 100 kg de cabos de cobre.....	53
Figura 28. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 125 kg de cabos de cobre.....	54
Figura 29. Fluxograma de envio e armazenamento de scrap de cabos de formação.....	55
Figura 30. Layout de Cabos de Formação	57
Figura 31. Atrasos por correção de cobre na panela 8 em 2022 em horas	57
Figura 32. Tempo de ciclo de ligas de chumbo com Antimônio em 2022.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Plano de ações	44
Tabela 2. Relação de pesos e percentuais para o cabo de formação.	48
Tabela 3. Ações adicionais	50
Tabela 4. Histórico de envio de cabos de formação para unidade metalúrgica.....	56
Tabela 5. Padronização de insumos em ordem de produção no forno com cabos de formação.....	59
Tabela 6. Comparativo entre etapas de processo antes e após modificação.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.1 Objetivos Específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO	13
2.1.1 Aplicações de baterias de chumbo ácido	13
2.1.2 Reciclagem de baterias de chumbo ácido.....	14
2.2 PROCESSO DE REFINO SECUNDÁRIO DE CHUMBO	15
2.3. FERRAMENTAS DA QUALIDADE	22
2.3.1 – Diagrama de Ishikawa	22
2.3.2 Diagrama de Pareto.....	23
2.3.3. <i>Brainstorm</i>	24
2.3.4. 5G	25
2.3.5 5W1H	26
2.4. PDCA	26
2.4.1 Etapa PLAN (Planejar).....	27
2.4.2. Etapa DO (Executar).....	33
2.4.3. Etapa CHECK (Verificar).....	34
2.4.4. Etapa Act (Atuar/Padronizar)	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	36
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.2.1 Etapa PLAN (PLANEJAR)	37
3.2.2 Etapa DO (EXECUTAR)	38
3.2.3 Etapa CHECK (VERIFICAR).....	38
3.2.4 Etapa ACT (PADRONIZAR)	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA PLAN (PLANEJAR)	39
4.2.1. Localizar o problema.	39
4.2.2. Estabelecer meta	40
4.2.3. Análise do problema e processo	41
4.2.4. Elaborar plano de ação	44

4.3. APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA <i>DO</i> (EXECUTAR)	45
4.3.1. Caracterização do chumbo antimonioso	45
4.3.2 Caracterização do insumo utilizado.....	46
4.3.2 Cálculo de cobre a ser adicionado nas ligas de chumbo.	49
4.3.3 Padronização de recebimento de cabos de formação	49
4.3.4 Aplicando melhoria de processo.....	50
4.4. APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA <i>CHECK</i>	56
4.5 APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA <i>ACTION</i>	58
5. CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXO A – Diagrama de Ellingham	65

1. INTRODUÇÃO

A indústria de baterias de chumbo-ácido desempenha um papel crucial em diversos setores, desde veículos automotivos até sistemas de armazenamento de energia. Segundo Souza, Oliveira e Reis (2009), este é muito utilizado na indústria química devido a sua grande resistência à corrosão. Por ser resistente ao ataque de muitos ácidos, forma seu próprio revestimento protetor de óxido. Em razão desta característica, o chumbo é amplamente utilizado na fabricação e manejo do ácido sulfúrico, que junto com este metal são as matérias-primas base de uma bateria.

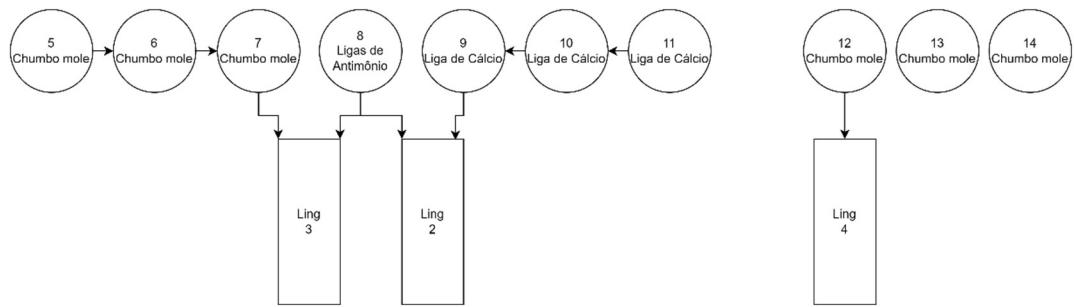
A reciclagem de baterias de chumbo-ácido desempenha um papel crucial na redução do potencial impacto ambiental gerado pelo descarte indevido da sucata de bateria. Esse processo envolve a coleta das baterias usadas, a separação dos componentes, como o chumbo, o ácido sulfúrico e as placas de chumbo, e o refino desses materiais para a produção de novas baterias ou outros produtos que utilizam o chumbo reciclado.

Apesar de a bateria de chumbo-ácido ser um aparato extremamente nocivo ao meio ambiente e a saúde humana e de outros seres vivos, na prática, sua sucata tem um alto valor de mercado, visto que ela pode ser 100% reciclada e reutilizada como insumo para a fabricação de novas baterias (CSPOWER, 2009).

A empresa objeto de estudo deste trabalho é uma oriunda do Estado de Pernambuco, com mais de 60 anos de fundação, e com capacidade de produção de mais de 7 milhões de baterias por ano, ela conta com sete fábricas espalhadas pela América do Sul, possuindo cinco na zona do agreste de Pernambuco, respondendo por mais de 50% das vendas para principais montadoras do país. (Moura, 2015) O foco deste trabalho será na unidade fabril responsável por reciclar baterias de chumbo-ácido inservíveis e fornecer o chumbo refinado para as demais unidades fabris do grupo, aqui chamada de unidade metalúrgica.

A unidade metalúrgica possui um sistema de refino conforme a Figura 1 abaixo, onde para as ligas de chumbo que possuem cálcio, assim como para o chumbo puro ou mole, existe um sistema de cascata de produção, onde o metal líquido é bombeado através de reatores capazes de conter em média 70 toneladas de chumbo, aqui chamados de painéis. Já para as ligas de antimônio, o processo de refino completo é realizado em uma única panela, a panela 8.

Figura 1. Configuração de linhas de refino na unidade metalúrgica



Fonte: Autor, 2023.

Este trabalho foi realizado pelo autor, enquanto colaborador da unidade metalúrgica. Possuindo como foco otimizar a produção de chumbo e suas respectivas ligas, com o propósito de reduzir custos e tempo produtivos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho busca definir parâmetros de controle e promover otimizações no processo de refino de chumbo secundário, visando redução de tempo de processo e custos produtivos para uma empresa de baterias.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Definir as especificações iniciais do chumbo oriundo de cargas de pó antimonioso no forno e comparar com a necessidade de especificação das ligas produzidas;
- Realizar um levantamento das problemáticas recorrentes no processamento do chumbo;
- Identificar etapas do processo passíveis de melhorias visando otimização de custos e tempo de processamento.
- Acompanhar indicadores para comparação de efetividade das ações de melhoria adotadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As baterias de chumbo ácido estão presentes em automóveis, torres de telecomunicação entre diversos outros bens e são de extrema importância no mundo atual, entretanto, segundo a empresa MOURA (2015), apesar da sua relevância para o bom funcionamento dos meios de transporte, a sucata de bateria é um resíduo extremamente tóxico para o meio ambiente, quando não descartado de maneira correta, haja vista ser composta por metais pesados, como o chumbo (Pb), solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é uma solução eletrolítica corrosiva, além de componentes plásticos de difícil degradação natural (Polipropileno).

Em paralelo, a busca pela qualidade é um objetivo constante nas organizações, e a indústria é um setor que demanda especial atenção nesse aspecto. Para garantir a excelência na produção, diversas ferramentas da qualidade têm sido aplicadas nas indústrias como parte de suas estratégias de gestão. Nos tópicos a seguir esses temas vão ser contextualizados na atuação deste trabalho.

2.1. BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

A bateria de chumbo-ácido é responsável por fornecer energia para que veículos e demais aparelhos comecem a funcionar, dando a partida do motor e alimentando alguns de seus acessórios, sendo considerado item fundamental para o funcionamento de carros, motos e embarcações, entre outros (INMETRO, 2012).

2.1.1 Aplicações de baterias de chumbo ácido

Existem várias aplicações para baterias chumbo ácido, entre elas tem-se as principais (Moura, 2015):

- **Baterias automotivas:** exemplos dessas baterias são aquelas para automóveis e moto. Nessa aplicação, a principal função delas é dar partida ao motor. Durante a partida tem-se um pico de corrente alta por um curto espaço de tempo.

- **Baterias tracionárias:** exemplos dessas baterias são aquelas para empilhadeiras. Nessa aplicação, toda a energia consumida do veículo vem delas, que precisam ser capazes de descarregar e carregar diariamente.

- **Baterias estacionárias:** exemplos dessas baterias são aquelas usadas em torres de telecomunicações. Nessa aplicação elas ficam em um estado chamado de flutuação, onde uma corrente baixa flui por elas para que estejam sempre carregadas, e elas ficam nesse estado até que haja a necessidade de serem usadas.

As aplicações das baterias vão definir os aditivos e os tipos de bateria mais adequados a serem usados em cada situação.

2.1.2 Reciclagem de baterias de chumbo ácido

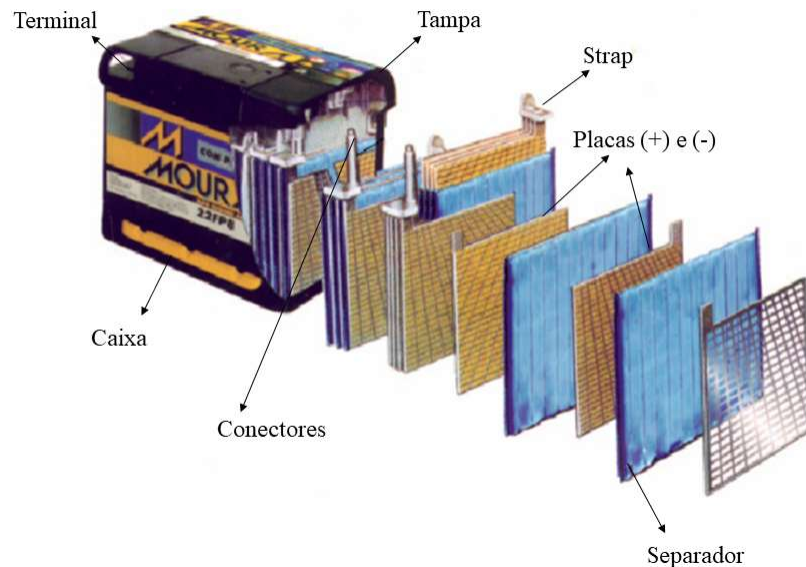
O governo brasileiro foi pioneiro no desenvolvimento de regulamentação para o gerenciamento de baterias usadas na América Latina, por meio da Resolução nº 257/1999, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) revogada pela Resolução nº 401/2008, e complementada pela Resolução nº. 424/2010 que estabelece o limite máximo de teor de chumbo em baterias comerciais e as normas para sua gestão ambientalmente correta. Esta norma prioriza a importância de mitigar os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado de baterias chumbo-ácido, e faz por obrigatória, a sua devolução aos revendedores ou à rede de assistência técnica autorizada após seu uso para repasse aos fabricantes ou importadores.

Desta forma, a indústria de baterias chumbo-ácido deve-se atender a Resolução Nº 401/2008, buscando uma destinação ambientalmente adequada através de procedimentos técnicos para coleta, recebimento, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição.

A princípio, todos os componentes das baterias de chumbo-ácido têm potencial para reciclagem, pelo que a sua eliminação inadequada ou não reciclagem representa uma perda significativa de recursos económicos, ambientais e energéticos, para além do inevitável risco de exposição a impactos ambientais.

A bateria de chumbo-ácido, é composta por cinco principais componentes: óxido de chumbo, chumbo metálico, solução de ácido sulfúrico e caixa de plástico. As placas de chumbo, compostas por ligas de chumbo e óxido de chumbo, são imersas em uma solução de ácido sulfúrico, criando uma reação química que gera energia elétrica. A caixa de plástico abriga as placas e a solução, garantindo a contenção segura dos componentes químicos (CARNEIRO et al., 2017). Na Figura 2 vemos os principais componentes da bateria.

Figura 2. Principais componentes da bateria de chumbo-ácido.

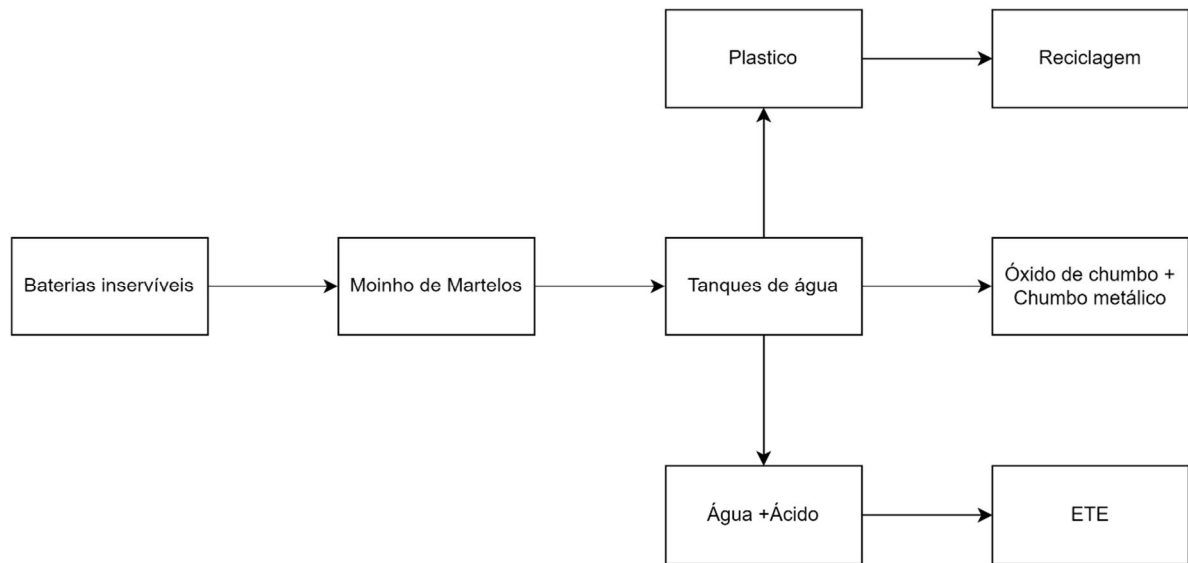


Fonte: Moura, 2023.

2.2 PROCESSO DE REFINO SECUNDÁRIO DE CHUMBO

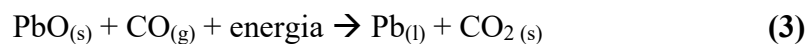
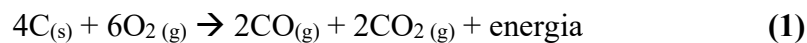
As baterias inservíveis, a serem recicladas são levadas para um moinho de martelos, onde são trituradas e separadas em pequenos pedaços dos seus principais componentes. Essas peças são levadas para um tanque com um contrafluxo de água, responsável por separar seus componentes com base nas diferenças de densidade: dióxido de chumbo, chumbo metálico e outros resíduos, por serem mais densos, ficam no fundo do tanque; plástico, que é menos denso, flutua e o ácido solubiliza-se na água. O plástico é lavado e seco ao ar livre antes de ser encaminhado para reciclagem, o ácido é encaminhado para a estação de tratamento de efluentes - ETE e retorna ao processo onde é reaproveitada. A Figura 3 a seguir demonstra este processo:

Figura 3. Esquema simplificado da reciclagem de baterias usadas por diferença de densidade



Fonte: Autor, 2023

Em seguida, o dióxido de chumbo e chumbo metálico impuros são secos ao ar livre e levados ao um forno rotativo, onde são adicionados os insumos para reações de redução do chumbo, são eles: carbonato de sódio, limalha de ferro e coque. No forno, ocorre a redução do chumbo pelo monóxido de carbono, formado pela reação do coque e ar. O óxido reage e transforma-se em chumbo metálico, conforme as reações a seguir:



Alguns resíduos não metálicos também são formados durante esse processo. Por serem menos densos que o chumbo metálico, esses são extraídos da parte de cima do forno, chamados de escória, enquanto o chumbo metálico é extraído do fundo do forno.

Em seguida, o chumbo bruto obtido no forno segue para o refino, onde é finalizado o processo de remoção de contaminantes e, a depender do tipo de liga, recebe outros metais para conferir características desejadas. Os metais de liga vão agregar características elétricas e mecânicas para cada tipo/item da bateria, como resistência à corrosão, aumento de vida útil, maleabilidade, dureza, tenacidade. Durante o processo do refino, os contaminantes de cada liga são retirados em forma de pó, com composição prioritariamente de chumbo. Este pó passa por

uma etapa de reprocesso no forno, para que seja possível recuperar o chumbo presente no mesmo. Na Figura 4 é possível ver o chumbo líquido na etapa de refino.

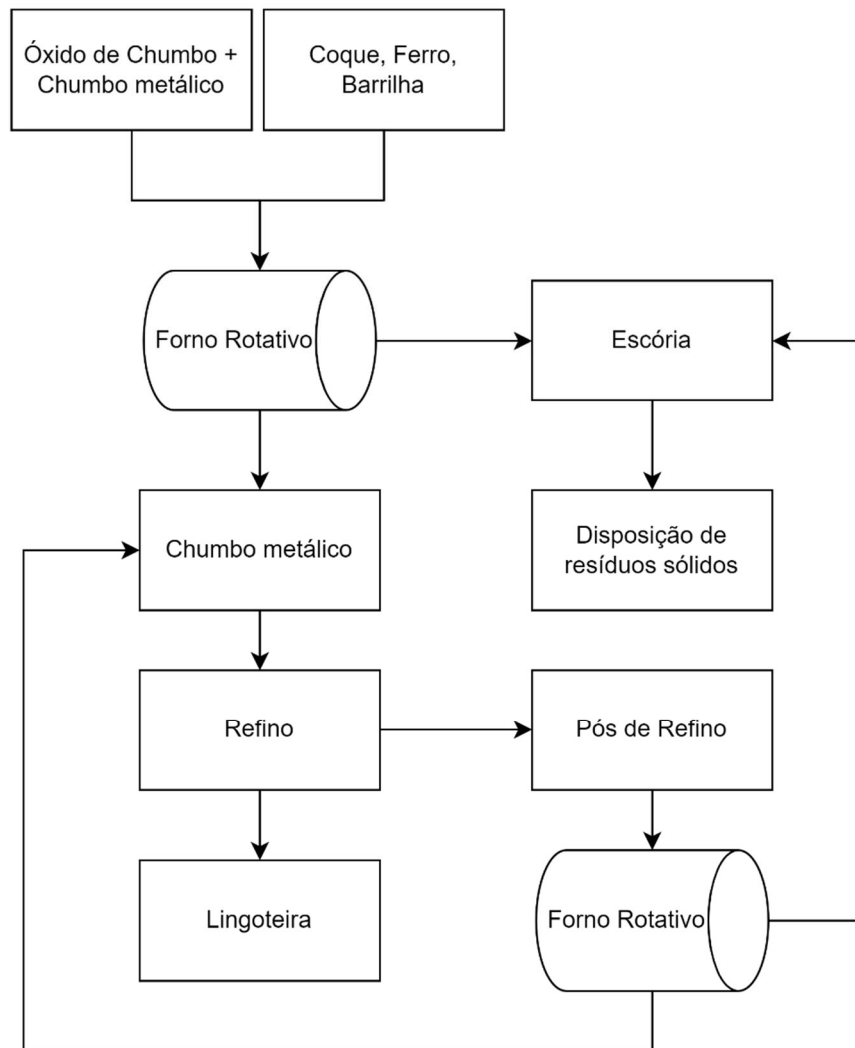
Figura 4. Chumbo líquido para refino.



Fonte: Autor, 2023

Depois do processo de refino, a liga formada é transferida para moldes numa máquina chamada de lingoteiras, de onde se obtém os “lingotes”, barras de aproximadamente 30kg. Os lingotes são resfriados num sistema de imersão em água na parte inferior das formas e os lingotes são empilhados em fardos de 1 ton. A Figura 5 mostra as etapas deste processamento:

Figura 5. Esquema simplificado do processamento de chumbo



Fonte: Autor, 2023.

Existem diversas especificações de chumbo, a depender da empresa, tipo de acumulador desejado e para qual aplicação será utilizado. Entretanto, é possível estratificar as diversas especificações em 3 famílias de produtos principais, são elas: Chumbo puro, ou chumbo mole, apresentando grau de pureza de 99,99% de chumbo, Ligas de chumbo, cálcio e estanho, ou também chamadas de ligas de cálcio e, por ultimo, ligas de chumbo e antimônio, ou ligas de antimônio.

O chumbo mole (Pb) é amplamente utilizado na fabricação da pasta da bateria. Ele é preferido devido à sua alta densidade, excelente condutividade elétrica e facilidade de fabricação. Com a pasta nas placas positiva é possível a reação química de oxidação do chumbo durante o processo de carga, bem como a reversão dessa reação durante a descarga. Além disso,

o chumbo mole é altamente maleável, o que facilita o processo de fabricação das pasta (SILVA, 2010).

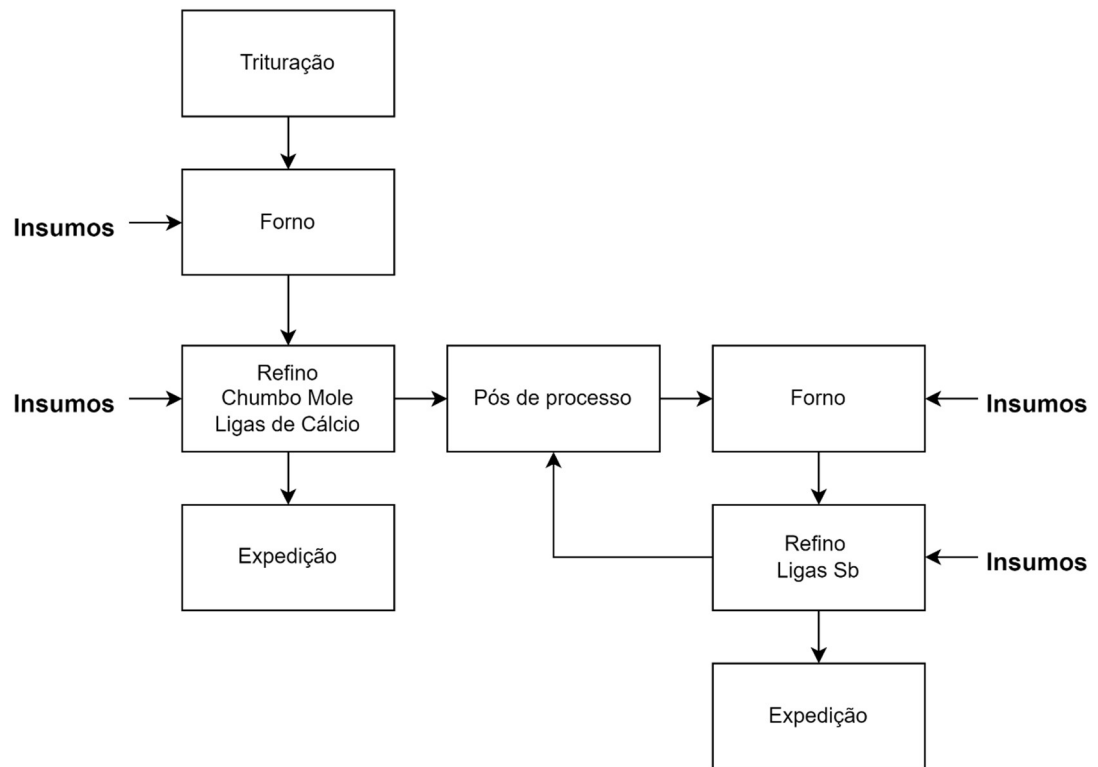
A adição de outros elementos à matriz de chumbo pode melhorar ainda mais as propriedades das placas da bateria. Uma das ligas mais comumente utilizadas é a liga de chumbo e cálcio (Pb-Ca). Essa liga apresenta uma menor taxa de autodescarga porém, possui maior resistência à corrosão em comparação ao chumbo mole puro. A adição de cálcio à matriz de chumbo também melhora a estabilidade da estrutura da placa durante ciclos de carga e descarga, o que contribui para uma maior vida útil da bateria (SILVA, 2010).

As ligas de chumbo e antimônio (Pb-Sb) são especialmente utilizadas nas peças de união dos elementos da bateria. O antimônio confere uma maior dureza à liga, o que é benéfico para suportar grandes correntes e os ciclos de carga e descarga. Além disso, a liga de Pb-Sb ajuda a evitar o crescimento excessivo de sulfato de chumbo nas placas, o que pode reduzir o desempenho da bateria. No entanto, é importante controlar cuidadosamente a proporção de antimônio, pois o excesso desse elemento pode levar a problemas de formação de sulfato indesejado e aumento na taxa de autodescarga (CARNEIRO et al., 2017).

O processo de refino de chumbo pode variar a entre metalúrgicas, devido a diversos fatores, como por exemplo, o tipo de tecnologia de forno utilizada nos fornos, tipo de mix de baterias adquirido pela metalúrgica para realizar a quebra e necessidade de produção de cada família de liga. Sendo assim, os detalhes de refino variam bastante mesmo no ramo.

Na Figura 6 representa o fluxograma de produção de cada família de liga na unidade metalúrgica onde este trabalho foi realizado.

Figura 6. Fluxograma de refino de chumbo



Fonte: Autor, 2023.

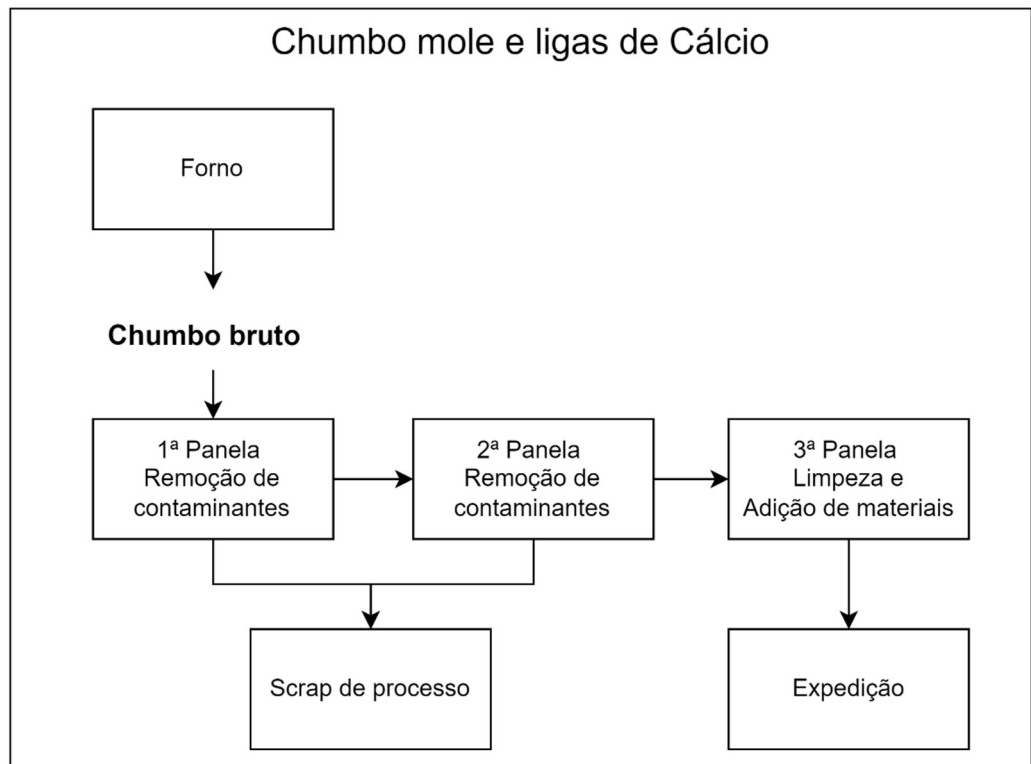
Para produção de ligas de Cálcio e chumbo mole (Chumbo puro), é necessário que seus contaminantes sejam removidos, sendo o Antimônio (Sb), Estanho (Sn), Níquel (Ni), Telúrio (Te) e Arsênio (As) os piores contaminantes. Entretanto, para a produção de ligas de chumbo com Antimônio, este elemento juntamente com o Arsênio e Estanho são desejáveis e necessários para liga. Dessa forma, ao se processar ligas de cálcio ou chumbo mole, o ‘*scrap*’ ou rejeito deste refino, contendo teores concentrados destes elementos, juntamente com o próprio chumbo oxidado é reprocessado nos fornos para obtenção de chumbo bruto com Antimônio, o qual, na metalúrgica deste trabalho, é a principal matéria prima que é refinada para as ligas de chumbo com antimônio.

Como o processo de fabricação de ligas de cálcio e chumbo mole consiste principalmente na remoção de contaminantes, seguido da adição de elementos de liga, caso necessário, o processo de refino destas ligas também é diferente das ligas de antimônio.

Para realizar a produção de um lote, ou batelada, de chumbo mole, o processo é realizado em 3 reatores, aqui chamados de painéis, diferentes. Onde as duas primeiras painéis são responsáveis pela remoção dos contaminantes e a última painél é responsável pela limpeza final

do metal e adição de elementos de liga, caso seja uma liga de cálcio. O processo pode ser descrito conforme a Figura 7.

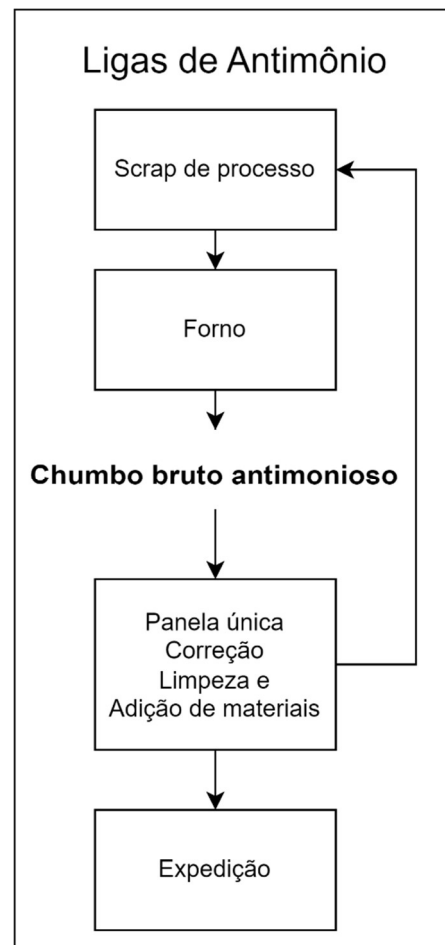
Figura 7. Refino de Chumbo mole e ligas de cálcio



Fonte: Autor, 2023.

Este scrap por sua vez é reprocessado e direcionado para linha de ligas de antimônio. Esta linha é especial, pois possui prioritariamente Antimônio, Estanho, Arsênio e Cobre como principais elementos de liga, seu processo pode ser realizado apenas em uma única panela. A Figura 8 representa o fluxograma de refino de ligas de Chumbo com Antimônio.

Figura 8. Refino de ligas de Chumbo com Antimônio



Fonte: Autor, 2023.

Na planta onde este trabalho está sendo desenvolvido, existem três linhas de produção que podem alternar entre chumbo mole e ligas de Cálcio, entretanto, devido a sua característica especial, existe apenas uma linha disponível para Ligas de Antimônio.

2.3. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Essas ferramentas fornecem métodos e técnicas para identificar e solucionar problemas, melhorar processos e tomar decisões embasadas em dados, contribuindo para o aumento da eficiência, eficácia e competitividade das empresas.

2.3.1 – Diagrama de Ishikawa

Desenvolvido por Kaoru Ishikawa, esse diagrama é utilizado para identificar e visualizar as possíveis causas de um problema ou efeito indesejado. O diagrama é construído de forma a

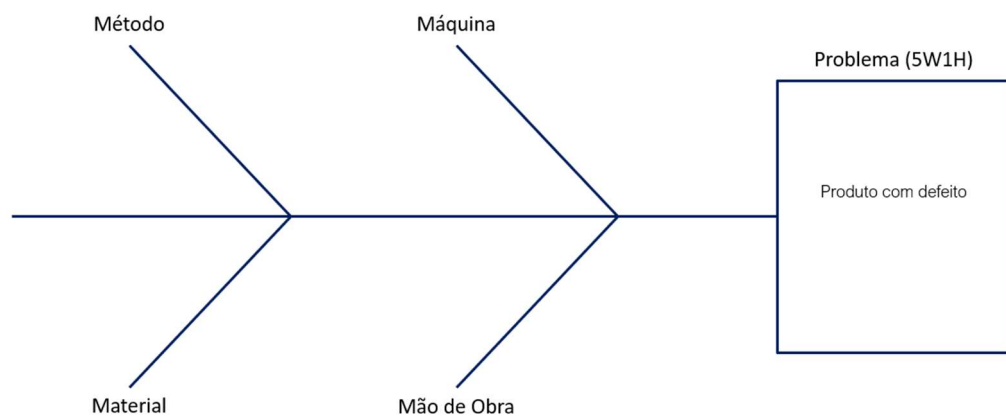
identificar as principais categorias de causas e seus subitens, permitindo uma análise detalhada e uma abordagem sistêmica na busca pela solução do problema (ISHIKAWA, 1985).

O Diagrama de Ishikawa pode ser utilizado para identificar oportunidades de melhoria em um processo ou produto, não apenas para corrigir problemas. A utilização do Diagrama de Ishikawa para identificar causas de problemas pode levar a mudanças significativas e permanentes na organização, promovendo a melhoria contínua (JURAN, 1989).

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta essencial no processo de melhoria contínua de processos e produtos. É importante que o Diagrama de Ishikawa seja aplicado adequadamente, com a participação de uma equipe multidisciplinar e com o objetivo de identificar as causas raízes dos problemas e gerar soluções criativas e viáveis (CAMPOS, 2004).

O diagrama de Ishikawa possui o apelido de espinha de peixe pois sua forma se assemelha à parte do animal, como pode ser visto na Figura 9 abaixo. Essa ferramenta é um diagrama classificativo onde são registradas as causas de um problema de forma estratificada a partir das prováveis origens dessas causas, por isso, este método também pode ser chamado de diagrama de causa e efeito (SOUZA, 1997).

Figura 9. Exemplo de diagrama de Ishikawa



Fonte: Autor, 2023.

2.3.2 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta da qualidade amplamente utilizada na indústria para identificar e priorizar os principais problemas ou causas de problemas em um processo ou sistema. É uma representação gráfica que permite analisar de forma visual a frequência ou o impacto de diferentes itens ou categorias, auxiliando na identificação daqueles que são

responsáveis pela maioria dos problemas ou que têm maior relevância em termos de impacto (ISHIKAWA,1995).

O Diagrama de Pareto foi desenvolvido pelo economista italiano Vilfredo Pareto, que observou que a maioria dos efeitos em muitos fenômenos econômicos e sociais é causada por um número reduzido de causas. Ele é baseado no princípio conhecido como "regra 80/20" ou "princípio de Pareto", que sugere que aproximadamente 80% dos problemas são causados por 20% das causas. (ISHIKAWA,1995).

A elaboração de um diagrama de Pareto segue os seguintes passos:

1. Coleta de dados: São coletados dados relevantes sobre os problemas ou causas que se deseja analisar. Esses dados podem ser obtidos por meio de registros, relatórios, análise de dados históricos, ou outras fontes confiáveis.
2. Classificação dos dados: Os dados coletados são categorizados em diferentes itens ou causas, de acordo com sua natureza ou características.
3. Cálculo da frequência ou impacto: Para cada categoria, é calculada a frequência ou impacto, geralmente expresso em percentual ou em quantidade absoluta.
4. Construção do gráfico: O gráfico de Pareto é construído com base nos dados coletados e classificados, apresentando as categorias em ordem decrescente de frequência ou impacto, da esquerda para a direita.

2.3.3. *Brainstorm*

O *Brainstorming* é uma técnica amplamente utilizada na indústria para estimular a geração de ideias e soluções criativas para problemas ou desafios enfrentados em um ambiente de trabalho. É uma técnica de grupo que permite que os participantes expressem livremente suas ideias, sem críticas ou julgamentos iniciais, visando a estimulação da criatividade e a busca por soluções inovadoras (MARIANI, 2005).

Durante a realização do *brainstorm* todas as ideias do tema são registradas, criando um ambiente de estímulo à criatividade, sem críticas ou restrições visando buscar novas perspectivas. Após a geração das ideias, é importante realizar uma avaliação criteriosa das ideias geradas, levando em consideração sua viabilidade, potencial de implementação e alinhamento com os objetivos e necessidades da indústria.

O Brainstorming aplicado na indústria pode ser utilizado em diversas situações, tais como o desenvolvimento de novos produtos, a identificação de oportunidades de melhoria em processos de produção (SUTTON,2001).

2.3.4. 5G

A ferramenta da qualidade 5G, também conhecida como 5G's, é uma abordagem utilizada na indústria para identificar e solucionar problemas, melhorar processos e garantir a qualidade dos produtos ou serviços. Essa abordagem é baseada em cinco princípios fundamentais, conhecidos como *Genba*, *Genbutsu*, *Genjitsu*, *Genri* e *Gensoku*, que são aplicados para aprimorar a eficiência e eficácia dos processos de produção (ISHIKAWA,1995).

Genba (local de trabalho): Esse princípio enfatiza a importância de observar e entender o processo de produção no local onde ele acontece. Os profissionais devem ir ao local de trabalho para identificar problemas, coletar dados e obter uma compreensão aprofundada das atividades realizadas.

Genbutsu (produto ou serviço): Esse princípio destaca a importância de analisar o produto ou serviço em si, em vez de depender apenas de relatórios ou dados secundários. Os profissionais devem examinar o produto ou serviço em seu estado real, identificando defeitos, falhas ou problemas de qualidade.

Genjitsu (fatos e dados): Esse princípio enfatiza a importância de tomar decisões com base em fatos e dados concretos, em vez de suposições ou opiniões. Os profissionais devem coletar, analisar e interpretar dados relevantes para embasar suas conclusões e ações de melhoria.

Genri (princípios): Esse princípio destaca a importância de seguir princípios e padrões estabelecidos para garantir a qualidade dos produtos ou serviços. Os profissionais devem aderir a normas, procedimentos e políticas estabelecidas, bem como seguir as melhores práticas da indústria.

Gensoku (regras): Esse princípio enfatiza a importância de definir e seguir regras claras e específicas para garantir a qualidade dos produtos ou serviços. Os profissionais devem estabelecer padrões, critérios e especificações para orientar as atividades de produção e monitorar o cumprimento dessas regras.

Esses cinco princípios da ferramenta da qualidade 5G são fundamentais para aprimorar a qualidade dos processos de produção na indústria, identificar e solucionar problemas de forma eficaz e garantir a satisfação dos clientes. A aplicação desses princípios pode levar a melhorias significativas na eficiência operacional, redução de defeitos, aumento da produtividade e melhoria geral da qualidade dos produtos ou serviços (ISHIKAWA,1995).

2.3.5 5W1H

A sigla 5W1H representa seis perguntas-chaves em inglês que devem ser respondidas na elaboração de um plano de ação (ANDRADE, 2003).

What (O que será feito?): Refere-se à descrição detalhada da ação que será executada. É importante que a ação seja claramente definida, com especificações precisas e detalhadas sobre o que será realizado.

Why (Por que será feito?): Busca entender os motivos ou razões que justificam a realização da ação. É fundamental compreender a relação entre a ação proposta e o problema ou oportunidade de melhoria identificado, evidenciando a necessidade de sua execução.

Who (Quem irá realizar?): Refere-se aos responsáveis pela execução da ação. É importante definir claramente quem será o responsável pela implementação da ação, atribuindo as devidas responsabilidades às pessoas ou equipes envolvidas.

When (Quando será feito?): Refere-se aos prazos estabelecidos para a conclusão da ação. É fundamental definir um prazo realista e alcançável para a execução da ação, estabelecendo um senso de urgência e comprometimento com o cumprimento dos prazos.

Where (Onde será feito?): Refere-se ao local onde a ação será executada. Dependendo do tipo de processo industrial, é importante definir o local específico onde a ação será realizada, seja em uma determinada área da fábrica, em uma linha de produção específica ou em uma determinada estação de trabalho.

How (Como será feito?): Refere-se à descrição detalhada do método ou procedimento que será utilizado para executar a ação. É fundamental definir de forma clara e detalhada como a ação será realizada, incluindo os passos, as ferramentas, os recursos necessários e os procedimentos a serem seguidos.

2.4. PDCA

O conceito do método de melhorias, atualmente conhecido pela sigla PDCA, foi originalmente desenvolvido pelo estatístico americano Walter A. Shewhart nos laboratórios da Bell Laboratories nos Estados Unidos na década de 30, no entanto, até 1950 esse método não havia sido popularizado, até que o especialista em qualidade W. Edwards Deming, ficou famoso por aplicar esse método ao conceito de qualidade em trabalhos desenvolvidos no Japão. Tal sucesso fez com que esse ciclo também fosse conhecido como Ciclo de Deming. Após refinar o trabalho original de Shewhart, Deming desenvolveu o que chamou de Shewhart *PDCA cycle* em homenagem ao mentor do método (DEMING, 1990).

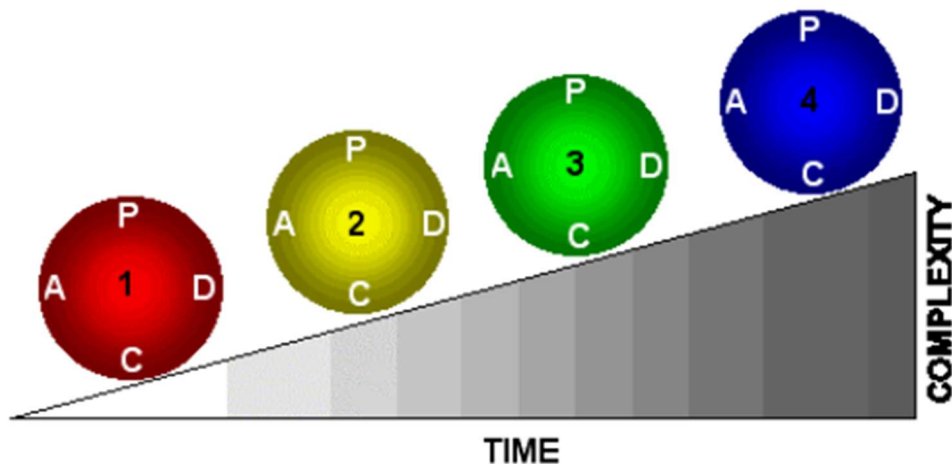
Campos (2004) define o Ciclo PDCA na seguinte citação: “O PDCA é um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais”

Analisando a citação é perceptível a terminologia método, que antecede o nome original. A palavra método é a união de duas palavras gregas: meta + hodos, ou seja, caminho para a meta. Portanto, o Método PDCA é “um caminho para se atingir uma meta” (CAMPOS, 2004). Dessa forma, a metodologia PDCA necessita da definição de uma meta a ser atingida.

As letras que formam o nome do método, PDCA, significam, respectivamente: PLAN, DO, CHECK, ACT, que sendo traduzidas, significam PLANEJAR, EXECUTAR, VERIFICAR, ATUAR. Essas etapas constituem parte dos fundamentos básicos originalmente pensados por Shewhart e posteriormente sendo aprimorados por Deming (ANDRADE, 2003).

Esse ciclo contínuo de mudanças pode ser representado através da chamada rampa de melhoria como mostrado na Figura 10. Tendo como base o que foi aprendido em uma aplicação do ciclo PDCA, pode-se começar um novo ciclo, mais complexo, e ter o mesmo como base para um seguinte (ANDRADE, 2003).

Figura 10. Rampa de melhoria



Fonte: Andrade, 2003.

A seguir, apresentar-se-á cada módulo do Ciclo PDCA, destacando suas principais características

2.4.1 Etapa PLAN (Planejar)

A primeira etapa do ciclo PDCA é expressa pela letra P (PLANEJAR). Esta é considerado como o mais importante, por ser o início do ciclo, a eficácia futura estará baseada

em quão bem elaborado e minucioso o planejamento foi, provendo dados e informações a todas as etapas restantes do método (BADIRU, AYENI, 1993).

Badiru (1993) acrescenta detalhes para execução eficiente desta etapa. Deverão ser discutidas questões como: qual a meta, ou objetivo específico a ser alcançada pela organização com este projeto; quais as pessoas a serem envolvidas nesse processo; qual será o prazo para a efetivação do plano de ação a ser elaborado; quais serão os recursos a serem despendidos para a conclusão do plano; quais serão os dados a serem coletados durante o processo; em resumo, direcionamentos para um planejamento mais robusto e eficaz.

Para que a atual etapa possa atender a todas as premissas que garantem planejamento dentro do contexto do ciclo PDCA, a mesma pode ser subdividida em cinco etapas, que, segundo Campos (1996) e Melo (2001) são: Localizar o problema; Estabelecer meta; Análise do fenômeno; Análise do processo (causas); Elaborar plano de ação.

2.4.1.1. Localizar o problema

O primeiro passo é identificar e definir claramente qual é o problema que precisa ser resolvido. Para isso, é importante coletar informações e dados relevantes, como relatórios de produção, feedback de clientes, entre outros. A partir dessa análise, é possível definir com clareza qual é o problema que precisa ser solucionado.

Campos (2004) defende que a fase de localizar o problema deve ser realizada todas as vezes que algum processo tenha um desenvolvimento ou resultado não desejado. Nesta etapa é crucial que o problema seja bem identificado, delimitando seu campo de atuação e destinando tempo adequado para sua análise.

Melo e Caramori (2001) classificam os problemas de forma mais detalhada como mostrado na Figura 11 abaixo.

Figura 11. Classificação de problemas

CONTRAMEDIDA	Conhecida -----> Desconhecida	B Problemas que requerem alta tecnologia	A Problemas que valem ser resolvidos
		C Problemas simples	D Problemas que requerem cuidado
		Conhecida -----> Desconhecida	
		CAUSA	

Fonte: Melo, Caramori, 2001.

Desta forma, é possível perceber que o problema é classificado de acordo com sua causa e contramedida e a complexidade do problema depende da complexidade desses dois fatores. Por exemplo, um problema do tipo B é caracterizado como um problema onde as causas são conhecidas, porém cujo contramedida não é clara para a equipe da empresa. Assim, recomenda-se recorrer a empresas de consultoria ou centros de pesquisa para buscar solução para o problema. De forma análoga, um problema do tipo D é um problema onde a causa é desconhecida, porém as contramedidas para solucioná-lo são conhecidas. Logo, se a empresa possui conhecimento de como solucionar o problema, não há motivos para não o fazer. Entretanto, após realizar as medidas corretivas do problema, é necessário aplicar uma metodologia de estudo para encontrar as causas, evitando que o mesmo aconteça novamente, de forma a evitar que o problema se torne crônico.

Segundo Melo e Caramori (2001), a área A do gráfico é a área dos problemas que valem a pena serem resolvidos. Isso porque nessa área a organização não conhece as causas e contramedidas, devendo o problema ser tratado de forma especial (geralmente é um problema crítico ou crônico dentro da empresa, que prejudica indiretamente o desempenho da empresa como um todo). Para resolver esses problemas, o método PDCA é usado. Desta forma, o problema pode ser completamente resolvido demarcando o problema, determinando o objetivo de resolver o problema, encontrando a causa e tomando medidas corretivas e preventivas.

Por último, a região C é caracterizada por ter as causas e as contramedidas conhecidas, classificando-a sendo uma zona de problemas de simples resolução.

Outra forma de identificar o problema é estabelecendo metas de melhoria, por exemplo: quando a empresa anseia obter uma melhora de desempenho em determinado processo. Como exemplo, uma empresa metalúrgica que hoje possui uma capacidade de produção de “x” toneladas de chumbo por dia e almeja aumentar sua produtividade em 10% mantendo as características de qualidade intrínseca do produto. Logo, a empresa passa a ter um problema, cujo tamanho dele será aumento de 10% de produtividade em sua estrutura de produção.

Após o problema identificado e classificado, é necessário estabelecer as metas.

2.4.1.2. Estabelecer meta

A segunda etapa consiste em definir uma meta clara e objetiva que deve ser alcançada. A meta deve ser mensurável e estar relacionada ao problema identificado na etapa anterior. É importante que a meta seja desafiadora, mas realista, para garantir que a equipe se sinta motivada a alcançá-la.

Como dito por Campos (2001) “Uma meta é um gol, um ponto a ser atingido no futuro”. As metas devem ser sempre estabelecidas nos produtos, na satisfação e segurança das pessoas envolvidas com o processo, e nunca no processo, pois no processo não haverá metas, mas sim medidas para as causas dos problemas. É importante que toda meta a ser definida seja constituída de três partes: objetivo gerencial, prazo e valor; dessa forma é possível se obter o conceito completo do termo meta.

O objetivo gerencial especifica, através de um verbo no infinitivo, a finalidade da meta. Exemplo: “Aumentar ganhos em vendas”, ou “Reduzir tempo de processo em ligas de chumbo”. É definido pela proposta da meta.

O valor pode estar implícito no objetivo geral, do contrário, deve ser explicitado na meta. Exemplo: “Aumentar ganhos em vendas em 10%”, ou “Reduzir o tempo de processo de ligas de chumbo em 2h”

Por último, a meta precisa de um prazo, dessa forma a meta se torna mensurável e o projeto pode ser acompanhado. Exemplo: “Aumentar os ganhos em vendas em 10% no ano de 2023”, ou “Reduzir o tempo de processo em ligas de chumbo em 2h em 3 meses”. Normalmente o prazo é descrito no final da meta.

Como descrito por Campos (2001), uma meta pode possuir dois tipos de origem distintas, “metas de melhoria” ou “metas para manter”.

A primeira pode ser uma meta oriunda de um benchmarking, voltada às necessidades impostas por clientes ou para se manter competitiva no antro de atuação. Essas metas normalmente se iniciam na grande administração de uma empresa e “é feito o desdobramento

das metas em todos os níveis hierárquicos, para depois ser feito o estabelecimento das medidas em cada nível” (CAMPOS, 2001).

O segundo tipo de meta origina-se de problemas de gerenciamento de rotina, problemas crônicos ou críticos. Devido à natureza desta meta, provinda de rotina de trabalho, ela se situará em um patamar mais operacional. Tal meta é denominada meta padrão.

Neste trabalho, foi contemplado uma meta para melhoria, através da ferramenta de kaizen. Desta forma não será aprofundado a teoria de metas padrão.

Um dos principais pontos ao se definir uma meta é que todos os envolvidos compreendam e concordem com a meta estabelecida, a fim de garantir que todos os esforços sejam canalizados para resolução do problema em questão (ANDRADE, 2003).

2.4.1.3 Análise do fenômeno:

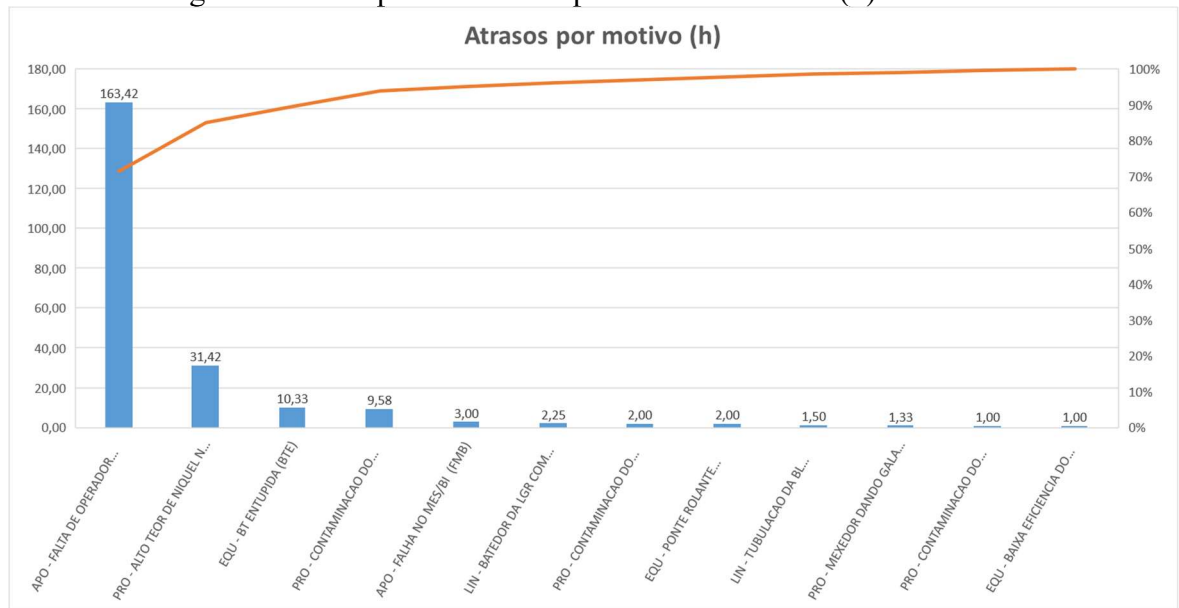
A terceira etapa é a análise do fenômeno, que consiste em estudar as características do problema identificado e suas possíveis causas. Para isso, é necessário coletar dados e informações detalhadas sobre o processo que está sendo analisado. A análise do fenômeno permite uma compreensão mais profunda do problema e ajuda a identificar as possíveis causas raiz

Na etapa de coleta de dados é importante que seja realizado um levantamento histórico da ocorrência do problema e empregar ferramentas de análise e melhoria de processos para que seja compreendido e estratificado, facilitando a atuação pelo mesmo (SOUZA, 1997).

A estratificação pode ser realizada através de inúmeros pontos de vista, porém deverá ser escolhido o que melhor representa o problema para a visão da empresa. Também é recomendado a observação *in loco* do problema. Após ser realizado um estudo prévio dos dados levantados, deve-se ir fisicamente ao local onde o problema acontece para a coleta de informações que não podem ou não foram transformadas em dados, assim como para validar as informações e dados já obtidos, validando e dando robustez à coleta de dados (MELO, CARAMORI, 2001).

Uma ferramenta que pode ser utilizada durante a análise do problema é o gráfico de Pareto, que permite priorizar diversos problemas. Este gráfico normalmente se apresenta sob a forma de histograma onde ordena a frequência ou gravidade de um problema de forma decrescente (SANTOS et al., [s.d.]). A Figura 12 abaixo é um exemplo do uso de gráfico de Pareto na indústria.

Figura 12. Exemplos de atrasos por motivo no refino(h)



Fonte: Autor, 2023.

Desta forma, a empresa pode escolher atacar mais um problema ao mesmo tempo, porém restringindo-se sempre aos problemas que mais influenciam no aspecto geral do problema citado.

Na etapa de análise do problema, a empresa já possui uma meta, definida na etapa anterior, porém, após a etapa de análise do problema, a empresa pode escolher os principais problemas que a afetam e desdobrar sua meta inicial de forma que ao atingir todas essas metas, também atinja a meta principal.

2.4.1.4. Análise do processo:

Na quarta etapa, é feita uma análise detalhada do processo envolvido no problema. É importante identificar as principais causas do problema para desenvolver uma solução efetiva. A análise do processo pode ser feita através de diversas ferramentas, tais quais o *Brainstorm* o diagrama de Ishikawa, também conhecido como espinha de peixe.

O *Brainstorm* é uma técnica que pode ser utilizada como uma ferramenta eficaz para o processo de melhoria contínua de processos e produtos, integrando-se ao ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act).

Finalizando o processo do *brainstorming* e consequentemente a análise do processo, as causas prioritárias são definidas e realiza-se a análise de sua consistência. Somente após as

causas serem confirmadas tecnicamente é que se segue para elaboração do Plano de Ação, que conterá as medidas para as causas apontadas.

2.4.1.5. Elaborar plano de ação

A última etapa do planejamento é a elaboração de um plano de ação para resolver o problema identificado. O plano deve ser detalhado e incluir todas as atividades necessárias para alcançar a meta estabelecida. É importante que o plano seja claro e fácil de ser seguido pela equipe envolvida na implementação.

Sendo assim, nesta etapa, existem algumas informações que precisam estar presentes. Como forma auxiliar, recomendasse o uso de ferramentas como o 5G's e 5W1H.

A elaboração de um plano de ação é uma etapa crucial do PDCA, pois possibilita a implementação efetiva de melhorias nos processos industriais. Ao seguir os passos mencionados acima, as organizações podem ter uma abordagem estruturada para planejar, executar, monitorar e ajustar ações, visando a melhoria contínua e a busca da excelência operacional (MARIANI, 2005).

Elaborado o plano de ação, finaliza-se a etapa *PLAN* do ciclo PDCA, e inicia-se a etapa seguinte, *DO*, que irá colocar em prática as ações definidas no plano de ação.

2.4.2. Etapa *DO* (Executar)

A etapa "*DO*" do ciclo PDCA é a fase de execução do plano desenvolvido na etapa anterior, "*Plan*". É nessa fase que as ações planejadas são implementadas e os processos são colocados em prática. A etapa "*DO*" é crucial para transformar as ideias e estratégias em ações concretas, permitindo a verificação da eficácia do plano e a obtenção de resultados reais. Neste contexto, a literatura destaca alguns conceitos importantes relacionados à etapa "*DO*" do PDCA.

A primeira atividade na etapa "*DO*" é a implementação do plano, que envolve a execução das ações definidas no estágio de planejamento. Nesse sentido, Deming (1990), um dos pioneiros do ciclo PDCA, ressalta que "nada acontece sem ação" e enfatiza a importância de colocar em prática as ações planejadas para alcançar os objetivos desejados.

Além disso, a etapa "*DO*" também envolve o monitoramento e registro dos dados e informações relevantes durante a execução do plano. É fundamental acompanhar o progresso das atividades, coletar dados e realizar medições para avaliar a performance dos processos e compará-los com as metas estabelecidas. De acordo com Juran (1989), "aquilo que não é

medido não é gerenciado", ressaltando a importância de mensurar os resultados alcançados durante a execução do plano.

Outro aspecto relevante na etapa "*DO*" é a necessidade de ajustar e adaptar as ações conforme necessário. Durante a execução do plano, podem surgir imprevistos ou mudanças nas condições externas ou internas da organização, o que pode demandar ajustes nas ações planejadas. É importante ter flexibilidade para fazer correções de curso e melhorias contínuas durante a execução do plano, garantindo que ele permaneça alinhado com os objetivos estabelecidos. Como Deming (1990) afirma: "Não é necessário mudar. Sobreviver não é obrigatório. Mas é necessário melhorar".

Por fim, a etapa "*DO*" também envolve o envolvimento e engajamento das pessoas responsáveis pela execução do plano. A participação ativa e o comprometimento dos colaboradores são fatores-chave para o sucesso da implementação do plano. É importante promover uma cultura de melhoria contínua e estimular a participação de todos os envolvidos no processo, encorajando o trabalho em equipe e a busca por soluções conjuntas (DALE, MACQUARTER, 2013).

Em resumo, a etapa "*DO*" do ciclo PDCA é fundamental para a execução do plano e a obtenção de resultados concretos. Envolve a implementação das ações planejadas, o monitoramento dos resultados, a realização de ajustes e melhorias contínuas, além do engajamento das pessoas. É uma fase dinâmica e essencial para o alcance dos objetivos estabelecidos na etapa de planejamento.

2.4.3. Etapa *CHECK* (Verificar)

A etapa "*Check*" é a fase de verificação dos resultados obtidos na etapa anterior. É nessa etapa que os dados e informações coletados são analisados para avaliar a eficácia das ações implementadas e compará-las com as metas estabelecidas. A verificação é uma etapa crítica do PDCA, pois permite identificar desvios e oportunidades de melhoria, embasando as decisões para ações corretivas ou para a continuidade do ciclo PDCA. Neste contexto, a literatura oferece algumas fundamentações teóricas relevantes relacionadas à etapa "*Check*" do PDCA.

Uma das principais atividades na etapa "*Check*" é a análise dos dados coletados durante a execução do plano. A análise de dados é essencial para avaliar o desempenho dos processos em relação aos objetivos estabelecidos e identificar possíveis variações e tendências. A utilização de técnicas estatísticas é comum nessa etapa, permitindo uma análise mais detalhada dos dados.

Além disso, a etapa "*Check*" também envolve a identificação de tendências e padrões nos dados coletados. A análise de tendências pode revelar a direção dos resultados ao longo do tempo, identificando possíveis mudanças ou padrões de comportamento dos processos. Essa análise permite antecipar problemas e tomar ações preventivas.

Por fim, na etapa "*Check*" do PDCA, é fundamental documentar os resultados obtidos e as análises realizadas. A documentação é importante para registrar as informações relevantes obtidas durante a verificação e servir como base para futuras referências. A documentação pode incluir relatórios de análise de dados, gráficos, tabelas e registros das análises de causa e efeito realizadas. A documentação adequada permite uma revisão sistemática das informações e auxilia na tomada de decisões informadas. Como destacado por Dale e McQuater (2013), "a documentação dos resultados e análises é uma prática essencial na etapa '*Check*', pois possibilita a revisão e aprimoramento contínuo do processo".

2.4.4. Etapa *Act* (Atuar/Padronizar)

A etapa "A" do ciclo PDCA, que significa "Atuar" ou "Agir", é a última das quatro etapas fundamentais do ciclo PDCA. Uma parte crucial dessa etapa é a padronização das ações executadas. A padronização envolve a definição clara e documentada dos métodos, procedimentos, processos ou práticas que foram implementados durante as etapas anteriores. A padronização é essencial para garantir que as ações executadas sejam consistentes e replicáveis, de forma a evitar variações indesejáveis nos processos e resultados obtidos (CARPINETTI, 2012).

A padronização também contribui para a melhoria contínua, pois permite a avaliação e a análise dos resultados obtidos após a execução das ações, facilitando a identificação de desvios e a correção de possíveis falhas. Além disso, a padronização possibilita a disseminação do conhecimento adquirido, tornando as ações implementadas parte integrante do sistema de gestão da qualidade da organização (MELO, CARAMORI 2001).

Nesse sentido, a etapa "A" do ciclo PDCA, além de agir na execução das ações planejadas, também envolve a padronização dessas ações, visando a melhoria contínua e o alcance das metas estabelecidas. A padronização contribui para a consistência, replicabilidade e disseminação do conhecimento adquirido, tornando-se uma parte essencial do processo de melhoria contínua na indústria.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar o procedimento metodológico utilizado nesta pesquisa. Para YIN (2001), existem muitos métodos de realizar uma pesquisa e cada um deles depreende diferentes estratégias, para que seja possível alcançar um resultado satisfatório e apresentar o estudo como fonte de futuras pesquisas.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Demo (1996) várias classificações podem ser realizadas em uma pesquisa, podendo ser classificadas quanto a sua natureza, sua forma de abordagem, seus objetivos e seus procedimentos técnicos utilizados. Quanto a natureza deste trabalho, ele pode ser classificado como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos que possam ser aplicados de forma prática na solução dos problemas identificados na operacionalização do processo de refino secundário de ligas de chumbo.

Quando a abordagem do problema, é classificada como uma pesquisa quantitativa, pois requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas, a fim de tratar as informações em números de maneira que estas se tornem mensuráveis, possibilitando sua classificação e análise de forma sistemática (SEVERINO, 2000).

Em relação aos objetivos propostos, pode ser considerada como exploratória e descritiva, que visa extrair ainda mais informações sobre os processos de refino de chumbo e apresentar quais as contribuições da aplicação do método PDCA para melhoria do processo.

Quanto aos seus procedimentos técnicos, pode ser classificada como uma pesquisa bibliográfica, porque a fundamentação teórica e as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa, são provenientes da literatura científica disponíveis em materiais públicos como artigos científicos, livros, revistas e publicações em periódicos. Pode ser considerada também como documental, pois utiliza documentos através dos dados do sistema MES BI SAP, que já foram utilizados e processados pela empresa, mas que também podem receber outras interpretações, e o estudo de caso que permita um maior aprofundamento sobre o tema da pesquisa.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste tópico será descrito como foi a realização do projeto de melhoria através do uso do ciclo PDCA.

3.2.1 Etapa *PLAN* (PLANEJAR)

Nesta etapa foram aplicados os conceitos e ferramentas do PDCA para definir o problema, encontrar sua causa raiz, definir metas e traçar o plano de ação.

3.2.1.1 Localizar o problema

Com auxílio da ferramenta de armazenamento de dados MES BI SAP, foi possível realizar o levantamento dos atrasos de todas as painéis no primeiro semestre de 2022.

Foi percebido que a painél 8, que constitui a linha de processamento de ligas de chumbo com altos teores de antimônio, está com quantidade de atrasos significativa. Visto que esse tipo de liga de chumbo somente pode ser processado nesta painél, ela possui um grau de criticidade elevado, sendo a escolhida para realizar o ciclo PDCA.

A seguir, se realizou a estratificação de atrasos especificamente da linha escolhida como foco de atuação e definiu-se o maior motivo de atrasos como problema a ser resolvido através da aplicação do ciclo.

3.2.1.2 Estabelecer meta

Dado as características do problema, foi traçado uma meta com base numa redução do principal indicador deste problema. Os atrasos de correção de cobre em ligas de chumbo com Antimônio.

3.2.1.3 Análise do problema e processo

Com auxílio das ferramentas de qualidade 5G, 5W1H e o diagrama de Ishikawa, ambos os passos serão tratados em conjunto.

Foi realizado uma análise 5G para identificar o problema seguido da aplicação da ferramenta 5W1H., de forma a se esclarecer o direcionador do problema. Por último as suas causas raízes foram identificadas através da aplicação do diagrama de Ishikawa.

3.2.1.3 Elaborar plano de ação

Nesta etapa foram discutidos com a equipe e elaborados planos de ação para cada uma das causas apresentadas no diagrama de Ishikawa. Para cada causa foram alocados prazos e responsáveis.

3.2.2 Etapa *DO* (EXECUTAR)

Nesta etapa foram realizadas as ações propostas na etapa de planejamento.

Se realizou um estudo das especificações de todas as bateladas produtivas oriunda de cargas de pó, matéria prima para produção de ligas de Antimônio na UGB- Forno. E os valores de cobre foram comparados com a especificação de cobre nessas ligas. Dessa forma foi possível perceber que os teores de cobre recebidos eram bem inferiores ao necessário e por isso necessitavam ser corrigidos através da adição de cobre.

Em seguida se realizou a caracterização do insumo utilizado na etapa de correção do cobre. Onde por meio desta análise, foi possível definir a quantidade de cobre a ser adicionada no refino da liga para correção do teor deste elemento, testes em escala industrial para que estes valores fossem validados e, por fim, um plano de ação para recebimento padronizado deste insumo.

No Anexo I se percebe que a curva para oxidação do cobre está acima da curva de oxidação do chumbo na faixa de temperatura de 400°C até 600°C, sendo assim, existe a tendência do chumbo se oxidar antes do cobre, contanto que ambos estejam nas mesmas condições. No mesmo anexo se percebe que para faixas de temperatura mais elevadas, ambas as curvas tendem a se encontrar, não sendo possível afirmar a tendencia de oxidação entre esses dois elementos.

3.2.3 Etapa *CHECK* (VERIFICAR)

Nesta etapa foram verificados se as ações anteriores foram efetivas através do acompanhamento da meta traçada, análises realizadas em cada uma das ligas e indicadores de desempenho propostos.

3.2.4 Etapa *ACT* (PADRONIZAR)

Após as ações executadas, realizou-se a alteração e registro dos novos procedimentos de processo, assim como treinamento da equipe de operação e setor de qualidade da empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão os resultados das atividades realizadas com base no apresentado no capítulo 3.

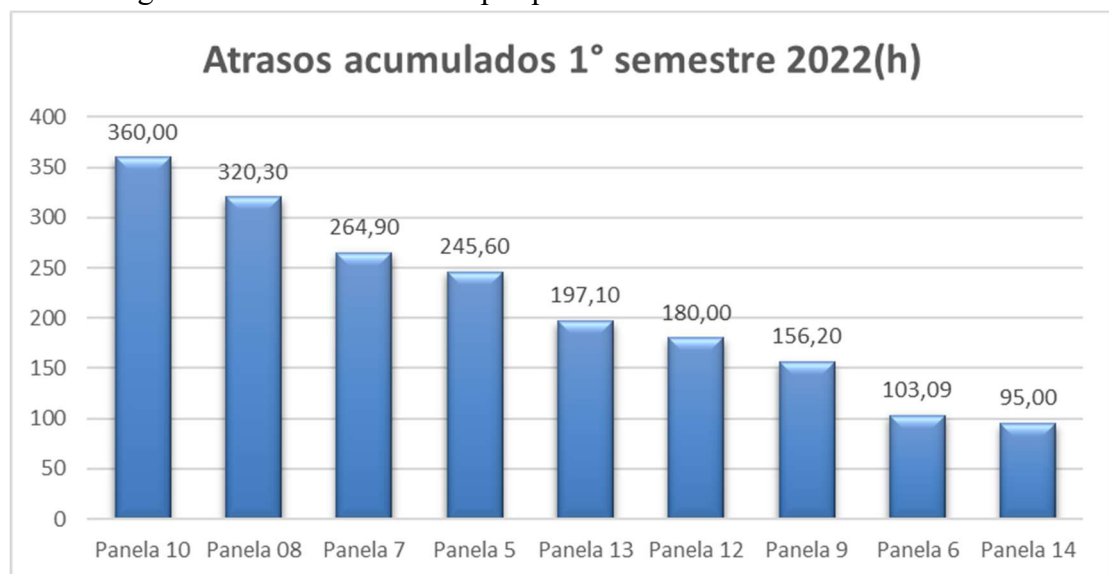
4.1 APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA *PLAN* (PLANEJAR)

Na primeira etapa do PDCA, foi elaborado o levantamento de dados e criação do plano de ação conforme as etapas a seguir.

4.2.1. Localizar o problema.

Com auxílio da ferramenta de armazenamento de dados MES BI SAP, foi possível realizar o levantamento dos atrasos de todas as painéis no primeiro semestre de 2022. A Figura 13 apresenta estes atrasos.

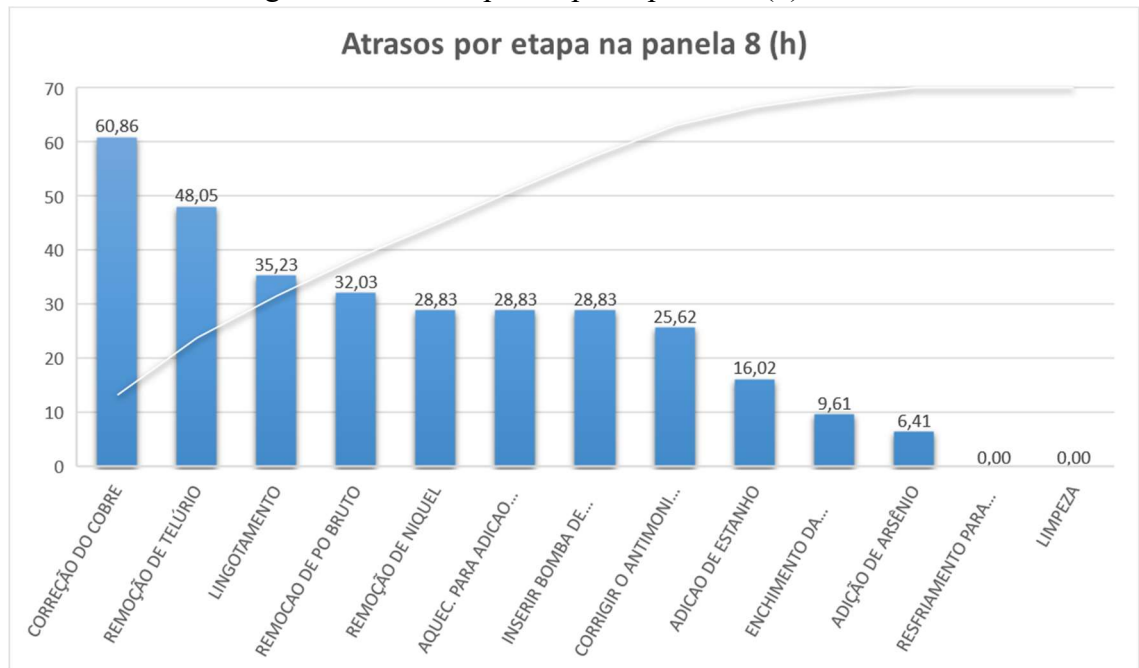
Figura 13. Atrasos em horas por painel no 1º semestre de 2022



Fonte: Moura, 2022.

A painel 8 foi a escolhida para estratificação de atrasos neste trabalho, uma vez que é uma única painel que representa uma linha de produção de uma família de ligas de chumbo completa, possuindo uma grande criticidade. A Figura 14 apresenta os atrasos desta painel estratificados.

Figura 14. Atrasos por etapa na panela 8 (h)

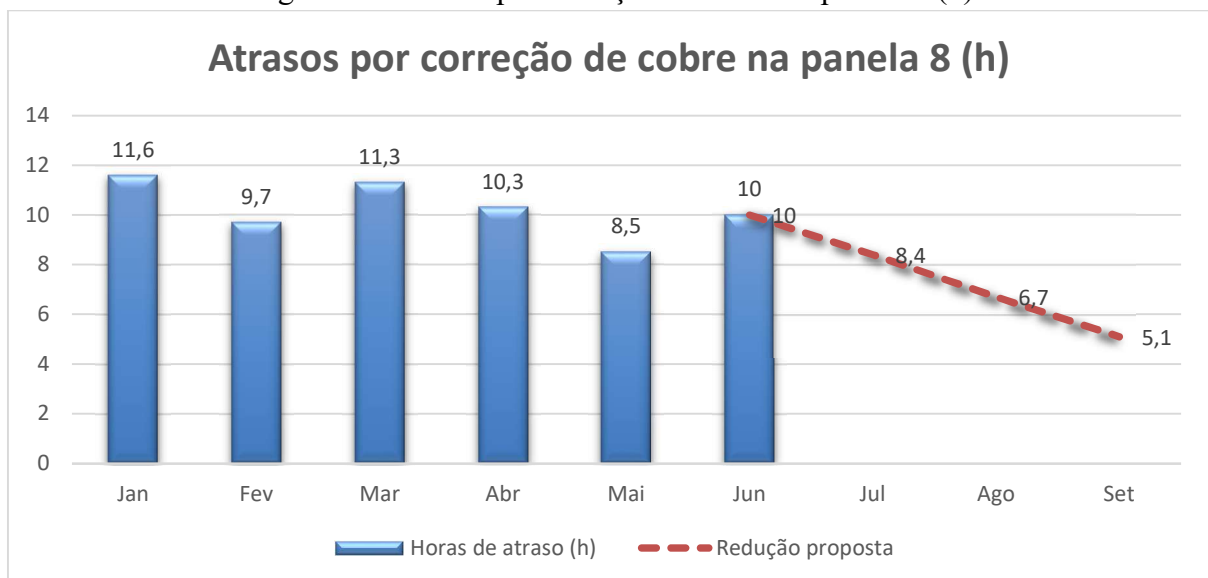


Fonte: Moura, 2022.

4.2.2. Estabelecer meta

Desta forma, a meta proposta foi a redução deste atraso em 50% ao longo de 4 meses. Uma meta ousada, mas dado a importância do tema e o seu impacto como causa prioritária, tal meta é justificável. A Figura 15 mostra os atrasos e meta proposta.

Figura 15. Atrasos por correção de cobre na panela 8 (h)



Fonte: Autor, 2023.

4.2.3. Análise do problema e processo

Com auxílio das ferramentas de qualidade 5G, 5W1H e o diagrama de Ishikawa, ambos os passos serão tratados em conjunto.

4.1.3.1. 5G

A ferramenta foi utilizada com o foco no problema levantado na panela 8.

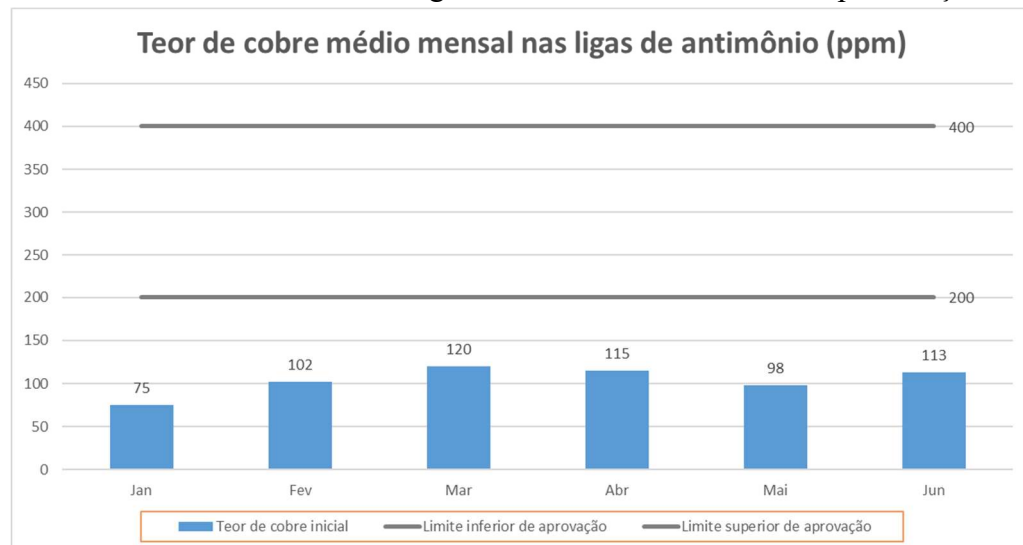
Gemba – Vá ao local: UGB- Refino, Panela 8.

Gembutsu – Examine o objeto: Processamento de ligas de chumbo com Antimônio.

Genjitsu – Verifique os dados: Elevadas horas de atraso constituindo problema crônico na etapa de correção do cobre, conforme Figura 15 acima.

Genri – Compare a teoria: Teor de Cobre inicial nas ligas de antimônio estão abaixo das especificações para ligas produzidas. A Figura 16 apresenta o teor médio de cobre no início do processo.

Figura 16. Teor de cobre médio nas ligas de antimônio e limites de especificação em ppm



Fonte: Moura, 2022.

O cobre que é adicionado ao chumbo é proveniente de cabos de carregamento de baterias que estavam sendo usados em outras unidades fabris da empresa, para as demais unidades esses cabos não possuem mais serventia após o tempo de uso padrão e são rejeitos de produção, ou descartes. Neste descarte de fios estão contidos diversos tipos de cabos elétricos que possuem cobre, como fios elétricos, cabos que são usados para carregamento de baterias durante o seu processo produtivo. Entretanto não existe padronização. A Figura 17 abaixo

mostra os cabos e fios, que ficam armazenados em uma baia de insumos próxima a baia de material para o forno.

Figura 17. Fios de cobre



Fonte: Autor, 2023.

Gensoku – Avaliar os padrões: Na etapa de adição do cobre, a faixa de temperatura estipulada para adição é de 550°C até 600°C, o tempo destinado a etapa de correção é de 1h. Durante este tempo, não é possível aquecer a panela para esta temperatura e realizar a correção no tempo destinado, gerando atrasos. Além disso, a falta de padrão dos fios de cobre a serem adicionados faz com que não exista previsibilidade durante a adição, sendo assim, para atingir a quantidade desejada de cobre na liga são necessárias mais de uma aplicação e análise, que demandam tempo.

4.2.3.2. Aplicação da ferramenta 5W1H

Na Figura 18, é possível ver a ferramenta aplicada ao problema.

Figura 18. Aplicação da ferramenta 5W1H ao problema

1	O que? (Qual é o problema que está sendo estudado? O que gerou a demanda por uma análise?)	Atrasos na produção de ligas antimoniosas
2	Quando? (Quando, em que circunstância se é verificado o problema? Início do turno, setup, mudança de liga)	Diariamente
3	Onde? (Onde o problema acontece? Qual o equipamento? Qual é a UGB?)	Panela 8
4	Quem? (Quem afeta este problema? É um problema individual ou de várias pessoas? É afetado pela habilidade do operador? Quem faz a operação?)	Operador de refino
5	De que forma? (Qual a forma/tendência o problema apresenta? Acontece aleatoriamente ou em sequência?)	Por conta da falta de padronização do insumo e o tempo necessário para aquecer a panela até a temperatura adequada
6	Como? (Qual é o estado do equipamento/processo/insumo em relação a sua condição normal. A quanto tempo o problema ocorre (diariamente, mensalmente..) Qual sua frequência?	Sempre que é necessário realizar a correção do teor de cobre, são gerados atrasos na produção.

Fonte: Autor, 2023.

A partir dessas análises, o problema está direcionado pelo tempo de atraso nas ligas. Sendo assim, é necessário agora conhecer suas causas raízes, com o auxílio de ferramentas da qualidade que possuem esta finalidade.

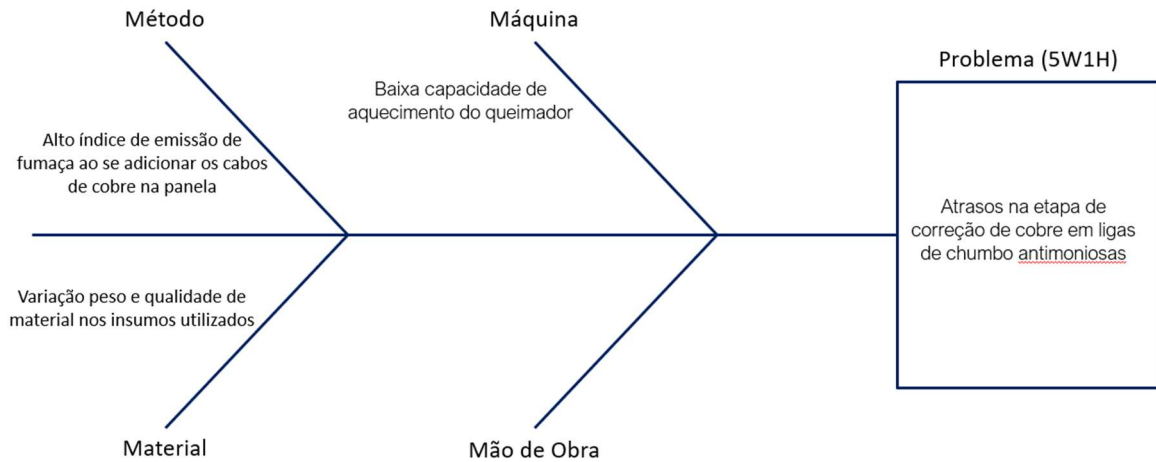
4.2.3.3. – Aplicação do diagrama de Ishikawa

Após a realização de um *Brainstorm* com o time produtivo, foram constatadas as seguintes causas para o problema de atrasos debatido:

- Alto índice de emissões de fumaça ao se adicionar os cabos de cobre ao chumbo contido nas painéis de refino. Este problema faz com que a adição seja realizada de forma mais cadenciada e lenta, para que a exaustão consiga capturar toda fumaça emitida.
- Baixa capacidade de aquecimento do queimador na panela 8. Fazendo com que o tempo para aquecimento não seja suficiente.
- Variação de peso de cobre e qualidade do mesmo nos cabos utilizados. Causando atrasos de adição pois a mesma quantia em peso de fio não corresponde a mesma quantidade de cobre.

Figura 19 ilustra o diagrama de Ishikawa com as causas levantadas.

Figura 19. Aplicação do diagrama de Ishikawa para o problema



Fonte: Autor, 2023.

Após essas análises o problema está bem localizado. Dessa forma segue-se com a elaboração de um plano de ação.

4.2.4. Elaborar plano de ação

Nesta etapa foram discutidos com a equipe e elaborados planos de ação para cada uma das causas apresentadas no diagrama de Ishikawa. Para cada causa foram alocados prazos e responsáveis, como pode ser visto na Tabela 1 a seguir.

Causa	Ação	Prazo	Responsável
Variação de peso e qualidade de cobre nos insumos	Padronização de chegada de rejeito de cabos das demais unidades (Fornecedores)	1 Mês	Henrique Hermann
Baixa capacidade de aquecimento do queimador	Realizar desobstrução de duto de exaustão de gases da fornalha na próxima parada planejada	2 Meses	UGB – Manutenção Central
Alto índice de emissão de fumaça ao se adicionar os cabos de cobre	Realizar inspeção nos filtros para identificar causa da ineficiência de sucção durante a próxima parada planejada	2 Meses	UGB – Manutenção Central

Fonte: Autor, 2023.

Com o plano de ação estabelecido, a etapa *PLAN* (Planejar) é finalizada, dando início a etapa *DO* (Executar).

4.3. APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA *DO* (EXECUTAR)

Nesta etapa o plano de ação é posto em prática e são detalhadas suas atividades de forma mais específica, objetiva e prática.

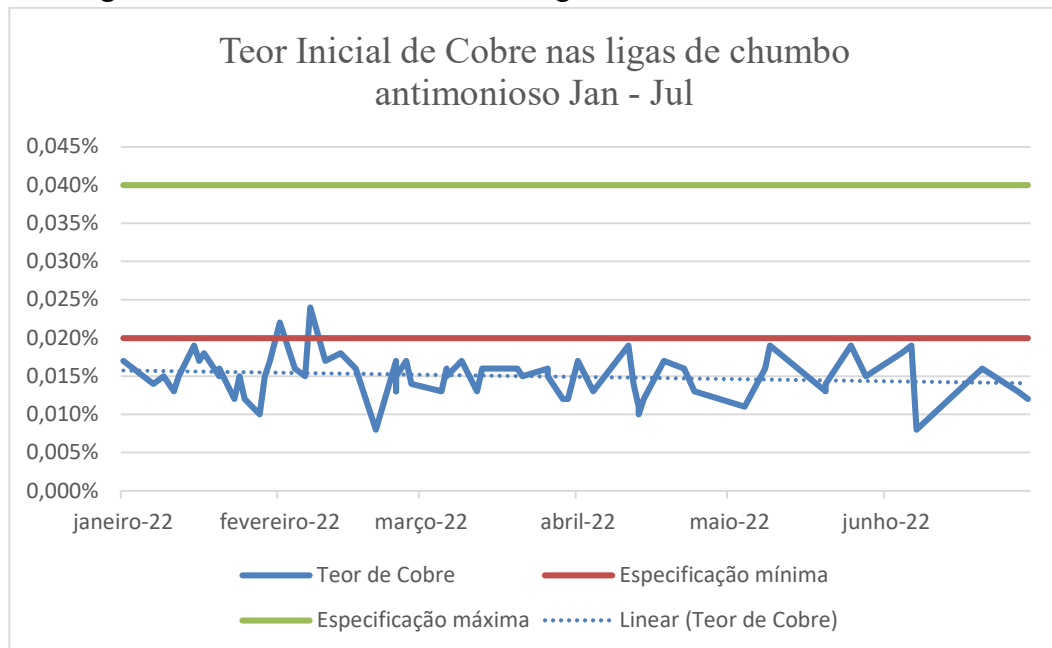
Para a ação de padronização de chegada de rejeito de cabos das demais unidades foi adotado uma série de ações que ao se executar todas elas, a ação principal também seria executada.

4.3.1. Caracterização do chumbo antimonioso

Assim como na etapa Genri, foi realizado um estudo analisando as especificações de todas as bateladas produtivas oriunda de cargas de pó, matéria prima para produção de ligas de Antimônio na UGB- Forno. E os valores de cobre foram comparados com a especificação de cobre nessas ligas. Dessa forma foi possível perceber que os teores de cobre recebidos eram bem inferiores ao necessário e por isso necessitavam ser corrigidos através da adição de cobre.

A Figura 20 retrata o teor de cobre inicial de cada batelada produtiva, comparando-os com o teor previsto para as ligas. No primeiro semestre de 2022 foram produzidas 67 ligas diferentes, das quais apenas 2 iniciaram a produção dentro do teor desejado e não necessitaram de correção do teor de cobre durante seu processamento. A média destas análises foi de 0,015%.

Figura 20. Teor inicial de cobre nas ligas de chumbo com Antimônio.



Fonte: Moura, 2022.

4.3.2 Caracterização do insumo utilizado

O cobre utilizado para adição após aquecimento é oriundo de todo rejeito de fios no processo de fabricação de baterias, sendo assim, não é uniforme. Foi realizado um estudo de composição na opção de fio que possuía a maior disponibilidade, o cabo de formação.

O cabo de formação é o nome dado ao cabo que realiza a conexão entre as baterias durante a etapa de formação, este cabo é fabricado na própria fábrica e consiste em um fio de cobre revestido com uma camada isolante e nas suas extremidades um conector feito de liga de chumbo com antimônio. Esta combinação é excelente para o processo de refino, pois além de ter uma liga de alto teor de antimônio, que vai ser aproveitada no processo, ainda possui quantidade de cobre significativa comparado aos seus componentes, como é possível reparar através da Figura 21.

Figura 21. Cabo de formação com fiação de cobre exposta.



Fonte: Autor, 2023.

A Figura 22 apresenta a pesagem dos principais componentes do cabo de formação, chumbo que foi separado do cabo e derretido e o cobre contido dentro da fiação.

Figura 22. Peso do chumbo (A esquerda) e cobre (A direita) recuperados do cabo de formação



Fonte: Autor, 2023.

Abaixo está a Tabela 2 que relaciona cada um dos componentes e seu percentual em peso.

Tabela 2. Relação de pesos e percentuais para o cabo de formação.

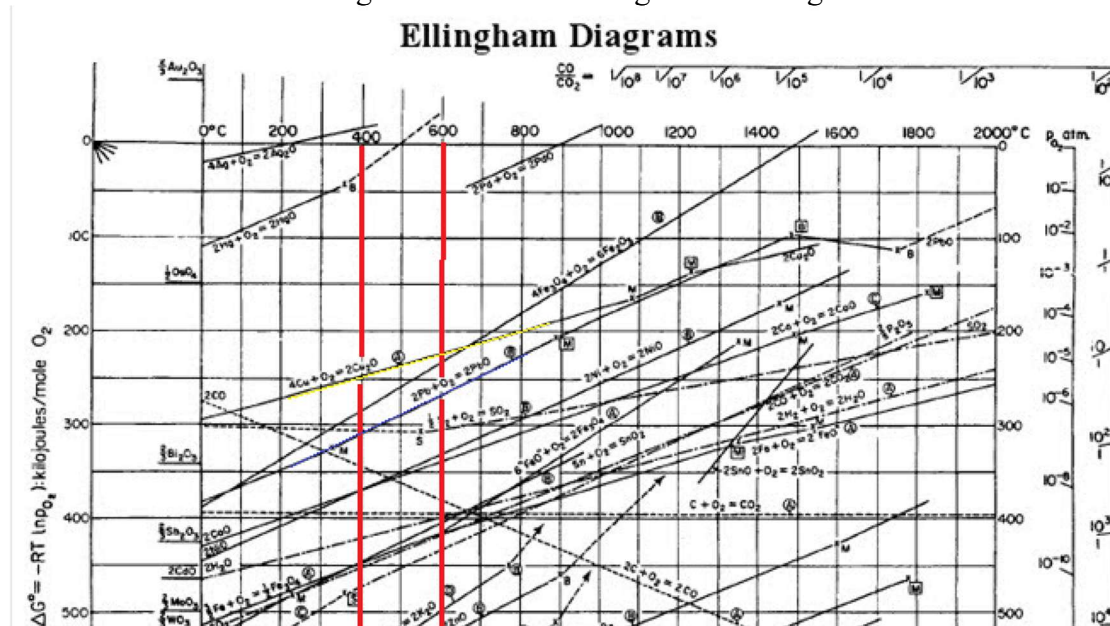
Nº amostra	1	2	3	4	5	% Médio
Chumbo (g)	219,7	218,0	220,2	219,5	219,8	73%
Cobre (g)	57,2	0,6	57,3	60,0	57,4	19%
Material isolante (g)	23,1	22,7	23,6	23,0	22,9	8%
Total	300,0	241,3	301,1	302,5	300,1	100%

Fonte: Autor, 2023.

Percebe-se que cerca de 20% do peso total dos cabos de formação é de fato cobre, e que a sua maior parte é composta de chumbo. Com este cabo é confeccionado pela própria empresa, sabe-se que este conector de chumbo é feito a partir de uma liga com alto teor de Antimônio e estanho, ou seja, é benéfico para reaproveitamento em ligas de Antimônio.

Conforme abordado no capítulo 3, o rendimento da aplicação de cobre em chumbo tende a se aproximar de 100% devido a sua curva de oxidação estar acima da curva do chumbo, indicando o favorecimento da oxidação do chumbo antes do cobre. A Figura 23 destaca a parte do diagrama em questão.

Figura 23. Corte do Diagrama de Ellingham.



Fonte: Modificado de Ellingham, 1944.

Dessa forma é possível correlacionar o teor de cobre com o peso total dos cabos de formação, assim como relacionar a quantidade de produção de ligas de chumbo com antimônio com a quantidade necessária de cabos de formação a serem consumidos por mês, comparando os teores iniciais de cada liga com seu teor de aprovação.

Dos dados obtidos, o teor de cobre inicial médio é de 0,015%, sendo assim, para se atingir a faixa de especificação desejada, entre 0,02% e 0,04% é necessário realizar a adição de cobre equivalente.

4.3.2 Cálculo de cobre a ser adicionado nas ligas de chumbo.

Este cálculo foi realizado considerando o cobre necessário para atingir a média da especificação. Em cada batelada de chumbo são produzidas 70 toneladas, dessa forma é possível estimar a quantidade de cobre necessária através da equação 4 abaixo.

$$\text{Cobre (kg)} = (\text{Teor médio especificado} - \text{Teor médio inicial}) * \text{Chumbo (kg)} \quad (4)$$

Dado o teor médio inicial de 0,015%, assim como o teor médio especificado em 0,03% e a produção de chumbo mensal de 840 toneladas.

$$\text{Cobre (kg)} = (0,03\% - 0,015\%) * 840.000(\text{kg}) \quad (5)$$

Com base na equação 5, são necessários 126kg de cobre mensalmente para ser possível atender as demandas de todas as ligas. Da Tabela 2, sabe-se que cobre é apenas 19% do cabo de formação, assim, são necessários 664kg de cabos de formação, segundo a equação 6:

$$\text{Cabos de formação (kg)} = \text{Cobre necessário} \frac{(\text{kg})}{19\%} \quad (6)$$

4.3.3 Padronização de recebimento de cabos de formação

Uma vez determinada a quantidade mínima necessária por mês de cobre, buscou-se o contato com as demais unidades para verificar se existia a disponibilidade de cabos de formação na quantidade desejada. Após a sinalização positiva, foram adicionadas ações ao plano de ação para viabilizar a padronização do recebimento de cobre, tais como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Ações adicionais

Ação	Prazo	Responsável
Criação de <i>layout</i> em cada unidade para armazenamento dos cabos de formação	2 semanas	Setor de movimentação interna e logística
Realizar descarte adequado dos demais rejeitos de fios	2 semanas	Unidades geradoras deste rejeito e logística.
Criação de <i>layout</i> e logística de recebimento dos cabos de formação na unidade metalúrgica	2 semanas	Henrique Hermann e setor de logística
Treinamento da equipe de movimentação e produção envolvida na atividade	1 mês	Henrique Hermann

Fonte: Autor, 2023.

4.3.4 Aplicando melhoria de processo

Como visto no diagrama de Ishikawa, o material com cobre padronizado acelerava o processo por ser possível corrigir o cobre de forma mais precisa. Entretanto, ainda não era capaz de resolver o problema de atrasos por conta da baixa taxa de aquecimento do queimador.

Dessa forma, foi realizado um segundo *Brainstorm* onde foi debatido a ideia de adicionar o cobre diretamente ao forno. Por se tratar de um insumo recebido sem custos, cuja única finalidade é produzir chumbo, se é aceitável a perda de eficiência na sua aplicação, visando ganho de produtividade.

Assim, foi preciso calcular a quantidade de cobre necessária a ser adicionada nas cargas de forno, para atingir a especificação desejada. Dado que cada carga de forno recebe 28ton de matéria prima como carga, a quantidade de cabos de formação, através das equações 5 e 6 é dada por:

$$\text{Cobre} = (0,03\% - 0,015\%) * 28.000(kg)$$

$$\text{Cobre} = 4,2 \text{ kg}$$

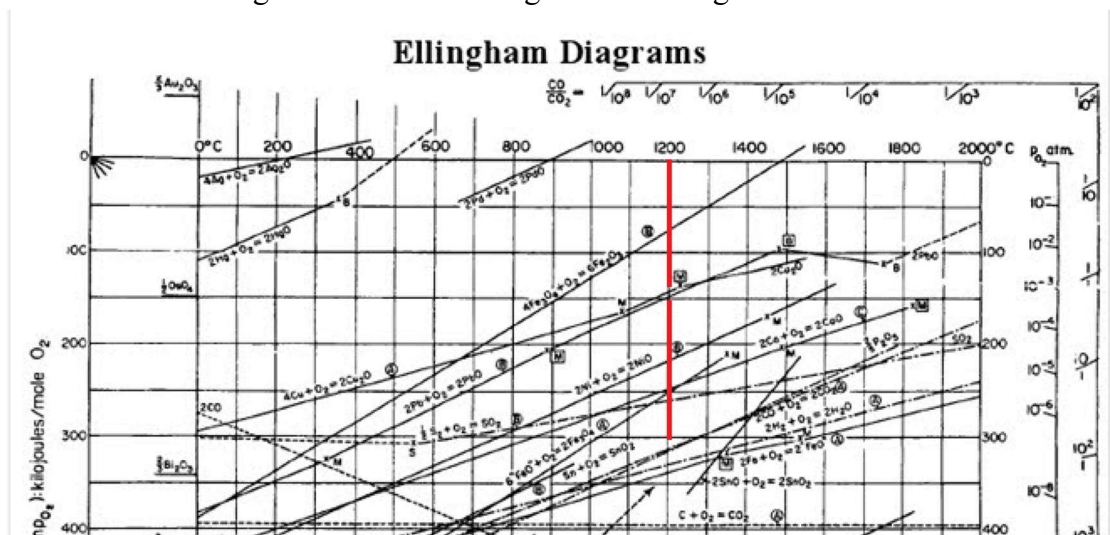
$$\text{Cabos de formação} = \frac{4,2kg}{19\%}$$

$$\text{Cabos de formação} = 22,1 \text{ kg}$$

Sendo assim, a cada carga de forno, se espera adicionar 22,1 kg de cabos de formação considerando um aproveitamento de 100% do cobre adicionado.

Aplicando novamente o diagrama de Ellingham do Anexo I, mostrado na Figura 24, é possível reparar que o cobre, em temperaturas mais elevadas, possui estabilidade muito próxima ao chumbo e por se tratar de uma nova abordagem ao problema, não foram encontrados registros na literatura sobre o comportamento da liga de chumbo-cobre em forno rotativo. Dessa forma, para se estimar uma perda de processo foi necessário realizar uma série de testes para determinação da quantidade ideal de cobre no chumbo.

Figura 24. Corte do diagrama de Ellingham 1200°C.

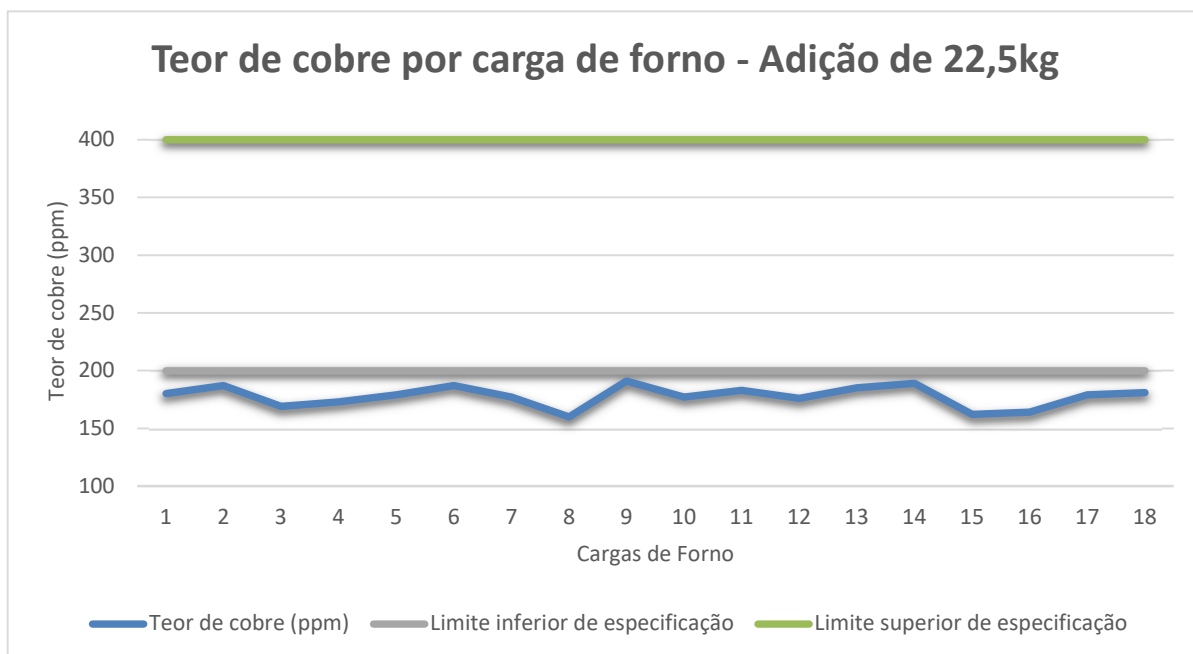


Fonte: Modificado de Ellingham, 1944.

4.3.4.1. Realização de testes de cargas de forno com adição de cobre.

Nesta etapa foram adicionados a quantia definida na etapa anterior nas cargas de forno e foram analisados os resultados destas cargas. A Figura 25 abaixo mostra como os teores se comportaram no primeiro mês.

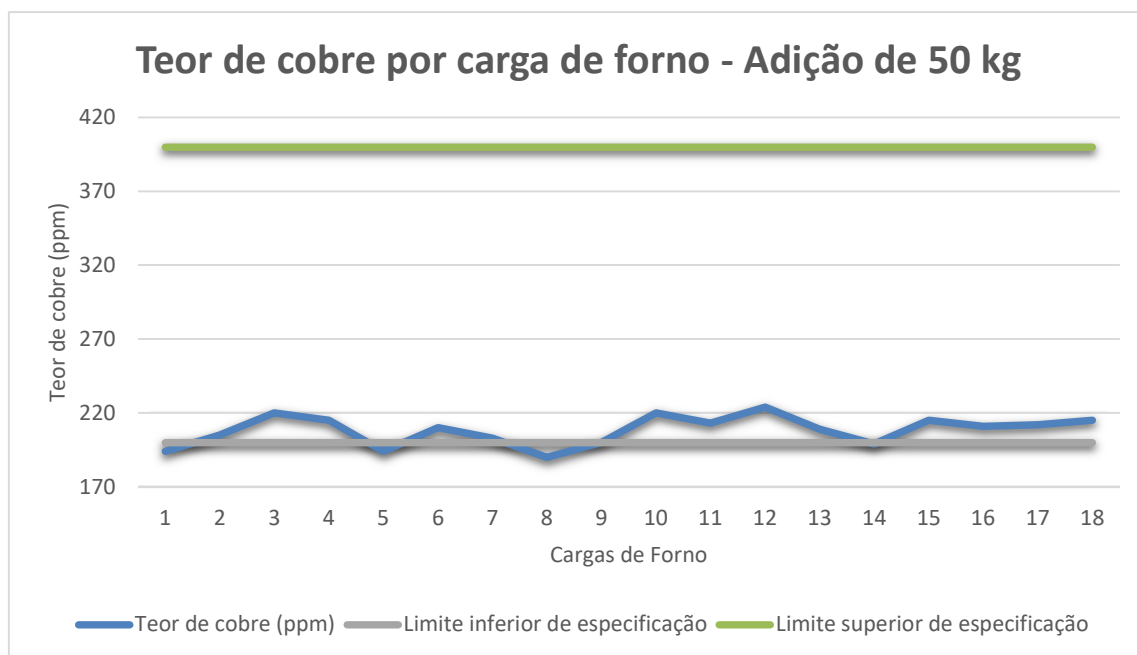
Figura 25. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 22,5kg de cabos de cobre.



Fonte: Autor, 2023.

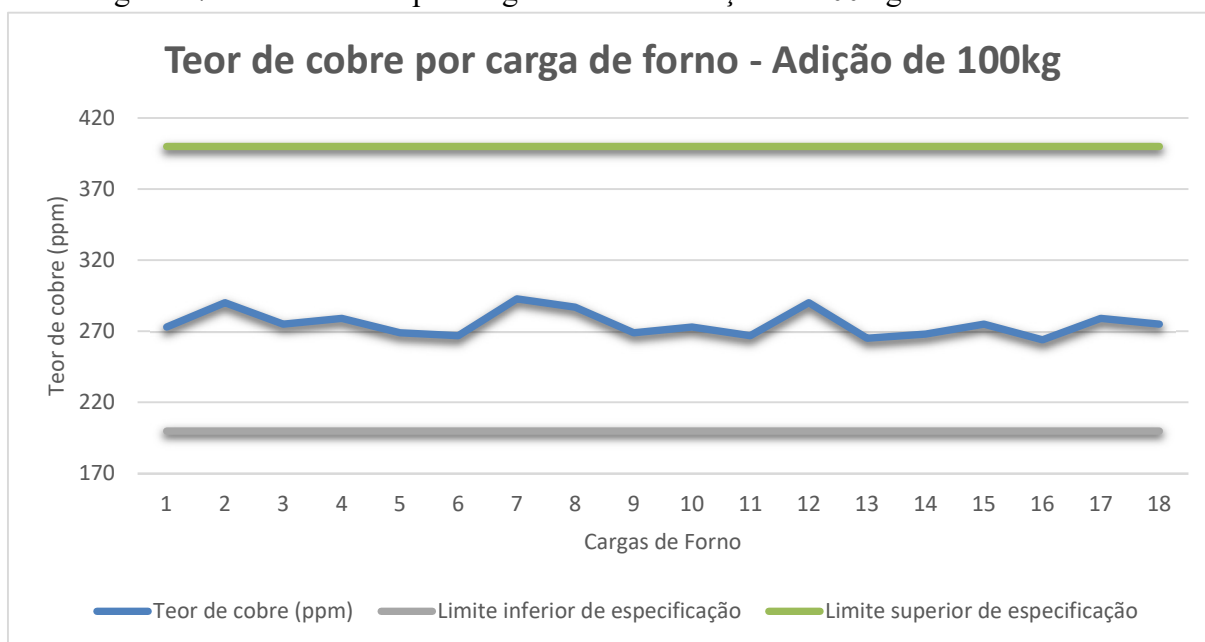
Nos dados obtidos, percebe-se que o teor de cobre se encontra longe do esperado (300ppm). Este resultado implica que existe uma perda de cobre no processo do forno. Sendo assim foram realizados outros testes, aumentando a carga de cabos de cobre aos poucos e analisados os teores de cobre em cada carga, até se obter o resultado desejado. O resultado está representado nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 50 kg de cabos de cobre.



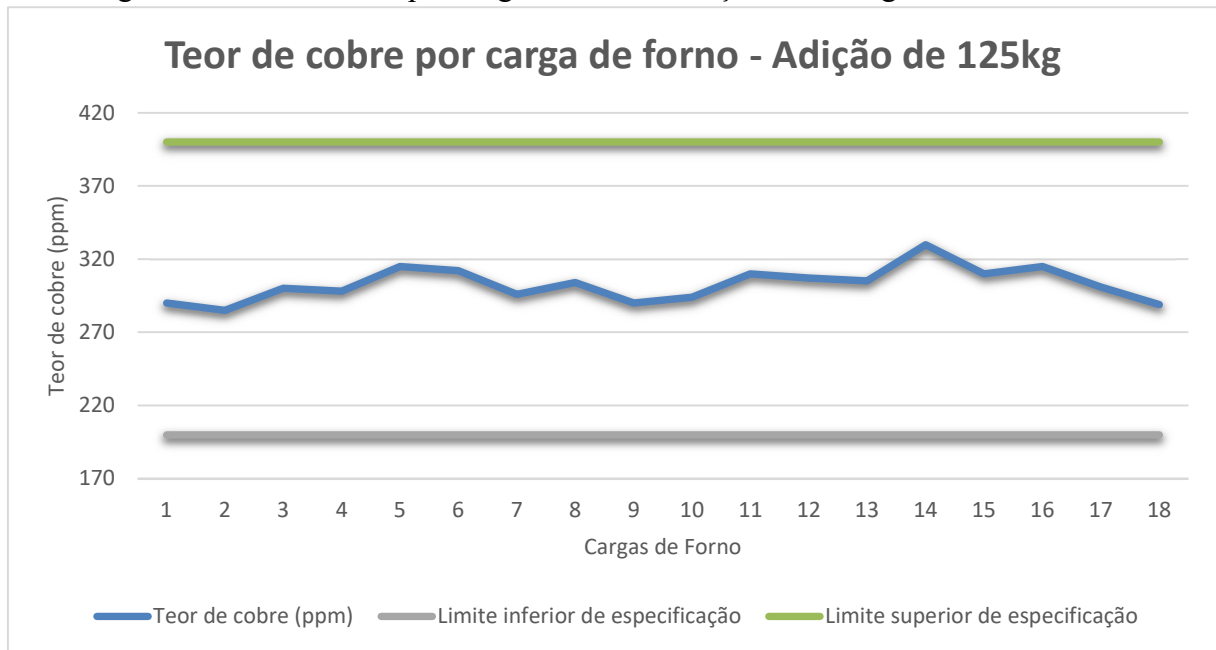
Fonte: Autor, 2023.

Figura 27. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 100 kg de cabos de cobre



Fonte: Autor, 2023.

Figura 28. Teor de cobre por carga de forno - Adição de 125 kg de cabos de cobre



Fonte: Autor, 2023.

Os gráficos apresentam algumas oscilações que ocorreram no processo, estas oscilações podem estar atribuídas a forma de pesagem do material que entra no forno não ser muito precisa, ou fatores como acúmulo de carga dentro do forno entre bateladas. Entretanto este trabalho não abordará tais temas.

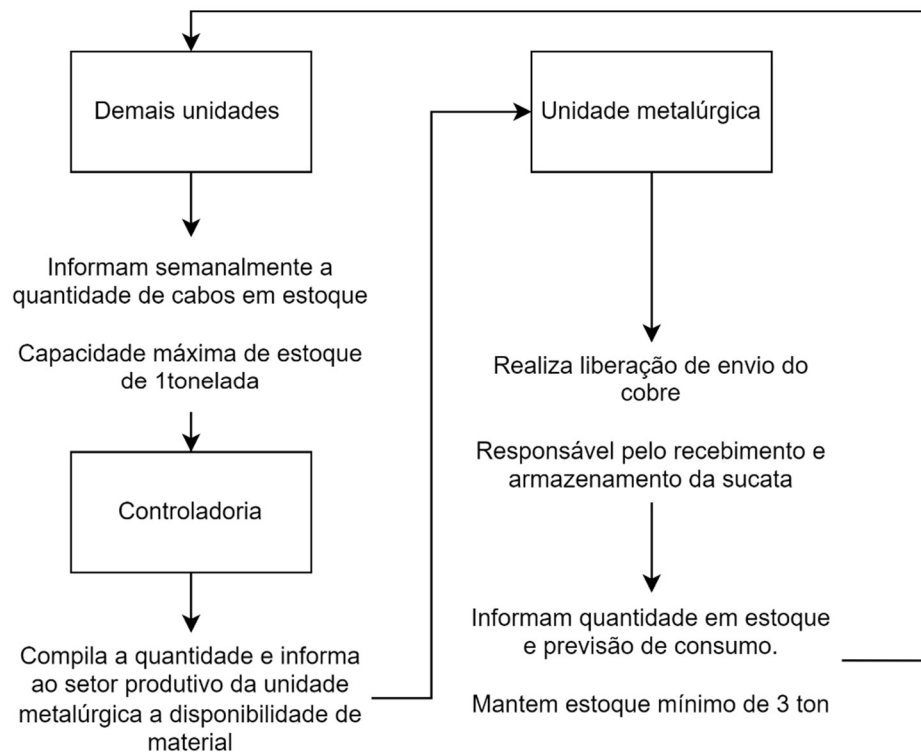
Com base nesses resultados, foi percebido que mesmo com variações, o processo ainda se mantém dentro das margens de especificações ao se adicionar 125 kg de cabos de formação contendo cobre a cada carga de forno destinada a ligas de Antimônio. Porém, para poder se definir um novo padrão, faz-se necessário primeiro validar se é possível, de forma sustentável e competitiva, continuar realizando a adição deste cobre, em forma de cabos de formação, no forno.

Com base num dado histórico, a cada mês são realizadas entre 17 e 22 cargas de forno com foco na produção de chumbo bruto com Antimônio, com esta alteração, cada carga necessitaria de 125kg de cabos de formação. Dessa forma, por mês, seriam necessários entre 2.125kg e 2.750 kg de cabos de formação ao todo.

O plano de ação executado no tópico 4.3.3 foi realizado para uma quantidade total de cabos de formação de 700kg, com a alteração brusca na quantidade, o plano foi revisitado para validar a disponibilidade desta quantidade de material, assim como sua estocagem.

Como resultado, foi criado um fluxograma de estoque, envio e recebimento da sucata de cabo de formação das demais plantas industriais para a metalúrgica. A Figura 29 exemplifica este fluxograma.

Figura 29. Fluxograma de envio e armazenamento de *scrap* de cabos de formação



Fonte: Autor, 2023.

Ao seguir este fluxo, a unidade metalúrgica possui estoque de um mês de produção garantido, de forma controlada. Assim torna-se muito mais fácil organizar o material na área produtiva e existe um tempo hábil para tomada de decisões caso o envio de cabos de formação seja atrasado.

Também foi criado um histórico de envios de cabos de formação, como forma de controlar o consumo deles na metalúrgica. Esta tabela está representada a seguir na Tabela 04.

Tabela 4. Histórico de envio de cabos de formação para unidade metalúrgica

Mês	Cabos de formação (kg)
Janeiro	2378
Fevereiro	813
Março	945
Abril	1560
Maio	1367
Junho	956
Julho	1850
Agosto	2300
Setembro	2550
Outubro	1990
Novembro	3140
Dezembro	1870

Fonte: Autor, 2023.

Com todas essas ações realizadas, foram verificadas a eficácia delas na etapa checar (*Check*).

4.4. APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA *CHECK*

Nesta etapa foram verificados se as ações anteriores foram efetivas através do acompanhamento da meta traçada e das análises realizadas em cada uma das ligas.

Após a execução das ações da Tabela 3, foi estabelecido o *layout* de cabos de formação na área produtiva, o qual se tornou muito mais organizado em comparação com o estado inicial.

A Figura 30 apresenta o *layout* criado.

Figura 30. Layout de Cabos de Formação

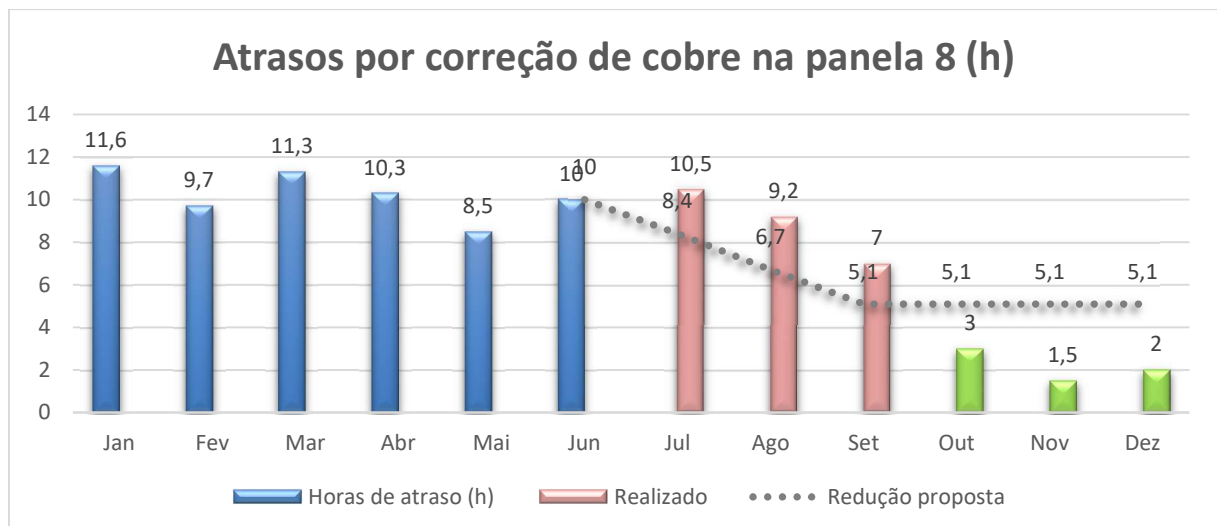


Fonte: Autor, 2023.

Como resultado das ações, também foi avaliado os atrasos por correção de cobre na panela 8, representados na Figura 31, o principal indicador deste trabalho.

Os teores iniciais de cobre nas panelas de ligas de chumbo com Antimônio e comparados com os de antes da mudança. Dessa forma é possível calcular quantas bateladas produtivas ocorreram sem que fosse preciso realizar a etapa de correção do teor de cobre por mês.

Figura 31. Atrasos por correção de cobre na panela 8 em 2022 em horas



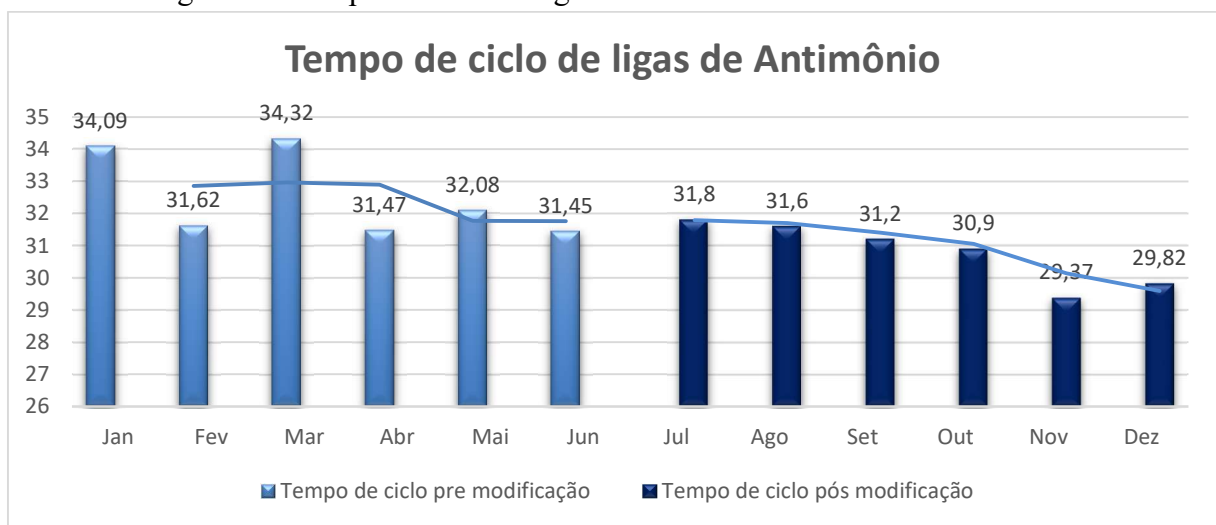
Fonte: Autor, 2023.

Com base nesses resultados, o projeto não cumpriu o prazo estipulado inicialmente, devido à mudança realizada onde a modificação não foi realizada no refino, mas sim no forno.

O que necessitou a realização dos testes de carga do tópico 4.3.4.1. Entretanto, as medidas acionadas se mostraram eficazes uma vez que houve uma redução e estabilidade de processo nos últimos 3 meses do ano.

O segundo parâmetro que foi percebido durante o processo é que, como o teor de cobre já estava ajustado desde o começo do processo, o refino completo de ligas de antimônio se beneficiou. Pois com esta mudança, a etapa intrínseca de correção do cobre, que por padrão durava 1h deixou de ser necessária. Assim, na maior parte dos casos, o tempo de ciclo de ligas de antimônio foi reduzido. A Figura 32, mostra a evolução do tempo de ciclo de ligas de Antimônio ao longo do ano.

Figura 32. Tempo de ciclo de ligas de chumbo com Antimônio em 2022



Fonte: Autor, 2023.

Como é perceptível através do gráfico, o tempo de ciclo das ligas de antimônio reduziu consideravelmente. Antes da modificação, o tempo de ciclo médio era de 32,1h de processo. Após a melhoria, o tempo de ciclo médio do segundo semestre foi de 30,78h. Ou seja, cada batelada produtiva foi realizada aproximadamente 1h mais rápido, um ganho de produtividade de 4%.

4.5 APLICAÇÃO DO PDCA – ETAPA *ACTION*

Após as ações executadas, realizou-se a alteração e registro dos novos procedimentos de processo, assim como treinamento da equipe de operação e setor de qualidade da empresa.

A carga de pó de forno foi alterada, na Tabela 5 percebe-se a inclusão da sucata de cobre, nome o qual ficou registrado os cabos de formação, na carga. Os demais valores foram alterados visando não comprometer a integridade de dados da empresa.

Tabela 5. Padronização de insumos em ordem de produção no forno com cabos de formação

Insumo	Peso
Pó de processo	19600
Coque	830
Ferro	470
Barrilha	690
Pó de processo	8400
Sucata de cobre	125

Fonte: Adaptado pelo autor de arquivos da empresa, 2023.

O procedimento de produção de ligas de antimônio também foi alterado, onde o padrão da etapa de correção de cobre foi retirado, como mostrado na Tabela 6. Nesta etapa também foi modificado o padrão das ligas no sistema contábil e de registro da empresa com auxílio do setor de controladoria.

Tabela 6. Comparativo entre etapas de processo antes e após modificação.

Operação	Descrição da atividade anterior	Descrição da atividade atual
10	ENCHIMENTO DA PANELA	ENCHIMENTO DA PANELA
20	REMOCAO DE PO BRUTO	REMOCAO DE PO BRUTO
30	CORRIGIR O ANTIMONIO (Sb)	CORRIGIR O ANTIMONIO (Sb)
40	CORREÇÃO DO COBRE	RESFRIAMENTO PARA REMOÇÃO DE NIQUEL
50	RESFRIAMENTO PARA REMOÇÃO DE NIQUEL	REMOÇÃO DE NIQUEL
60	REMOÇÃO DE NIQUEL	REMOÇÃO DE TELÚRIO
70	REMOÇÃO DE TELÚRIO	REMOÇÃO DE TELÚRIO
80	REMOÇÃO DE TELÚRIO	LIMPEZA COM SODA
90	LIMPEZA COM SODA	LIMPEZA COM SODA
100	LIMPEZA COM SODA	AQUEC. PARA ADICAO DE MATERIAIS
110	AQUEC. PARA ADICAO DE MATERIAIS	ADICAO DE ESTANHO
120	ADICAO DE ESTANHO	ADIÇÃO DE ARSÊNIO
130	ADIÇÃO DE ARSÊNIO	INSERIR BOMBA DE LINGOTAR
140	INSERIR BOMBA DE LINGOTAR	LINGOTAMENTO
150	LINGOTAMENTO	

Fonte: Adaptado pelo autor de arquivos da empresa, 2023.

Para finalizar esta etapa, toda a operação foi treinada nos novos procedimentos e assim, o ciclo PDCA foi concluído, dando encerramento a este projeto.

Durante o projeto, foram realizadas algumas reflexões sobre os pontos importantes ao longo da aplicação do método PDCA, um desses pontos foi referente ao atendimento aos cronogramas estabelecidos por meio do plano de ação e sem ter atrasos que poderiam impactar diretamente o alcance dos resultados obtidos.

Outro ponto refletido entre os envolvidos foi a celeridade para o andamento de todas as reuniões, alinhando os testes, treinamentos necessários a serem executados, informações

pertinentes que poderiam ajudar a fomentar a qualidade das atividades realizadas. Por fim, foram elencados pontos sobre a evolução do processo e como futuramente as melhorias poderiam ser replicadas em outras unidades que utilizam essa estratégia.

5. CONCLUSÕES

O processo de fabricação de ligas de chumbo com antimônio é bastante complexo, para que seja possível atuar nele é necessária uma abordagem sistêmica e efetiva, como a realizada no PDCA.

Com base no levantamento de dados realizado durante a fase de planejamento, foi possível perceber a etapa de gargalo do processo, correção do teor de cobre, caracterizar o chumbo bruto com antimônio e possibilitar a criação de planos de ações visando otimizar o processo.

O plano de ação realizado se mostrou eficaz para correção do problema, visto que a meta proposta foi alcançada e mantida ao longo dos meses, comprovando a eficácia da ferramenta e retratando neste trabalho a eficácia da aplicação sistemática de um ciclo PDCA para encontrar oportunidades de melhorias na indústria.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. F. de; **O método de melhorias PDCA**. São Paulo: Editora, 2003.
- BADIRU, A. B. AYENI, B. J. **Practitioner's guide to quality and process improvement**. London: Chapman & Hall, 1993. 353p.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.
- CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte, Brasil: Fundação Christiano Ottoni, 2004.
- CARNEIRO, R. L. et al. Essential Aspects of Lead-Acid Batteries and Physical-Chemical and Thermodynamic Principles of its Operation. **Revista Virtual De Química**. Niteroi: Brazilian Chemical Soc, v. 9, n. 3, p. 889-911, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/163361>. Acesso em: 13 de julho de 2023.
- CSPOWER. **Baterias de Chumbo-Ácido São Recicláveis?**, 2009. Disponível em: <http://pt.cspowerbattery.com/industry-155457>. Acesso em: 10 de julho de 2023.
- DALE, B. G., MCQUATER, R. E. **Managing Business Processes**. Chichester, UK: Wiley, 2013.
- DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. São Paulo: Marques Saravia, 1990.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1996.
- ELLINGHAM, H. J. T.; J. **Reducibility of oxides and sulphides in metallurgical processes**. Soc. Chem. Ind. London: 1944.
- INMETRO. **Portaria n.º 299, de 14 de junho de 2012**. Rio de Janeiro, RJ: MDIC, 2012.
- ISHIKAWA, K. **What is Total Quality Control? The Japanese Way**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- JURAN, J. M. **Juran: qualidade na fonte**. São Paulo: Pioneira, 1989.
- MARIANI, C. A. **Gestão pela qualidade e produtividade: curso de graduação em administração**. Apucarana, 2005.
- MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura - versão 2.0**. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.
- MOURA. **Catálogo de Baterias – Aplicações 2015/2016**. Recife, PE: 2015

OLIVEIRA, L. R. de; SILVA, V. S.; POKER JUNIOR, J. H.. GESTÃO DA QUALIDADE: UMA APLICAÇÃO DO CICLO PDCA PARA MELHORIA EM UMA USINA DE LATICÍNIOS. **South American Development Society Journal**, [S.l.], v. 8, n. 22, p. 239, maio 2022. ISSN 2446-5763. Disponível em: <<http://sadsj.org/index.php/revista/article/view/477>>. Acesso em: 20 set. 2023.

SANTOS, A. et al. **Utilização da ferramenta Diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2020/12/Artigo-Utilizacao-da-ferramenta-Diagrama-de-Pareto-para-auxiliar-na-identificacao-dos-principais-problemas-nas-empresas-Pronto.pdf>>. Acesso em: 05 Jun 2023.

RUDIO, Franz Victor. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. Petrópolis: Vozes, 2000.

SILVA, Guilherme de Andrade. **Óxido de Chumbo: Matéria-Prima da Indústria de Bateria Chumbo-Ácido**. FEMA, Assis, 2010.

SOUZA, E., OLIVEIRA, E.; REIS, E. **Os benefícios da reciclagem de baterias de chumbo-ácido no Leste de Minas**. Universidade Vale do Rio Doce: Governador Valadares, 2009.

SOUZA, R. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997

SUTTON, R. S. **Ideas: Originals and Effectiveness**. In: STANKOVIC, V. (Ed.). *Advances in Industrial Engineering and Operations Research*. Boston: Springer, 2001.

YIN, Roberto K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1989.

ANEXO A – Diagrama de Ellingham

Ellingham Diagrams

