



MARINA SOUSA GARCIA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* EM
UMA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO**

**LAVRAS-MG
2023**

MARINA SOUSA GARCIA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* EM UMA INDÚSTRIA
DE ALUMÍNIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira

Orientadora

Dra. Natália Maira Braga Oliveira

Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Garcia, Marina Sousa.

Aplicação da Metodologia *Lean Six Sigma* em uma Indústria de
Alumínio / Marina Sousa Garcia. - 2023.

122 p. : il.

Orientador(a): Joelma Rezende Durão Pereira.

Coorientador(a): Natália Maira Braga Oliveira.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,
2023.

Bibliografia.

1. Melhoria Contínua. 2. Desperdícios 3. Ferramentas de
Qualidade. 4. *Twin Roll Caster*. 5. DMAIC. I. Pereira, Joelma
Rezende Durão. II. Oliveira, Natália Maira Braga. III. Título.

MARINA SOUSA GARCIA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* EM UMA INDÚSTRIA
DE ALUMÍNIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 07 de fevereiro de 2023.

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira	UFLA
Dra. Suellen Mendonça Nascimento	UFLA
Dra. Luana Elis de Ramos e Paula	UFLA
Dra. Natália Maira Braga Oliveira	UFLA

**LAVRAS-MG
2023**

RESUMO

O *Lean Six Sigma* vem se mostrando um excelente método utilizado pelas indústrias para reduzir desperdícios e conquistar uma posição mais competitiva no mercado. É uma abordagem baseada em dados e focada na melhoria dos processos, aplicada nos mais diversos setores da indústria para reduzir a variabilidade da produção. O objetivo deste trabalho foi aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* no processo de lingotamento contínuo entre cilindros de uma indústria de alumínio, a fim de identificar as principais causas que levam a produzir materiais fora da especificação do cliente e promover ações para reduzir a porcentagem de não conformidades. Aplicando-se a metodologia DMAIC, foi definido o processo a ser melhorado, compreensão do problema abordado através da análise de dados e dos processos, realização de um estudo estatístico dos indicadores de performance identificando os pontos de causa e as oportunidades de melhoria e implementação de ações embasadas em testes na área produtiva. Concluiu-se que a implementação do projeto *Lean Six Sigma* permitiu identificar os principais tipos de defeitos nas bobinas *caster* (diâmetro e composição química), determinar as principais causas relacionadas ao mau funcionamento de alguns componentes das máquinas, entre eles os sistemas de tratamento, sistema de spray, refiladeiras, entre outros. Pela análise de falha, observou uma redução no número de paradas de máquina relacionadas ao sistema de tratamento do Alpur. Observou-se, também, um aumento no número de abertura de cartões de anomalias pelos operadores, resultado da implementação da Manutenção Autônoma. Concomitante, houve uma redução no número de contaminações na área dos fornos, principalmente relacionados a correção e preparo incorretos. Foi elaborado um plano de ação baseado nas principais causas identificadas nos gráficos de Pareto, nas observações diárias e na retomada de ações que se perderam ao longo dos anos. A aplicação das ações é complexa e depende do comprometimento da equipe de projeto e dos colaboradores, sendo necessárias adaptações e acompanhamento para avaliar quais ações devem ser mantidas e aquelas que não impactaram no projeto.

Palavras-chave: Melhoria Contínua. Desperdícios. Ferramentas de Qualidade. *Twin Roll Caster*. DMAIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de obtenção da alumina.....	15
Figura 2 – Representação esquemática do forno eletrolítico.....	16
Figura 3 – Processo produtivo do alumínio.....	17
Figura 4 – Modelo Árvore CTC.....	31
Figura 5 – Representação de divisão amostral por quartis.....	33
Figura 6 – Diagrama SIPOC.....	35
Figura 7 – Símbolos utilizados no fluxograma.....	36
Figura 8 – Controle Estatístico de Processo por Cartas de Controle.....	39
Figura 9 – Gráfico de normalidade.....	41
Figura 10 – Exemplo gráfico de tendência, apresentado prevalência de quedas.....	43
Figura 11 – Exemplo de diagrama de Pareto.....	44
Figura 12 – Representação de um histograma.....	46
Figura 13 – Estrutura do <i>Boxplot</i>	47
Figura 14 – Matriz de esforço x impacto.....	50
Figura 15 – Matriz de Priorização.....	52
Figura 16 – Nível de análise da causa raiz.....	54
Figura 17 – Passos do RCA.....	54
Figura 18 – Diagrama espinha de peixe.....	55
Figura 19 – Guarda-chuva Kaizen.....	59
Figura 20 – Vista esquemática do processo <i>Twin Roll Caster</i>	64
Figura 21 – Processo na área dos fornos.....	65
Figura 22 – Processo de desgaseificação.....	66
Figura 23 – Solidificação do metal entre os cilindros de refrigeração.....	67
Figura 24 – Processo de solidificação do metal.....	68
Figura 25 – Primário produzido por lingotamento contínuo.....	68
Figura 26 – Fluxograma dos processos <i>TRC</i>	69
Figura 27 – Fluxograma do processo DMAIC.....	70
Figura 28 – Carta I-AM de NCI (%) nos anos de 2020, 2021 e 2022.....	73
Figura 29 – Previsões NCI para 2022.....	74
Figura 30 – Gráfico de probabilidade de NCI (%).....	75
Figura 31 – Boxplot para o NCI (%).....	76

Figura 32 – Cronograma do projeto para o ano de 2022.	79
Figura 33 – Quantidade de metal sob concessão <i>versus</i> tipo de defeito.....	81
Figura 34 – Variação mensal da quantidade de metal não conforme.	82
Figura 35 – Fluxograma dos principais constituintes da máquina.	83
Figura 36 – Fluxograma do processo de concessão de materiais.	86
Figura 37 – Quantidade de metal sob concessão X Descrição de defeito.	87
Figura 38 – Quantidade de metal sob concessão por máquina de produção.	88
Figura 39 – Quantidade de metal sob concessão de acordo com a liga metálica produzida. ...	88
Figura 40 – NCI mensal de 2020.....	89
Figura 41 – NCI mensal de 2021.....	89
Figura 42 – Correlação entre a quantidade produzida mensalmente e NCI (%).	90
Figura 43 – Quantidade de metal sob concessão por liga metálica.	90
Figura 44 – Gráfico de intervalos de quantidade de metal (t) X Largura da chapa.....	91
Figura 45 – Quantidade metal sob concessão X Causas.	92
Figura 46 – Principais causas relacionadas falhas nos equipamentos.	92
Figura 47 – Causas relacionadas a eventos externos.	93
Figura 48 – Diagrama espinha de peixe para efeito sobre composição química.....	94
Figura 49 – Matriz de esforço x impacto.....	96
Figura 50 – Árvore de falhas do sistema de tratamento de Alpur.	99
Figura 51 – Matriz de habilidades dos operadores.	103
Figura 52 – Aplicativo para correção das ligas.	104
Figura 54 – Registro de contaminações <i>Caster 7</i> ao <i>12</i>	105
Figura 55 – Etiqueta para identificação de sucata.	106
Figura 56 – Carta I-AM de NCI (%) nos anos de 2020, 2021 e 2022.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Séries das ligas de alumínio, sua composição e aplicações.....	19
Quadro 2 – Tratamentos das ligas de alumínio.	20
Quadro 3 – Principais categorias de KPIs.	29
Quadro 4 – Plano de ação 5W2H.	61
Quadro 5 – Métodos de controle.	63
Quadro 6 – SIPOC do processo <i>Twin Roll Caster</i>	78
Quadro 7 – Direcionadores de qualidade do material.	80
Quadro 8 – Aplicação da ferramenta 5W1H – Plano de Ação.....	97
Quadro 9 – Ações provenientes da análise de falhas <i>caster</i> 7 ao 12.....	99
Quadro 10 – Roteiro de inspeção diária de máquinas e processo.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Procedimento de concessão por diâmetro.....	84
Tabela 2 – Matriz de priorização aplicada a desvios da composição química.	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Produção do alumínio primário	15
2.1.1	Ligas de alumínio	18
2.1.2	Processo <i>twin roll caster (TRC)</i> tipo horizontal	21
2.2	Melhoria de processo com análise de dados.....	22
2.2.1	<i>Lean manufacturing</i>	22
2.2.2	<i>Six sigma</i>	23
2.2.3	<i>Lean six sigma</i>	24
2.2.4	DMAIC.....	26
2.2.4.1	Definir.....	28
2.2.4.1.1	Indicadores de desempenho - KPI.....	28
2.2.4.1.2	Ferramenta árvore CTC	30
2.2.4.1.3	Definição de metas	32
2.2.4.1.4	Mapa do processo	34
2.2.4.1.5	Ferramenta SIPOC.....	34
2.2.4.2	Medir	35
2.2.4.2.1	Fluxograma do processo	36
2.2.4.2.2	Variáveis e tipos de dados	37
2.2.4.2.3	Cartas de controle	38
2.2.4.2.4	Teste de normalidade.....	40
2.2.4.2.5	Análise de tendência.....	42
2.2.4.2.6	Diagrama de pareto.....	44
2.2.4.2.7	Histograma	45
2.2.4.2.8	<i>Boxplot</i>	46
2.2.4.2.8	Capacidade de processo.....	47
2.2.4.3	Analisar.....	49
2.2.4.3.1	<i>Brainstorming</i>	49
2.2.4.3.2	Matrizes de esforço x impacto e priorização	50

2.2.4.3.3	Análise de causa raiz - RCA.....	53
2.2.4.3.4	Diagrama de Ishikawa	54
2.2.4.3.5	TPM.....	56
2.2.4.3.6	Kaizen.....	58
2.2.4.3.7	Gerenciamento de rotina diária	60
2.2.4.4	Implementar.....	61
2.2.4.4.1	5W2H	61
2.2.4.5	Controlar.....	62
2.3	Estudo de caso	64
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
3.1	Etapa definir	70
3.2	Etapa medir.....	71
3.3	Etapa analisar.....	72
3.4	Etapa implementar.....	72
3.5	Etapa controlar.....	72
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	Definir.....	73
4.2	Medir	81
4.3	Analisar.....	85
4.4	Implementar.....	96
4.5	Controlar.....	106
5	CONCLUSÃO.....	108
6	SUGESTÕES FUTURAS	109
	REFERÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

A concorrência entre as indústrias está cada vez maior, com isso, é constante a busca por melhorias nos processos que permitam a subsistência e o crescimento das organizações.

A globalização econômica faz aumentar a competitividade em âmbito internacional, cabendo às empresas buscar diferenciais para se manter no mercado. Esses diferenciais vão desde um produto inovador até um processo de fabricação com mais eficiência (SILVA, 2019a).

A indústria de alumínio tem se destacado como um setor estratégico para a economia nacional, fornecendo matéria-prima para outras indústrias e produtos acabados para o consumidor final. Diante de situações desafiadoras relacionadas ao gasto energético na produção primária do alumínio e à disputa no comércio internacional, as companhias de alumínio primário têm investido em ações para promover melhorias em seus processos e se tornarem cada vez mais competitivas (FERREIRA et al., 2021).

O *Twin Roll Caster* é o processo de lingotamento contínuo do alumínio primário utilizado na obtenção de chapas. Devido à grande complexidade do processo, garantir a qualidade do material é um grande desafio. Segundo Slack et al. (2002), há uma crescente consciência de que bens e serviços de alta qualidade podem dar a uma organização uma considerável vantagem competitiva. A qualidade no processo reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, mais importante, gera consumidores satisfeitos.

A metodologia *Lean Six Sigma* é uma junção entre dois conceitos de melhoria: a redução da variabilidade e a eliminação de desperdícios. Esta é adequada à solução de diversos tipos de problemas relacionados à melhoria de processos e produtos na indústria. Um método de implementação do *Lean Six Sigma* importante e reconhecida consiste no ciclo DMAIC: *Define, Measure, Improve, Analyze, Control*. O roteiro DMAIC se trata de um método sequencial bem estruturado para a implementação de melhorias num processo e consiste em definir um projeto com base em um indicador de performance da organização, entender o contexto do problema por meio de coleta de dados e análises dos processos, analisar os dados obtidos identificando as oportunidades de melhoria, implementar as mudanças e, por fim, desenvolver um plano de controle e padronização.

Este trabalho foi realizado em um processo de solidificação do alumínio primário, o *Twin Roll Caster*. A produção de rolos *caster* é bastante complexa, devido a quantidade de agentes internos e externos que podem influenciar na qualidade do material. Em virtude disso, a organização possui um indicador de performance de processo que mede a quantidade de

material com desvios de qualidade, ou seja, com algum tipo de não conformidade no que tange suas especificações.

Analisando o histórico de não conformidades entre os anos de 2020 e 2021, constatou-se que as metas estipuladas pela gestão da fábrica para indicador de não conformidades (NCI) não foram alcançadas. Esse indicador está intrinsecamente relacionado à satisfação do cliente, e entregar valor ao cliente é um dos princípios da melhoria contínua. Além disso, observa-se o grande impacto que o material causa no ambiente fabril, visto que prejudica o fluxo de valor com a formação de estoques, cria tempo ocioso de material em concessão e exige retrabalho com o produto. A metodologia *Lean Six Sigma* foi escolhida pois permite a implantação de melhorias nos processos baseadas em dados da produção e a eliminação de desperdícios, fatores que estão alinhados com o objetivo estratégico da fábrica.

Segundo Womack e Jones (2003), os resultados alcançados pela maioria das organizações que adotaram a metodologia *Lean Six Sigma* têm sido consideráveis, permitindo obter melhorias significativas através da redução de esforço humano, de espaço e de tempo de produção.

Os autores Lellis e Maciel (2013) complementam que a implementação de um projeto baseado em *Lean Six Sigma* pode melhorar o desempenho geral de uma empresa, impactando positivamente o resultado financeiro, sua lucratividade. No campo de operações, os defeitos tendem a ser zero, eliminando a necessidade de retrabalho de peças defeituosas e reduzindo os custos de não qualidade. Além disso, os autores afirmam que a combinação dessas duas abordagens pode fortalecer suas ferramentas, pois o *Lean* reduz as atividades que não agregam valor e insere o tempo de transformação junto com as ferramentas estatísticas do *Six Sigma* para atingir os resultados desejados de forma mais organizada. Por isso, a escolha do projeto foi motivada pelo impacto financeiro e pelo retrabalho gerado na produção de materiais não conformes. O estudo foi focado em evidenciar as principais causas que levam a produzir materiais não conformes e propor um plano de ação para redução do NCI.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como principal objetivo a descrição e análise da implementação do *Lean Six Sigma* em uma organização, responsável pela fabricação primária de alumínio.

1.2 Objetivos específicos

Dentro das etapas do projeto, tem-se como objetivos específicos:

- a) descrever e analisar a aplicação da metodologia no processo *Twin Roll Caster*;
- b) identificar os principais defeitos de concessão nos materiais (não atendimento a algum requisito de qualidade);
- c) identificar os pontos de causa desses defeitos;
- d) elaborar o plano de ação para redução do número de não conformidades internas (NCI);
- e) elaborar o plano de controle.

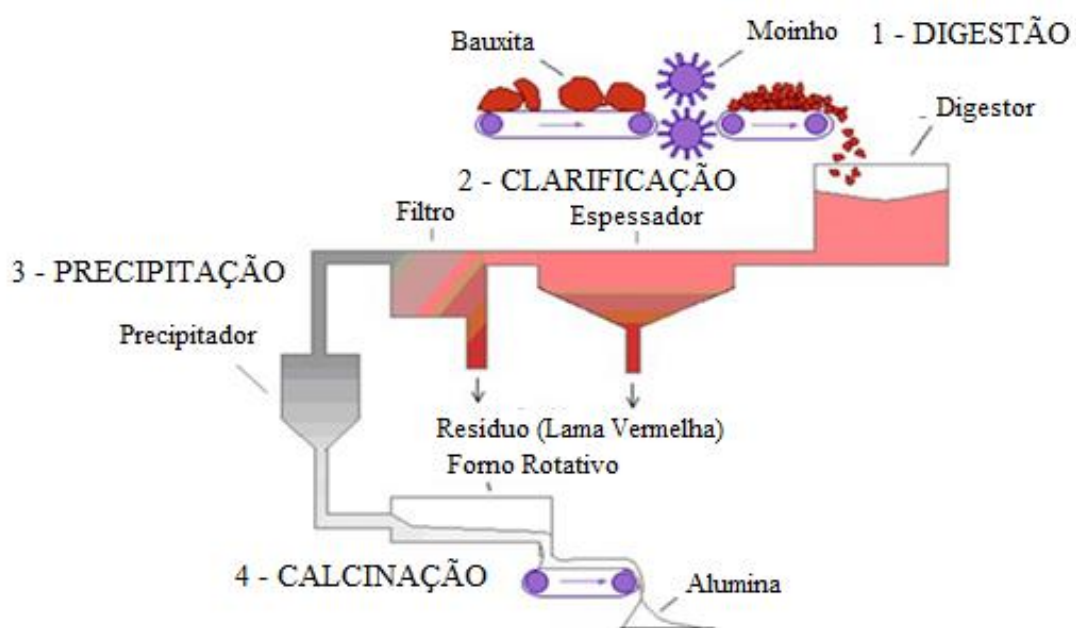
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção do alumínio primário

O alumínio é o metal encontrado em maior abundância na terra. Com enorme multifuncionalidade, ele é amplamente aplicado, o que é possível em razão das diversas ligas que podem ser produzidas com variadas propriedades físicas e mecânicas, atendendo diferentes mercados. Suas principais características são: boa aparência, baixa densidade, fácil trabalhabilidade, boas propriedades mecânicas, condutividade elétrica e resistência à corrosão (MARINHO, 2019).

A produção do alumínio primário é iniciada com a mineração da bauxita, um mineral com aspecto terroso e consistência argilosa. A mineração da bauxita é indispensável, pois é a matéria-prima que origina o óxido de alumínio (BELCHIOR, 2021). As principais etapas da produção da refinaria de alumina são moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação (SANTOS; SILVA, 2020), como ilustrado na Figura 1. Assim, a alumina (ou óxido de alumínio – Al_2O_3) é obtida a partir do refinamento da bauxita, processo chamado processo Bayer, através da “dissolução da bauxita em soda cáustica, separando o material sólido, concentrando e filtrando para cristalização da alumina”. Por fim, é adicionado óxido de cálcio (CaO) e é realizada a remoção da água, obtendo-se a alumina purificada (SOUZA, 2020).

Figura 1 – Processo de obtenção da alumina.



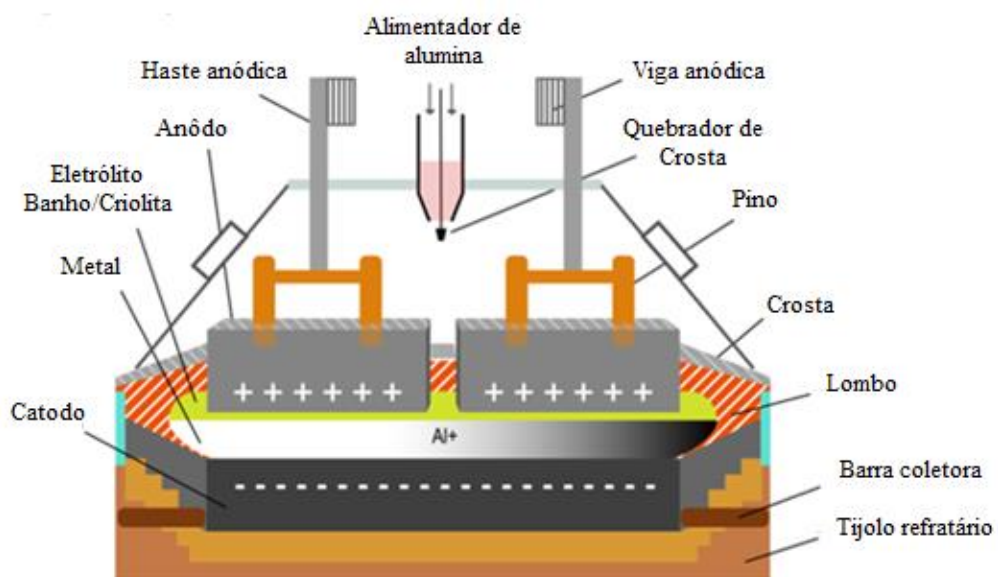
Fonte: Souza (2020).

O processo seguinte é a redução eletrolítica da alumina para a obtenção do alumínio primário (Equação 1), processo denominado Hall-Héroult (LI et al., 2021). O processo, ilustrado na Figura 2, compreende a divisão da alumina em alumínio e oxigênio mediante eletrólise de uma solução de alumina em criolita fundida (OLIVEIRA, 2018).



O forno eletrolítico é o equipamento de maior relevância na produção do alumínio primário, já que neste ocorre a reação química de separação da molécula de alumina para obtenção do alumínio primário (Processo Hall-Héroult). Trata-se de uma construção de alvenaria projetada para alocar a criolita e os gases gerados, estruturas de carbono para injeção de energia elétrica, alumina e aditivos químicos utilizados no processo (FINI et al., 2020). A Figura 2 exemplifica um forno eletrolítico e indica seus componentes.

Figura 2 – Representação esquemática do forno eletrolítico.



Fonte: Souza (2020).

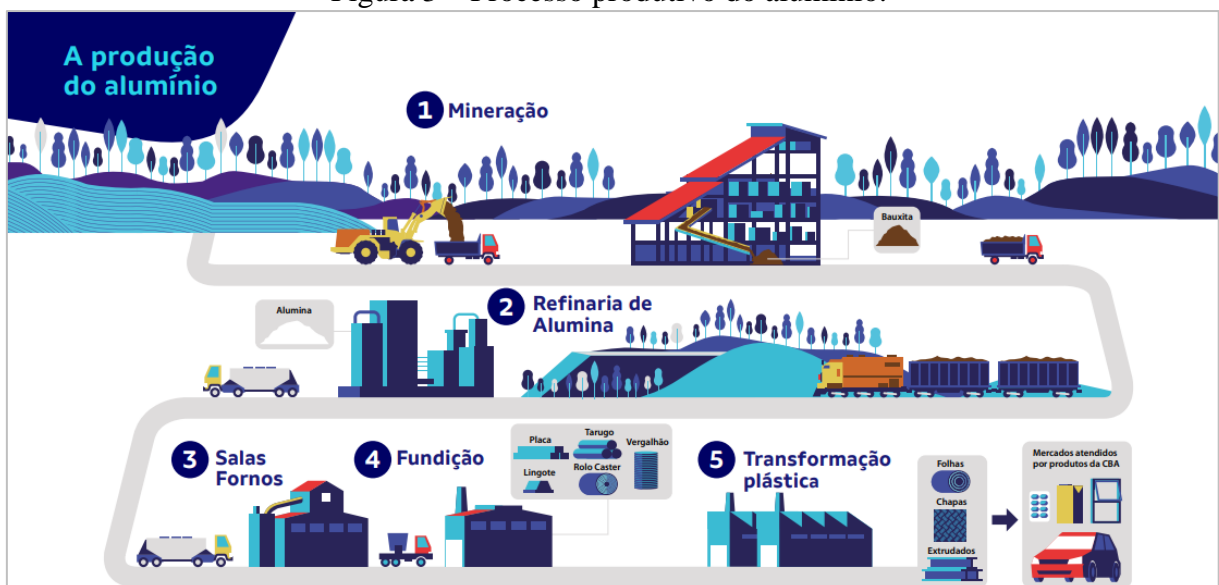
O forno recebe a corrente elétrica por meio dos anodos. Estes ficam em contato com a criolita, constituída fundamentalmente por coque de petróleo e piche, solução em que se dá a eletrólise da molécula de alumina. O polo negativo do forno (catodo) atrai o Al^+ , precipitando-o no fundo do equipamento, local em que é recolhido e transportado para o lingotamento (GRANATA et al., 2021).

Como ilustrado na Figura 2, forma-se uma crosta nas regiões em que não há anodo, contribuindo para o isolamento térmico do forno, impossibilitando que ocorra troca excessiva de calor com o ambiente. Ademais, esta crosta auxilia na minimização da dissipação de gases tóxicos no ambiente. Apesar disso, os gases gerados durante o processo são coletados pela Planta de Tratamento de Gases (PTG). Nas PTGs é recebido gás rico em dióxido de carbono (CO_2) e flúor (F), que é adsorvido pela alumina virgem, produzindo alumina fluoretada (AlF_3), que retorna ao forno sendo um dos meios de controle térmico e químico do banho da cuba eletrolítica, processo denominado lavagem a seco do gás poluente. A alumina fluoretada contribui para a correção da basicidade do banho eletrolítico e protege contra a contaminação do alumínio pelo sódio presente na alumina virgem (LI et al., 2021).

Além da alumina virgem e fluoretada demais aditivos químicos são empregados para conservar a estabilidade química e térmica do forno, como o fluoreto de cálcio (CaF_2), fluoreto de alumínio (AlF_3) e fluoreto de sódio (NaF). Por fim, o metal líquido é conduzido para fundição, etapa em que o alumínio líquido é transformado em materiais primários, através de processos de solidificação que originam placas, lingotes, tarugos, vergalhões ou rolos *caster*, que serão futuramente submetidos aos inúmeros processos de transformação plástica, como por exemplo, a laminação, extrusão ou forjamento (OGATA, 2017).

Conforme ilustrado na Figura 3, tem-se uma visão macro dos processos envolvidos na produção de alumínio primário.

Figura 3 – Processo produtivo do alumínio.



Fonte: Relatório Anual CBA (2020).

Inicia-se com a mineração da bauxita, esta é transformada em óxido de alumínio na Refinaria de Alumina. O óxido de alumínio é transportado para Salas Fornos, onde ocorre o processo Hall-Héroult, obtendo-se o alumínio líquido. Este é transportado para a Fundição, processo em que é simultaneamente solidificado e laminado. Os produtos primários obtidos na Fundição passam por processos de Transformação Plástica, originando produtos transformados, como chapas, bobinas, folhas, telhas e perfis extrudados, que são fornecidos para diferentes mercados, desde embalagem de leite até peças automotivas. Para atender a demanda do mercado são produzidas diferentes ligas de alumínio.

2.1.1 Ligas de alumínio

O incremento da demanda por produtos de maior qualidade e durabilidade associadas à redução do consumo e proteção ambiental levam a um crescimento do consumo do alumínio, visto que a associação de baixa densidade, alta resistência à corrosão, boa tenacidade, excelente conformabilidade e reciclabilidade asseguram sua utilização em âmbito industrial. Ademais, o alumínio pode ser associado com diversos outros elementos de liga, possibilitando a potencialização de propriedades, incrementando sua aplicabilidade (OLIVEIRA et al., 2018). As ligas de alumínio são frequentemente aplicadas na indústria automobilística, naval, na construção civil, na indústria têxtil e ainda na indústria alimentícia (MELO DA ROCHA et al., 2020).

Acerca da composição, as ligas trabalhadas são classificadas em oito séries, a partir de quatro dígitos numéricos que podem ser precedidos ou sucedidos por letras (geralmente são precedidos pelas letras AA para identificar que se referem a uma liga de alumínio), como orienta *The Aluminum Association* (NEVES, 2019).

O Quadro 1 resume as séries, sendo estas classificadas de acordo com a composição química, juntamente à influência dos diferentes constituintes da liga na morfologia das fases e nas propriedades de interesse dos materiais. Já o Quadro 2 apresenta os principais tratamentos das ligas de alumínio.

Quadro 1 – Séries das ligas de alumínio, sua composição e aplicações.

Série	Elemento adicionado	Aplicações
1xxx	Alumínio puro	Indústrias química e elétrica
2xxx	Cobre	Aeronaves (graças a sua elevada resistência mecânica)
3xxx	Manganês	Aplicações arquitetônicas e produtos de uso geral
4xxx	Silício	Varetas ou eletrodos de solda e chapas para brasagem
5xxx	Magnésio	Produtos expostos à atmosfera marinha, como cascos de barcos
6xxx	Magnésio e Silício	Produtos extrudados de uso arquitetônico
7xxx	Zinco	Componentes estruturais de aeronaves e outras aplicações que necessitam de elevados requisitos de resistência. Esta liga é a que possui a maior resistência mecânica entre as ligas de alumínio.
8xxx	Ligas especiais	Aplicações especiais

Fonte: Neves (2019).

Quadro 2 – Tratamentos das ligas de alumínio.

Designação		Tratamento
F	-	Como fabricado
0	-	Recozido e recristalizado
H	1	Encruamento
	2	Encruamento e recozimento parcial
	3	Encruamento e estabilização
	4	Endurecimento a frio seguido de recozimento determinado pela cura da camada de tinta
T	1	Estabilização parcial e envelhecimento parcial
	2	Arrefecimento e recozimento
	3	Solubilização a trabalho frio
	4	Solubilização e envelhecimento natural
	5	Envelhecimento artificial
	6	Solubilização e envelhecimento artificial
	7	Solubilização e estabilização
	8	Solubilização, encruamento e envelhecimento artificial
	9	Solubilização, envelhecimento artificial e encruamento
	10	Arrefecimento, encruamento e envelhecimento artificial

Fonte: Silva (2020c).

Para identificar as séries dos alumínios, utiliza-se o segundo dígito que se refere às alterações realizadas na liga, sendo que o dígito zero é referente à liga original. Os últimos dois

dígitos se referem à pureza da liga, por exemplo, a liga AA1145 tem uma pureza de 99,45%. Cabe mencionar que as ligas de alumínio das séries 1000, 3000, 4000 e 5000, de alumínio puro, contendo manganês, silício e magnésio, respectivamente, como apresentado no Quadro 1, não são suscetíveis a tratamento (SILVA, 2020c). Dependendo dos elementos envolvidos, as ligas apresentam vantagens e desvantagens em relação ao alumínio puro, como maior resistência mecânica, menor resistência à corrosão, maior fluidez para preenchimento de moldes, entre outros (SILVA, 2017a).

Para atender as necessidades do mercado se faz necessário a produção de materiais de diferentes ligas, propriedades mecânicas, microestrutura e textura. De acordo com sua aplicabilidade podem ser produzidos na forma de chapas, placas, tarugos, lingotes, dentre outros. As chapas de alumínio atendem aos mais diversos mercados, cuja propriedades exigidas são alcançadas pelos diferentes tipos de ligas e tratamentos térmicos. Sua produção é baseada em dois processos de obtenção, o *Twin Roll Caster*, e o processo tradicional de vazamento de placas, *Direct Chill*.

2.1.2 Processo *Twin Roll Caster (TRC)* tipo horizontal

O processo *Twin Roll Caster (TRC)*, conhecido no mercado como *caster*, consiste na produção de chapas de alumínio a partir da passagem de metal líquido por dois cilindros refrigerados a água, associando solidificação e laminação a quente em uma única operação e produzindo chapas que são bobinadas facilmente. A espessura da chapa produzida está entre 2 e 20 mm, enquanto a largura pode superar os 2150 mm (MARTINS; PADILHA, 2006).

A solidificação direta de chapas, por meio do processo *TRC*, tornou-se frequente na indústria de alumínio. Sua principal vantagem é transformar o metal fundido diretamente em chapa bobinada, pronta para laminação a frio, não se fazendo necessárias às operações associadas ao método de vazamento de placas *Direct Chill (DC)*, que exige posterior laminação a quente (GIANISELLE, 2019).

Outra vantagem do método é o baixo custo de equipamentos, visto que a robustez da cadeia de laminação é dispensada. O processo *TRC* com os cilindros dispostos na horizontal possui menor velocidade de fabricação diante do processo com os cilindros alocados na vertical que possuem maior área de contato (OLIVEIRA NETO, 2019).

Apesar das suas vantagens, o controle operacional do processo é bastante sensível e complexo. Em geral, a variação do processo é determinada pela interação de alguns fenômenos dinâmicos, como instabilidade do menisco, taxa e uniformidade da transferência de calor na

interface metal/molde, uniformidade do crescimento da camada solidificada ao longo do processo, solidificação tensão e deformação em camadas, entre outros. Sendo a qualidade desses ajustes verificada através de indicadores e ferramentas de melhoria de processo (OGATA, 2017).

2.2 Melhoria de processo com análise de dados

As organizações procuram, por meio do gerenciamento de processos, melhorar seu desempenho e ampliar sua flexibilidade diante das oscilações mercadológicas ou das exigências de seus clientes (ALMEIDA et al., 2019).

Melhoria de processo de negócio, como citado por Ceravolo e Pereira (2020), “é uma iniciativa específica ou um projeto para melhorar o alinhamento e o desempenho de processos de acordo com a estratégia organizacional e as expectativas do cliente”.

O gerenciamento realizado na atualidade constitui-se em uma previsão de demanda, realizada mediante a obtenção de dados e sua análise estatística por meio de *softwares*, para que a organização direcione suas ações no processo produtivo como, por exemplo, a aquisição de insumos e quantidade de itens a serem fabricados (NUNES et al., 2018).

Um processo efetivo é o que sempre entrega os produtos adequadamente, de acordo com o pedido, e com custo mínimo, fazendo uso eficiente dos recursos (SILVA, 2020d). Para executar a melhoria de processos, certas ferramentas são recomendadas para auxiliarem no desenvolvimento das ações, como *Lean*, *Six Sigma* e a junção dos dois (CERAVOLO; PEREIRA, 2020).

2.2.1 Lean Manufacturing

De acordo com Ciarniéne et al. (2012), o termo “*Lean Manufacturing*” foi inicialmente empregado na década de 1980, pelos pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), para estabelecer um sistema de produção eficiente, flexível, ágil e inovador, e eles notaram suas vantagens. Tais pesquisadores estudaram as práticas gerenciais e os programas de melhoria implementados por empresas líderes de mercado no setor automotivo e notaram que o emprego dos princípios *Lean* ampliam a competitividade.

Os princípios do *Lean* fundamentam-se na identificação e mitigação das perdas de trabalho. Quando se tem como enfoque um processo, e este é mapeado em sua totalidade, encontram-se mais perdas que ações que agregam valor. Segundo Vieira, Pacagnella Junior e

Terra (2018), a melhoria da eficiência se dá com a produção de zero desperdício, sendo indispensável extinguir os sete tipos de desperdícios, que são: superprodução, espera, transporte, excesso de processamento, estoque, movimentação e defeito. Há também um oitavo desperdício que é o não emprego da criatividade dos funcionários, o que ocasiona perda de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizado. Para tanto, a filosofia *Lean* se fundamenta em 5 princípios básicos, segundo mesmo autor:

- 1° - determinar o valor de um processo sob a perspectiva de um cliente;
- 2° - identificar o fluxo de valor do processo;
- 3° - possibilitar que o valor flua sem interrupções, isto é, o fluxo contínuo;
- 4° - deixar que o cliente “puxe” valor do processo;
- 5° - visar continuamente a perfeição.

O *Lean* visa simplificar os processos e as medições. Mas, em muitos casos, opta-se por empregar uma ferramenta que não é a adequada para agregar mais valor ao cliente. Com isso, são despendidos recursos e tempo para algo que não trará o resultado esperado e, além disso, pode gerar descrédito ao processo. Isso pode ser evitado por meio de análise detalhada do mapa de fluxo de valor e da identificação dos processos críticos para diminuição dos desperdícios por meio do emprego dos princípios *Lean* (SILVA et al., 2022b).

As implementações de *Lean Manufacturing* também podem ser feitas em conjuntos com outros sistemas de produção, assim como Cherrafi et al. (2016) que desenvolveram um modelo para integrar três sistemas de gestão: *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e Sustentabilidade. Os autores se basearam no ciclo de melhoria DMAIC. Essa colaboração entre os sistemas proporcionou a organização a identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria e avaliar a amplitude e profundidade da transformação para alcançar desempenho econômico, ambiental e social.

2.2.2 Six Sigma

O *Six Sigma* é uma estratégia de gerenciamento de negócios primordialmente elaborada pela Motorola, USA, em 1981, com o propósito de desenvolver uma medida de qualidade universal, aplicável independente da complexidade do produto ou divergência entre os processos. Tal estratégia tem como objetivo aprimorar a qualidade dos *outputs* dos processos por meio do reconhecimento e extinção da razão dos defeitos (erros) e garantir a diminuição da

variabilidade na produção e nos processos, sendo que sigma se trata de uma medida de variação empregada em estatística. Nos processos empresariais, tal medida se refere à capacidade do processo de atuar sem falhas. O processo com nível *Six Sigma* atua com 3,4 defeitos por milhão de oportunidades ou 99,99966% de perfeição. Quanto maior o nível sigma, menos defeitos tem o processo. Por essa razão, a filosofia do *Six Sigma* é o alcance da excelência operacional (CANÇADO; CANÇADO; TORRES, 2019).

Essa metodologia emprega diversos métodos, inclusive estatísticos, instituindo uma estrutura especial de organização de pessoas dentro do processo, por faixas coloridas. Quanto mais escura a faixa, mais avançado seu nível de maturidade para a aplicação do processo de gerenciamento da qualidade. Cada projeto *Six Sigma* executado dentro de uma empresa segue uma sequência estabelecida de passos e objetivos quantificados, o chamado roteiro DMAIC (SILVA et al., 2022b).

De acordo com Werkema (2012), o *Lean Manufacturing* não conta com um método estruturado e profundo de solução de problemas e com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, aspecto que pode ser complementado pelo *Six Sigma*. No entanto, no *Lean Manufacturing* todas as práticas são elaboradas para eliminar e/ou reduzir os desperdícios de qualquer tipo para que o fluxo de valor até o cliente seja contínuo. Já o *Six Sigma* não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a redução do *lead time*, aspectos que constituem o núcleo do *Lean Manufacturing*.

Por isso, a sinergia entre o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* é usual para o aproveitamento de ambas as estratégias. A junção dos atributos do *Lean Manufacturing* com as características do *Six Sigma* propicia um maior desempenho organizacional, de modo mais condizente com a realidade competitiva atual, na busca de atingir uma maior qualidade e satisfação dos clientes com os produtos e serviços oferecidos no mercado (PINHEIRO; SCHELLER; MIGUEL, 2013).

2.2.3 Lean Six Sigma

De acordo com Barbosa et al. (2021), *Lean Six Sigma* (LSS) pode ser definido como uma estratégia e metodologia organizacional que incrementa o desempenho de processos, tendo como resultado uma maior satisfação do cliente e maximizando de fato o valor oferecido ao mesmo.

O *Lean Six Sigma* é a junção entre o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma*, por meio do emprego dos pontos fortes de ambas as estratégias, que se mostraram mais eficientes

conjuntamente do que quando utilizados de modo isolado, sendo útil para solucionar todos os tipos de problemas relacionados à melhoria de processos e produtos. A adoção do LSS conduz as empresas a alcançarem processos mais objetivos e estáveis, visto que disponibiliza ferramentas úteis para auxiliar a gestão do negócio (VIEIRA; PACAGNELLA JUNIOR; TERRA, 2018).

De acordo com Wang et al. (2019), várias empresas adotaram projetos *Lean Six Sigma* para melhorar sua competitividade nas últimas três décadas, estudos relatam a eficiência a um alto nível de implementação da metodologia na produtividade das empresas industriais, afirmando assim o impacto positivo na produtividade das empresas e processos industriais.

Dentre os principais impactos relacionados a aplicação do LSS na organização estão: reduções de custo, aumento da qualidade dos produtos, redução da variabilidade dos processos, aceleração do tempo de entrega, redução do índice de defeitos, eliminação de desperdício, aumento da satisfação dos clientes, aceleração dos processos, redução do tempo de espera, redução de estoques desnecessários, entre outros (DIAS, 2008; AHMED; MANAF; ISLAM, 2013; ANDERSSON et al., 2014; DROHOMERETSKI et al., 2014; PANAT et al., 2014; KETAN; NASSIR, 2016; HADIDI et al., 2017; MARQUES; MATTHÉ, 2017; KURNIA; JAQIN; PURBA, 2021; KURNIA; JAQIN; MANURUNG, 2022).

Sob o aspecto de impacto financeiro, o *Lean* atua prioritariamente na redução do inventário e estoque e, conseqüentemente, no custo operacional. Ao passo que o *Six Sigma* foca na melhoria da performance da organização e, por conseguinte, no aumento de seu lucro em um período relativamente curto. De acordo com Silva et al. (2020), a metodologia *Lean Six Sigma* precisa ter foco na erradicação de defeitos desde a sua causa raiz, mas não vale a pena amparar as atividades se esse processo não der um benefício financeiro. Isso é possível ao encontrar formas de aprimorar a qualidade de produtos e processos internos desenvolvidos pela organização, bem como diminuindo os custos de operação, por meio do controle das variabilidades do processo (SANDER, 2021).

Um dos fatores que assegura o desempenho do programa é escolher métodos que contribuam para seu desenvolvimento, como por exemplo: M/PCpS (*Machine/Process Characterization Study*), que é o estudo da caracterização e otimização de processos, visando eliminar a perda de tempo e dinheiro; o DMAIC, que tem como iniciais *Define* (Definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar); o DFSS (*Design for Six Sigma*); o DMADV (Definir, Medir, Analisar, Desenhar e Verificar), dentre outros métodos. Entretanto, o método mais utilizado atualmente é o DMAIC (SILVA; JESUS et al., 2018).

Segundo Pereira et al. (2019), o *Lean Six Sigma* é aceito nas empresas para melhoria contínua, mas se for usado apenas como uma ferramenta estatística para resolver problemas complexos, não terá sucesso pois, o *Six Sigma* define apenas a meta que precisa ser alcançada. Nesse contexto, o *Lean Six Sigma* usa um método científico como DMAIC para obter o alcance necessário dos objetivos determinados.

Vários estudos foram conduzidos e implementados *Lean Six Sigma* em diferentes contextos da indústria. Por exemplo, Gijo et al. (2011) conseguiram reduzir os defeitos em retificadoras de 16,0 para 1,0 por cento. Jirasukprasert et al. (2014) foi capaz de reduzir os defeitos no processo de fabricação de luvas de borracha de 19,5% para 8,4%, aplicando a estrutura DMAIC. Além disso, a metodologia provou ser eficaz em contextos técnicos. Anderson e Kovach (2014) descrevem usando um estudo de caso como uma empresa de construção especializada, usou a metodologia *Six Sigma* para reduzir defeitos de soldagem em projetos de parada e generalizar os resultados para demonstrar como a metodologia pode ser aplicada em ambientes baseados em serviços. Scinto (2011) aplicou os exemplos estatísticos *Six Sigma* na indústria de óleo de motor, que apresentou melhora em todos os exemplos estudados. Nepal et al. (2013) apresentam um estudo de caso de uma estrutura de melhoria de qualidade baseada em *Six Sigma* para um processo de trefilação médica em uma empresa de fabricação de fios médicos.

2.2.4 DMAIC

Como mencionado no tópico anterior, DMAIC é uma sigla com origem na língua inglesa (*Define, Measure, Analyse, Improve and Control*) que significa, respectivamente, Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (SOARES; AMARANTE, 2022). Quando o projeto tem como objetivo o aperfeiçoamento de um processo já existente, a sequência adotada utilizando o DMAIC, conta com as seguintes etapas (PEREZ-WILSON, 1999):

- i) Definir (D): determinar claramente o problema com base nos dados, buscando relacioná-los aos clientes, e a meta de desempenho a ser alcançada, montando uma equipe de atuação;
- ii) Medir (M): estimar o que está sendo estudado, avaliar a adequação da medida utilizada, estratificar o problema específico abordado, coletar dados para a avaliação dos postos-chaves, usando o Diagrama de Pareto para orientação;

- iii) Analisar (A): avaliar as possíveis causas e reconhecer as causas raízes, empregando ferramentas de qualidade como: Diagrama de Ishikawa e *Brainstorming*;
- iv) Implementar (I): priorizar as causas raízes do problema, implementar a solução e avaliar a melhoria do processo;
- v) Controlar (C): assegurar que o problema não retornará, englobando e perpetuando as melhorias, tal como através da preservação dos processos de monitoramento e melhoria contínua.

Para Bugor e Lucca Filho (2021), o modelo DMAIC possibilita a implementação do *Lean Six Sigma* de modo lógico e eficaz, simplificando o gerenciamento dos processos. Com base nas cinco etapas que constituem este modelo, tem-se uma orientação visando alcançar os objetivos e metas determinadas pelas equipes responsáveis.

Como visto anteriormente, a principal utilização de métodos de melhoria é para correções de falhas de processamento. As falhas no processo de fabricação geram um alto custo para as organizações. Quando ocorre uma falha em qualquer fase do processo de produção, o custo de retrabalho é adicionado às operações, além do impacto no prazo das etapas seguintes (PONTES; TARRENTO; 2021).

Moreira (2019) reforça que o mapeamento das possíveis causas para não conformidades através de ferramentas da qualidade auxilia na implantação das ações corretivas. Para Carvalho (2012), a não conformidade refere-se ao não atendimento dos requisitos esperados, por exemplo, um produto defeituoso, uma entrega atrasada, um serviço prestado de forma errada ou o não atendimento das determinações de um cliente.

A implementação do método DMAIC além de cumprir a finalidade de elaborar um plano para auxiliar a indústria a registrar, controlar e reduzir as não conformidades do processo, também contribuem para a consolidação da metodologia aplicada, como um projeto flexível, analítico e acessível as necessidades da organização.

Cada fase do DMAIC utiliza métodos e ferramentas exclusivas para determinar, de modo quantitativo, quais são as variações e quais estratégias devem ser adotadas para realizar a diminuição delas. A seguir as etapas, os métodos e ferramentas utilizados no estudo de caso realizado neste trabalho. Reforçando que alguns métodos e ferramentas podem ser usados mais de uma vez dentro das etapas DMAIC, portanto, para não se repetir, elas são citadas apenas uma vez.

2.2.4.1 Definir

Nesta etapa, é definido o problema ou oportunidade que está tentando resolver, e seu maior desafio é esclarecer as impressões detalhadas de todos os envolvidos no projeto para atingir objetivos mais específicos. O resultado básico da fase de definição é a formulação de um contrato melhorado, que orientará todo o trabalho futuro. Para isso, algumas considerações básicas devem ser feitas, como: qual é o problema e onde ele está ocorrendo; definir quais métricas serão usadas para medir e quais metas serão definidas; verificar se há dados confiáveis como histórico; avaliar os danos causados pelo problema; descobrir se o projeto é relevante para a organização; reunir os recursos necessários; e definir o cronograma do projeto (LYNCH; BERTOLINO, CLOUTIER, 2003; KRISHNAN; PRASATH, 2013). Algumas das ferramentas utilizadas nesta etapa são: KPIs, Definição de Metas, ferramentas SIPOC e Árvore CTC.

2.2.4.1.1 Indicadores de Desempenho - KPI

A sigla KPI corresponde a *Key Performance Indicator*, que significa indicadores-chave de uma organização. Esses indicadores representam ações que devem ser executadas para ampliar consideravelmente o desempenho de uma organização. Os KPIs podem ser a combinação de mais de um indicador e, frequentemente, simbolizam as perspectivas de desempenho mais críticas de uma organização. No entanto, estes não são generalistas, isto é, as organizações estabelecem seus próprios KPIs e metodologias de cálculo segundo suas necessidades (SCHRODER et al., 2019).

Na atual conjuntura econômica, são uma ferramenta de gestão relevante, visto que segmentam as informações, separando a importante da que não deve ser considerada, e possibilita simplificar temas complexos, tornando sua análise simplificada (FIGUEIREDO; FONSECA, 2020).

Os indicadores podem ser aplicados de dois modos: um por meio de avaliação direta da mudança e o segundo mediante avaliação específica do desempenho do processo (NOGUEIRA, 2018). Para Tormem e Röder (2019), os KPIs contam com uma particularidade: devem ser de fácil compreensão, de modo que os colaboradores sejam capazes de extrair dados, calculá-los e, especialmente, saber como aplicá-los para alcançar as metas determinadas.

Esses indicadores podem oferecer resultados quantitativos e qualitativos, ajudando a empresa a ter o máximo de informações possíveis. Assim, é possível melhorar ou modificar a estratégia de acordo com esses dados. Indicadores de capacidade e indicadores de produtividade

são apenas alguns exemplos dos diferentes KPIs que podem ser utilizados para acompanhar e assim conseguir mensurar os resultados. Por isso, saber quais são os indicadores de desempenho mais relevantes para cada informação que se deseja saber é fundamental para ajudar na tomada de decisão dentro da empresa (RABELLO, 2022). No Quadro 3 está apresentado algumas das principais categorias de KPIs., suas características e formas de avaliação de desempenho de cada indicador.

Quadro 3 – Principais categorias de KPIs.

CATEGORIAS	CARACTERÍSTICAS	AVALIAÇÃO
Produtividade	São ferramentas aplicadas de maneira contínua na gestão de negócios com o objetivo de avaliar o rendimento e a eficiência dos processos nas empresas. Resumidamente, agem para mensurar a quantidade de recursos que uma empresa utiliza para gerar um determinado produto e/ou serviço.	Excelência operacional; <i>Turnover</i> ; Investimento em qualificação; Qualidade; Capacidade de inovação; Produção sustentável; Índice de flexibilidade; Estratégia; Competitividade.
Qualidade	Seguem junto aos indicadores de produtividade, uma vez que auxiliam na análise de qualquer imprevisto ou erro ocorrido ao longo de um processo produtivo.	Eficiência; Eficácia; Efetividade; Atendimento; Segurança.
Capacidade	Estes analisam a capacidade de resposta de um processo através da relação entre as saídas produzidas por unidade de tempo. Aliados aos de produtividade e qualidade, demonstram quão competitiva a empresa é.	Atendimento por dia; Atendimento por colaborador; Peças produzidas por hora; Quantidade de entrega por mês.
Estratégicos	Fornecem informações sobre como o empreendimento se encontra em relação às metas definidas anteriormente. Fornecem um comparativo entre o cenário atual da empresa e o esperado.	Percentual de lucratividade; Nível de crescimento por mês; Produtividade; <i>Turnover</i> dos funcionários.

Fonte: Rabello (2022).

Kurnia; Jaqin; Purba (2021); Kurnia; Jaqin; Manurung (2020), com o objetivo de reduzir os defeitos de uma produção, realizaram relatórios mensais de KPI, os resultados desses relatórios neste estudo serviram para controlar os resultados das melhorias de qualidade, onde os fatores de qualidade foram incluídos nas metas mensais. Law et al. (2008) utilizaram a identificação do indicador-chave de desempenho de cada processo a ser monitorado no projeto com objetivo de melhoria de rendimento de montagem em uma indústria automotiva.

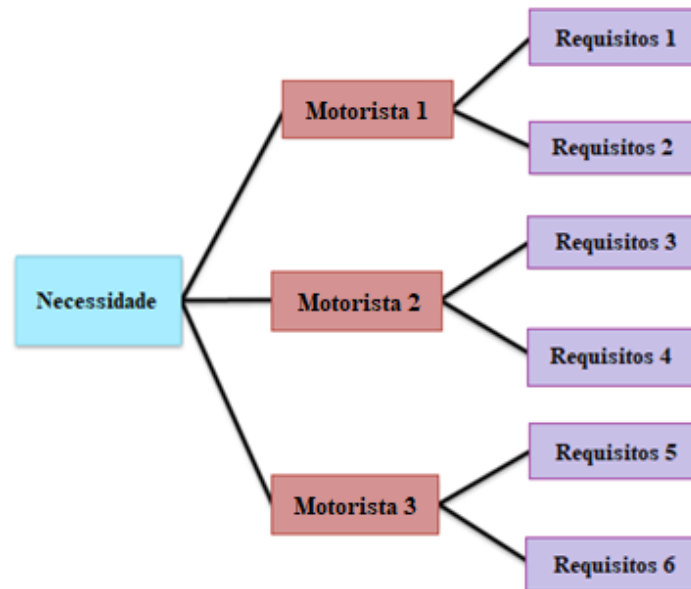
Os indicadores de desempenho têm como principal objetivo entregar valor ao cliente. É extremamente importante entender quais as necessidades do cliente na definição de indicadores, para isso é comumente utilizada a árvore CTC.

2.2.4.1.2 Ferramenta árvore CTC

A ferramenta denominada Árvore CTC (*Critical to Customer*) é realizada para identificar quais os pontos críticos de qualidade (CTQ) que devem ser controlados no processo. Pontos críticos para a qualidade é um termo amplamente utilizado na metodologia *Six Sigma* para descrever as principais características da saída do processo. A árvore CTC é uma ferramenta muito útil para traduzir os requisitos do cliente em especificações técnicas mais específicas para produtos e serviços, ela nada mais é do que uma representação gráfica das expectativas e requisitos do cliente que são “quebrados” até que possíveis objetivos sejam alcançados ou produtos e serviços melhorados. É uma ferramenta fácil de usar para entender a voz do cliente (BASU, 2004).

Segundo Thomsett (2004), as árvores CTC são importantes para ajudar as equipes envolvidas em projetos de melhoria a deduzir as necessidades específicas do cliente de suas necessidades gerais. Esta ferramenta torna-se muito útil durante a fase de recolha de dados, uma vez que o projeto esteja definido e a equipe saiba quem é o cliente, é muito importante que eles definam claramente suas necessidades e requisitos. De acordo com BASU (2004), uma árvore CTC deve seguir as seguintes etapas para ser válida: visualizar as necessidades, motivadores e requisitos de desempenho do cliente. A árvore começa com a identificação das necessidades do cliente e depois se ramifica em *drivers* (motoristas) e outros requisitos (Figura 4).

Figura 4 – Modelo Árvore CTC.



Fonte: Adaptado Hessing (2018).

Segundo Hessing (2018), têm-se as seguintes descrições:

- Necessidade: o primeiro passo do CTQ *Tree* é identificar as necessidades do cliente. Este é o produto ou serviço real que será entregue ao cliente.
- Motoristas (*drivers*): depois de determinar as necessidades do cliente, são identificados os *drivers* de qualidade que devem estar presentes para atender às necessidades do cliente.
- Requisitos: por fim, são listados os requisitos de cada *driver*. Em outras palavras, são registrados os requisitos de desempenho mensuráveis para cada motorista.

Marques e Matthé (2017), utilizando a metodologia DMAIC com o objetivo de melhorar o desempenho de uma operação de fundição sob pressão de alumínio, desenvolveram a Árvore de CTC na etapa de definição para verificar as necessidades e requisitos desse processo, o que auxiliou nas definições e comunicações das funções e responsabilidades da equipe. Para determinar os defeitos que afetam significativamente a produção e que influencia de forma efetiva a qualidade de um determinado produto na indústria têxtil, Kurnia; Jaqin; Manurung (2022) abordaram a metodologia da Árvore CTC.

Na metodologia DMAIC, os indicadores de desempenho e o entendimento das necessidades do cliente são fundamentais na etapa de definição, a partir deles e das métricas

que lhes são derivadas, é possível definir em quais casos a metodologia *Lean Six Sigma* pode ser aplicada e determinar uma meta para o projeto, alinhada com as expectativas do cliente.

2.2.4.1.3 Definição de metas

Meta é o valor visado para um indicador de um processo a ser alcançada. É estabelecida com base nas necessidades e expectativas apresentadas pelo cliente, considerando os propósitos e estratégias da organização. As metas fixadas devem sempre assegurar aos clientes um valor crescente, melhorando ainda o desempenho (SILVA, 2010).

Qualquer indicador de desempenho deve contar com meta, podendo ser mais de uma estabelecida por indicador. As metas têm por propósito serem suficientes para garantir a implementação da estratégia de modo eficaz. Assim, as metas contam com uma finalidade, valor e prazo. O objetivo de cada meta é declarado no detalhamento do indicador e apresenta um propósito à organização, um futuro esperado em certo período. Para tal, as metas devem ser alcançáveis; desafiadoras; diretas; negociáveis; fundamentadas em séries históricas, tendências e *benchmarking* (BAHIA, 2021).

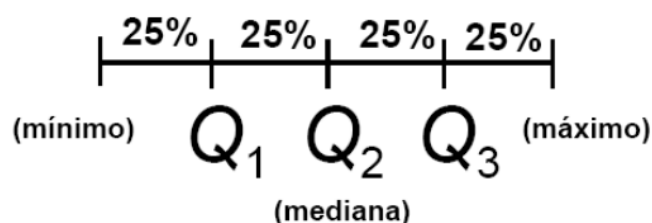
Nesse sentido, as metas devem ser estabelecidas com cautela: é indispensável considerar os desempenhos prévios; descrever os cenários em que o indicador está inserido; compreender claramente o estágio de referência inicial, isto é, da linha de base; estabelecer metas alcançáveis, considerando a disponibilidade dos recursos exigidos; considerar o volume dos recursos disponibilizados para o projeto, a conjuntura política e econômica, capacidade organizacional e recursos ambientais: em caso de indicador novo, deve-se ter parcimônia para não determinar metas inalcançáveis. Deste modo, a melhoria do processo se dá mediante comparação com padrões anteriormente determinados. (NEVES JÚNIOR; GARCIA; MORGAN, 2007).

Para determinar uma meta, pode ser utilizado a metodologia de quartis, ao estabelecer se um item avaliado é entendido como relevante ou satisfatório, que devem ser estimados associados aos resultados dos níveis de importância e satisfação (PRIKLADNICKI; GALARRAGA, 2021).

Quartis são os valores que dividem um conjunto de dados em quatro partes iguais. Uma vez ordenado o conjunto de dados, o segundo quartil (Q2 - também conhecido como mediana) é o valor que fica a meio dos valores dos elementos do conjunto de dados, isto é, o valor que divide o conjunto de dados em duas partes iguais. Depois o primeiro quartil (Q1) será o valor que fica a meio da primeira metade do conjunto de dados e o terceiro quartil (Q3) será, analogamente, o valor que fica a meio da segunda metade do conjunto de dados. Ou seja, o

primeiro quartil equivale ao valor que delimita os 25% menores valores, o segundo quartil ou mediana distingue os 50% menores dos 50% maiores valores e o terceiro quartil é o valor que separa os 25% maiores valores (QUEIROZ; LIMA, 2018). Conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5 – Representação de divisão amostral por quartis.



Fonte: Cruz (2022).

A análise dos quartis para definição de metas se fundamenta em estabelecer a prioridade dos itens em baixa, moderada, alta ou crítica. São entendidos como itens de prioridade crítica aqueles com desempenho inferior ao primeiro quartil, itens de prioridade alta apresentam desempenho entre o primeiro e segundo quartil, os itens têm prioridade moderada quando estão entre o segundo e terceiro quartis e, por fim, prioridade baixa quando os valores de desempenho são superiores ao terceiro quartil. Tal análise permite a identificação de itens que comprometem a percepção do cliente sobre a qualidade do serviço ou produto disponibilizado (CALARGE et al., 2015).

As metas provenientes do primeiro quartil, onde implica que 25% das avaliações estão abaixo do valor médio e 75% acima, são usadas quando o comportamento dos indicadores é menor melhor, por exemplo, quando se avalia a eficiência de operação com base no indicador tempo, quanto menor o tempo, maior será a eficiência de operação (SILVA, 2020). O mesmo se aplica quando o indicador são não conformidades internas (NCI) de um produto ou processo, quanto menor as NCI melhor a eficiência de operação (GUIMARÃES, 2020; SILVA et al., 2020; PONTES; TARRENTO, 2021). Em relação ao aspecto financeiro, quanto menor o custo melhor a projeção financeira (CARVALHO; PERISSOTO; RIBEIRO, 2021), entre vários outros indicadores que se aplicam a essa metodologia, sendo fundamental a utilização da mesma em pontos críticos chave para o processo, a fim de definir metas plausíveis para seu cumprimento.

As metas devem ser realistas e definidas conjuntamente ao mapeamento do processo, que torna possível analisar os gargalos, suas causas e efeitos nos processos, definindo metas alcançáveis, analisando as dimensões do problema e elaborando o projeto (BARBOSA et al., 2021).

2.2.4.1.4 Mapa do processo

O mapa do processo é uma ferramenta de gerenciamento e de comunicação que, de modo geral, é útil para representar a situação atual, descrever a perspectiva futura e possibilitar que a organização conheça detalhada e profundamente todo o fluxo e suas operações (WICHER et al., 2018).

O mapeamento tem como propósito delinear, documentar, monitorar e controlar os processos com o objetivo de atingir os resultados visados pela organização. Para Costa e Moreira (2018), o mapeamento é uma ferramenta que disponibiliza uma perspectiva ampla de todo o processo produtivo, incluindo atividades de valor e não agregadoras de valor. O mapeamento de processos faz uso de diversas técnicas que mostram diferentes enfoques, sendo que a correta interpretação de tais técnicas é essencial neste processo. Essas técnicas podem ser empregadas individualmente ou de forma conjunta, a depender do que se deseja mapear, um exemplo de técnica para mapeamento de processos na fase de definição é a ferramenta SIPOC.

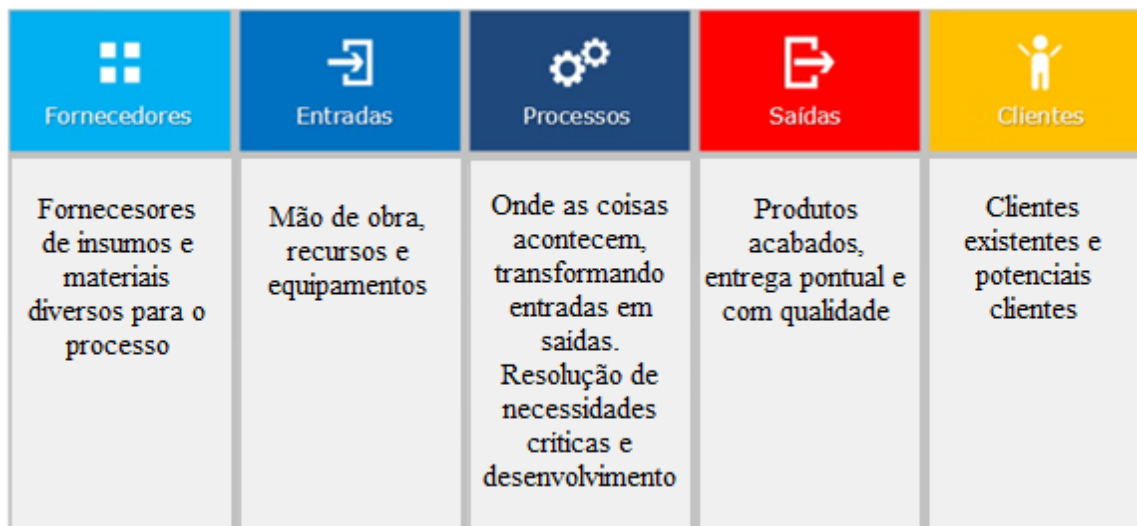
2.2.4.1.5 Ferramenta SIPOC

SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs e Customers*), que em português significa Fornecedores, Insumos, Processos, Saídas e Clientes, constitui-se de uma ferramenta que busca identificar todos os elementos envolvidos em um processo antes de sua execução. O objetivo do SIPOC é fornecer uma visão clara das inter-relações dos processos, esta ferramenta também contribui muito para o desenvolvimento da visão de cada processo na organização, para que todos possam ver facilmente quais suas tarefas e responsabilidades afetam a qualidade da saída do processo (TEIXEIRA et al., 2019).

Normalmente, o SIPOC é detalhado nas etapas de definição do DMAIC, produzidas em forma de tabela (Figura 6), onde a primeira coluna informa aos fornecedores que podem ser pessoas físicas, departamentos ou organizações que fornecem os insumos que aparecem na segunda coluna, podem ser os materiais, informações e recursos que serão abordados no processo. A terceira coluna mostrará o processo de etapas ou atividades que transformam a entrada na saída. Estes aparecem na quarta coluna como o produto ou serviço resultante do processo, e na quinta coluna o cliente pode ser o indivíduo, departamento ou organização que recebe a saída desses processos. Para definir as entradas e saídas de um SIPOC, é importante observar que as entradas são os requisitos para o funcionamento do processo e as saídas são os

requisitos dos clientes internos e externos da organização, pois não há entrada ou produção que não agrega valor. (WERKEMA, 2012).

Figura 6 – Diagrama SIPOC.



Fonte: Cyrino (2020).

Esse método é aplicado em diversos estudos para identificação dos principais elementos de um processo, Hadidi et al. (2017) avaliaram defeitos estéticos em instalações de perfis de alumínio e utilizaram SIPOC. No estudo de melhoria da capacidade do processo de extrusão a quente de alumínio, Ketan e Nassir (2016) também desenvolveram o diagrama SIPOC para os principais elementos desse processo. Já Marques e Matthé (2017) utilizando a metodologia DMAIC com o objetivo de melhorar o desempenho de uma operação de fundição sob pressão de alumínio, visando o profundo entendimento do processo de fabricação, realizaram o mapeamento de processos usando as informações de fornecedores, entradas, processos, saídas, clientes.

Após verificar indicadores de processo, definir metas com base nos indicadores e verificando níveis de importância e satisfação (por quartis), é possível a realização do Mapa do Processo pela ferramenta SIPOC, e prosseguir as etapas do DMAIC.

2.2.4.2 Medir








Nesta etapa, o foco do problema é determinado. Inicialmente, deve-se decidir entre utilizar os dados já fornecidos pela empresa ou realizar novas coletas de dados e definir técnicas de avaliação dos sistemas de medição e inspeção. Caso não utilize dados que a empresa já possui, deve ser executado um plano de coleta de dados para obtenção dos dados que serão

utilizados na análise. Posteriormente, dados gerais precisam ser estratificados por tempo, local, tipo e outros critérios de acordo com o objeto em questão, que devem ser priorizadas e questões-chave identificadas para serem abordadas em análises futuras. Alguns procedimentos e ferramentas importantes para essa etapa serão abordados. A etapa inicia-se com entendimento profundo do problema, realizado através do fluxograma do processo.

2.2.4.2.1 Fluxograma do processo

Um fluxograma é uma representação gráfica esquemática que mostra a sequência das etapas, fases, operações, equipamentos ou procedimentos que compõem um determinado processo. Segundo Oakland (2014), é uma forma poderosa de descrever processos, e para isso utiliza símbolos gráficos e geométricos padronizados, interligados por linhas com setas que indicam a direção do fluxo (Figura 7), em que apresenta uma sequência lógica e cadeia de atividades e decisões para obter uma visão abrangente dos processos técnicos, administrativos ou de gestão, permitindo análises críticas para detectar falhas e oportunidades de melhoria (MARSHAL JUNIOR, 2010).

Figura 7 – Símbolos utilizados no fluxograma.

	Indica o início ou fim do processo
	Indica cada atividade que precisa ser executada
	Indica um ponto de tomada de decisão
	Indica a direção do fluxo
	Indica os documentos utilizados no processo
	Indica uma espera
	Indica que o fluxograma continua a partir desse ponto em outro círculo, com a mesma letra ou número, que aparece em seu interior

Fonte: Falcão, 2022.

Kent (2016) afirma que a criação de um fluxograma muitas vezes é difícil, pois todas as etapas do processo devem ser avaliadas segundo respostas claras, geralmente com base em sim ou não, aprovação ou rejeição, mostrando ou mesmo descobrindo como o processo ocorre, enfatizando que existem falhas ou áreas com potencial de melhoria. Por fim, os fluxogramas são utilizados para delinear um processo ou permitir sua análise, o que é muito útil para entender

um processo, analisar criticamente as etapas de um processo, identificar oportunidades de melhoria com um entendimento abrangente do processo e auxiliar e facilitar treinamentos de novos funcionários. Portanto, na fase de medição essa etapa antecede às demais para maior facilidade.

Uma vez identificados os processos prioritários, as mudanças neles devem ser investigadas. Análise exploratória e descritiva de dados são usadas para ajudar a avaliar e entender os dados, bem como representações gráficas das variáveis para melhor visualização e facilidade de compreensão (KRISHNAN; PRASATH, 2013).

2.2.4.2.2 Variáveis e tipos de dados

O *Lean Six Sigma* consiste em uma metodologia que utiliza da estatística para conferir qualidade a produtos/serviços e processos. Variáveis estatísticas é o primeiro importante conceito que deve ser observado. Consistem em incógnitas que assume diferentes valores para diferentes elementos, elas são responsáveis por apresentar respostas para uma determinada situação que está sendo estudada. Existe uma classificação que as variáveis podem assumir e elas se dividem entre variáveis qualitativas e quantitativas.

Variáveis qualitativas descrevem exatamente tudo aquilo que não pode assumir um valor numérico, mas que se classificam em categorias e se dividem entre qualitativas nominais e ordinais. As variáveis qualitativas ordinais descrevem uma ordem entre as categorias, já as variáveis de qualidade nominais não há ordenação entre categorias e geralmente são aleatórias.

E as variáveis quantitativas são divididas em discretas e contínua. Segundo Bischak e Trietsch (2007), uma variável discreta é uma variável de um valor numérico com um número contável de valores entre quaisquer dois valores. As variáveis discretas são sempre numéricas. Por exemplo, o número de reclamações de clientes ou o número de falhas ou defeitos, por outro lado, uma variável contínua é uma variável numérica com um número infinito de valores entre quaisquer dois valores. As variáveis contínuas podem ser numéricas ou de data/hora. Por exemplo, o comprimento de uma peça ou a data e hora em que o pagamento foi recebido.

Nesta etapa de medição, para analisar as variáveis de processo é utilizado a estatística descritiva, uma ferramenta que possibilita resumir, descrever e elucidar os dados de uma distribuição empregando medidas de tendência central, dispersão e distribuição, sendo útil na comparação e relacionamento dos dados (MENDONÇA; DECHECHI; DAMKE, 2021). Na melhoria da qualidade, as ferramentas estatísticas, além de priorizarem as ações propostas segundo o grau de importância, simplificam a identificação e auxiliam na tomada de decisão

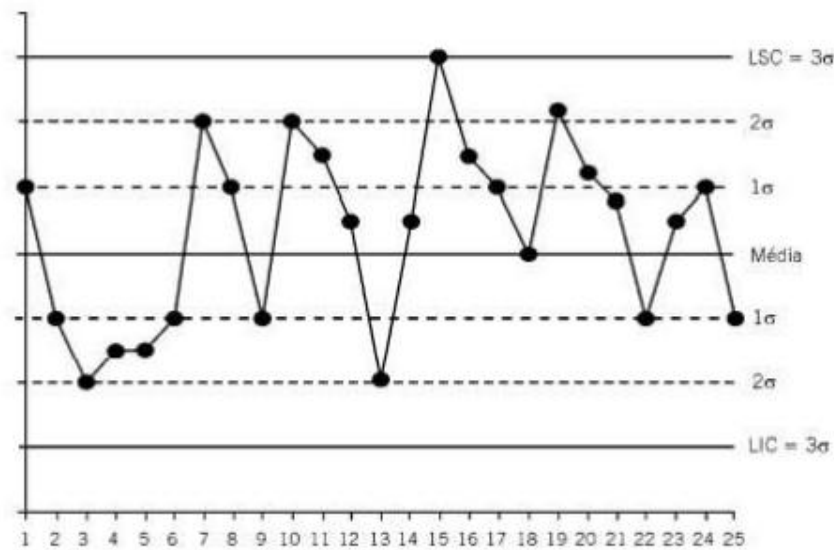
sobre os problemas para extinção de possíveis causas, permitindo uma maior estabilidade nos âmbitos analisados (SILVA et al., 2022c).

Há programas que empregam esses cálculos estatísticos, como o *Software MiniTab®*, que realizam cálculos de regressões e ferramentas de qualidade (TEIXEIRA et al., 2019), entre essas, a estatística descritiva que apresenta testes de normalidade e de hipótese, intervalos de confiança, entre outros. (ALMEIDA, 2018). Esses programas auxiliam na análise de diversos produtos, identificando e minimizando possíveis anormalidades, garantindo estoques nos padrões de qualidade. Nessa perspectiva, a gestão estatística de processos é colocada como uma ferramenta de máxima relevância para a redução da variação, onde se identificam tendências e variações significativas, sendo possível comparando-se continuamente os resultados de um processo com os padrões exigidos, a fim de controlar, reduzir e eliminar essas variações. Não é uma forma de resolver problemas, mas sim de detectá-los e medir sua extensão, para que se possa buscar uma solução (PEINADO; GRAEML, 2007). Montgomery (2009) esclarece que para o estudo do controle estatístico torna-se necessário a utilização de cartas e gráficos de controle.

2.2.4.2.3 Cartas de controle

Como citado anteriormente, uma das principais ferramentas para avaliação estatística do controle estatístico de processos são as cartas de controle. A característica típica de uma carta de controle é de fazer uma representação gráfica de uma característica de qualidade, contendo uma linha central (LC) que consiste no valor médio das amostras, uma linha superior e inferior, denominados de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Os limites de controle determinam se o processo é estatisticamente estável ou não. Correa (2012) explica que para que o processo seja considerado sob controle estatístico, os pontos amostrais de uma variável qualquer devem estar situados dentro dos limites superior e inferior de controle. Conforme apresentado na Figura 8, os limites de controle compreendem as medições correspondentes a três desvios padrão (σ) da amostragem, variável que corresponde às medidas de dispersão de um conjunto de dados.

Figura 8 – Controle Estatístico de Processo por Cartas de Controle.



Fonte: Pavezi (2021).

Considerando uma distribuição normal dos resultados das medições com média μ e desvio padrão σ conhecidos, os limites de controle são calculados por meio das Equações (2), (3) e (4), sendo L a “distância” dos limites de controle em relação à linha central.

$$LSC = \mu + L\sigma \quad (2)$$

$$LC = \mu \quad (3)$$

$$LIC = \mu - L\sigma \quad (4)$$

As cartas de controle podem ser classificadas em dois tipos: cartas de controle para variáveis, utilizadas para dados contínuos expressos por um número; e cartas de controle para atributos, utilizada para dados discretos, para determinar conformidade ou não de um item. De acordo com Pavezi (2021), as cartas de controle para variáveis mais conhecidas são:

- a) cartas μ e R: média e amplitude;
- b) cartas μ e σ : média e desvio padrão;
- c) cartas I e AM: valores individuais e amplitude móvel;
- d) CUSUM: soma cumulativa.

Em relação às cartas de controle para atributos, segundo Pavezi (2021), pode-se citar:

- a) cartas p: proporção de unidades não conformes;
- b) cartas np: número de unidades não conformes;
- c) cartas c: número de não conformidades por unidade;
- d) cartas u: taxa de não conformidades por unidade.

Com a implantação das cartas de controle, é possível determinar se há somente causas comuns ou causas especiais no processo. As causas comuns são causas inerentes ao processo, enquanto as causas especiais ocorrem devido a eventos específicos ou distúrbios. As causas especiais devem ser eliminadas para garantir um processo com maior estabilidade. Nesta perspectiva, Carpinetti (2016) entende que após a eliminação das causas especiais, tem-se um processo estatisticamente estável. Porém, conforme o autor, um processo controlado também pode gerar produtos defeituosos. Por isso a capacidade, que será abordada posteriormente, avalia se o processo é capaz de atender às especificações de projeto.

Em um estudo qualitativo, Hadidi et al. (2017), avaliaram defeitos estéticos em instalações de perfis de alumínio, e utilizaram gráficos de controle para determinação de defeitos pontuais em cada processo e defeitos detectados em um determinado período. Ketan e Nassir (2016) avaliaram as causas especiais no processo de extrusão de alumínio a quente em um estudo da capacidade de produção com aplicação do *Lean Six Sigma*. Para melhoria de rendimento de montagem em uma indústria automotiva, Law et al. (2008) utilizaram de gráficos de controle para definir as causas comuns e especiais desse processo. Para analisar dados em uma carta de controle é necessário garantir que os dados se trata de variáveis contínuas e que seguem uma distribuição normal.

2.2.4.2.4 Teste de normalidade

Uma das distribuições mais relevantes na melhoria da qualidade é a distribuição normal, representada pela curva de Gauss e descrita pela média e desvio padrão (OLIVEIRA, 2021a).

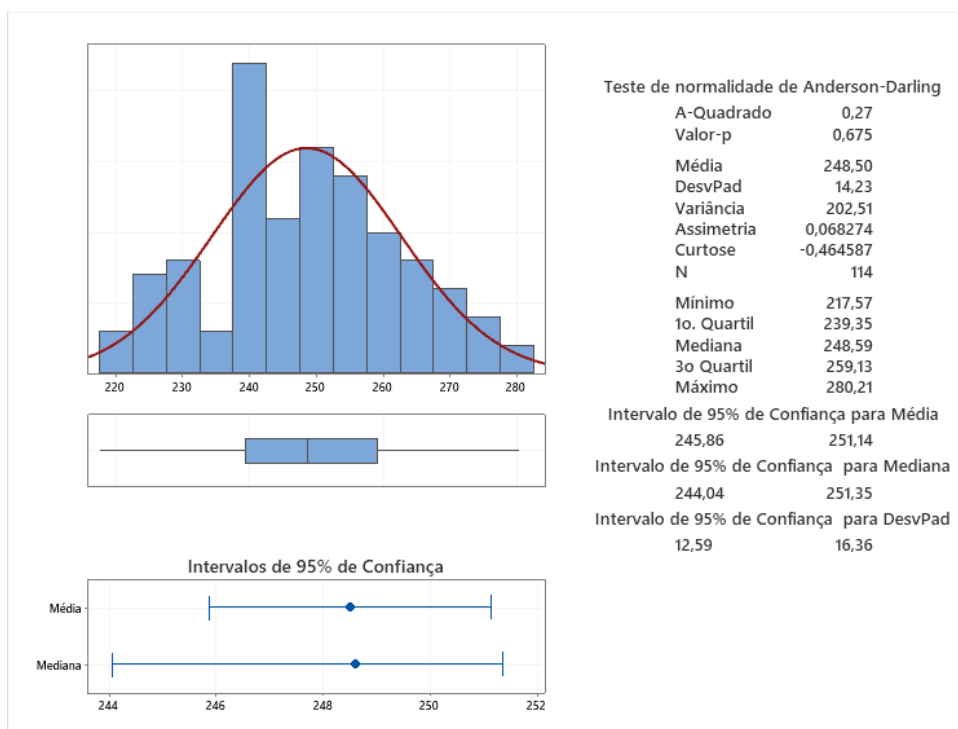
Para o emprego de diversas ferramentas de gestão da qualidade e, principalmente, do controle estatístico do processo se faz uso do pressuposto de que os dados da amostra são normalmente distribuídos, visto que os desvios de normalidade podem ampliar as chances de erros, tal como de aceitar lotes de amostras de má qualidade ou rejeitar lotes de boa qualidade (SILVA, 2020b).

De acordo com Ribeiro Júnior (2012), o teste de normalidade é indicado para a análise

de variáveis contínuas, como comprimento ou peso, e estabelece se os dados irão seguir ou não uma distribuição normal. Este teste compara o ECDF (função de distribuição acumulada empírica) dos dados de amostra com a distribuição esperada se os dados foram normais. Se esta diferença observada é adequadamente grande, o teste vai rejeitar a hipótese nula de normalidade dos dados. Se o valor de p do teste for menor do que o valor de α escolhido, a hipótese nula é rejeitada e conclui-se que os dados não seguem a distribuição normal.

Há uma quantidade significativa de testes de normalidade disponíveis na literatura. No entanto, os procedimentos mais comuns de normalidade disponíveis em programas de estatística são os testes Shapiro-Wilk, Anderson e Darling, Lilliefors, Jarque-Bera, Cramer-von Mises, D'Agostino-Pearson, Kolmogorov-Smirnov, entre outros (CARRADORI; RAMOS, 2014). O teste proposto por Anderson e Darling (1954) é mais utilizado quando o tamanho da amostra não é superior a 25. Este teste é baseado na função de distribuição empírica, a ideia é que dada a função de distribuição sob hipóteses nula, os dados podem ser transformados à distribuição uniforme. A Figura 9 apresenta um exemplo de como o gráfico de normalidade pode ser apresentado.

Figura 9 – Gráfico de normalidade.



Fonte: Da autora (2023).

As duas hipóteses para o teste de Anderson e Darling (1954) para uma distribuição normal são expressas por:

H0: os dados seguem uma distribuição de probabilidade normal.

H1: os dados não seguem uma distribuição de probabilidade normal.

A hipótese nula é a que os dados são normalmente distribuídos e hipótese alternativa é a que os dados não seguem uma distribuição normal. Se o nível de significância (valor-p) for pequeno ($p \leq 0,05$), a hipótese nula é rejeitada e conclui-se que os dados analisados não seguem uma distribuição normal. O valor-p indica a probabilidade de se observar uma diferença tão grande ou maior do que a que foi observada sob a hipótese nula. Mas se o novo tratamento tiver um efeito de tamanho menor, um estudo com uma pequena amostra pode não ter poder suficiente para detectá-lo. Ele é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado. Tradicionalmente, o valor de corte para rejeitar a hipótese nula é de 0,05, o que significa que, quando não há nenhuma diferença, um valor tão extremo para a estatística de teste é esperado em menos de 5% das vezes (FERREIRA; PATINO, 2015). A estatística teste de Anderson e Darling (1954) é expressa pela Equação 5:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-1+1}))] A \quad (5)$$

É recorrente o uso do teste de normalidade em estudos de melhoria contínua, Dias (2008), por exemplo, utilizou para verificação da inconsistência do produto, em um estudo de redução de defeitos em uma fábrica de alumínio. O teste de normalidade Anderson e Darling foi utilizado por Ketan e Nassir (2016) para determinar a normalidade dos dados de dimensão interna e do produto no processo de extrusão a quente de alumínio. Law et al. (2008) também aplicaram esse teste para verificação da normalidade dos seus dados no processo de montagem em uma fábrica automotiva.

2.2.4.2.5 Análise de tendência

Análise de tendência é um termo comum empregado por diversas áreas do conhecimento em várias perspectivas, não existindo uma definição formal e amplamente admitida por essas áreas. Na perspectiva estatística, a análise de tendências é usada para ajustar um modelo de tendência geral para dados de séries temporais e fornecer previsões. Com tal metodologia é possível identificar uma tendência geral de comportamento dos dados em um intervalo de tempo (TRUCOLO, 2016).

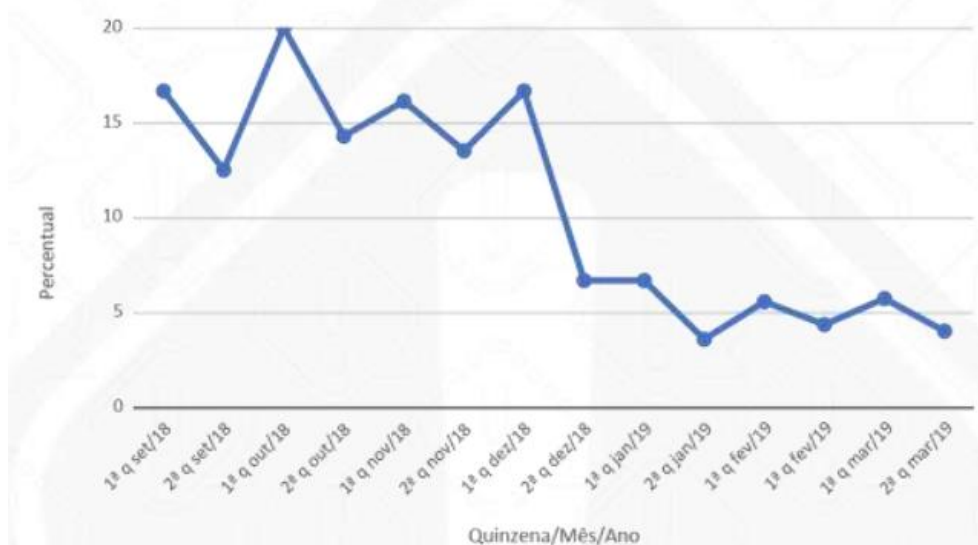
Para estabelecer direcionamentos futuros para produtos e serviços, empresas e

pesquisadores investem em especialistas de diversos setores e empregam metodologias específicas fundamentadas em evidências ou em diversos tipos de pesquisas, sendo que a metodologia de análise de tendência com fundamentação estatística se coloca como o principal critério para o desenvolvimento de confiança e credibilidade à pesquisa de tendências (CAMPOS; RECH, 2016).

O gráfico de tendência se trata de um gráfico simples, elaborado em coordenadas cartesianas, que descreve o comportamento de uma variável ao longo de um período determinado ou em função de outra variável de referência. Ele permite a identificação de tendências de comportamento, simplificando a visualização de eventos ou o entendimento do problema em estudo (LINS, 1993).

A Figura 10 apresenta um exemplo de gráfico de tendência. Nesse gráfico de tendência, tem-se representados os resultados da prevalência de quedas na instituição. No eixo vertical, está representado o percentual, enquanto, no eixo horizontal, temos as quinzenas correspondentes à aferição do indicador.

Figura 10 – Exemplo gráfico de tendência, apresentado prevalência de quedas.



Fonte: Da autora (2023).

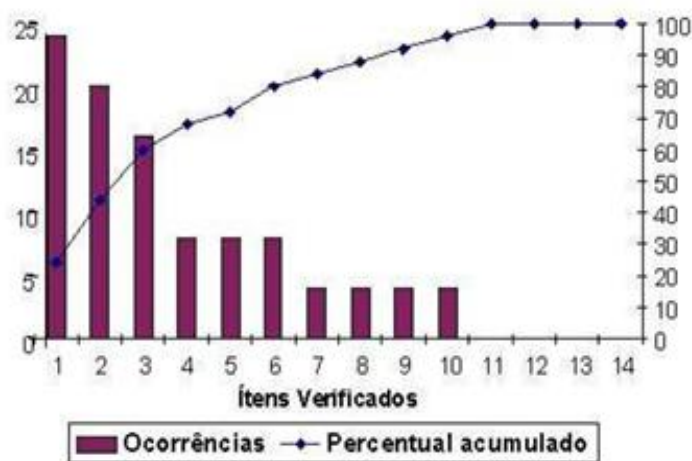
Law et al. (2008) utilizaram gráficos de tendência para determinar o comportamento de alguns defeitos de montagem na indústria automotiva.

2.2.4.2.6 Diagrama de Pareto

O diagrama foi inicialmente utilizado pelo economista italiano Vilfredo Pareto para avaliar a distribuição da riqueza em seu país. Este identificou que a maior parte da riqueza do país se concentrava nas mãos de uma pequena parcela da população. Baseando-se nesse estudo, Juran adequou o diagrama e concluiu que as melhorias mais representativas poderiam ser alcançadas se o enfoque fosse dado a “poucos problemas vitais” e, posteriormente, “nas poucas causas vitais” destes problemas. Emergiu então o conceito 80:20, que afirma que 80% dos problemas são ocasionados por 20% das possíveis razões. Assim, se tais razões forem extintas, a maior parte dos problemas também serão (GALIAZI; SANTOS, 2015).

O diagrama de Pareto, exemplificado na Figura 11, consiste então em um gráfico de barras verticais empregado na identificação de pontos críticos, responsáveis por grande parte dos efeitos em um problema. As categorias apresentadas no eixo horizontal do gráfico existem como uma distribuição de fatos válida que representa 100% das possíveis observações. O diagrama geralmente é estruturado em categorias para estimar frequências ou ocorrências, as quais estão representadas no eixo vertical.

Figura 11 – Exemplo de diagrama de Pareto.



Fonte: Galiazi; Santos (2015).

Como observado na Figura 11, o diagrama de Pareto ordena as frequências das ocorrências da maior para a menor, permitindo a ordenação dos problemas, apresentando ainda a curva de percentagens acumuladas. Se trata de uma das principais ferramentas na identificação de problemas, permitindo uma melhor visualização, confirmação dos resultados, comparação de antes e depois do problema e identificação de itens que são responsáveis pelos problemas,

permitindo eliminar de forma mais eficiente as causas. O diagrama de Pareto se diferencia do histograma pela ordenação das frequências de modo decrescente e pela combinação de um gráfico de linhas, que representa a porcentagem cumulativa das frequências apresentadas (ANDRADE et al., 2010).

Portanto, o diagrama de Pareto auxilia no direcionamento dos esforços para problemas realmente relevantes. De modo geral, serão alcançados melhores resultados se as ações forem aplicadas nas maiores barras do gráfico, do que se o trabalho for executado nas barras menores (WICHER et al., 2018).

Dias (2008) em um estudo de redução de defeitos de fabricação em uma indústria de alumínio utilizou o diagrama de Pareto para definir a causa mais frequente em relação aos materiais defeituosos. Isso também foi realizado por Ketan e Nassir (2016), porém para um determinado processo na produção de alumínio, de extrusão a quente. Como forma de representação gráfica do desempenho da linha de base de uma operação de fundição sob pressão por gravidade, Marques e Matthé (2017) também utilizaram o Pareto.

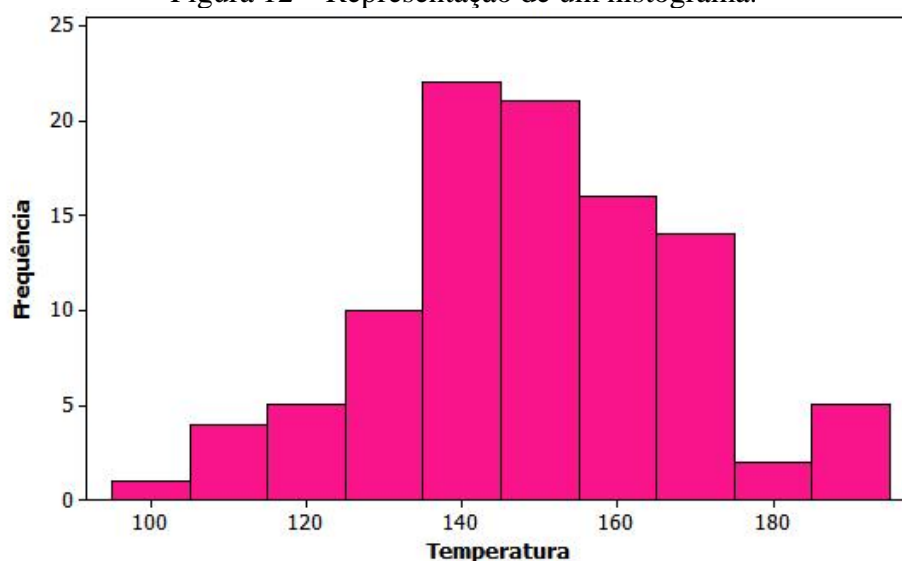
O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que mostra problemas com base na ordem do número de eventos. Após levantamento de dados do defeito de do tipo de defeito de uma produção por *benchmarking*, Kurnia, Jaqin e Purba (2021) representaram os resultados no diagrama.

Para mostrar os problemas com base na ordem do número de eventos, Kurnia, Jaqin e Manurung (2022) utilizaram dados obtidos de relatórios de folhas de verificação de defeitos e tipos de defeitos preenchidos por um especialista da produção, para formação do diagrama de Pareto.

2.2.4.2.7 Histograma

Um histograma é uma representação gráfica dos dados obtidos em uma análise, simplificando a comparação de suas frequências de ocorrência, como exemplificado na Figura 12.

Figura 12 – Representação de um histograma.



Fonte: Toledo (2020).

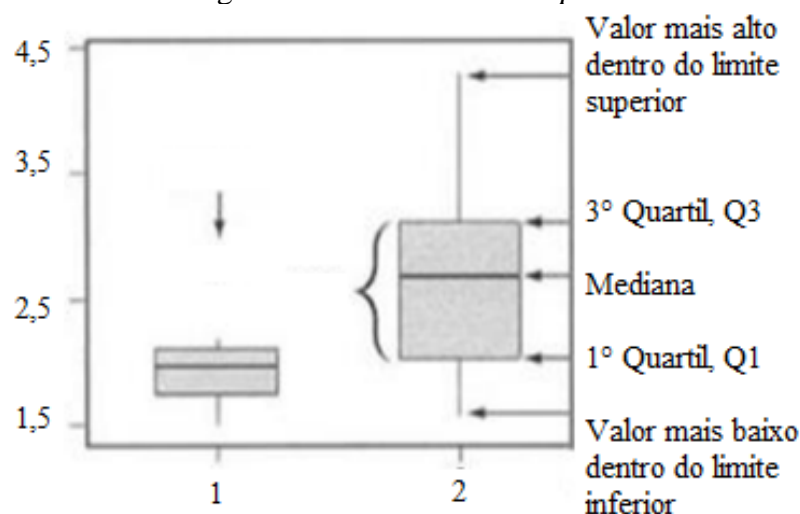
Trata-se de um gráfico de barras em que o eixo horizontal (eixo X), subdividido em diversos pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos para uma variável de interesse. Para cada um desses intervalos, é traçado um eixo vertical (eixo Y), cuja área deve ser proporcional ao número de observações na amostra cujos valores fazem parte do intervalo correspondente (PIZYBLSKI; FRANCISCO).

O histograma pode ser empregado para interpretar, de modo simples, uma grande quantidade de dados e visualizar padrões, para realizar previsões de desempenho do processo e reconhecer as diversas razões de um problema de qualidade. Trata-se de uma ferramenta relevante no planejamento e controle da qualidade, que auxilia no entendimento das ações preventivas e corretivas (SANTOS; CASAGRANDE, 2021).

Além disso, pelo histograma, como ilustrado na Figura 12, é possível identificar a distribuição dos dados, a localização do valor central e a dispersão dos dados em torno deste (PONTES, 2012). No estudo de Hadidi et al. (2017), ao avaliarem defeitos estéticos em instalações de perfis de alumínio, foram utilizados diversos histogramas para representar as quantidades de produtos e defeitos encontrados.

2.2.4.2.8 *Boxplot*

O gráfico *boxplot*, ou diagrama de caixa (Figura 13), consiste em uma caixa atravessada por uma linha, com representações que apresentam visualmente as características dos dados.

Figura 13 – Estrutura do *Boxplot*.

Fonte: Pinto Júnior (2015).

Tal gráfico possibilita a visualização da medida de tendência central, dispersão, simetria ou assimetria e *outliers* (SANTOS, 2018). Ele é composto pelo valor do primeiro quartil ou 25 percentis (Q1); do segundo quartil ou 50 percentis (Q2), que coincide com a mediana; e do terceiro quartil ou 75 percentis (Q3). Seus limites inferiores e superiores são definidos, respectivamente, por: $Q1 - 1,5(Q3 - Q1)$ e $Q3 + 1,5(Q3 - Q1)$, conforme apresentado na Figura 13 (QUEIROZ; LIMA, 2018).

O gráfico de *boxplot* é amplamente utilizado quando se tem por objetivo comparar dois ou mais conjuntos de dados, permitindo a visualização de diferenças comportamentais em relação a sua variabilidade (SILVA et al., 2014). Law et al. (2008) utilizaram *Boxplot* para visualização dessas diferenças comportamentais num processo de montagem em uma indústria automotiva, relacionando os efeitos do tamanho da fita, força de união e pressão de sopro na união elétrica em relação à precisão de colocação do substrato cerâmico, um dos procedimentos realizados na montagem automotiva.

2.2.4.2.8 Capacidade de processo

Faz menção à capacidade de obtenção de produtos, de acordo com especificações técnicas preestabelecidas e estimar a variabilidade. Um processo é entendido como capaz quando corresponde às especificações técnicas predeterminadas e incapaz quando os parâmetros obtidos estão além dos limites estabelecidos (FERNANDES et al., 2021).

O índice de capacidade disponibiliza uma estimativa do comportamento do processo diante das falhas. Cabe ressaltar que a análise de capacidade presume que o processo apresenta

distribuição normal e esteja sob controle estatístico, e essa última suposição implica que não pode haver causas especiais de variação operando sobre o processo (ANDRADE et al., 2018). Um processo pode ter suas amostras dentro de seus limites determinados, mas, apesar disso, se o conjunto amostral não corresponde às exigências do cliente, o processo é considerado incapaz. Para que seja possível estimar sua capacidade, é indispensável que o processo esteja sob controle. Para tal, são utilizados índices que representam o comportamento das amostras dispersas no gráfico de controle, chamados também de capacidade de processo (CALHEIROS, 2018).

Dois índices de capacidade são frequentemente utilizados como uma maneira formal para medir o grau de capacidade de um processo: o índice de capacidade (C_p) e o índice de capacidade unilateral (C_{pk}). Peinado; Graeml (2007), por seu turno, abordam que o C_p mede a folga existente entre os limites das especificações (dados pelo projeto) e os limites das especificações do processo (dados pelos limites dos gráficos de controle), sendo que o valor deve ser maior que um, quando C_p for inferior a um o processo será considerado incapaz. Por outro lado, o C_{pk} mede o potencial que o processo tem de apresentar resultados ruins frente aos limites superior e inferior de controle.

As equações para C_p e C_{pk} , trazidas por Costa (2018), podem ser visualizadas, respectivamente, nas Equações (6) e (7).

$$C_p = (LSE - LIE) / 6\sigma \quad (6)$$

$$C_{pk} = \text{mín} \{ (LSE - \mu) / 3\sigma, (\mu - LIE) / 3\sigma \} \quad (7)$$

Dadas essas equações, os limites LIE e LSE compreendem os limites de especificação inferior e superior, respectivamente, μ representa a média das amostras, e σ representa desvio padrão.

Para medir a capacidade do processo, o método apresentado é aplicado em diversos estudo, Ketan e Nassir (2016) aplicaram nas etapas de melhoria da capacidade do processo de extrusão a quente de alumínio, Law et al. (2008) no processo de melhoria de rendimento de montagem em uma indústria automotiva.

Com o desenvolvimento do fluxograma do processo estabelecendo os dados, prioridades, variações e capacidade é possível prosseguir para próxima etapa do DMAIC.

2.2.4.3 Analisar

Esta etapa visa entender a ocorrência dos problemas prioritários, ou seja, descobrir suas causas raízes e quantificá-las. Nesta fase, os dados previamente recolhidos são analisados com recurso a ferramentas qualitativas e estatísticas. As causas óbvias e não óbvias que afetam o resultado do processo devem ser identificadas e as fontes de variação no processo devem ser descobertas (SELVI; MAJUMDAR, 2014). Algumas ferramentas que auxiliam nessa etapa são: *Brainstorming*, Matriz esforço x impacto, Análise de causa raiz, Diagrama de Ishikawa, FMEA, Kaizen e Gerenciamento de rotina diária, abordados a seguir.

2.2.4.3.1 *Brainstorming*

Brainstorming (tempestade de ideias) é uma ferramenta empregada para levantamento de grande quantidade de ideias em um curto período e pode ser utilizada em diversas circunstâncias. Tal técnica contribui na busca de resoluções para os problemas. No início do processo, é indispensável que o grupo de participantes escolha um líder que possua condições e conhecimentos para coordenar a reunião, controlando o ritmo e auxiliando na manutenção de foco da equipe. A partir daí, são discutidas as possíveis causas para os problemas em questão (COSTA; GIANEI, 2019).

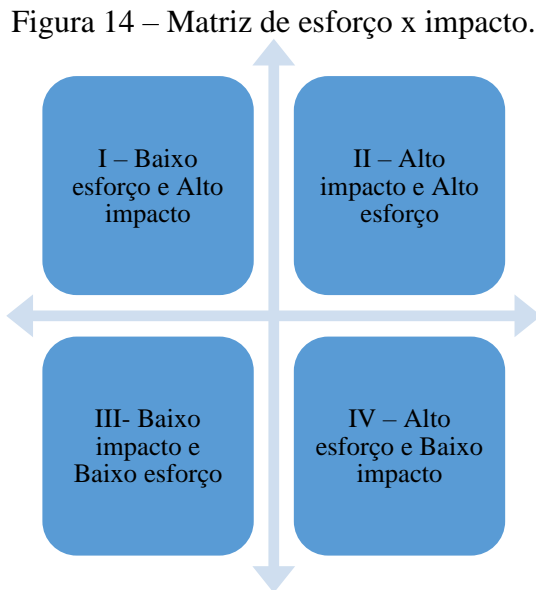
Existem duas metodologias eficientes para o desenvolvimento do *brainstorming*: (i) estruturado, quando cada participante tem o seu momento de sugerir ideias; (ii) não estruturado, quando todos os envolvidos do grupo sugerem ideias simultaneamente (LIMA; PAIVA, 2021).

Por meio desta ferramenta, é possível obter informações relevantes sobre um determinado assunto, com base na interação de diversas pessoas expondo opiniões de modo livre, sem que exista nenhuma oposição crítica das ideias uns dos outros, mas sempre orientadas ao enfoque do assunto para que sejam alcançados resultados na resolução dos problemas (AZEVEDO; SILVA; GOMES, 2018).

Dias (2008) aplicou a ferramenta *brainstorming* com todo pessoal técnico, para identificar as causas de defeitos na produção de uma indústria de alumínio. Para definir os principais problemas, as possíveis causas e manter os procedimentos adequados Hadidi et al. (2017) e Ketan e Nassir (2016) utilizaram *brainstorming*, sendo as informações encontradas fundamentais para as demais etapas.

2.2.4.3.2 Matrizes de esforço x impacto e priorização

A matriz de esforço x impacto é um diagrama elaborado com base no *brainstorming*, em que as ideias são assinaladas segundo o impacto que terão sobre o projeto ou a resolução de problemas e o empenho despendido para executá-las. Na Figura 14, apresenta-se um modelo de matriz de esforço x impacto.



Fonte: Adaptado de Coutinho (2019).

Deve-se focar inicialmente nas ideias que produzem maior impacto com o menor empenho. A identificação e a ordenação dos dados devem se dar segundo o esforço gasto em cada ação e o impacto que esta tem sobre o projeto ou o objetivo trabalhado, ou seja, listar as tarefas a serem realizadas e as distribuir na matriz levando em conta a energia ou empenho empregado e o resultado ou impacto retratado para cada ação (SANTANA et al., 2015).

Coutinho (2019) detalha as quatro lacunas do diagrama em questão, da seguinte forma:

- baixo esforço e alto impacto (I): as atividades deste quadrante carecem de serem priorizadas, em virtude de ocasionarem ótimos efeitos para a empresa quando executadas, pois, são muito eficazes e tem um grande impacto;
- alto esforço e alto impacto (II): as atividades desse quadrante trazem resultados bastante satisfatórios para a empresa, quando realizada. No entanto, tais atividades demandam bastante tempo para serem executadas, ou a quantia investida para a sua realização é muito expressiva;

- baixo esforço e baixo impacto (III): como as atividades desse quadrante exigem pouco empenho e as consequências são mínimas, é conveniente averiguar se a ação é de fato necessária. Caso sejam realmente indispensáveis, podem ser tarefas realizadas paralelamente a outras atividades;
- alto esforço e baixo impacto (IV): é aconselhável evitar a execução dessas atividades, pelo fato de não retornarem efeitos relevantes para a corporação, e exigirem um empenho muito alto.

A principal vantagem desta técnica é permitir a identificação das oportunidades de ganhos rápidos, no sentido de maximizar a produtividade e, deste modo, possibilitar a priorização das ações que promovem maiores resultados com menor esforço (SANTANA et al., 2015).

Kurnia, Jaqin e Manurung (2022), utilizando dados de relatório de produção e defeitos em uma máquina de tecelagem de fita elástica, desenvolveram a matriz de priorização para verificar a direção da melhoria. Para otimizar os parâmetros de coleta de fita no processo de montagem de uma indústria automotiva Law et al. (2008) aplicaram o método dessa matriz para priorizar as ações de alto impacto e menor esforço.

Já a matriz de priorização é uma ferramenta que ajuda a ordenar projetos, processos, e afins, identificando o que é mais importante com base em critérios claros e relevantes. Normalmente, uma matriz de priorização assume o formato de tabela, gráfico ou quadrante. Seu principal benefício é acelerar a obtenção de resultados, justamente por dar prioridade às iniciativas certas, de maior relevância à organização. Além disso, reduz o tempo de planejando ganhando tempo para a execução.

Portanto, segundo Piechnicki (2014), a matriz de priorização é uma das técnicas destinadas à priorização ou estabelecimento de uma sequência prioritária das alternativas disponíveis, baseadas em um ou mais critérios. Ela pode ser aplicada para auxiliar a classificar ou selecionar as melhores alternativas, transformando as opiniões em dados numéricos que facilitam a análise em um processo decisório. E para construir a matriz devem-se listar todos os critérios e alternativas que vão conduzir a melhor escolha. Cada item deve ser comparado com todos os critérios, estabelecendo um valor numérico com a proporção que cada alternativa representa. Este valor pode ser multiplicado pelo peso que cada critério possui dentro do contexto em análise. Desta forma, é possível somar as alternativas, ponderadas ou não, determinando a alternativa com maior pontuação, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Matriz de Priorização.

		CRITÉRIOS				TOTAIS
		<i>Critério 01</i>	<i>Critério 02</i>	<i>Critério 03</i>	...	
ITENS		x 2 =	x 1 =	x 3 =	x 5 =	
	Item 01					
Item 02						
Item 03						
Item 04						
...						

Fonte: Piechnicki (2014)

Uma alternativa relevante ao uso dessa matriz, é para verificar os conhecimentos e práticas da equipe e organizar treinamentos para expandir as técnicas necessárias, pois segundo Araújo et al. (2018), a entrega de conhecimento está relacionada ao entendimento dos operadores e técnicos sobre como executar corretamente suas funções. Quando se trata de problemas que dependem da habilidade operacional ou técnica, a entrega de conhecimento se torna a mais importante para se atingir os resultados. O conhecimento pode ser transmitido de diversas formas, como treinamentos técnicos junto com fornecedores das máquinas, treinamentos em sala ou “*on the job*” entre técnicos e operadores, reuniões entre turnos ou semanais para tratar os problemas da linha, e em alguns casos, devido o número e a complexidade das ações é preciso criar uma matriz de priorização. O uso da matriz de priorização em processos, pode ser utilizado para verificar a relevância de um problema, causa ou efeito dentre as operações. Silva et al. (2017b), após a aplicação da matriz de priorização, puderam constatar que de fato o problema levantado apresentava grande relevância no contexto da operação estudada.

Para agrupar tipos semelhantes de defeitos em uma mesma classe/categoria de defeitos, Marques e Matthé (2017) aplicaram a matriz de priorização, obtiveram com a matriz uma

sequência prioritária, permitindo à equipe do projeto concluir que mais de 50% dos defeitos ocorridos nas duas semanas diziam respeito “poros” e “erros de preenchimento”, que são conhecidos por terem sua origem na operação de fundição sob pressão por gravidade. Além disso, os padrões observados para os defeitos de fundição sob pressão nas semanas 1 e 2 diferem; por exemplo, “erros de preenchimento” foram muito mais comuns na semana 1 do que na semana 2; pelo contrário, “encolhimentos de solidificação” e “poros” ocorreram com mais frequência na segunda semana. Também foi possível concluir que os erros de retificação, gerados nas operações de retificação, foram a classe de defeitos mais relevante na semana 2; no entanto, sua incidência na primeira semana é muito pequena. Os dados também revelaram que a maioria dos defeitos de retificação provavelmente são gerados nas operações de retificação manual, que são resultado do processo de preenchimento da matriz.

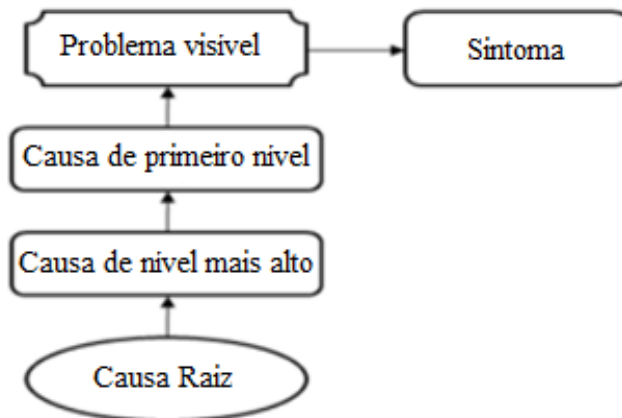
2.2.4.3.3 Análise de causa raiz - RCA

A Análise de Causa Raiz consiste em qualquer processo orientado por evidências que, pelo menos, esclarece razões desconhecidas de problemas anteriores e, deste modo, apresenta oportunidades de melhorias permanentes (MUNIZ et al., 2016).

Trata-se de uma metodologia desenvolvida visando identificar não somente o que e como um evento se deu, mas ainda porque ele ocorreu, possibilitando a investigação de suas causas raízes. Ademais, a classificação das causas permite identificar onde existe a possibilidade de intervenção responsável, de modo a impossibilitar a recorrência do problema (PRIORI; SAURIN, 2020).

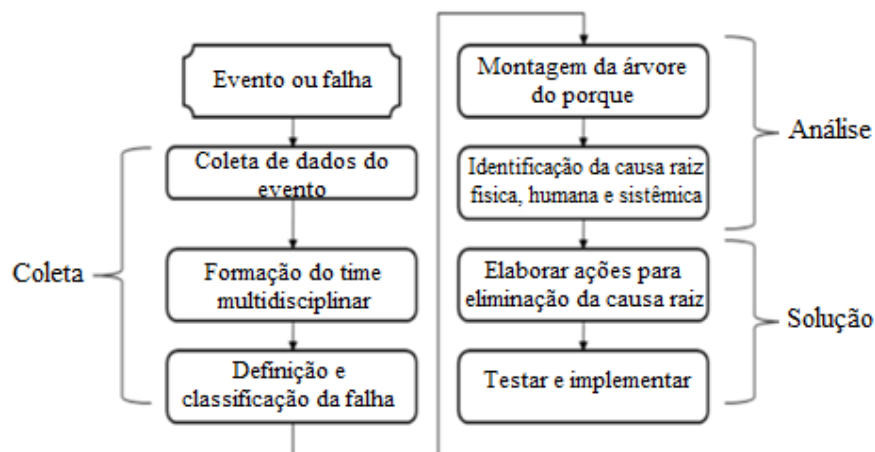
A análise de causa raiz da falha é uma investigação estruturada que busca identificar a verdadeira causa do problema ou da falha, e as ações necessárias para eliminá-las. A Figura 16 apresenta o conceito do RCA na identificação da causa raiz ao nível de análise mais elevada. Esse nível da análise é responsável pela identificação da causa raiz, ou seja, quanto mais elevado for o nível de identificação do modo de falha, mais próximo o analista está da causa raiz da falha. É necessário o perfeito entendimento de cada passo na execução do RCA, pois eles são extremamente importantes para que a análise de falha atenda ao propósito estabelecido, identificar a causa raiz. Pode-se, a partir da Figura 17, subdividir os passos do RCA em três fases: coleta, análise e solução (SCHMITT; LIMA, 2015).

Figura 16 – Nível de análise da causa raiz.



Fonte: Schmitt e Lima (2015).

Figura 17 – Passos do RCA.



Fonte: Schmitt e Lima (2015).

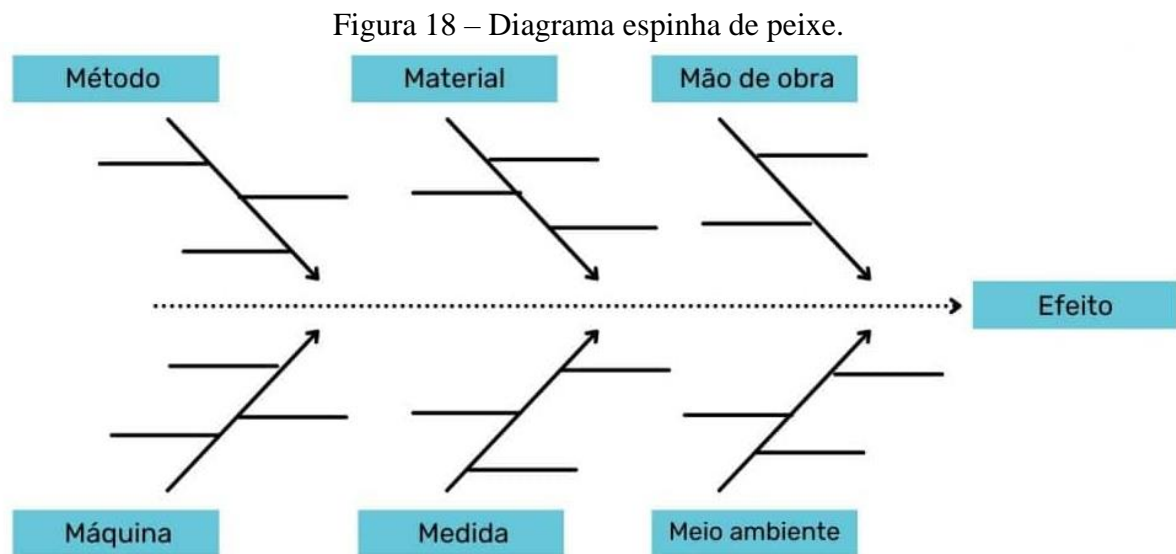
2.2.4.3.4 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Causa-efeito, conhecido como “Diagrama de Ishikawa”, devido ao seu criador, ou diagrama de espinha de peixe, em razão de sua forma, é uma ferramenta de qualidade empregada como apoio para relacionar um resultado indesejado de um processo com suas principais razões. As espinhas em si representam os fatores ou razões, que podem ser segmentadas em espinhas pequenas, médias e grandes. A espinha dorsal simboliza o fluxo básico de dados. O principal propósito da ferramenta é proporcionar uma análise mais sólida e estruturada das causas de efeito e, deste modo, simplificar a solução dos problemas (WICHER et al., 2018).

O procedimento é executado com uma realização de *brainstorming*, permitindo o levantamento das razões, direcionado pela divisão e ramificação em níveis de falha ou categorias de falhas, e a frente da espinha de peixe é apresentado o efeito. Na execução do

brainstorming, as espinhas são preenchidas de modo organizado, como um mapa para identificação da principal causa do problema para solucioná-la (PEREIRA, 2019).

O diagrama de Ishikawa pode ser construído utilizando o conceito de 6M (materiais, métodos, mão de obra, máquinas, meio ambiente e medidas), auxiliando na identificação das causas, por meio de uma estrutura inicial lógica (KASSAOKA et al., 2019), de acordo com a Figura 18.



Fonte: Kataguire (2022).

As categorias 6M são descritas, segundo Moraes et al. (2021), como apresentado a seguir.

- **Método:** mostra como a forma de executar um trabalho influencia no problema. Deve-se analisar o quanto a forma de trabalhar influencia no problema, por exemplo, se houve planejamento, se foi executado conforme o planejado e se as ferramentas certas foram utilizadas.
- **Máquina:** mostra como os equipamentos utilizados no processo influenciam o problema. Aqui deve descrever as causas originadas de falhas no maquinário usado durante o processo, como funcionamento incorreto, falha mecânica, entre outras.
- **Medida:** essa categoria abrange como as métricas utilizadas para medir o desenvolvimento da atividade influenciam o problema, sendo essas as métricas utilizadas para medir, monitorar e controlar o processo.

- Meio ambiente: nesta categoria, deve-se analisar como o meio em que a atividade está sendo desenvolvida influencia o problema. Analisa-se como o ambiente interno e o ambiente externo da empresa podem influenciar a ocorrência dos problemas, como poluição, calor, falta de espaço, *layout*, entre outras.
- Material: descreve as possíveis causas devido a matéria-prima (material) utilizado, como as propriedades do material, tamanho incorreto, vencido, fora da temperatura ideal, entre outras.
- Mão de obra: como as pessoas envolvidas na atividade influenciam o problema, levando em consideração pressa, imprudência, falta de qualificação, falta de competência, outros.

Hadidi et al. (2017) e Ketan e Nassir (2016) utilizaram o diagrama de espinha de peixe para os principais problemas que ocorrem nos processos conforme sugerido em *brainstormig* realizado anteriormente com a equipe técnica, o primeiro em relação a defeitos estéticos em instalações de perfis de alumínio, e o segundo no processo de extrusão a quente de alumínio.

Partindo das consequências ou problemas que surgiram durante o processo, Kurnia, Jaqin e Perba (2021) e Kurnia, Jaqin e Manurung (2022) usaram o diagrama espinha de peixe para verificação de possíveis causas. No estudo de Law et al. (2008), esse diagrama foi constituído para testar a possível causa raiz da colagem mal colocada em termos de medição, máquina, método e material, no processo de montagem em uma indústria automotiva.

2.2.4.3.5 TPM

A Manutenção Produtiva Total (TPM) é um programa de manutenção que emprega uma estratégia para manutenção de instalações e equipamentos em seu nível ideal de eficácia operacional. Principalmente sua abordagem vincula-se ao conceito Lean e visa redução de desperdício devido a maquinários mal-conservados e fornece insumos de valor agregado por meio de garantir que o maquinário permaneça em operação produtiva por períodos de tempo mais longos. Procedimentos de manutenção e os sistemas são projetados para serem mais fáceis de realizar e isso é conseguido através da máquina redesenho e modificações a fim de facilitar este processo (THOMAS; JONES; VIDALES, 2006).

A TPM é também classificada como uma estratégia de manufatura de classe mundial que se concentra na manutenção preventiva, além de ser considerado e categorizado como Iniciativas de Melhoria Contínua (IC) porque está relacionado a programas de gestão de

qualidade e certificações de qualidade (UPADHYAYA; BHAT, 2016). Seu maior objetivo é eliminar a variação que existe nos processos produtivos que causaram: a parada, o defeito, a quebra não planejados, buscando atingir o limite de zero defeitos e acidentes e aproveitar a “capacidade oculta” de equipamentos considerados não confiáveis e ineficazes (SOUSA et al., 2020).

De acordo com Silveira (2016) a TPM tem em sua base um sistema de oito pilares:

- Manutenção Autônoma;
- Manutenção Planejada;
- Melhorias Específicas;
- Educação e Treinamento;
- Manutenção da Qualidade;
- Controle Inicial;
- TPM Administrativo;
- Segurança, Saúde e Meio Ambiente.

Segundo Rodrigues (2017), a manutenção autônoma uma das fases principais dentro do processo TPM, onde os operadores são treinados para supervisionarem e atuarem como mantenedores em primeiro nível. Os mantenedores específicos são chamados quando os operadores de primeiro nível não conseguem solucionar o problema. Assim, cada operador assume suas atribuições de modo que tanto a manutenção preventiva como a de rotina estejam constantemente em ação, sendo suas principais atividades:

- operação correta de máquinas e equipamentos;
- aplicação dos oito s;
- registro diário das ocorrências e ações;
- inspeção autônoma;
- monitoração com base nos seguintes sentidos humanos: visão, audição, olfato e tato;
- lubrificação;
- elaboração de padrões (procedimentos);
- execução de regulagens simples;
- execução de reparos simples;
- execução de testes simples;

- aplicação de manutenção preventiva simples;
- preparação simples (*set-up*);
- participação em treinamentos e em grupos de trabalho.

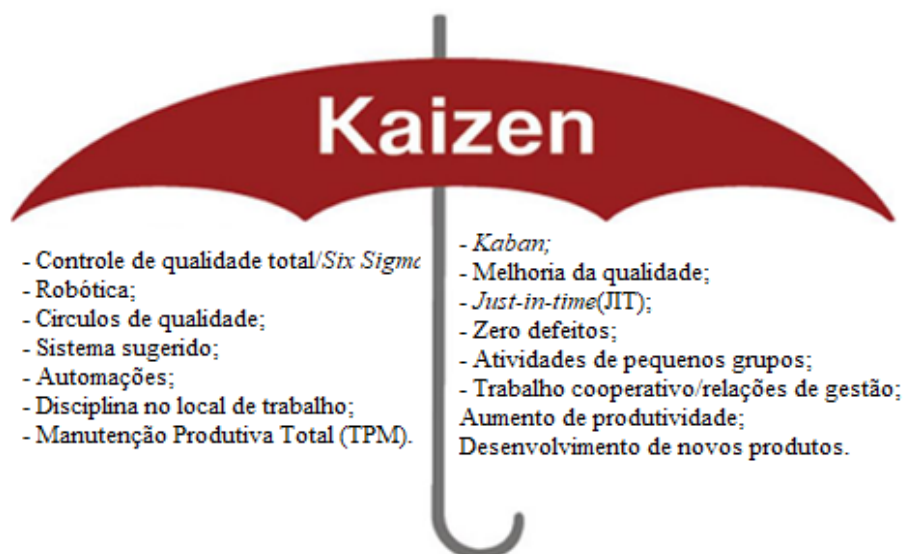
Nakajima (1988), Takahashi e Osada (1990), Raouf e Ben-Daya (1995), Van der Wal e Lynn (2002), Garg e Deshmukh (2006) e Sousa (2017) enumeram e explicam 6 grandes fontes de perdas: quebra de equipamento, *setup* longo, pequenas paradas, redução na velocidade de trabalho, produção e retrabalho defeituosos e *start-up*. Singh e Ahuja (2015) desenvolveram uma pesquisa para avaliar as contribuições do TPM para melhorar o desempenho na indústria de manufatura. Os autores concluíram que as iniciativas proativas de TPM poderiam melhorar a sinergia entre o departamento de manutenção e o restante das funções de fabricação, trazendo benefícios como eliminação de defeitos, maior confiabilidade do processo e economia de custos.

Küçük e Korkut (2016) investigaram as condições gerais das instalações de TPM em 77 fabricantes, o estudo mostrou que 75,3% das empresas pesquisadas possuíam departamento de manutenção, mesmo não estando presente no organograma, e 53,2% dos departamentos de manutenção eram bastante desenvolvidos. Entre as organizações estudadas, aproximadamente 90% não possuem o TPM implantado e apenas 10% das empresas utilizam o TPM. Das empresas que não possuem TPM, 19,5% consideram a implementação de TPM no futuro, enquanto 22,1% não têm conhecimento de TPM. Bataineh et al. (2019) desenvolveram um esquema de 13 etapas para melhorar a eficiência da produção do equipamento, facilitando a implementação dos princípios fundamentais da manutenção produtiva total em uma empresa de bebidas. A abordagem proposta provou ser eficaz, pois aumentou a eficiência geral do equipamento em 62,6% em nove meses e outras melhorias indiretas.

2.2.4.3.6 Kaizen

Imai (1994) afirmou que “Kaizen é um guarda-chuva que abrange todas as técnicas de melhoria, unindo-as de maneira harmoniosa para tirar o máximo proveito do que cada uma oferece”, como ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Guarda-chuva Kaizen.



Fonte: Imai (1994).

Kaizen se trata da combinação de duas palavras japonesas, kai e zen, e tem como significado, de forma geral, “Mude para Melhor”. O termo relaciona dois conceitos: kai (mudança) e zen (melhoria), que são traduzidos como “Melhoria Contínua”. Desta forma, a palavra kaizen significa um processo de melhoria contínua incremental da metodologia padrão de trabalho, em que cada colaborador, deste a alta administração, gerentes e demais funcionários, possui a oportunidade de somar no processo de melhoria (BASSI et al., 2020).

O número de ferramentas da qualidade utilizadas no processo Kaizen não deve restringir a criatividade, visto que, é possível empregar tantas ferramentas quantas forem necessárias para o desenvolvimento de um projeto específico. Todos os funcionários devem observar os procedimentos determinados, utilizar materiais e equipamentos de modo adequado, se atentar aos problemas de qualidade e relatar erros, defeitos e desperdícios, sugerir ações para minimizar os erros ou problemas de qualidade e contribuir no treinamento de novos colaboradores (FRANKEN et al., 2021).

De acordo com Santos (2021), o Kaizen se caracteriza por dez princípios, sendo estes:

1. renunciar às ideias fixas, rejeitar o estado atual das coisas;
2. em vez de justificar o que não pode ser feito, refletir como fazer;
3. executar imediatamente as boas propostas de melhoria;
4. não buscar a perfeição, ganhar 60% de imediato;
5. corrigir o erro de imediato, no local;
6. buscar por ideias na dificuldade;

7. procurar a causa real, respeitar os “5 Porquês?” e buscar, posteriormente, a solução;
8. considerar as ideias de 10 pessoas em vez de esperar uma ideia genial de uma pessoa;
9. experimentar e depois validar;
10. a melhoria é infinita.

Essa ferramenta é utilizada para diversas áreas, com objetivo de melhoria contínua e resultados satisfatórios para alcance das metas pré-determinadas. Al-shehhi e Jamaludin (2017), utilizando o método Kaizen para otimização do processo de vedação catódica em uma planta de produção de alumínio, atingiram as suas metas no quinto dia de aplicação, os resultados preliminares mostraram que a planta foi capaz de avançar em direção à sua meta produzindo 54 blocos de cátodo por dia. A meta era produzir de 44 a 56 blocos/dia. A taxa de rejeição foi de 0,7% com meta de 1,5% a 0,5% e por último a disponibilidade da planta ficou em 86% com meta de 80% a 90%.

2.2.4.3.7 Gerenciamento de rotina diária

O Gerenciamento de Rotina Diária (GRD) se trata de uma ação que direciona, controla e orienta as atividades cotidianas em nível operacional, instituindo condutas de gestão e de resolução de problemas para assegurar a execução dos processos. O GRD visa eficiência organizacional, mediante observância aos padrões de trabalho, para impedir alterações ou mudanças que comprometam os níveis de qualidade predeterminados. A aplicação das técnicas de gerenciamento de rotina permite às organizações avaliar e adequar seus processos internos e custos, ampliando o valor agregado do produto ou serviço oferecido, e alcançando novos níveis de competitividade (GENNARI, 2021).

Esta ferramenta pode ser definida ainda como uma atividade de monitoramento diário para manter e aperfeiçoar os padrões de qualidade, produtividade e controle dos processos, por responsabilidade dos colaboradores e buscando a eficiência organizacional por meio da supervisão das rotinas estabelecidas (ASSIS; SERVARE JÚNIOR, 2021).

Um estudo realizado por Moraes (2019) utilizando o método de gestão da rotina, com o objetivo de alcançar resultados de acordo com as metas estabelecidas, apresentaram resultados que evidenciam que a gestão da rotina obteve excelentes resultados no indicador analisado, com ganhos de performance acima das expectativas. O mesmo autor cita que, além dos resultados, foi possível observar a melhoria do ambiente organizacional, que obteve melhora no clima, melhora na padronização e com resultados sob controle, o que impactou inclusive na relação

pessoal e profissional dos colaboradores, no envolvimento e sinergia com os problemas da empresa. Portanto, gerenciar a rotina diária auxilia no cumprimento das metas para atingir o resultado esperado.

Em seguida às avaliações das causas raiz, determinações de variáveis e gerenciamento de rotina, tem-se o necessário para a etapa de implementação da metodologia DMAIC.

2.2.4.4 Implementar

Esta etapa visa gerar ideias, desenhar planos de melhoria, realizar projetos-piloto para afinar o processo e implementá-los em escala real. É através da análise dos resultados obtidos durante a fase Definir, Medir e Analisar que esta fase está apta a propor mudanças e melhorias necessárias (LYNCH; BERTOLINO; CLOUTIER, 2003; SELVI; MAJUMDAR, 2014). Para isso, pode ser usado como fundamento a ferramenta 5W2H, abordada a seguir.

2.2.4.4.1 5W2H

O 5W2H é assim denominado em razão das palavras de origem inglesa *What*, *When*, *Why*, *Where*, *Who* e *How* e a expressão *How Much*, que traduzindo significa: O quê, Quando, Por quê, Onde, Quem, Como e Quanto, respectivamente. Ela é empregada em razão de sua compreensão e aplicação simples, que consiste em responder às 7 perguntas de forma que todos os pontos básicos e essenciais de um planejamento sejam avaliados (OLIVEIRA, 2021b). Um exemplo de plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Plano de ação 5W2H.

<i>What?</i>	O problema a ser resolvido
<i>Who?</i>	O responsável por executar a ação
<i>When?</i>	Período proposto
<i>Where?</i>	Ambientes de trabalho
<i>Why?</i>	Motivação
<i>How?</i>	Metodologias a serem empregadas
<i>How Much?</i>	Custos relacionados à resolução do problema

Fonte: Adaptado de Moreira (2022).

Assim, 5W2H se trata de uma metodologia altamente versátil e capaz de atuar como suporte na gestão de processos em qualquer tipo de organização, independente do ramo. Ela disponibiliza de modo simples informações básicas e indispensáveis, bem definidas, referentes aos problemas encontrados, permitindo a instituição de um plano de ação, contribuindo para a melhoria contínua da produção (MOREIRA, 2022).

Hadidi et al. (2017), que avaliaram no seu estudo defeitos estéticos em instalações de perfis de alumínio, utilizaram essa metodologia como pano de ação para demonstração da melhoria aplicada onde a qualidade foi aplicada. Para as propostas de melhorias para redução de defeitos de uma produção, no estudo de Kurnia, Jaqin e Purba (2021), foi utilizando o método 5W2H, realizadas durante uma reunião com a presença de 11 pareceres de especialistas desde o nível de liderança até o diretor presidente, e os resultados foram encaminhados para planos de melhoria. Kurnia, Jaqin e Manurung (2022) também aplicaram o método no processo de melhoria da qualidade de um produto na indústria têxtil.

2.2.4.5 Controlar

Para Feigenbaum (2004), o controle na indústria se trata de um processo de atribuição de responsabilidade e autoridade à atividade gerencial, apesar de conservar meios para assegurar resultados satisfatórios. De acordo com este autor, frequentemente existem quatro fases para o controle do processo: a) estabelecimento de padrões: determinação dos padrões exigidos para custo, desempenho, segurança e confiabilidade na qualidade de um produto; b) avaliação da conformidade: confrontação da conformidade do produto fabricado, ou serviço oferecido, com esses padrões; c) ação quando necessário: correção dos problemas e de suas causas ao longo de toda série de fatores relacionados com *marketing*, projeto, engenharia, produção e manutenção, que exercem influência sobre a satisfação do cliente; e d) planejamento de melhorias: desenvolvimento de esforço contínuo no sentido de aperfeiçoar padrões de custo, desempenho, segurança e confiabilidade.

No atual mundo globalizado, um controle eficiente é o componente principal de um gerenciamento de sucesso. Falhas nesse controle podem causar incrementos de custo e quedas na receita das empresas. Ademais, o controle ainda tem sido apresentado como o principal fator falho no desenvolvimento da responsabilidade, da segurança e no aumento de reclamações, que somaram novas dimensões aos problemas de gerenciamento (SANTOS; VALENTINA, 2015).

Romagnoli e Palazoglu (2012) entendem o controle do processo como um conjunto de ações pensadas e desenvolvidas com o propósito de elucidar o processo em estudo. O

conhecimento deste relaciona a obtenção de informações sobre ele e a definição de suas tendências. É necessário o aprendizado da medição do processo de trabalho enquanto este ainda está em andamento, não aguardando até que um produto tangível surja para então dar enfoque a este. As ferramentas de qualidade se trata de aparatos aplicados, visando elucidar o processo, permitindo a identificação de pontos falhos e exercer o controle deste. Abaixo são apresentados alguns dos métodos de controle utilizados (Quadro 5).

Quadro 5 – Métodos de controle.

Ferramenta	Conceito	Quando usá-la
Diagramas SIPOC	SIPOC corresponde a fornecedor, entrada, processo, saídas e cliente e tem como objetivo esclarecer melhor as etapas do processo	Ferramenta visual para documentar um processo do início ao fim, antes da implementação.
Mapas de Processo BPMN (<i>Business Process Modeling Notation</i>)	Representação gráfica (são ícones), sendo uma linguagem, uma forma de simbolizar o fluxo de um processo	Por meio de fluxograma, pode identificar qual o processo ideal, sem erros ou exceções
Diagramas UML	UML é uma linguagem que define uma série de artefatos que auxilia na modelagem e documentação dos sistemas orientados a objetos	Ideal para mapear a construção de <i>software</i> . No entanto, não é tão útil para a diagramação de processos
VSM (Mapeamento do Fluxo de Valor)	Método de fluxograma	Quando for necessário agilizar um processo ineficiente
Modelo IPO (entrada-processo-saída)	Descrever a estrutura de um programa de processamento de informação ou outro processo	Para criar mapas de processos
5W2H	Perguntas fundamentais processo: <i>What?</i> (O quê?) <i>When?</i> (Quando?) <i>Who?</i> (Quem?) <i>Where?</i> (Onde?) <i>Why?</i> (Por quê?) <i>How?</i> (Como?) <i>How much?</i> (Quanto custa?)	Descobrir a causa raiz de um problema
Matriz de Prioridade GUT (Gravidade, Urgência e Tendência)	Definir processos demandam mais atenção dentro das estratégias da organização	Para fornecer uma direção clara sobre quais questões são mais urgentes
5S	Corresponde a utilizar, organizar, limpar, padronizar e disciplinar	Para melhoria contínua, com o objetivo de eliminar as desconformidades nos processos, buscando qualidade
PDCA	Método gerencial de tomada de decisões	Visa melhoria contínua, consistindo em planejar, executar, verificar e corrigir.
<i>Business Process Management</i>	Metodologia gerencial em etapas	Sustentar continuamente o planejamento estratégico, em apoio às atividades empresariais com visão no cliente.

Fonte: Adaptado Jorge e Miyake (2015).

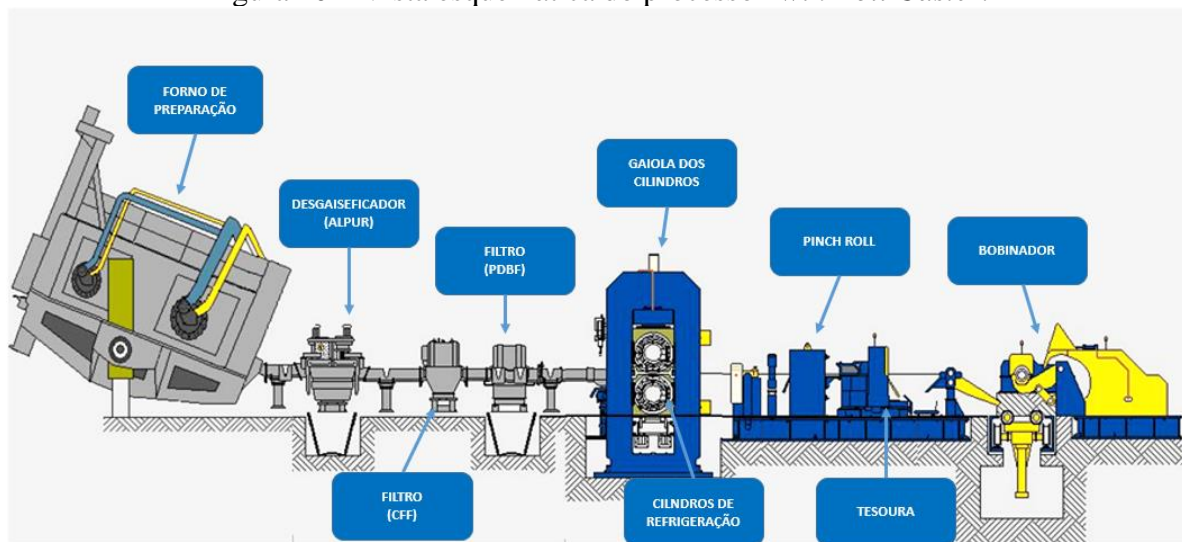
Quando a empresa não realiza investimentos no controle, pode ocorrer em uma conjuntura de falta de procedimentos, gargalos não identificados, dificuldades na atribuição de responsabilidades, forças-tarefa mal estabelecidas, informações imprecisas, desperdício de recursos humanos e materiais, falhas de comunicação, entre outros problemas (JORGE; MIYAKE, 2015).

2.3 Estudo de Caso

Este trabalho relata o estudo de caso na fundição do alumínio primário, buscando reduzir a quantidade de rolos *caster* fora de conformidade, através da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*.

A fundição é a área responsável por fabricar produtos fundidos, como lingotes, tarugos, placas e rolos *caster*, provenientes do alumínio primário e de sucata fundida. O processo de estudo é denominado *Twin Roll Caster*, uma fundição, na qual são produzidos os rolos *caster*, conforme processo ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Vista esquemática do processo *Twin Roll Caster*.



Fonte: Adaptado de Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

O processamento, ilustrado na Figura 20, pode ser dividido em duas áreas: fornos e máquinas. Na área dos fornos, tem-se o recebimento dos insumos necessários para preparação das ligas que irão escoar, na etapa conhecida como vazamento. O alumínio líquido pode ter origem do processo *Hall-Héroult* ou do setor de fusão, em que são fundidas as sucatas de

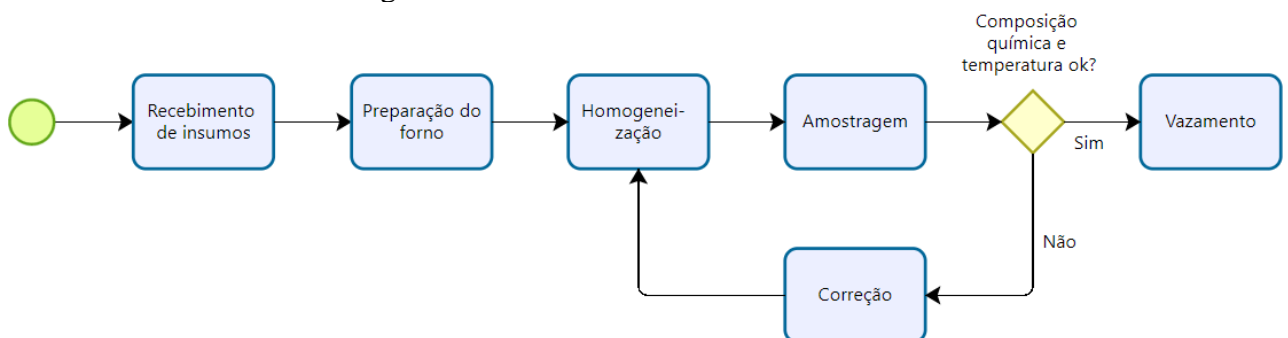
alumínio. Também podem ser realizadas misturas (*blends*) com sucata sólida de alumínio, provenientes do setor de laminação, de fornecedores externos ou do próprio processo.

Antes do carregamento de metal nos fornos, é realizada a inspeção da camada de óxido na superfície do cadinho que transporta o alumínio líquido para a fundição, aferição da temperatura e da composição química, na qual são identificados os teores de Fe e Si (% massa) e outros elementos químicos que podem estar presentes.

Após o carregamento, são adicionadas as ante ligas para correção das ligas de acordo com a especificação do produto, dentre elas tem-se: silício, ferro, cobre, manganês, magnésio, cromo, zinco, cálcio, titânio, entre outras. A mistura é então homogeneizada com auxílio de rodos metálicos acoplados em empilhadeiras.

Com o resultado da amostragem de composição química e aferição da temperatura, o produto do forno é liberado para as próximas etapas (o vazamento), como representado na Figura 21.

Figura 21 – Processo na área dos fornos.



Fonte: Da autora (2022).

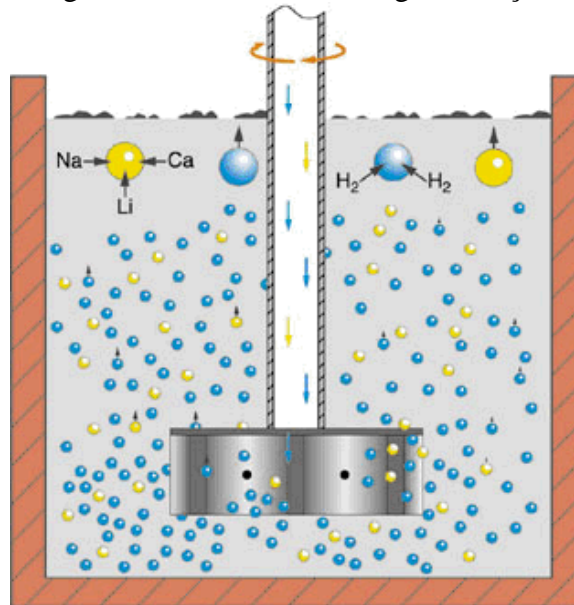
Cabe mencionar que a quantificação dos elementos químicos em ligas de alumínio se dá através da técnica espectrometria de emissão ótica. A amostra de alumínio é submetida a uma centelha elétrica, emitindo fótons característicos para cada elemento. A quantificação deles decorre da taxa de emissão de fótons pela amostra, medida em termos de intensidade (PEIXOTO,2007).

Para cada máquina, são dispostos dois fornos. O *TRC* é um processo contínuo, portanto enquanto um forno inclina-se para vazamento da liga, no outro é preparada a próxima carga de vazamento. A área das máquinas é composta por seis máquinas *caster*, sendo o local em que ocorre a solidificação e laminação das ligas metálicas.

A liga proveniente dos fornos escoam nas calhas de drenagem, como mostrado na Figura 20, até chegar ao Alpur, ilustrado na Figura 22, ocorrendo a desgaseificação e a remoção de

metais alcalinos e impurezas. O Alpur é um cadinho com rotores acoplados em sua tampa, que injetam o gás inerte na liga, as bolhas de gás capturam e arrastam esses elementos (por exemplo, Ca, Na e Li) até a superfície do banho.

Figura 22 – Processo de degaseificação.



Fonte: Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

Esse processo, ilustrado na Figura 22, evita a formação de poros e inclusões no metal solidificado, que podem levar à formação de segregações, furos, porosidades e bolhas, os quais causam rompimento da chapa nos processos de laminação. Logo após ao processo de degaseificação é realizado o teste de bolhas, que consiste em contar, de forma visual, a quantidade de bolhas que são formadas no metal em determinado tempo.

Após a degaseificação, a liga metálica é direcionada até o filtro de esponja cerâmica, denominado CFF (*Foam Filter Filtration*), que consiste em um cadinho com uma placa cerâmica porosa pela qual a liga metálica atravessa e as impurezas são retidas nos poros da placa. Trata-se de uma filtração de pequena profundidade e baixa eficiência, retirando apenas os materiais mais grosseiros.

O segundo processo de filtração ocorre no PDBF (*Deep Bed Filter System*), consiste em uma grelha composta por camadas de esferas e gravilha. A liga escoar através do filtro e as impurezas são retidas pela carga, sendo uma filtração de alta profundidade e eficiência.

Após o processo de degaseificação e filtração, a liga se distribui em uma bacia que possui a largura da chapa. A bacia possui controle de nível e alta capacidade isolante, que evita a perda de calor da liga para o ambiente. Ela se conecta ao injetor, que injeta o material líquido entre os cilindros de refrigeração, como ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Solidificação do metal entre os cilindros de refrigeração.

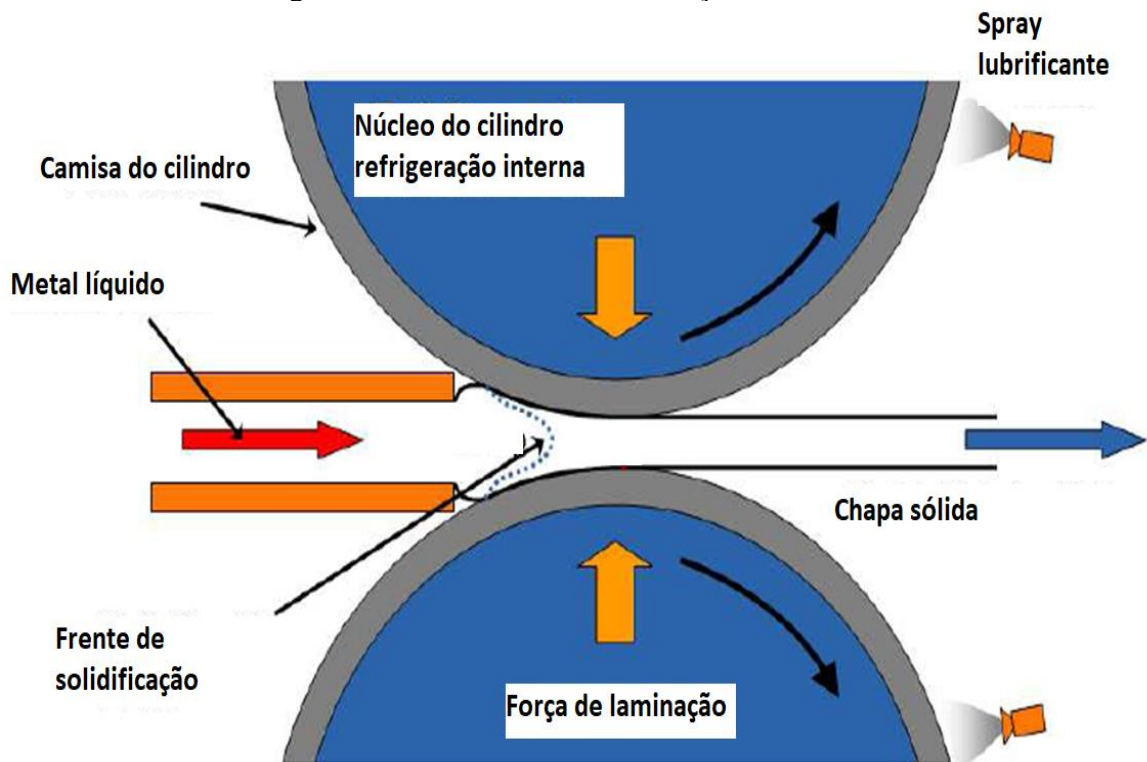


Fonte: Adaptado de Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

Os cilindros de refrigeração são trocadores de calor que promovem simultaneamente a solidificação da liga e laminação a quente. A parte interna do cilindro é preenchida por tubos de refrigeração por onde escoam água desmineralizada. A camisa é feita de aço, com alta condutividade térmica e é nela que ocorre o contato com o líquido e, conseqüentemente, a troca de calor. A liga entra em contato com a camisa do cilindro e se solidifica, concomitantemente, o cilindro exerce uma carga de pressão sobre a chapa, promovendo sua laminação. O resultado são chapas que podem chegar à 2 mm de espessura. Para evitar a colagem da chapa nos cilindros, são pulverizadas camadas de lubrificante na superfície da camisa.

Na Figura 24 é apresentada uma visão desse processo, sendo as placas laranjas usadas para representar o injetor do metal líquido e em cinza a camisa dos cilindros, que giram em sentidos contrários. A lâmina solidificada tem as laterais refileadas e é bobinada, gerando o produto em sua conformação final, denominado rolo *caster* (Figura 25). São realizadas análises metalográficas da chapa solidificada, que permite identificar as fases presentes na microestrutura do material. A descrição geral do processo na área das máquinas está apresentada na Figura 26, etapa posterior à apresentada na Figura 21.

Figura 24 – Processo de solidificação do metal.



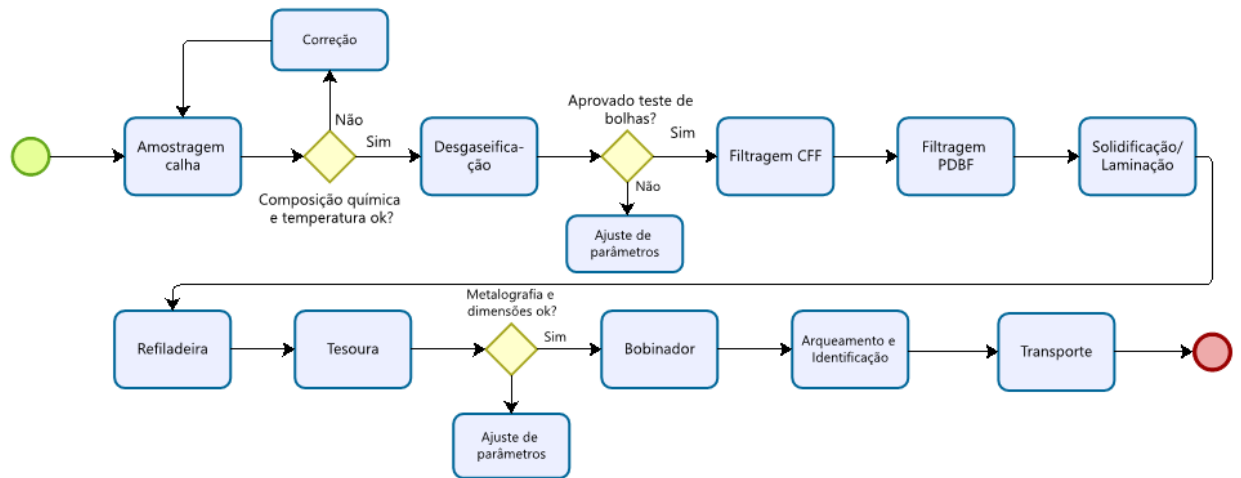
Fonte: Adaptado de Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

Figura 25 – Primário produzido por lingotamento contínuo.



Fonte: Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

Figura 26 – Fluxograma dos processos *TRC*.



Fonte: Da autora (2022).

O produto (Figura 25), representado na saída do fluxograma da Figura 26, em vermelho, é fornecido para transformação plástica, setor interno da empresa que se destina à produção de transformados, como chapas e folhas. Nesse setor, as bobinas passam por processos de transformação mecânica de acordo com sua aplicabilidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado em uma fábrica de alumínio (Indústria de Manufatura de Alumínio), localizada em São Paulo, que atua nos mercados automotivo, de construção civil, energia, agronegócio, bens de consumo, embalagens e transporte, através do fornecimento de produtos primários e transformados de alumínio.

Para execução do projeto utilizou-se a metodologia DMAIC que auxiliou na implementação do *Lean Six Sigma* para facilitar o gerenciamento do projeto, seguindo as etapas definidas por Bugor e Lucca Filho (2021), definir, medir, analisar, implementar e controlar, conforme apresentado no fluxograma (Figura 27).

Figura 27 – Fluxograma do processo DMAIC.

Etapas	Definir	Medir	Analisar	Implementar	Controlar
Atividades	Definir o projeto, indicadores, equipe, meta e impacto financeiro; Avaliar histórico indicadores; Definir requisitos de qualidade, recursos, fronteiras e restrições.	Levamento de dados relacionados ao processo; Análises estatísticas dos dados; Análise dos processos e procedimentos.	Buscar explicações para o desempenho atual; Identificar principais defeitos, as causas; Entender entrada e saída do processo; Análise de operação; Identificar mudanças baseadas na análise de dados e processos.	Desenvolver um plano de ação para as mudanças; Implementar as mudanças que resultem em melhoria.	Elaborar o plano de controle para ações dos projeto; Validar o projeto por meio do indicador e meta.
Ferramentas Utilizadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Brainstorming</i>; ✓ Cartas controle; ✓ Teste Normalidade; ✓ Quartis; ✓ SIPOC; ✓ <i>Bloxpot</i>; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fluxograma; ✓ Diagrama de Pareto; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diagrama de Pareto; ✓ <i>Brainstorming</i>; ✓ Diagrama Espinha de Peixe; ✓ Matriz de Priorização; ✓ Matriz Esforço x Impacto; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 5W1H. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cartas controle.

Fonte: Da autora (2023).

3.1 Etapa definir

A equipe foi escolhida de modo a abranger todas as necessidades do projeto, sendo composta por: coordenador, engenheiro de processo, técnico de processo, técnico de produção, estagiário, analista de gestão, supervisores de técnicos de produção da área e operadores estratégicos da produção. Na etapa definir, determinou-se o projeto e a equipe de execução, por meio de *brainstorming* (COSTA; GIANEI, 2019), em uma reunião entre coordenadores, engenheiros, técnicos e a equipe de gestão, listando quais seriam os principais gargalos da área. Nessa reunião, determinou-se como foco a redução percentual de não conformidades internas (NCI). Realizou-se um levantamento histórico do indicador NCI nos anos de 2020, 2021 e início

de 2022, para avaliar qual o comportamento do indicador ao longo dos últimos anos e assim validar a necessidade da implementação do projeto. Materiais produzidos fora de especificação são mensurados pelo indicador de não conformidades internas (NCI), razão entre materiais não conformes e a produção total (Equação 9).

$$NCI(\%) = \frac{\text{quantidade de material não conforme (kg)}}{\text{quantidade total produzida (kg)}} * 100 \quad (9)$$

Ainda nessa etapa, realizou-se um estudo estatístico dos dados e, junto com a equipe de gestão, calculou-se qual seria a meta e o impacto financeiro previsto com a redução do indicador. Utilizou-se o *Software MiniTab®*, concedido pela empresa, para realizar o teste de normalidade de Anderson e Darling (1954) com os dados mensais do indicador período avaliado, comprovando a normalidade e estabilidade dos dados. Para determinar uma meta, foi utilizada a metodologia de quartis (PRIKLADNICKI; GALARRAGA, 2021).

Outro fator importante foi a definição das restrições, visto que não havia a possibilidade de modificar os protocolos de segurança e as especificações do produto. Através da ferramenta SIPOC (WERKEMA, 2012), determinou-se os fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes, deixando claro quais os itens não estariam envolvidos no projeto. Nesta etapa também foi feito o cronograma em tabela com as ações e o período de aplicação.

3.2 Etapa medir

A etapa medir consistiu na obtenção de dados e informações, sendo feita a partir do acompanhamento da produção e de consultas à base de dados. Para isso, utilizou-se o registro de concessões do banco de dados da indústria, disponíveis no *software SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung)*, e dados de controle do setor de processos. Realizou-se um levantamento dos principais constituintes da máquina *caster*, identificando aqueles que possuem maior índice de defeitos, sinalizando-os através de um fluxograma (FALCÃO, 2022). Além disso, informações de operadores foram coletadas, a fim de ter maior confiabilidade dos dados, através da inspeção diária das máquinas, com base no conceito de manutenção autônoma (RODRIGUES, 2017). Nessa etapa, o foco foi coletar as informações e selecionar aquelas que seriam importantes para o desenvolvimento do projeto.

Iniciou-se o acompanhamento de contaminações nos fornos, através do registro de todas as informações referentes à contaminação: forno, quantidade de sucata, elemento contaminante,

possível origem da contaminação, entre outras. Posteriormente, elaborou-se um relatório buscando evidenciar o impacto das contaminações no indicador NCI.

3.3 Etapa analisar

Na etapa analisar, foram definidos quais os principais requisitos de qualidade do material, para compreensão do processo de análise de defeitos dos materiais. Elaborou-se um fluxograma, conforme Falcão (2022), para visualizar como funcionam os pedidos de concessões. A partir dos dados coletados, construiu-se diagramas de Pareto (GALIAZI; SANTOS, 2015), identificando quais requisitos com maior número de não conformidades no *caster*, qual material apresenta maior incidência de defeitos e as máquinas mais críticas. Assim, foi possível determinar os principais pontos de causa que levam a produzir um material fora do padrão.

Identificados os principais pontos de causa, aprofundou-se o estudo, dividindo-os em três principais categorias que afetam o NCI: máquinas, processo e externas. Elaborou-se então um diagrama de Pareto para identificar qual a principal causa de cada categoria e poder assim direcionar melhor as ações. Através de um *brainstorming* estruturado, utilizando o diagrama espinha de peixe (MORAES et al., 2021), foram apontadas como efeito as contaminações de ligas. E, a partir do diagrama, utilizou-se a matriz de priorização, segundo Piechnicki (2014), para identificar quais as ações com maior impacto no processo.

3.4 Etapa implementar

A implementação consistiu em planejar e testar ações embasadas na etapa de análise, para tanto utilizou-se a ferramenta 5W1H, conforme Moreira (2022), por ser uma ferramenta de fácil aplicação e compreensão, porém eficiente em planos de ação para melhoria contínua, segundo o autor. Cada ação foi direcionada para os membros da equipe, definindo prazo para sua execução.

3.5 Etapa controlar

A última etapa, controle, consistiu no controle das ações, seguindo as fases atribuídas por Feigenbaum (2004) e utilizando algumas ferramentas para sua consolidação, sendo principal o gerenciamento de rotina diária, para acompanhar o indicador ao longo dos meses.

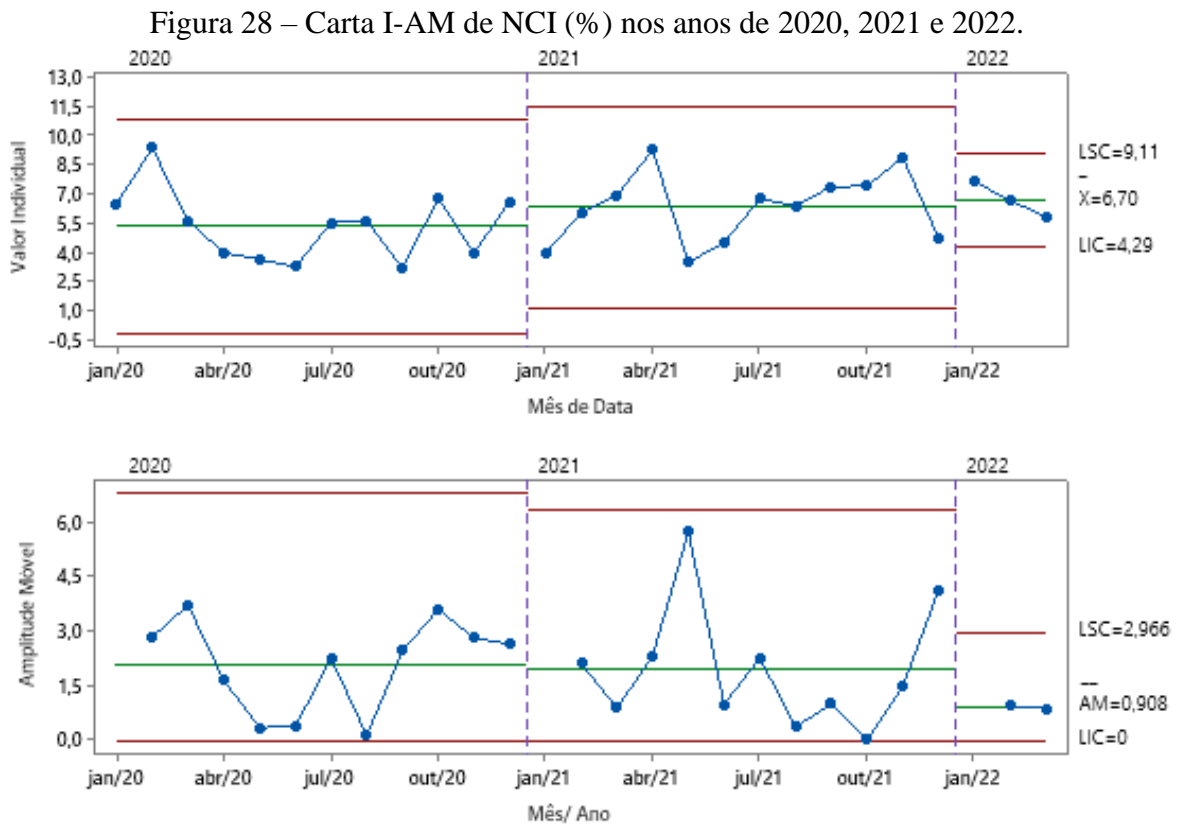
Para controlar o andamento das ações, essas foram cadastradas no sistema de Gerenciamento Online (GOL). Após, fez-se a extração das informações e bases de dados para elaboração e apresentação das melhorias para a organização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão discutidas as etapas do projeto, apresentando os resultados encontrados com a análise de dados e processos, as ferramentas utilizadas em cada etapa e as mudanças que foram realizadas durante a implementação do projeto.

4.1 Definir

Na Figura 28 tem-se a carta de controle de valores individuais (PAVEZI, 2021), a linha azul corresponde a variação da porcentagem de não conformidades internas. Em vermelho tem-se os limites de controle do processo, inferior e superior, e a linha verde corresponde à média, estratificada por ano. Os valores foram extraídos da base de dados da indústria.

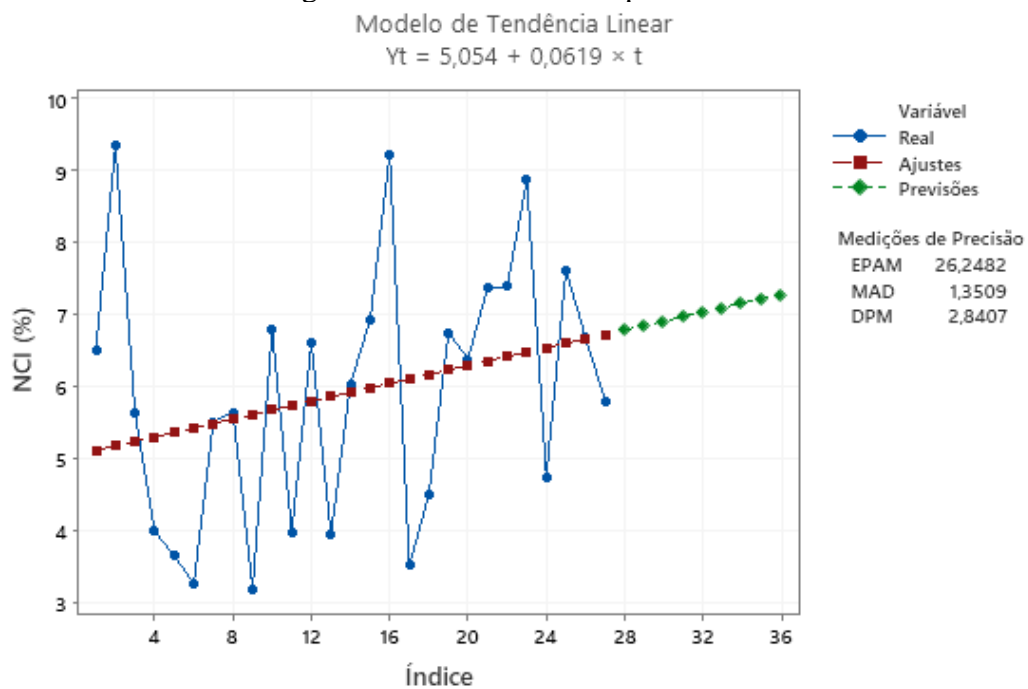


Fonte: Da autora (2022).

O primeiro gráfico (Figura 28) é utilizado para monitorar a centralidade dos dados e o segundo para controlar sua dispersão. Observa-se o aumento da média do NCI percentual. A média do NCI foi de 5,34% em 2020, 6,30% em 2021 e para o primeiro trimestre de 2022 a média foi 6,70%. Observa-se um aumento de aproximadamente 1% do ano de 2020 para o ano de 2021. Pelo segundo gráfico observa-se que não há pontos fora dos limites de controle, logo as causas são comuns, que correspondem a uma variação natural do processo e não está relacionado a causas especiais.

Assim, através do gráfico de tendência, Figura 29, observou-se que a previsão para os próximos meses foi de um aumento na porcentagem do indicador, com uma tendência ascendente geral. Pode-se assumir que há confiabilidade das previsões para 3 (três) meses, que indicam para um NCI em torno de 6,79% em abril, 6,85% em maio e 6,90% em junho de 2022.

Figura 29 – Previsões NCI para 2022.

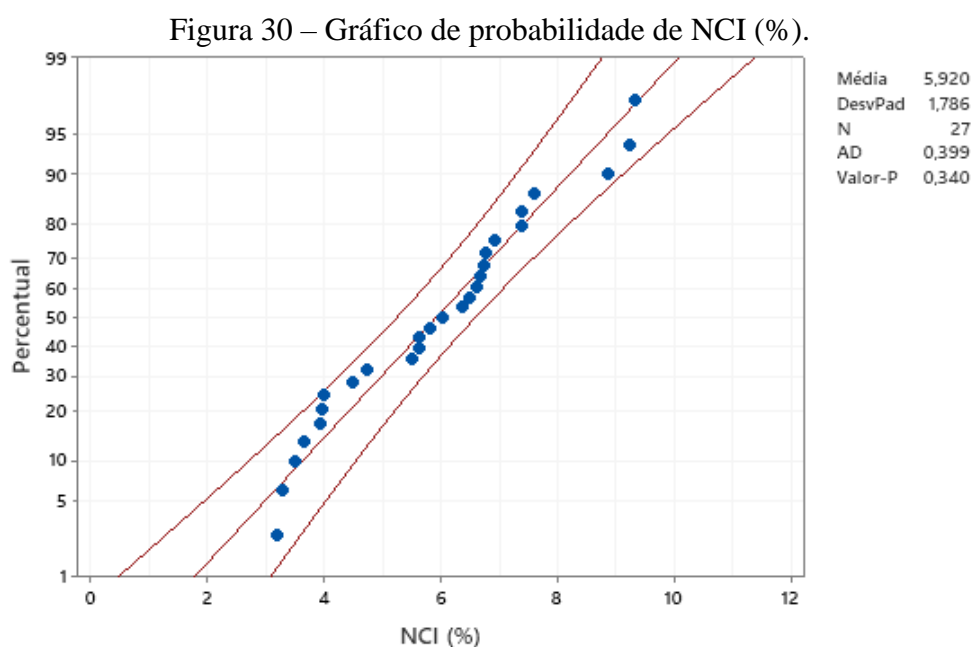


Fonte: Da autora (2022).

Se a tendência continuasse, no final de 2022, a previsão para média do NCI seria de 7,28% (Figura 29), valor acima da meta 300 (5,73%) e 500 (5,98%) da Indústria de Manufatura de Alumínio, sabendo que a meta 500 é considerada padrão dentro da fábrica, já a 300 são metas mais desafiadoras.

A partir dessa análise estatística dos dados, definiu-se o projeto de estudo, confirmando a necessidade de uma priorização de atividades para controlar e minimizar a quantidade de materiais não conformes produzidos.

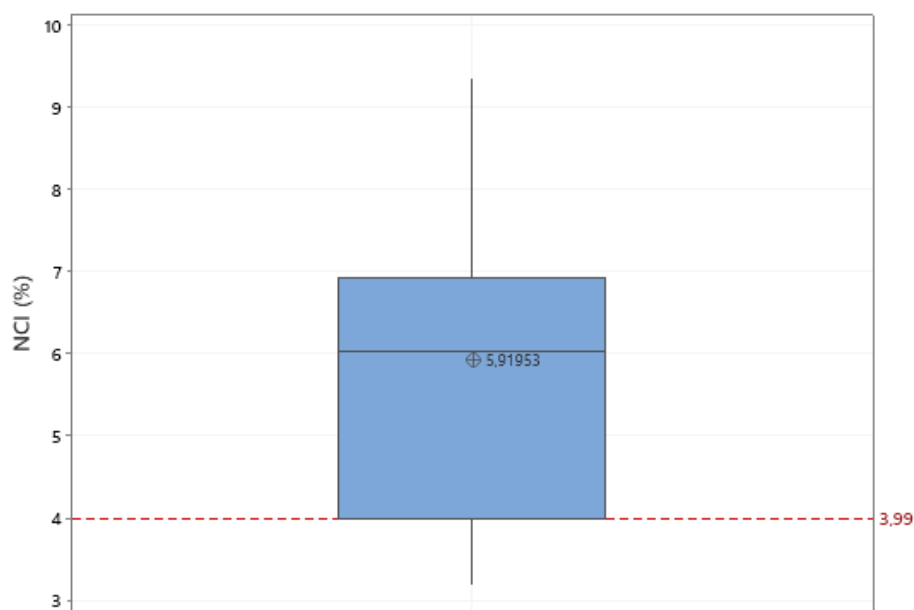
Pela Figura 30, foi possível afirmar que os dados seguem uma distribuição normal. Para essa determinação, se os dados seguem uma curva de normalidade, comparou-se o valor-p com o nível de significância adotado de 0,05, o que significa que, quando não há nenhuma diferença, um valor tão extremo para a estatística de teste é esperado em menos de 5% das vezes (FERREIRA; PATINO, 2015). Obteve-se um valor de 0,34, maior que o nível de significância, logo a hipótese nula não pode ser rejeitada, o que significa que os dados seguem a distribuição normal com 95% de confiança.



Fonte: Da autora (2022).

A média obtida dos dados históricos foi de 5,92% com desvio padrão de 1,79%. Reuniu-se com a equipe de gestão e através da análise de viabilidade, definiu-se a meta reduzida para o ano de 2022 utilizando a porcentagem do primeiro quartil dos dados (3,99%), como mostra a Figura 31.

Figura 31 – Boxplot para o NCI (%).



Fonte: Da autora (2022).

As metas provenientes do primeiro quartil implicam que 25% dos dados estão abaixo do valor médio e 75% acima, são usadas quando o comportamento dos indicadores é menor melhor (SILVA, 2020), como o indicador definido no trabalho.

Também foi calculado o impacto financeiro, pois um projeto de melhoria *Lean Six Sigma* possui, mesmo que não como meta direta, a proposta de redução do custo, sendo sempre um indicador importante para verificação e validação do método (SILVA, 2020; SANDER, 2021). O impacto financeiro é calculado a partir do custo de conversão do *caster*, que seria o custo necessário para transformar 1 tonelada de alumínio primário em alumínio transformado. Ele foi calculado a partir da meta do ano de 2021, que foi de 5,91% e da redução prevista para 2022, 3,99%. A redução do custo anualizado calculado foi de R\$754.175,00.

Nesta etapa, um dos principais objetivos é a definição de equipe, considerando que sua escolha tem um impacto relevante na execução do projeto. Sendo assim, organizou-se uma equipe com membros de produção, processos e gestão, de modo a abranger todas as necessidades do projeto.

Por fim, foram alinhados os seguintes objetivos juntamente à equipe determinada:

- a) identificar os principais defeitos que levam ao pedido de concessão;
- b) identificar os pontos de causa;
- c) avaliar quais melhorias são viáveis para a execução do projeto;
- d) elaborar o plano de ação;

e) elaborar o plano de controle.

Devido ao curto prazo de execução, não foi possível definir como objetivo o acompanhamento dos resultados, visto que para validação dos dados é necessário ao menos um ano de melhoria.

Através do mapeamento do processo com a ferramenta SIPOC entendeu-se o processo por trás do problema. Algumas áreas não foram envolvidas no projeto, como a área da Segurança, pois a natureza das atividades realizadas na indústria é avaliada com nível 5 na Matriz de Avaliação de Riscos, logo não foi envolvida nenhuma modificação no processo, máquinas e *layout* que afete a segurança dos colaboradores.

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) é o setor responsável por programar e controlar toda a produção de fundidos. A indústria é uma fábrica de alumínio totalmente integrada em sua cadeia produtiva, onde um processo afeta diretamente o outro, sendo assim, não foi possível abordar modificações no planejamento da produção que pudessem afetar a produção de outras áreas.

Outro ponto são as especificações de produção e processo (EPP), que define quais as especificações para produção de cada material e devem ser seguidas. No Quadro 6, tem-se o SIPOC, especificando os fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes. Em verde está sinalizada as áreas que não foram envolvidas no projeto, como uma forma de diferenciar e melhor visualizar as etapas.

Quadro 6 – SIPOC do processo *Twin Roll Caster*.

<i>Supliers</i> (Fornecedores)	<i>Inputs</i> (Insumos)	<i>Process</i> (Processos)	<i>Outputs</i> (Saídas)	<i>Customers</i> (Clientes)
Segurança	POPs, checklists, APR, dever de recusa e priorização da segurança	Recebimento do metal	Rolo caster	Transformação plástica
PCP	Ordem de produção	Preparação do forno	Informações do forno	Itapissuma
Sala Fornos	Alumínio primário	<i>Setup</i> de máquina	Relatório de perfil	
Fusão	Alumínio secundário	Vazamento	Amostras	
Laminação	Sucata	Preparação e transporte de produtos		
Interno	Sucata de processo/briquete			
Pátio	Sucatas terceiros			
Processo	EPP			
Engenharia	Máquinas, equipamentos e acessórios			
Almoxarifado	Ante ligas, insumos em geral			
Preventiva	Serviços de manutenção preventiva			
Corretiva	Serviços de manutenção corretiva			

Fonte: Da autora (2022).

Elaborou-se o do cronograma do projeto, e que neste caso, foi determinado para o ano de 2022, englobando todas as etapas, é mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Cronograma do projeto para o ano de 2022.

	Ações	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	Levantamento de possíveis projetos	■											
2	Análise dos indicadores	■	■										
3	Levantamento histórico do indicador		■	■									
4	Reunião para definição de metas			■									
5	Registro de contaminações	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
6	Cálculo do impacto financeiro								■				
7	Definição da equipe de projeto			■									
8	Elaboração da matriz SIPOC				■								
9	Análise e observação do processo	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
10	Levantamento das notas QM					■							
11	Análise estatística					■	■	■	■	■			
12	Mapeamento do processo						■						
13	Brainstorming						■	■	■	■			
14	Matriz de priorização								■				
15	Matriz de causa e efeito								■				
16	Direcionadores de qualidade						■						
17	Fluxograma de concessão							■					
18	Identificação dos defeitos							■	■	■			
19	Identificação das causas							■	■	■			
20	Definição foco do projeto								■				
21	Elaboração plano ação								■				
22	Elaboração plano de controle								■				
23	Implementação									■	■	■	■
24	Ciclo PDCA									■	■	■	■
25	Validação do indicador												■

Fonte: Da autora (2022).

Nessa etapa também se identificou quais os fatores influenciam na qualidade do material. Para isso, realizou-se um levantamento das principais características que são analisadas pelo cliente. Através da saída do SIPOC, cujo produto é o rolo *caster*, foram definidos os direcionadores de qualidade, que são essenciais para aprovação do material (Quadro 7).

Quadro 7 – Direcionadores de qualidade do processo.

PRODUTO	DIRECIONADORES DE QUALIDADE	VARIÁVEIS	MEDIÇÃO
Saída do SIPOC	Fatores analisados na qualidade	Quais são as variáveis?	Como você analisa os valores?
Rolo Caster	Dimensional	Espessura	Sistema laser /Micrômetro
		Diâmetro interno	Trena
		Largura	Sistema laser /trena
	Composição química	Teor dos elementos	Espectrofotometria
	Aspectos visuais	Faixas	Visual/Metalografia
		Trincas	
		Falhas	
		Riscos	
		Segregações	
		<i>Level lines</i>	
		<i>Ripples/Estrias</i>	
		Furos	
		Microarrancamentos	
	<i>Black spots</i>		
	Microestrutura	Partículas α AlFeSi primárias	Metalografia
		Partículas β AlFeSi placas	
		Nível de segregação	
		Porosidade/inclusões	
	Perfil	Bombeio	Sistema laser
		Cunha	
<i>Dog's bone</i>			
Preparação	Acomodação das espiras	Visual	
	Arqueamento		
	Solda		
	Refilagem lateral		

Fonte: Da autora (2022).

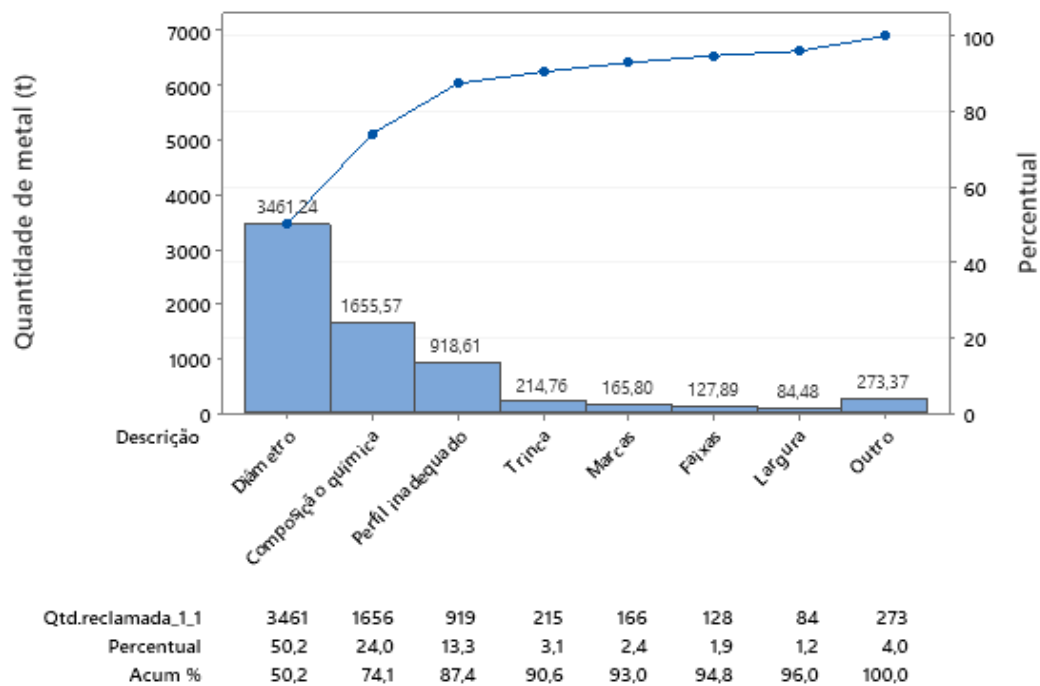
O material produzido com qualidade deve atender os requisitos determinados pelo cliente, porém estes variam para os diferentes materiais. Os materiais classificados como folhas são aqueles que na laminação passam por diversos passes nos laminadores, diminuindo significativamente sua espessura e os classificados como chapas, passam por uma menor quantidade de passes, o que pode evidenciar com maior facilidade, por exemplo, uma faixa. Já os materiais de folhas são mais afetados por partículas e inclusões, que durante a laminação podem levar ao rompimento da folha.

Para materiais destinados à fabricação de folhas extrafinas, quase todos os requisitos devem ser atendidos, já para um material destinado à fabricação de folhas mais grossas, alguns requisitos não são tão significantes. As exigências variam para cada material e com o grau do defeito.

4.2 Medir

Após a definição do problema a ser tratado, a segunda etapa do modelo DMAIC consistiu na obtenção de dados confiáveis para a posterior análise. Primeiro definiu-se o período de análise, sendo os anos de 2020, 2021 e primeiro trimestre de 2022. Levantou-se dados referentes às notas de concessões: número de concessões, quantidade em toneladas de material reclamado e a descrição do defeito. Verificou-se que a maior parte de alumínio direcionadas à concessão estavam relacionadas com defeitos de diâmetro ou composição química. Na Figura 33 é apresentado o impacto em toneladas.

Figura 33 – Quantidade de metal sob concessão *versus* tipo de defeito.

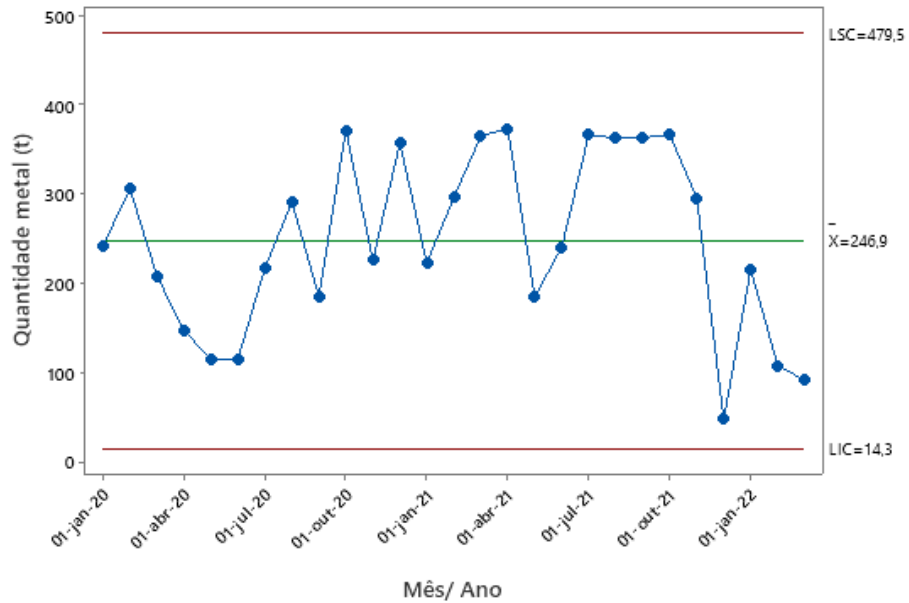


Fonte: Da autora (2022).

Pela Figura 33 observa-se que o principal impacto está relacionado com defeitos de diâmetro, composição química e perfil inadequado, que englobam juntos mais de 6.000 toneladas de alumínio sob concessão.

A variação da quantidade de material não conforme ao longo dos meses é apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Variação mensal da quantidade de metal não conforme.

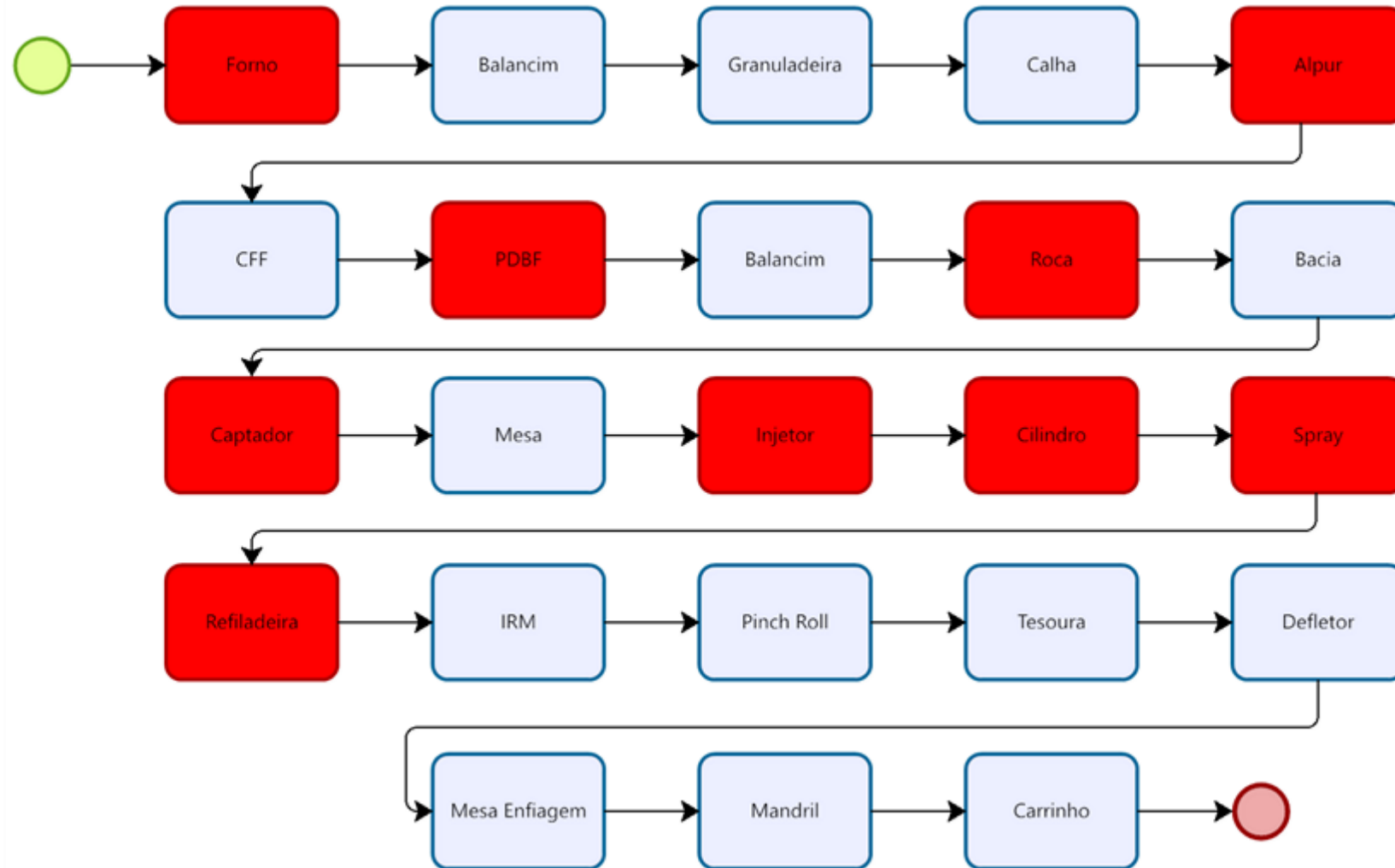


Fonte: Da autora (2022).

Apesar das variações o gráfico não sinaliza causas especiais, pontos acima ou abaixo dos limites de controle. Obteve-se uma redução na quantidade de material não conforme em dezembro de 2021, pois a troca de liga foi menor, quando comparado aos outros meses.

Analisando o processo elaborou-se um fluxograma do processo com os principais constituintes da máquina e identificou-se os locais relacionados com os principais defeitos evidenciado na Figura 35.

Figura 35 – Fluxograma dos principais constituintes da máquina.



Fonte: Da autora (2022).

A maior parte de defeitos relacionados a composição química são provenientes dos fornos, onde ocorre a adição de ante ligas e pode-se receber metal contaminado de outros processos.

Os defeitos relacionados ao diâmetro ocorrem principalmente devido falhas no conjunto roca e captador, que provocam uma variação no nível de metal e conseqüentemente o rompimento da chapa. Quando a chapa não se rompe, pode ocorrer a segregação de metal na superfície do cilindro e posterior marcas/manchas na chapa. Outro fato é a quebra do injetor, visto que é composto de um material frágil. Na Tabela 1 é apresentado especificações do procedimento realizado quando uma bobina é produzida com diâmetro menor que o especificado.

Tabela 1 – Procedimento de concessão por diâmetro.

Largura (mm)	Diâmetro Nominal (mm)	Varição Diâmetro (mm)	Disposição
≤ 1380	1860	1820 a 1880	Aprovado sem restrição
		1400 a 1819	Avaliado sob concessão
		< 1400	Sucatar (Fundição)
> 1380	1880	1820 a 1900	Aprovado sem restrição
		1400 a 1819	Avaliado sob concessão
		<1400	Sucatar (Fundição)

Fonte: Da autora (2023).

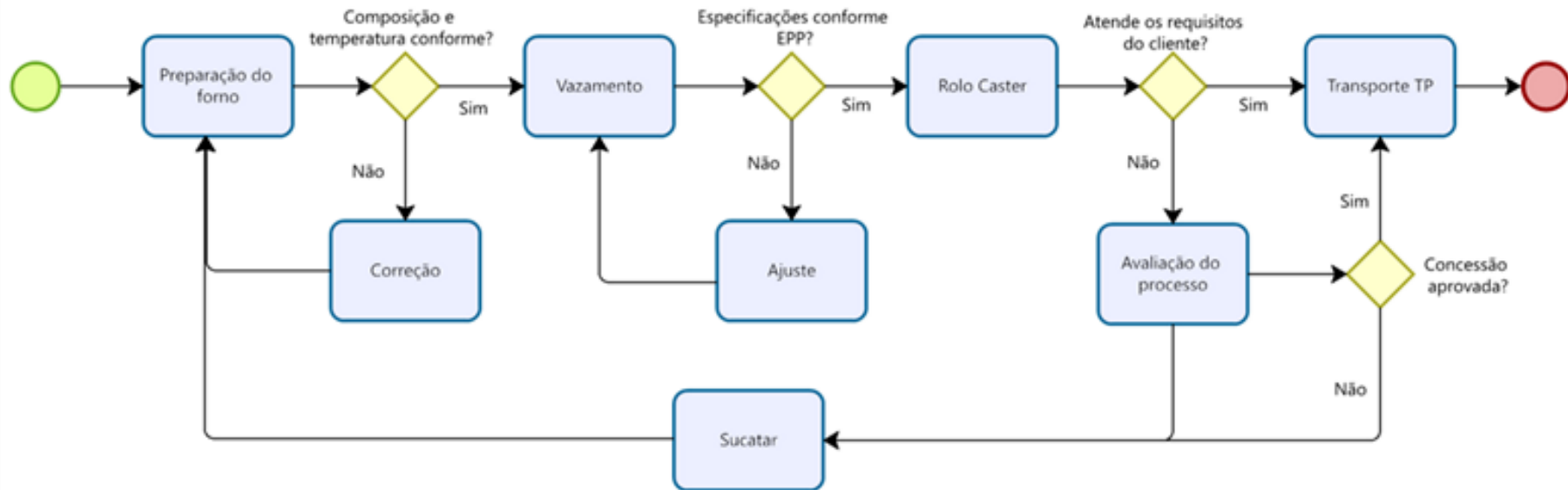
Uma bobina produzida com diâmetro inferior a 1400 mm é diretamente rejeitada pelo processo. Para valores entre 1400 e 1819 é realizado um pedido de concessão ao cliente que avaliará a possibilidade de aceitar o produto.

Para as analisar os defeitos relacionados as contaminações iniciaram-se a coleta de dados em de janeiro de 2022. Estes dados serviram de base para analisar mensalmente a quantidade de notas de reclamação abertas por composição química, quais os principais elementos químicos contaminantes e a origem das contaminações.

4.3 Analisar

Para o material produzido não atenda as especificações é realizado o pedido de concessão e são abertas notas QM (*Quality Management*). Se a concessão for aceita esse material é destinado ao processo seguinte, caso não seja aceito o material é sucateado. Na Figura 36, tem-se o fluxograma geral do processo de concessão.

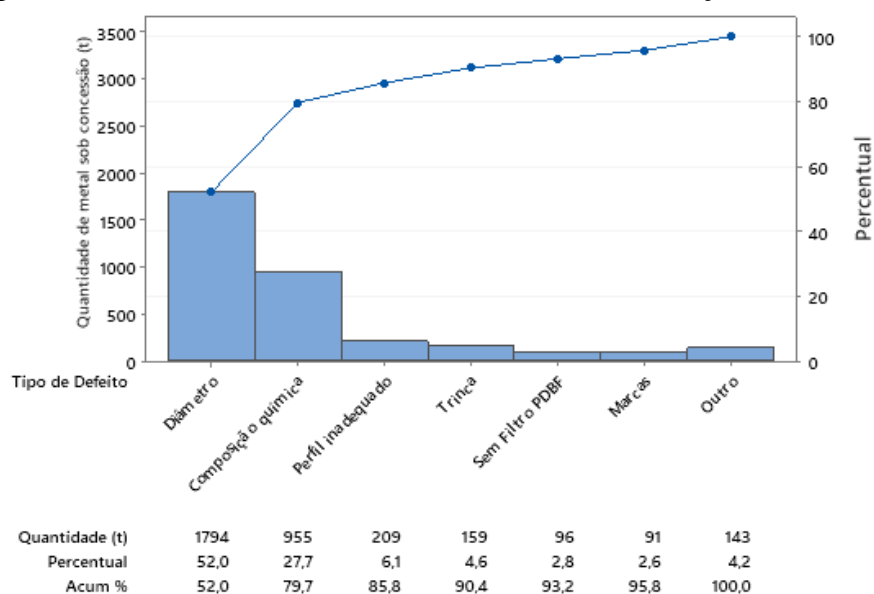
Figura 36 – Fluxograma do processo de concessão de materiais.



Fonte: Da autora (2022).

A partir da base de dados de concessões da equipe de processo, realizou-se uma análise (Figura 37) mais profunda dos dados, pois nela há uma descrição mais detalhada sobre o pedido de concessão de materiais aprovados e rejeitados. Já na base de dados no sistema não existe esse nível de detalhamento. Os dados são referentes ao ano de 2021 a maio de 2022.

Figura 37 – Quantidade de metal sob concessão X Descrição de defeito.



Fonte: Da autora (2022).

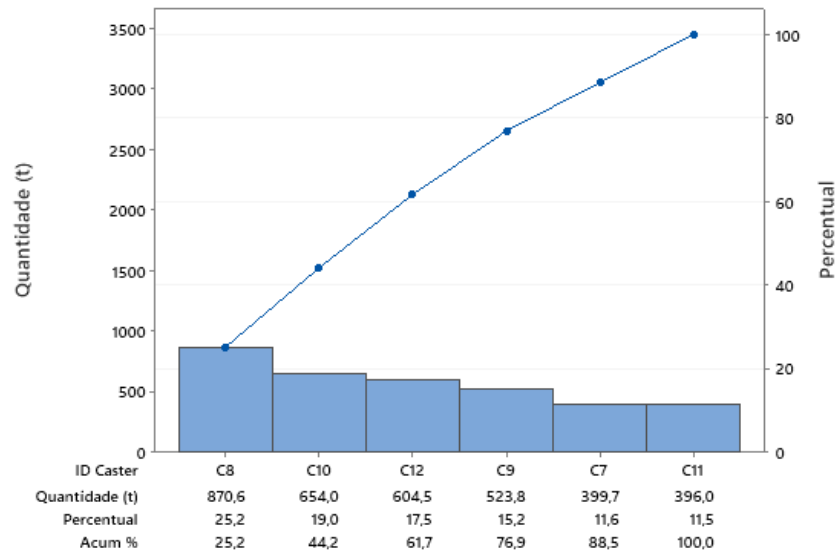
O gráfico mostra que o número de defeitos relacionados ao diâmetro engloba 52% da quantidade total. Em segundo tem-se a composição química com aproximadamente 28% das concessões. Esses parâmetros foram definidos com base na análise do processo. Esses dados condizem com a análise feita anteriormente na fase definir, logo é viável promover ações para amenizar o impacto desses defeitos. O comportamento e o desempenho mecânico do processo são afetados com a desigualdade de diâmetro dos rolos, além da qualidade (BAREKAR; DHINDAW, 2014), e a composição química quando diferentes, pode alterar a microestrutura e demais propriedades do material produzido, sendo um defeito muito prejudicial para a qualidade dos rolos *caster* (PALIT et al., 2015).

Estratificando os dados, realizou-se um diagrama de Pareto por máquinas para avaliar qual o impacto da vida útil no equipamento no número de defeitos. Várias características finais de chapas e rolos de alumínio são totalmente dependentes da forma de processamento, ajuste e adequações dos maquinários que são utilizados (KELES; DUNDAR; 2007). Assim, como é observado na Figura 37, onde o *caster* 8 acumula 24,5% das concessões, visto que é a máquina mais antiga do processo, há grande ocorrência de defeitos relacionados à manutenção e não há

um controle tão eficiente. As máquinas mais novas são o *caster* 11 e 12 e são aquelas que apresentam menor registro de concessões.

Na Figura 38, tem-se a quantidade de metal de concessão por máquina:

Figura 38 – Quantidade de metal sob concessão por máquina de produção.

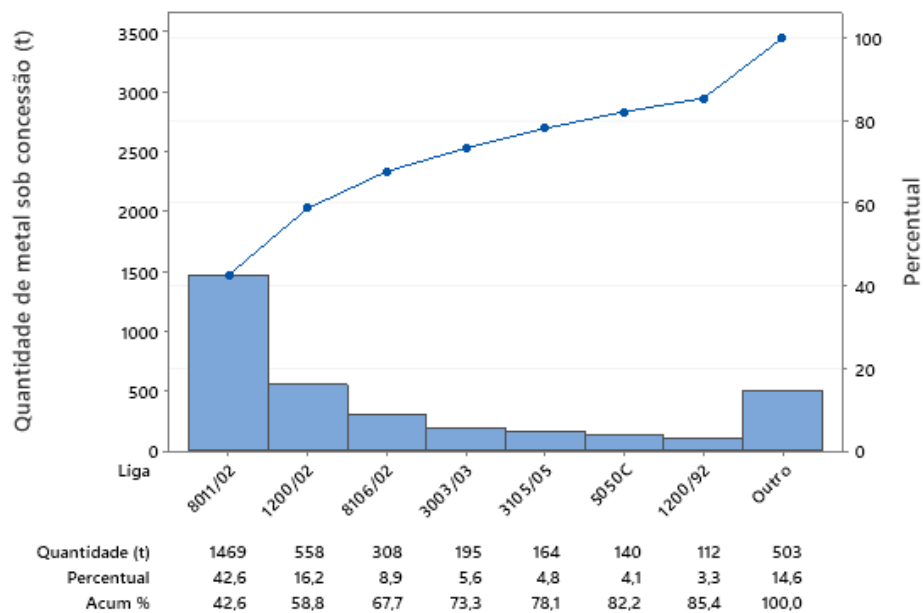


Fonte: Da autora (2022).

No *caster* 8 também é destinada a produção de ligas com maiores teores de elementos químicos, como 3105 e 5050C, ligas em que o controle de processo é mais complexo. No geral observa-se uma distribuição equilibrada entre as máquinas.

Na Figura 39, tem-se as concessões por tipo de material produzido.

Figura 39 – Quantidade de metal sob concessão de acordo com a liga metálica produzida.

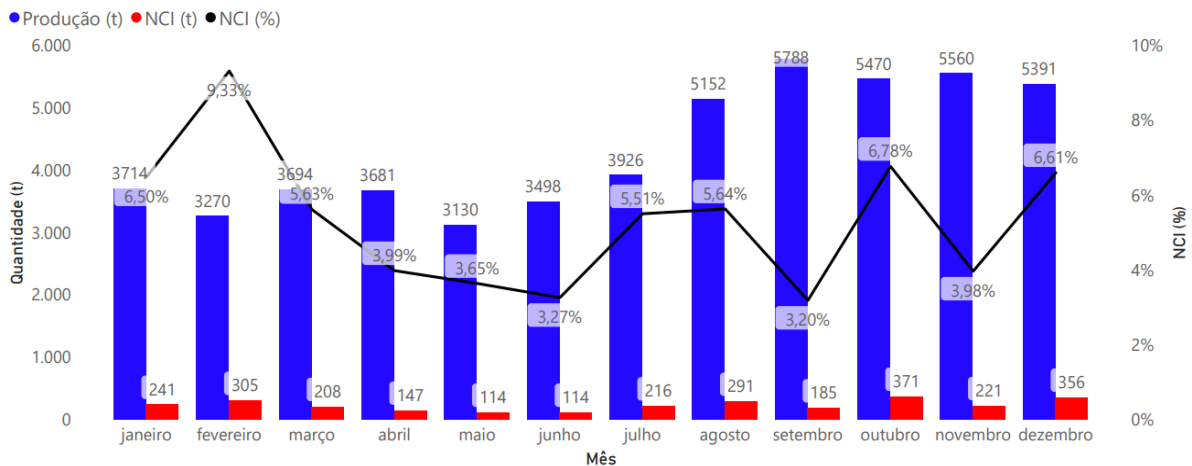


Fonte: Da autora (2022).

De acordo com o Pareto, o material que apresentou a maior quantidade de concessões é da liga 8011/02. Este material é o “carro-chefe” da produção, as campanhas de produção são maiores que nas demais ligas, e quanto maior o tempo de produção da máquina maior a chance de ocorrer algum defeito na máquina ou desgaste do cilindro, além da formação de camadas de óxido.

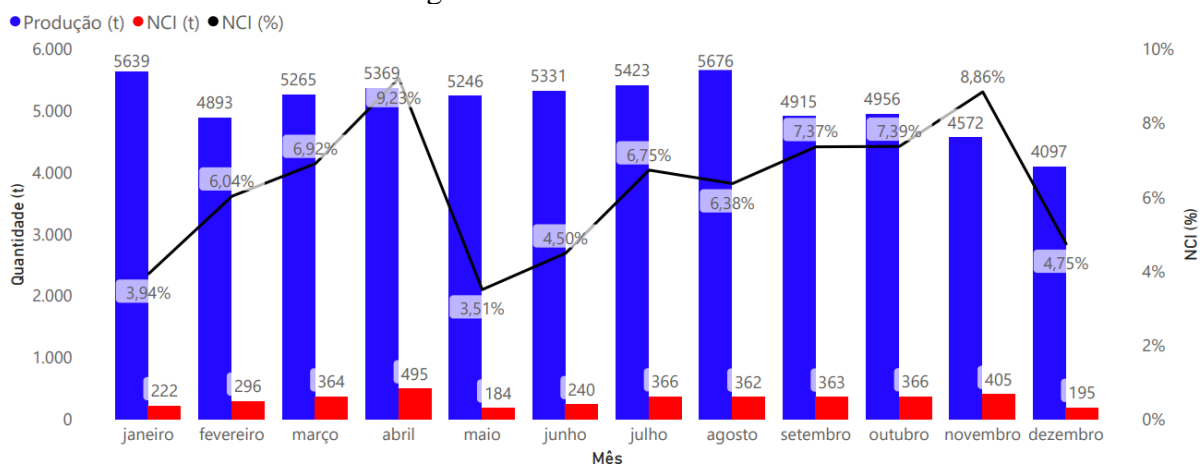
Para verificar se existe uma correlação entre a quantidade produzida e a quantidade de metal não conforme realizou-se as análises a seguir. Nas Figuras 40 e 41 tem-se um histórico mensal das concessões nos anos de 2020 e 2021, respectivamente. Em azul tem-se a quantidade total produzida por mês, em vermelho a quantidade de material não conforme e a linha preta mostra a variação do percentual de NCI.

Figura 40 – NCI mensal de 2020.



Fonte: Da autora (2022).

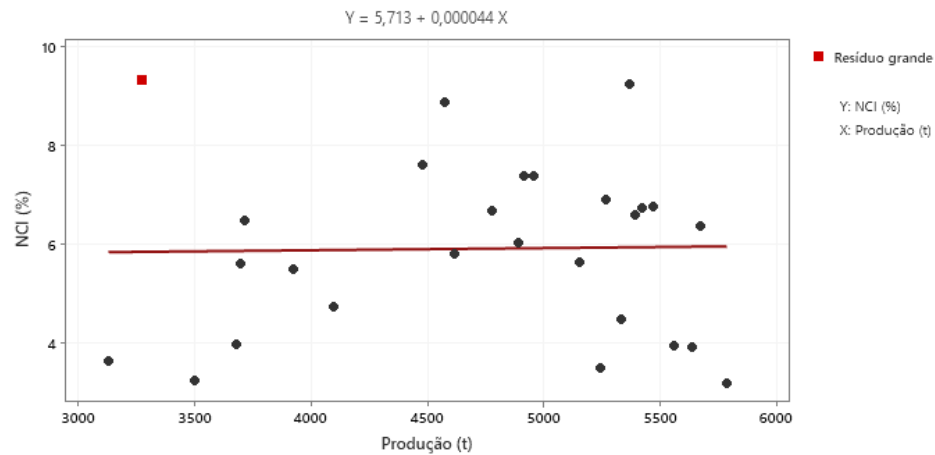
Figura 41 – NCI mensal de 2021.



Fonte: Da autora (2022).

Aparentemente não existe correlação entre a porcentagem de não conformidades e a quantidade produzida por mês, como observado na Figura 42:

Figura 42 – Correlação entre a quantidade produzida mensalmente e NCI (%).

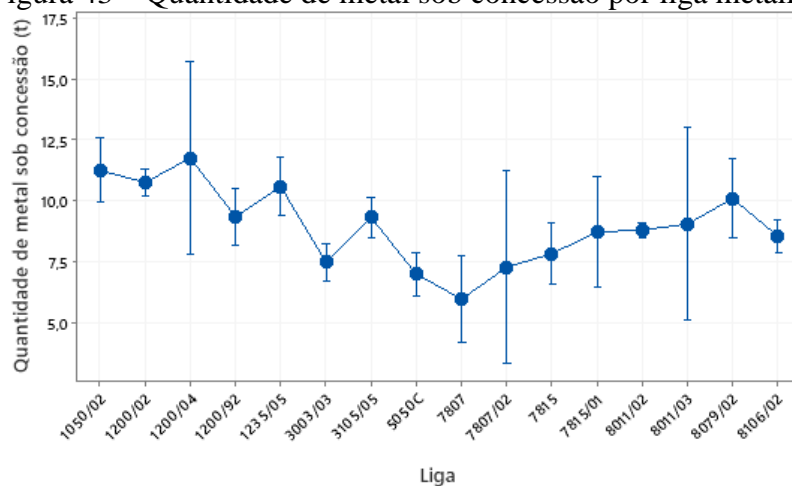


Fonte: Da autora (2022).

Observa-se que a variação do NCI (%) ao longo dos meses pode ser causada principalmente pela flexibilidade do mix de produção (LUSTOSA et al., 2008), visto que há uma grande variedade de ligas produzidas no *Twin Roll Caster*. Alguns meses a frequência de troca de liga nas máquinas é maior, influenciando quantidade de material não conforme. As chapas produzidas podem ter diferentes larguras, espessuras, composição química e aplicação. Chapas largas e ligas com maiores teores de elementos adicionados também possuem alto índice de defeitos. Em trocas de liga que possuem alto teor de Mn e Mg, para uma liga mais pura, como 1200, pode haver a contaminação e a composição química ficar fora do especificado, o que levará à concessão ou rejeição do material (OGATA, 2017; GIANISELLE, 2019).

Para tanto, realizou-se um teste de análise de variância que verifica a correlação entre a liga produzida e a quantidade de material não conforme, mostrado na Figura 43.

Figura 43 – Quantidade de metal sob concessão por liga metálica.

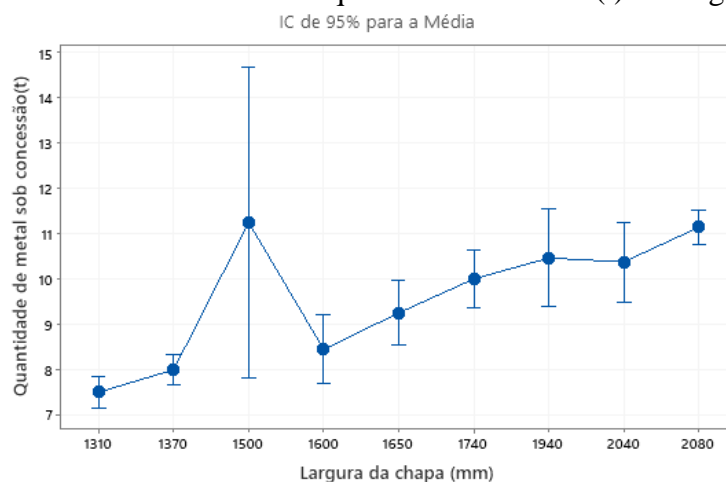


Fonte: Da autora (2022).

Pelo gráfico observamos que o tipo de liga não influencia tanto na quantidade de metal não conforme, pois as médias se mantêm próximas.

A influência da largura da chapa pode ser observada na Figura 44:

Figura 44 – Gráfico de intervalos de quantidade de metal (t) X Largura da chapa.



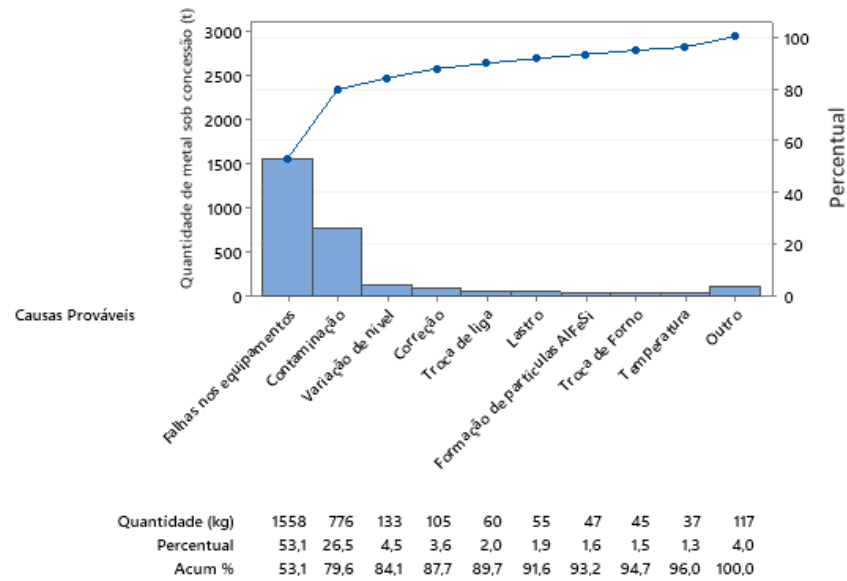
Fonte: Da autora (2022).

No geral, evidencia-se que as chapas largas são as que apresentam maior média, sendo a relação relativamente crescente. Tem-se uma exceção para chapa de 1500 mm que raramente é produzida, o que pode ser observado pela dispersão dos dados. Na produção de chapas largas a velocidade da linha é alta e variações bruscas no nível de metal. Assim como abordado por Barekar e Dhindaw (2014) os principais defeitos superficiais na produção de chapas de alumínio são devido à alta velocidade de fundição, além das diferenças locais de velocidade induzidas pelo movimento para trás da tira quando a pressão do rolo é aplicada. Logo qualquer variação no processo afeta significativamente o desempenho da máquina, desvios que podem gerar rejeição de material.

Para identificação dos pontos de causa, deve ser levado em consideração que uma bobina pode ser produzida com diâmetro menor devido a problemas relacionados ao processo, falha nos equipamentos constituintes da máquina ou fontes externas, como quedas de energia. Então mesmo identificado que a maioria dos defeitos estejam vinculados ao diâmetro, a bobina pode ser cortada em diâmetros menores para evitar outros desvios, considerados mais relevantes.

Os defeitos foram separados em três causas principais, definidos como: processo, máquina e causas externas. Na Figura 45 tem-se o diagrama de Pareto relacionado as principais causas no processo que levam produção de materiais não conformes.

Figura 45 – Quantidade metal sob concessão X Causas.

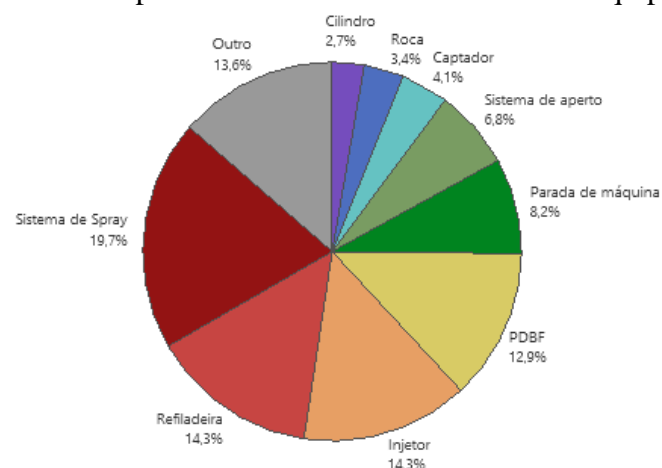


Fonte: Da autora (2022).

Observa-se que a principal causa de defeitos é ocasionada por falhas nos equipamentos (53,1%) e por contaminações (26,5%). As contaminações podem ter origem no consumo de sucata, correção dos fornos, tempo de homogeneização, contaminação do metal primário com Si e Fe, ausência de célula de carga nos fornos, dentre outros. Iniciou-se o registro de contaminações nos fornos, para todas as contaminações realizou-se a abertura de notas de reclamação para o fornecedor. Soluções para causas relacionados a falhas nos equipamentos serão abordadas na etapa de implementação.

Na Figura 46 apresentado um gráfico de setores dos defeitos relacionados aos componentes da máquina. O sistema de *spray* das máquinas corresponde a 19,7% na produção de materiais não conformes, seguido da refiladeiras (14,3%) e injetor (14,3%).

Figura 46 – Principais causas relacionadas falhas nos equipamentos.

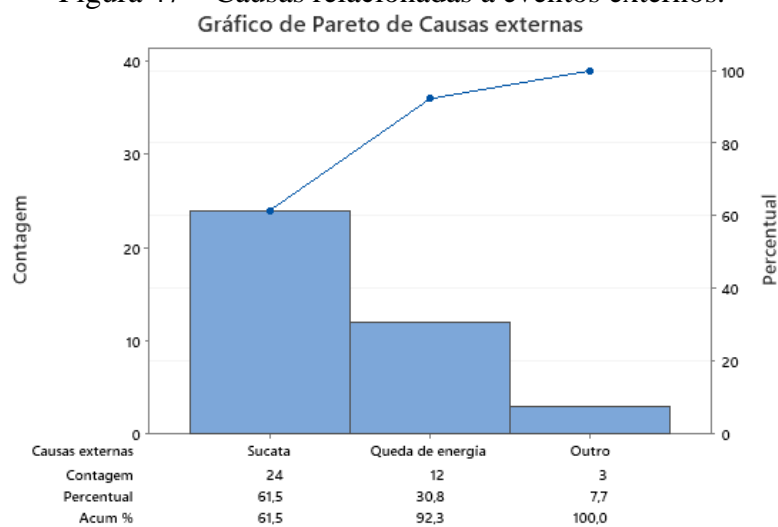


Fonte: Da autora (2022).

O *caster* possui diversos componentes e sistemas de controle, que influenciam totalmente na produção, dentre eles pode-se destacar o sistema de aperto dos cilindros, sistema de pulverização e controle de nível, nos quais devem ser realizadas manutenções preventivas e corretivas na máquina, visando manter o bom funcionamento de todos eles.

Por último tem-se um diagrama de Pareto com as causas relacionadas à problemas externos na Figura 47.

Figura 47 – Causas relacionadas a eventos externos.



Fonte: Da autora (2022).

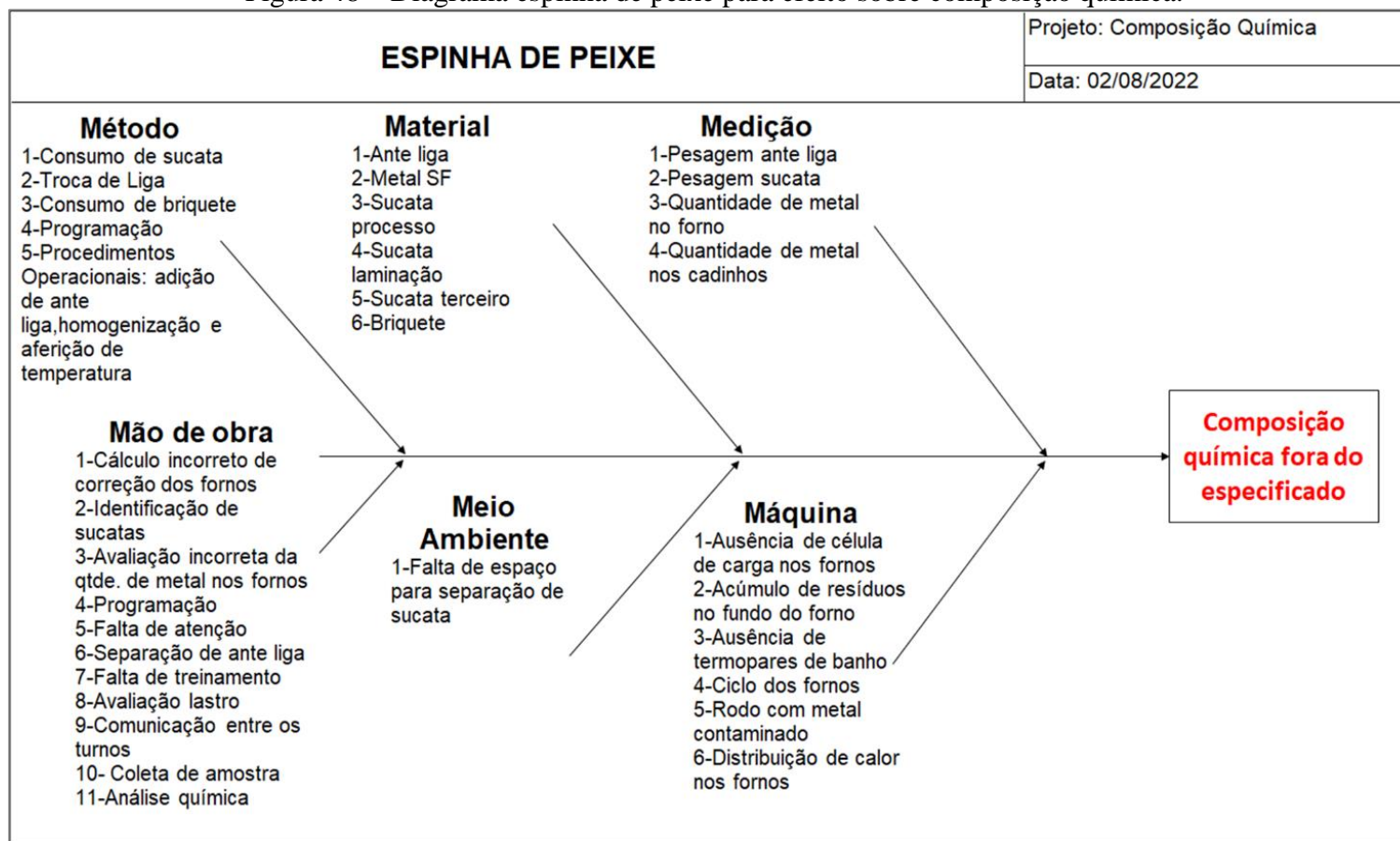
Segundo alguns estudos a principal fonte de contaminação do material é proveniente de sucatas (BROUGH; JOUHARAO, 2020). Conforme apresentado na figura acima, o principal impacto das causas externas, neste estudo, é a contaminação das ligas devido ao consumo de sucatas.

Mantém-se como foco das ações as contaminações e desvios nos componentes da máquina, visto que que são as que mais impactaram no processo.

A fim de entender as causas das contaminações realizou-se um *brainstorming* estruturado com auxílio do diagrama espinha de peixe para obter as principais causas relacionadas a desvios de composição química. Estes estão apresentados na Figura 48.

A partir das entradas do diagrama espinha de peixe e outros levantamentos de área foi elaborada uma matriz de priorização com as causas. Nesta, os participantes deveriam avaliar a relevância da causa, atribuindo valores crescente de 1 a 10 para relevância das causas, e por determinação previamente da equipe, os mais relevantes seriam com média acima de 8. Com isso, construiu-se a matriz conforme a Tabela 2, onde C se refere aos colaboradores.

Figura 48 – Diagrama espinha de peixe para efeito sobre composição química.



Fonte: Da autora (2022).

Tabela 2 - Matriz de priorização aplicada a desvios da composição química.

ID causa	Contaminação dos fornos	Participantes								Média
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
X1	Troca de liga	6	8	9	5	6	10	8	2	6,8
X2	Programação	9	10	8	5	8	8	6	5	7,4
X3	Tempo de dissolução ante liga/sucata	9	10	7	8	7	7	6	5	7,4
X4	Homogeneização dos fornos	9	10	9	8	8	9	8	7	8,5
X5	Cálculo incorreto de correção	10	9	8	9	8	10	9	8	8,9
X6	Identificação de sucatas	9	9	10	9	10	10	10	10	9,6
X7	Avaliação incorreta de metal	8	9	10	9	8	9	9	10	9,0
X8	Coleta de amostras	6	8	7	6	4	7	8	3	6,1
X9	Análises químicas	4	3	8	4	5	7	6	6	5,4
X10	Falta de atenção	9	9	10	10	9	10	10	8	9,4
X11	Separação de ante liga	8	7	9	7	8	10	7	4	7,5
X12	Falta de treinamento	7	7	8	8	7	10	7	4	7,3
X13	Avaliação lastro	9	8	10	8	9	9	8	10	8,9
X14	Comunicação entre os turnos	6	7	8	5	7	7	8	7	6,9
X15	Qualidade ante liga	5	8	6	4	7	7	6	6	6,1
X16	Composição metal SF	5	5	7	5	8	7	7	8	6,5
X17	Sucata de processo contaminada	9	10	10	10	9	10	10	10	9,8
X18	Sucata da laminação contaminada	9	10	10	10	9	10	10	10	9,8
X19	Sucata de terceiro contaminada	9	10	10	10	9	10	8	10	9,5
X20	Contaminação cruzada briquete	8	10	9	8	9	10	10	9	9,1
X21	Pesagem de ante liga	7	8	6	7	8	5	7	9	7,1
X22	Pesagem de sucata	7	8	6	7	8	8	6	9	7,4
X23	Quantidade metal cadinhos	6	8	6	6	6	7	7	8	6,8
X24	Falta de espaço para sucatas	5	8	9	8	6	9	8	9	7,8
X25	Ausência de célula de carga	9	10	10	10	9	6	9	10	9,1
X26	Acúmulo de resíduos nos fornos	6	10	9	7	6	9	7	9	7,9
X27	Ausência de termopares de banho	4	7	4	8	5	7	5	6	5,8
X28	Ciclo dos fornos	4	4	3	5	6	9	5	3	4,9
X29	Controle das contaminações	8	9	7	8	7	8	4	5	7,0
X30	Ausência plano de ação	8	9	8	8	7	9	8	6	7,9
X31	Rodo com metal contaminado	3	4	2	2	3	5	2	1	2,8
X32	Metal frio	8	10	9	9	7	6	9	6	8,0

Fonte: Da autora (2022).

Pela matriz de priorização, observa-se que os itens que obtiveram média acima de 8, valor determinado pela Indústria de manufatura de alumínio., são: homogeneização dos fornos, cálculo incorreto de correção dos fornos, identificação de sucatas, avaliação da quantidade de metal nos fornos, falta de atenção, avaliação de lastro, consumo de sucatas contaminadas e ausência de célula de carga nos fornos. Para a maioria das causas foi proposta uma ação, que será apresentada na etapa de implementação.

Elaborou-se a matriz de esforço x impacto, evidenciando qual o nível de esforço para solucionar os problemas descritos e qual impacto no processo (Figura 49).

Figura 49 – Matriz de esforço x impacto.

ESFORÇO (para atuar sobre os "X's")	ALTO	X2,X7,X13,X16,X18,X19,X21,X22, X24,X25,X30,X32	X23,X27,X28
	BAIXO	X1,X3,X4,X5,X6,X11,X17,X20,X26, X29	X8,X9,X10,X12,X14,X15,X31
		ALTO	BAIXO
		IMPACTO (nos requisitos do clientes "Y's")	

Fonte: Da autora (2022).

As ações consideradas de alto esforço e baixo impacto foram descartadas, enquanto as ações de baixo esforço e baixo impacto são consideradas “ver e agir” e já foram implementadas no processo. Aquelas que apresentam alto esforço e alto impacto serão analisadas pelo time de liderança. Pois, essa técnica permite a identificação das oportunidades de ganhos rápidos, no sentido de maximizar a produtividade e, deste modo, possibilitar a priorização das ações que promovem maiores resultados com menor esforço (SANTANA et al., 2015).

4.4 Implementar

Na etapa de implementação foram desenvolvidas as ações que seriam tomadas em relação aos principais pontos de causa, envolvendo equipe de produção e manutenção. Com as causas raízes já definidas para a problemática do estudo, deu-se início à elaboração do Plano através da Ferramenta do 5W1H, mostrado no Quadro 8. Essa ferramenta pode ser utilizada para metas além de custo financeiro, como demonstrado por Silva et al. (2019) que utilizaram a

utilizaram para auxiliar na qualidade do controle de estoque minimizando as divergências no inventário e possíveis perdas de produção devido à falta da matéria-prima. Neste estudo, a ferramenta de qualidade 5W2H visou executar elaboração de uma padronização nos processos de armazenagem e um plano de ação para identificar os problemas decorrentes. Nesse enfoque, foi possível detectar os lapsos inerentes ao estoque e discorreremos as possíveis soluções, dadas as proporções de cada matéria-prima, e que a falta de metodologia quanto ao manejo e aferição dos produtos antes da produção acarretaram tais falhas, conduzindo assim a falta de matéria-prima na contagem do inventário. Sendo assim foram obtidos grandes resultados com a ferramenta e proposto melhorias futuras para alcançar grandes resultados nos processos.

Quadro 8 – Aplicação da ferramenta 5W1H – Plano de Ação.

WHAT? O que deve ser feito?	WHERE? Onde (setor/local) que deve ser feito?	WHO? Quem são os responsáveis por fazer?	WHEN? Quando deve ser feito?	HOW? Como (de que maneira) deve ser feito?	WHY? Por que deve ser feito?
Realizar análise de causa raiz (RCA) para os principais desvios relacionados à máquina	Caster 7 ao 12	Equipe de Manutenção	Abril-2022 a Set-2022	Através da análise de falhas e 5 porquês	Evitar parada de máquina não programada e recorrência de desvios no equipamento e agilizar as ações das manutenções corretivas
Fazer a inspeção diária de equipamentos		Equipe de Processos	Abril-2022 a Set-2022	Através do roteiro de inspeção e questionamento com operadores	Identificar desvios antecipadamente e reportar para manutenção/processo
Revisão FMEA		Equipe de Processos	Ago-2022	Através da revisão do documento	Deteção de possíveis falhas do equipamento e melhorias no processo
Implantar o nível 3 TPM e replicar aos demais <i>caster</i>		Equipe de Produção	Set-2022	Através da aplicação da metodologia e conceitos TPM. Elaborar o plano de ações e acompanhamento	Manter a conservação dos equipamentos e detectar possíveis falhas em seus componentes
Criar o app para correções de ante ligas	Área dos fornos	Equipe de Gestão	Ago-2022	Através de equações obtidas pelo balanço material e <i>powerapps</i>	Evitar erros relacionados as correções das ligas e avaliar lastro e possível quantidade de consumo de sucata

Fonte: Da autora (2022).

Quadro 8 – Aplicação da ferramenta 5W1H – Plano de Ação. (Continuação)

Realizar treinamentos de preparo dos fornos conforme PO		Equipe de Produção	Dez-2022	Através de slides, com todas as informações sobre preparo dos fornos e espaço para esclarecer dúvidas. Deve ser realizado nos três turnos	Esclarecer dúvidas em relação ao procedimento de preparo dos fornos e treinar novos operadores
Criar ferramenta Excel para calcular ciclos do forno		Equipe de Produção	Set-2022	Através de <i>brainstorming</i> com operadores utilizando Excel	Prever o tempo de vazamento dos fornos e melhorar o planejamento diário de produção
Minimizar o estoque de sucata da área		Equipe de Produção	Dez-2022	Priorizando o consumo de sucata da área e pedir só a quantidade necessária para o planejado do dia	Evitar acidentes patrimoniais e misturar sucatas de ligas diferentes
Organizar e pesar sucatas		Equipe de Produção	Dez-2022	Utilizando a balança e FIFO	Evitar que a sucata seja misturada e consumida em fornos errados
Abrir nota de todas as contaminações de ligas		Equipe de Produção	Dez-2022	Através do <i>software</i> SAP e envio de relatório para liderança	Reduzir ou mitigar o uso de sucata contaminada e erros de correção

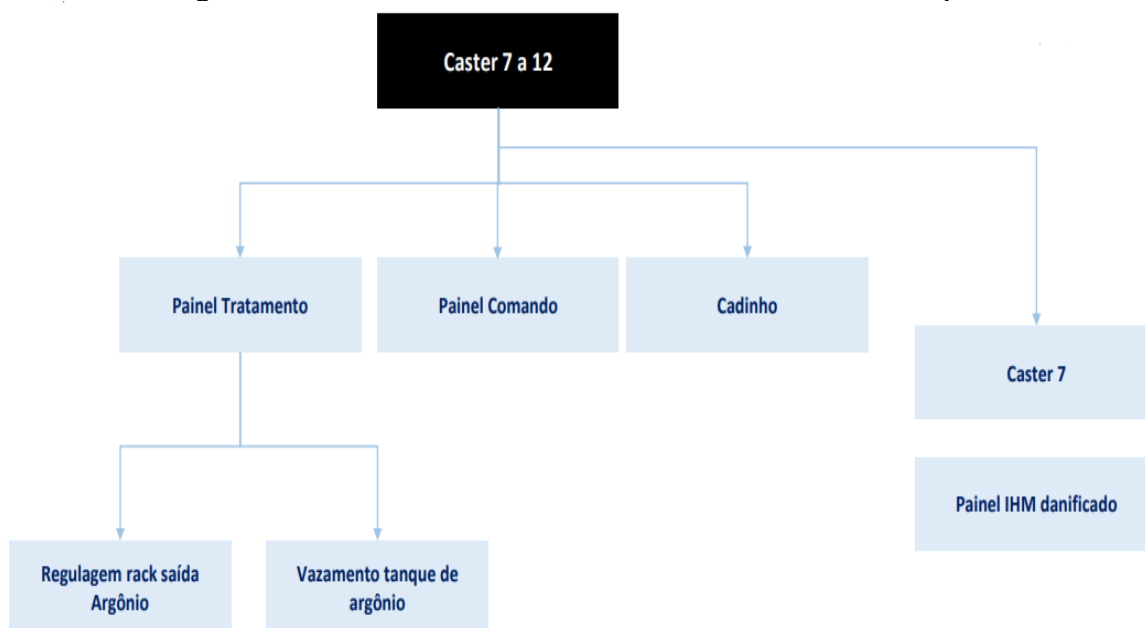
Fonte: Da autora (2022).

O primeiro passo foi definir ações para os componentes das máquinas que causaram grande impacto na produção: sistema de tratamento do Alpur, Roca/Captador (controle de nível), sistema de aperto cilindros, sistema de spray e refiladeiras.

Cada componente citado será avaliado através da análise de falhas, para chegar na causa raiz e propor ações para mitigar ou minimizar as falhas nesses componentes. As análises serão realizadas ao longo do ano de 2022.

No mês de maio analisou-se o sistema de tratamento Alpur, segue a análise falhas na Figura 50:

Figura 50 – Árvore de falhas do sistema de tratamento de Alpur.



Fonte: Da autora (2022).

Foi identificado como causas principais a regulagem do rack de saída do argônio e vazamento do tanque. As ações propostas são apresentadas na Quadro 9, onde C corresponde aos colaboradores.

Quadro 9 – Ações provenientes da análise de falhas *caster 7* ao 12.

ANR	Prazo >>	Responsável
Enviar e-mail com itens padrão (M1) para revisão em oportunidades de troca de cilindro	10/05	C1
Adicionar nomenclatura de programação (Troca de cilindro/Revisão Manutenção)	20/05	C2
Criar LLP de regulagem do painel e fixar ao lado das máquinas	30/05	C3
Escopo de reforma do painel dos <i>Caster</i>	30/06	C4
Realizar FMEA para modos de falha de rotores (Desgaste/Entupimento/Travamento)	30/06	C5
Regular e trancar painel, e entregar as chaves apenas para os técnicos de produção	30/05	C6
Realizar estudo para inserir anel de grafite no rotor	30/06	C6
Estudo do tempo adequado para inserção do rotor no cadinho com e sem metal	30/06	C6
Realizar levantamento de <i>spare parts</i> painel Alpur	30/06	C1
Inserir no plano de preventiva dos <i>Caster 7, 9, 12</i> troca do filtro geral linha de argônio	30/06	C5
Inserir no plano de ação inspeção dos <i>Caster 7, 9 e 12</i> itens de inspeção na linha de argônio	30/06	C5
Criar RC para aquisição de filtros para linha de argônio	30/05	C7

Fonte: Da autora (2022).

As ações foram desenvolvidas junto à equipe de confiabilidade da indústria, através de um *brainstorming* com os envolvidos no projeto.

Em conjunto com as análises de falhas, elaborou-se um plano de inspeção diária das máquinas e do processo, cujo principal objetivo é avaliar o funcionamento dos equipamentos, relatar a equipe de manutenção, minimizando a quantidade de paradas de máquina não programadas.

O roteiro de inspeção é mostrado no Quadro 10, onde C significa conforme e NC não conforme, segundo a Especificação de Produto e Processo (EPP).

Quadro 10 – Roteiro de inspeção diária de máquinas e processo.

Data: 04/07/2022		<i>Caster</i> 7	<i>Caster</i> 8	<i>Caster</i> 9	<i>Caster</i> 10	<i>Caster</i> 11	<i>Caster</i> 12
Informações gerais		1200/02 UG 1360x 6 mm	1200/02 UG 2080x 6 mm	8011/02 CV 1370x 7 mm	Reforma	8011/02 TP 1740x 7 mm	8011/02 CV 2040x 7 mm
1	AC (mm)						
2	Produção total cilindros (t)						
3	Data troca rotores						
4	Data de troca PDBF						
5	Data de troca CFF						
6	Data esgotamento Alpur						
7	Cilindros	C	C	C		13 – NC	C
8	Pressão LO/LA	C	C	C		C	C
9	Servo	C	C	C		C	18 – NC
10	Superfície da chapa	C	C	C		14 – NC	C
11	IRM	C	C	C		C	C
12	Refiladeiras/Sopradores	C	3 – NC	C		C	C
13	PDBF saturação	-	-	C		C	C
14	PDBF aquecimento	-	C	C		C	C
15	Tanques desmoldantes/Desmoldantes/ <i>Spray</i>	C	C	C		C	C

Fonte: Da autora (2022).

Quadro 10 – Roteiro de inspeção diária de máquinas e processo.(Continuação)

16	Injetor	C	C	C		C	C
17	Termopares	C	C	C		C	C
18	Roca/Captador	C	C	C		C	C
19	Alpur/Rotação	1 – NC	4 – NC	C		15 – NC	C
20	Alpur vazão argônio	C	C	C		C	C
21	Perfil (%)	C	5 – NC	C		C	C
22	Bombeiro	C	6 – NC	C		C	C
23	Granuladeira	C	C	C		C	C
24	Forno	C	7 – NC	C		16 – NC	C
25	Temperatura do Alput	C	C	C		C	C
26	Temperatura do CFF	C	C	C		C	C
27	Temperatura da entrada da bacia e injetor	C	8 – NC	C		C	C
28	Velocidade de vazamento	C	C	C		C	C
29	Temperatura da água	C	C	C		C	19 – NC
30	Vazão da água	2 – NC	9 -NC	C		C	20 – NC
31	Composição química	C	C	C		C	C
32	<i>Leaf</i>	3 – NC	10 - NC	12 – NC		17 – NC	21 – NC
33	Tensão do bobinador	C	C	C		C	C
34	Instrumentos de medição	C	11 - NC	C		C	C
35	Classificação	5	5	1		3	3
36	Rejeição (t)	-	-	-		-	-
C7	1 – Rotor 150 rpm (turbulência) / 2 – Não marca vazão de água / 3 – <i>Leaf</i> desabilitado						
C8	3 – Refiladeira jogando cavaco / 4 – Rotor 2 100 rpm / 5 – Perfil variando acima limite / 6 – Bombeio variando / 7 – Forno 40.4 saindo frequentemente do automático / 8 – T2 alta = 710°C / 9 – Não marca vazão de água / 10 – <i>Leaf</i> desabilitado / 11 – Sem trena						
C9	12 – <i>Leaf</i> desabilitado						
C11	13 – Faixa cilindro / 14 – Marcas na chapa / 15 – Rotação abaixo / 16 – Forno 40.10 problema queimador / 17 – <i>Leaf</i> desabilitado						
C12	18 – Variação negativa servo / 19 – Temperatura alta da água / 20 – Não marca vazão de água / 21 – <i>Leaf</i> desabilitado						
TODAS	<i>Leaf</i> desabilitado em todas as máquinas (sem motivo evidente)						

Fonte: Da autora (2022).

Onde C se refere a especificações conformes e NC não conformes. A inspeção foi realizada diariamente em todas as máquinas em funcionamento, as pendências são registradas e reportadas para os técnicos de manutenção no GRD de área. Caso a manutenção possa ser realizada com a máquina funcionando é acionado a equipe corretiva, ao contrário é programada a manutenção pela preventiva.

Outra ação foi a reestruturação da ferramenta de manutenção autônoma com intuito de estimular que os próprios operadores dos equipamentos se sintam responsáveis pela sua conservação. Os operadores são responsáveis por manter a limpeza, lubrificação e pequenos ajustes, sendo essas atividades parte da sua rotina.

Para isso elaborou-se a matriz de habilidades dos operadores da máquina listando quais as atividades pertinentes a cada operador e seu nível de habilidade, sendo eles: não sabe fazer (vermelho), sabe fazer com ajuda (amarelo), sabe fazer sozinho (verde) e sabe fazer e ensinar (azul), veja o exemplo na Figura 51.

Os cartões para abertura de notas dispostos nas máquinas foram coletados para reprogramação das manutenções, até que todas as anomalias fossem resolvidas.

Elaborou-se o *layout* do quadro de TPM, sendo definidos os operadores proprietários de cada máquina, este seria responsável pela conservação da máquina e pela abertura de cartões caso encontrado alguma anomalia. Também foram mapeados todos os pontos de vazamento de óleo e acúmulo de sujeira da máquina e realizado a matriz de limpeza, inspeção e lubrificação. Elaborou-se um *book* de desvios da área para que o operador possa consultar quais os pontos de maior atenção.

Realizou-se a revisão do padrão de limpeza e lubrificação e elaborado o procedimento operacional padrão, para consulta dos operadores e técnicos. Será criado um *checklist* para avaliar se todas as notas programadas com os cartões TPM foram sanadas, sendo o operador proprietário responsável por fazer o *checklist*. Em paralelo, será realizada a análise de viabilidade para montar um estoque com os materiais necessários e ferramentas de suporte próximas às máquinas, visando facilitar a execução das atividades.

Por último como ação para o engenheiro de processos tem-se a avaliação do FMEA do processo, a fim de propor melhorias na detecção de possíveis falhas.

Figura 51 – Matriz de habilidades dos operadores.

		MATRIZ DE HABILIDADES MANUTENÇÃO AUTÔNOMA																				
		Legenda: ■ Não Sabe ■ Sabe fazer (mas precisa de ajuda) ■ Sabe fazer sozinho ■ Sabe ensinar																				
Foto	Matricula	Nome	HABILIDADES																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		COLABORADOR 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 11	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 13	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 14	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 15	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		COLABORADOR 16	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

RELAÇÃO DAS HABILIDADES	
1	Reforma das Bicas de Carregamento dos Fornos
2	Limpeza Porão dos Fornos
3	Limpeza Área dos Fornos
4	Restauração de Bicas de Vazamento e Calhas
5	Restauração Alpur
6	Restauração CFF
7	Restauração PDBF
8	Restauração Bacia
9	Preparação Caçambas Coletoras
10	Limpeza de Roca e Captador/ Balancim dos Fornos
11	Desobstrução da Bica de Vazamento
12	Troca de Injetor
13	Troca de Termopar Bica de Vazamento
14	Troca de Bobina de Titânio
15	Limpeza de Cisternas/Porão
16	Limpeza e Inspensão Refiladeira/Pinch Roll/ Tesoura
17	Troca de Lata de Desmoldante/ Regulagem de Spray
18	Abastecimento de Óleo Refiladeira/ Ajuste Lubrificação
19	Limpeza do Toldo com Soprador
20	Limpeza e Pintura Equipamentos, Faixas e Escadas

Fonte: Da autora (2022).

As ações voltadas para reduzir as contaminações das ligas foram desenvolvidas principalmente na área dos fornos. A primeira delas foi a elaboração de um aplicativo para calcular a quantidade de ante liga necessária para corrigir os fornos, veja interface da ferramenta na Figura 52.

Figura 52 – Aplicativo para correção das ligas.

Bem-vindo(a) MARINA SOUSA GARCIA

Correção de Composição Química Fundição

Cálculo de Correção

Cadastro / Alteração de Liga

Salvar

Lastro I (Kg) / Qtd Forno: 35000

Fusão (Kg):

Sala Fornos (Kg):

Liga Futura: 8011

Variante Futura: 02

Si Lastro/Reco: 0,1

Si Fusão:

Si SF:

Si Min: 0,65

Si Max: 0,75

Si Resultado: 0,1

Receita Si:

Lingote de Si (Qtd): 79,5

Kg de Si: 210

Balde: → Alvo: 0,7

Fonte: Da autora (2022).

No aplicativo são cadastradas as ligas produzidas no *caster* e suas respectivas composições. Através do balanço de massa é calculada a quantidade de todos os elementos químicos que devem ser adicionados às ligas. O principal objetivo é evitar a recorrência de erros na correção dos fornos.

Em relação ao preparo das ligas nos fornos (adição de ante ligas, homogeneização, limpeza de escória, coleta de amostra e avaliação de lastro), realizou-se um treinamento embasado nos procedimentos operacionais, com objetivo de esclarecer as dúvidas dos operadores sobre todas as etapas de preparação das ligas.

Outro ponto importante que afeta o número de concessões por contaminações é a ausência de célula de carga nos fornos para medir a quantidade de metal contida nos fornos. A célula de carga é um sensor eletromecânico que converte a força aplicada contra ele em um sinal. A ausência de células de carga nos fornos afeta consideravelmente o processo, visto que a quantidade de metal líquido no forno é determinada visualmente pelos operadores. Isso torna o processo suscetível a erros, tanto de correção quanto na determinação do ciclo de vazamento

dos fornos. A instalação de dispositivos de pesagem tanto nos fornos quanto nas empilhadeiras foi reportada para equipe de liderança, o projeto será orçado para o ano de 2023.

Iniciou-se o controle de contaminações das ligas, para toda contaminação deve ser aberta uma nota ao fornecedor e este é responsável por apresentar ações para que o desvio não seja recorrente. Elaborou-se um relatório para controle das contaminações. Esse relatório é gerado mensalmente e enviado para equipe de liderança da laminação, onde todas as contaminações devem ser justificadas. O relatório referente ao mês de junho na Figura 53.

Figura 53 – Registro de contaminações *Caster 7* ao 12.



Fonte: Da autora (2022).

Pelo relatório passou-se a ter controle de quais dias tiveram contaminações, a quantidade de sucata que foi adicionada, qual o forno com maior ocorrência de contaminações, a liga que foi contaminada e a liga da sucata adicionada, os principais elementos contaminantes do processo e se foram abertas notas NC para todas as ocorrências de contaminação, seja do processo ou provenientes de outras áreas.

Toda a sucata recebida na área passou a ser devidamente identificada com equipamento de origem, tipo de sucata, abertura e fechamento do processo de identificação, responsável e peso, como na Figura 54.

Figura 54 – Etiqueta para identificação de sucata.

<p>GRUPO 03</p> <p>1000P</p> <p>LIGA SEM COBRE 1200 / 1235 / 1070 / 1350 / 1370</p>	EQUIPAMENTO:
	TIPO DE SUCATA:
	<u>ABERTURA:</u> Data ___/___/___ Hora: _____ Responsável: _____
	<u>FECHAMENTO:</u> Data ___/___/___ Hora: _____ Responsável: _____
	PESO (kg):

Fonte: Indústria de Manufatura de Alumínio (2022).

A sucata deve ser identificada e armazenada no local da série destinado àquela liga. O intuito é evitar o carregamento de sucata em fornos com ligas de séries diferentes, onde visualmente o operador consegue identificar qual a liga e o peso da sucata.

Outra ação proposta é a redução do estoque de sucata. O excesso de sucata na área dificulta a visualização das identificações e separação das sucatas de ligas distintas, além de atrapalhar a movimentação das empilhadeiras e organização da área. Foi proposto que a solicitação de sucata fosse realizada diariamente de acordo com a necessidade de consumo. A ordem de priorização é consumir a sucata da área, caso não tenha a quantidade necessária é realizada a solicitação para o dia. A meta é que até o final de 2022 toda sucata da área seja consumida.

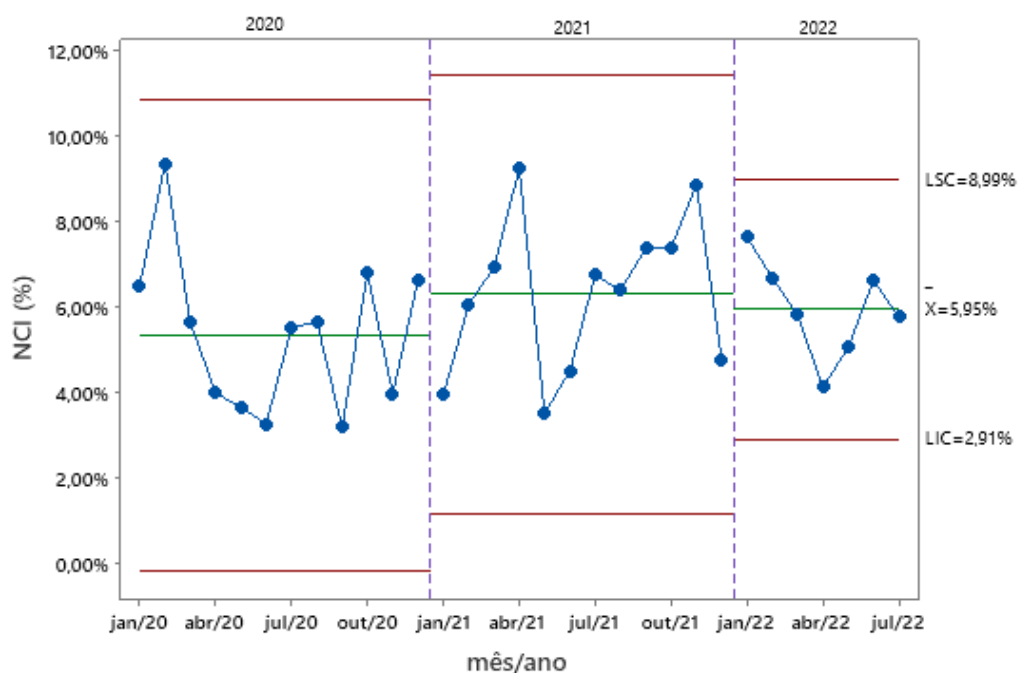
4.5 Controlar

Para controlar o processo utilizou-se como métrica o indicador NCI no gerenciamento de rotina diária, tanto no nível operacional quanto no nível tático. A proposta é que no final de cada mês em que o indicador fechar acima da meta, será realizado o A3 para entender as causas e estabelecer as ações para corrigir os desvios. Foram propostas auditorias internas de sucata para garantir que todas estão identificadas e no local correto.

Todas as ações foram cadastradas no GOL (Gestão Online) para acompanhar o andamento. Serão realizadas reuniões semanais, garantindo que as ações sejam cumpridas no prazo estabelecido. Nessas reuniões também serão apontadas as dificuldades de implementação para que a equipe auxilie na resolução dos problemas. A equipe de liderança é responsável por garantir o fluxo do processo.

O acompanhamento do projeto aconteceu até o mês de julho, devido a transição de empresa pela líder do projeto. Observa-se pela Figura 55, que a média do ano já havia reduzido em relação ao ano de 2021. A variabilidade também diminuiu, como podemos observar pelos limites de controle:

Figura 55 – Carta I-AM de NCI (%) nos anos de 2020, 2021 e 2022.



Fonte: Da autora (2022).

Para garantir a eficiência do projeto e alcance da meta estipulada, tem-se algumas sugestões:

- expandir o TPM para todas as máquinas;
- garantir o registro de contaminações e a sustentabilidade das boas práticas nos fornos;
- testar melhorias no conjunto roca/captador junto com a equipe de engenharia, para reduzir a variação no nível de metal e consequente parada não programada;
- acompanhar o indicador por ao menos 1 ano, desde o início da implementação do projeto;
- analisar o indicador através de uma carta de controle, evidenciando o antes e depois do projeto. avaliar quais as ações foram melhorias e realmente impactaram o indicador e aquelas que não tiveram impacto no processo.

5 CONCLUSÃO

Com a pesquisa foi possível compreender o processo *Twin Roll Caster*, suas medidas de controle, e a metodologia *Lean Six Sigma* juntamente com suas principais ferramentas para aplicação na melhoria contínua de processos.

A implementação do projeto *Lean Six Sigma* permitiu identificar os principais tipos de defeitos nas bobinas *caster*, estes são: diâmetro e composição química. A partir disso foi possível chegar nas principais causas e propor ações para reduzir o indicador de não conformidades no processo.

Concluiu-se que as principais causas estão relacionadas ao mau funcionamento de alguns componentes das máquinas, entre eles os sistemas de tratamento, sistema de spray, refiladeiras, entre outros. Através da análise de falha, observou uma redução no número de paradas de máquina relacionadas ao sistema de tratamento do Alpur. Observou-se um aumento no número de abertura de cartões de anomalias pelos operadores, resultado da implementação da metodologia TPM.

Verificou-se também uma redução no número de contaminações na área dos fornos, principalmente relacionados a correção e preparo incorretos.

Elaborou-se um plano de ação baseado nas principais causas identificadas nos gráficos de Pareto, nas observações diárias e na retomada de ações que se perderam ao longo dos anos.

Evidenciou-se que a aplicação das ações é complexa e depende do comprometimento da equipe de projeto e dos funcionários, são necessárias adaptações e acompanhamento para avaliar quais ações devem ser mantidas e aquelas que não impactaram no projeto.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um projeto *Lean Six Sigma* pode abranger muitas melhorias. Devido ao tempo de implementação, apenas algumas mudanças foram implementadas, sendo algumas sugestões para continuação do projeto:

- Avaliar os demais pontos de causa identificados e propor projetos de melhoria;
- Acompanhamento do indicador durante um ano para validação do projeto.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Selim; MANAF, Noor HA; ISLAM, Rafikul. Effects of Lean Six Sigma application in healthcare services: a literature review. **Reviews on environmental health**, v. 28, n. 4, p. 189-194, 2013.
- ALMEIDA, L. D. C. et al. BPMN e ferramentas da qualidade para melhoria de processos: um estudo de caso. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 156, 2019.
- ALMEIDA, L. R. S. **Criação de software estatístico para orientação e análise de planejamento de experimentos com Microsoft Excel**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- AL-SHEHHI, Nawaf; JAMALUDIN, Khairur Rijal. Kaizen event applied to aluminum manufacturing—Case study. **Journal of Advanced Research in Business and Management Studies**, v. 8, n. 2, p. 45-49, 2017.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of the American statistical association**, v. 49, n. 268, p. 765-769, 1954.
- ANDERSSON, Roy et al. Lean Six Sigma strategy in telecom manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**, 2014.
- ANDERSON, N. C.; KOVACH, J. V. Reducing welding defects in turnaround projects: A lean six sigma case study. **Quality Engineering**, v. 26, n. 2, p. 168-181, 2014.
- ANDRADE, E. et al. Ferramentas Da Qualidade: Diagrama De Pareto. **Universidade da Madeira**, p. 13, 2010.
- ANDRADE, E. S. C. et al. **Redução do tempo de atendimento no processo de doação de sangue**. Dissertação (Especialização em Engenharia da Qualidade e Six Sigma) - Instituto de Desenvolvimento da Amazônia, 2018.
- ARAÚJO, F. et al. Aplicação do Ciclo PDCA em uma empresa de transporte ferroviário PDCA. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 1, p. 121-135, 2018.
- ASSIS, L. F. O.; SERVARE JÚNIOR, M. W. J. Aplicação do gerenciamento de rotina diário no setor de compras em uma empresa de importação e exportação. **Brazilian Journal of Production Engineerin**, v. 7, n. 3, p. 126–138, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Alumínio: cadeia primária**. 2020. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/vantagens-do-aluminio/>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- AZEVEDO, A. A. DE; SILVA, L. L.; GOMES, R. L. R. Ferramentas da qualidade aplicadas à melhoria das operações logísticas em um centro de armazenagem e distribuição de produtos alimentícios. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2018.
- BAHIA, L. O. **Guia referencial para construção e análise de indicadores**. Enap, 2021.

BARBOSA, T. S. et al. Adoção do Lean Six Sigma em serviços: classificação, análise e discussão da literatura / Adoption of lean six sigma in services: classification, analysis and discussion of the literature. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 115645–115666, 2021.

BAREKAR, N.; DHINDAW, B. Twin-roll casting of aluminum alloys—an overview. **Materials and manufacturing processes**, v. 29, n. 6, p. 651-661, 2014.

BASSI, E. et al. Fatores de sustentação dos resultados do kaizen na produtividade: estudo de caso múltiplo. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 275–295, 2020.

BASU, R. Implementing Quality: A Practical Guide to Tools and Techniques. In: Report 9781844800575, **Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration**, Corwal, CA, 2004.

BELCHIOR, F. A. C. **Impactos macroeconômicos na produção brasileira de alumínio de 2010 a 2019**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Dom Bosco, São Luís, 2021.

BISCHAK, D. P.; TRIETSCH, D. The rate of false signals in \bar{U} control charts with estimated limits. **Journal of Quality Technology**, v. 39, n. 1, p. 54-65, 2007.

BROUGH, D.; JOUHARA, H. A indústria do alumínio: Uma revisão sobre tecnologias de ponta, impactos ambientais e possibilidades de recuperação de calor residual. **Revista Internacional de Termofluidos**, v. 1, p. 100007, 2020.

BUGOR, F.; LUCCA FILHO, J. DE. USE OF THE DMAIC METHODOLOGY TO PROMOTE QUALITY IMPROVEMENTS. **Interface Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 724–733, 2021.

CALARGE, F. A. et al. Análise e avaliação da qualidade de serviços internos com foco na manutenção de utilidades em uma empresa de manufatura. **Production**, v. 26, n. 4, p. 724–741, 2015.

CALHEIROS, F. T. **Lean Manufacturing: capacidade de processos em linha produtiva**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2018.

CAMPOS, A. Q.; RECH, S. R. Método para Pesquisa de Tendências: uma revisão do modelo Futuro do Presente. **Moda Palavra**, v. 9, n. 17, p. 27–47, 2016.

CANÇADO, T. O. B.; CANÇADO, F. B.; TORRES, M. L. A. Lean Six Sigma and anesthesia. **Brazilian Journal of Anesthesiology**, v. 69, n. 5, p. 502–509, 2019.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CARRADORI, R. G.; RAMOS, P. Avaliação de testes de normalidade implementados no programar por simulação monte carlo. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, v. 3, n. 2, p. 33-41, 2014.

CARVALHO, A. F.; PERISSOTO, G. C.; RIBEIRO, B. M. B. Aplicação da metodologia DMAIC para redução de custos e eficiência produtiva de uma empresa do ramo metalúrgico. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção – **COMBREPRO**: UTPR, p.10, 2021.

CERAVOLO, M. B.; PEREIRA, V. R. **Aplicação do bpm para melhoria de processos**. XVI Jornada de Iniciação Científica e X Mostra de Iniciação Tecnológica. **Anais...**2020.

CHERRAFI, A. et al. The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016.

CIARNIENE, R.; VIENAŽINDIENĖ, M. Lean manufacturing: theory and practice. **Economics and management**, v. 17, n. 2, p. 726-732, 2012.

CBA. Companhia Brasileira De Alumínio. **Produtos**: produtos primários. Disponível em: <https://cba.com.br/produtos/produtos-primarios/>. Acesso em: 17 maio 2022.

CORREA, C. **Avaliação do uso de espectroscopia no infravermelho para controle e garantia da qualidade da mistura biodiesel/diesel usando cartas de controle multivariadas**. 2012. 47 f. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

COSTA, M. A. B.; GIANEI, M. Identificando Problemas De Rotatividade De Pessoal Através De Ferramentas Da Qualidade. **Colloquium Socialis**, v. 3, n. 2, p. 15–23, 2019.

COSTA, M. T. P.; MOREIRA, E. A. Gestão e mapeamento de processos nas instituições públicas: um estudo de caso em uma Universidade Federal. **Revista Gestão Universitária na América Latina - GUAL**, p. 162–183, 2018.

COUTINHO, T. **Priorize tarefas de maneira correta com o auxílio da Matriz Esforço x Impacto**, Voitto, 2019. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/matriz-esforco-impacto>>. Acesso em 14 de dez. 2022.

CYRINO, L. **Diagrama SIPOC**. Manutenção em foco, set. 2020. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/diagrama-sipoc/>>. Acesso em 20 de dez. 2022.

DIAS, N. Reducing manufacturing defect through statistical investigation in an integrated aluminium industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 36, n. 3, p. 315-321, 2008.

DROHOMERETSKI, Everton et al. Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 3, p. 804-824, 2014.

FALCAO, M. M. **Aplicação da metodologia DMAIC para gestão da manutenção de equipamentos condicionadores de ar: estudo de caso nos prédios administrativos de uma usina sucroalcooleira**. 2022. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2022.

- FEIGENBAUM, A. V. **Total quality control: achieving productivity, market penetration and advantage in the global economy**. New York: McGraw-Hill, 2004.
- FERNANDES, J. V. N. et al. **Study of the grammage of flexible packaging using**. XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. **Anais...**2021
- FERREIRA, B. R. et al. **Concentração do Mercado e Padrão de Concorrência Dual na Indústria de Alumínio no Brasil**. XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**2021.
- FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M. O que realmente significa o valor-p?. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 41, p. 485-485, 2015.
- FINI, M. F. et al. Chemically induced sludge formation in Hall-Héroult process. **Minerals Engineering**, v. 156, p. 106527, 2020.
- FIGUEIREDO, S. D. DE B.; FONSECA, R. DA. **Análise e melhoria de processos numa empresa metalomecânica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2020.
- FRANKEN, J. C. et al. Kaizen event process quality: towards a phase-based understanding of high-quality group problem-solving. **International Journal of Operations & Production Management**, 2021.
- GALIAZI, R. D.; SANTOS, A. E. A eficiência das ferramentas de qualidade no suporte ao gerenciamento de projetos. **Anais do IV SINGEP**, v. 1, n. 3, p. 1–16, 2015.
- GARG, A.; DESHMUKH, S. G. Maintenance management: literature review and directions. **Journal of quality in maintenance engineering**, v. 12, n. 3, p. 205-238, 2006.
- GENNARI, P. L. **Gerenciamento da Rotina Diária e suas Ferramentas de Apoio: Revisão Bibliográfica Daily Routine Management and its Support Tools : Literature Review**. XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. **Anais...**2021.
- GIANISELLE, F. **Evolução microestrutural durante o processo da liga de alumínio AA7108**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2019.
- GIJO, E. V.; SCARIA, J.; ANTONY, J. Application of Six Sigma methodology to reduce defects of a grinding process. **Quality and reliability engineering international**, v. 27, n. 8, p. 1221-1234, 2011.
- GRANATA, G. et al. Primary Aluminum (*Aluminium*) Production. **Intelligen, INC**, v. 12, p. 1- 17, 2021.
- GUIMARÃES, P. G. Z.; DAHLKE, R. E. **Avaliação dos indicadores de qualidade de tempo do centro cirúrgico para procedimentos eletivos em um hospital terciário de Santa Catarina**. 2020. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Medicina) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, SC, 2020.

HADIDI, L. A.; BUBSHAIT, A.; KHREISHI, S. Six Sigma for improving aesthetic defects in aluminum profiles facility. **Facilities**, 2017.

HESSING, L. B. **Using website information content for the improvement of lead generation**. 2018. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Eindhoven University of Technology, Industrial Engineering & Innovation Services, 2018.

IMAI, M. **Kaizen, A Estratégia para o sucesso competitivo**. 5. ed. São Paulo: IMAM, 1994.

JIRASUKPRASERT, P. et al. A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 1, p. 2-21, 2014.

JORGE, G. A.; MIYAKE, D. I. Estudo comparativo das ferramentas para mapeamento das atividades executadas pelos consumidores em processos de serviço. **Production**, v. 26, n. 3, p. 590–613, 2015.

KASSAOKA, J. M. I. et al. **Proposta de aplicação do método six sigma dmaic para melhoria de qualidade em uma indústria de móveis em Goianira, GO**. 2019. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade Unida de Campinas, FacUnicamps, Goiânia, GO, 2019.

KATEGUIRE, T. **Diagrama de Ishikawa: descubra o que é e como colocar em prática!** Gestão de Processos, Qualidade, Zeev.it, 2022. Disponível: < <https://blog.zeev.it/diagrama-de-ishikawa/>>. Acesso em 20 de dez. 2022.

KELES, O.; DUNDAR, M. Folha de alumínio: Seus problemas típicos de qualidade e suas causas. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 186, n. 1-3, p. 125-137, 2007.

KENT, R. **Tools for quality management and improvement. Quality management in plastic process**. New City, Elsevier, 2016.

KETAN, H.; NASSIR, M. Aluminium hot extrusion process capability improvement using Six Sigma. **Advances in Production Engineering & Management**, v. 11, n. 1, 2016.

KRISHNAN, B. Radha; PRASATH, K. Arun. Six Sigma concept and DMAIC implementation. **International Journal of Business, Management & Research (IJBMR)**, v. 3, n. 2, p. 111-114, 2013.

KÜÇÜK, B. B.; KORKUT, D. S. Investigation of total productive maintenance facilities in forest products industry, example of Inegöl. **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, v. 16, n. 2, p. 401-411, 2016.

KURNIA, Hibarkah; JAQIN, Choesnul; MANURUNG, Hasiholan. Implementation of the DMAIC Approach for Quality Improvement at the Elastic Tape Industry. **Jurnal Teknik Industri**, v. 17, n. 1, p. 40-51, 2021.

- KURNIA, Hibarkah; JAQIN, Choesnul; PURBA, Humiras Hardi. Quality Improvement with the DMAIC Approach Using the Implementation of Benchmarking and KPI Methods. **Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)**, v. 2, n. 9, p. 2122-2133, 2022.
- LAW, R. C. et al. Six sigma methodology in improving assembly yield of high-power and high-brightness light-emitting diodes packages for automotive application. In: **2008 33rd IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT)**. IEEE, 2008. p. 1-7.
- LELLIS, N. A.; MACIEL, M. C. F. Aplicação do Lean Six Sigma nas empresas. **Instituto de Educação Tecnológica – IETEC**, v. 1, p. 3, Belo Horizonte, 2015.
- LI, G. et al. Microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of A356 aluminum/AZ91D magnesium bimetal prepared by a compound casting combined with a novel Ni-Cu composite interlayer. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 288, p. 116874, 2021.
- LIMA, R. M. M. DE; PAIVA, H. N. **Aplicação de ferramentas da qualidade na gestão de segurança do trabalho de uma universidade pública federal**. XXVI PESQUISA & EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA. **Anais...**2021
- LINS, B. F. E. Ferramentas básicas da qualidade. **IBICT**, v. 22, n. 2, p. 181–185, 1993.
- LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco A.; OLIVEIRA, Rodrigo J. **Planejamento E Controle Da Produção**. Elsevier Brasil, 2008.
- LYNCH, Donald P.; BERTOLINO, Suzanne; CLOUTIER, Elaine. How to scope DMAIC projects. **Quality progress**, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.
- MARINHO, D. C. **Estudo da dissolução da alumina no banho eletrolítico na produção de alumínio primário em cubas de tecnologia VSS Soderberg**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- MARTINS, J. D. P.; PADILHA, A. F. Characterization of the microstructure of a commercial 3003 aluminum alloy produced by a twin roll caster. **Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 4, p. 427–431, 2006.
- MARQUES, P. Al. A.; MATTHÉ, R. Six Sigma DMAIC project to improve the performance of an aluminum die casting operation in Portugal. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2017.
- MELO DA ROCHA, S. et al. Aspectos Da Composição Do Biodiesel E Sua Relação Com a Resistência a Corrosão De Ligas De Alumínio. **Revista Univap**, v. 26, n. 51, p. 56–66, 2020.
- MENDONÇA, J. D. DOS S.; DECHECHI, E. C.; DAMKE, E. J. Relacionamentos entre orientação à inovação e vantagem competitiva: um estudo na Lar Cooperativa -Paraná / Relationships between innovation orientation and competitive advantage: a study in Lar Cooperativa -Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 89857–89876, 2021.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Grupo Gen-LTC: Rio de Janeiro, 2009.

MORAIS, G. A.; MORAIS, M. O.; SANTOS, O. S. Utilização da Metodologia de Ishikawa (Espinha De Peixe) para Melhoria de Processo com a Redução de Refugo em uma Fundição de Alumínio sob Pressão. **Journal of Technology & Information**, v. 1, n. 2, 2021.

MOREIRA, S. D. L. S. **Proposta de redução de resíduos nãoorgânicos em frigorífico de aves utilizando a ferramenta 5W2H**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2022.

MOREIRA, M. O. **Aplicação da metodologia DMAIC na operação de uma empresa do setor lácteo**. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, MG, 2019.

MUNIZ, G. F. et al. Análise da causa raiz no processo produtivo por meio do uso das ferramentas da qualidade. **DI Factum**, v.1, n.1, p. 75-81, 2016.

NAKAJIMA, S. Introduction to TPM: total productive maintenance. **Productivity Press, Inc.**, 1988. p. 129

NEPAL, B.; MOHANTY, S.; KAY, L. Quality improvement of medical wire manufacturing process. **Quality Engineering**, v. 25, n. 2, p. 151-163, 2013.

NEVES, E. C. **Aplicação da técnica não destrutiva ultrassônica no controle de qualidade de ligas de alumínio envelhecidas artificialmente**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

NEVES JÚNIOR, I. J.; GARCIA, S.; MORGAN, B. F. Definição De Metas Para Avaliação De Desempenho De Agências Bancárias. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 8, n. 4, p. 60–80, 2007.

NOGUEIRA, P. A. F. **Mensuração de desempenho para análise da estratégia competitiva na manufatura aditiva industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

NUNES, J. L. T. et al. **Melhoria do processo produtivo por meio de otimização de processo de envase**. Engepro. **Anais...2018**.

OGATA, C. T. **Correlações entre microestrutura, parâmetros térmicos e propriedades mecânicas de ligas de alumínio da série 5xxx solidificadas unidirecionalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

OAKLAND, J. S. **Total quality management and operational excellence: text with cases**. 4 ed. Routledge: London, 2014. p. 500.

OLIVEIRA, A. C. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de uma fábrica de tarugos de ligas de alumínio da série 6xxx a partir de secundário no Norte do Espírito Santo.** Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Instituto Federal do Espírito Santo, 2018.

OLIVEIRA, B. K. S. DE; OPRIME, P. C.; JARDIM, F. S. Desenvolvimento De Um Modelo Estatístico Para Medir O Desempenho Do Gráfico De Aceitação a Partir Dos Índices De Capabilidade Do Processo. **Cadernos do IME - Série Estatística**, v. 45, p. 01, 2019.

OLIVEIRA, E. B. S. et al. Influência da geometria do pino da ferramenta de soldagem nas propriedades mecânicas e tensões residuais de juntas soldadas de ligas de alumínio 5052-O pelo processo FSW. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 37, n. 2, p. 69–78, 2018.

OLIVEIRA, J. M. A. **Análise de Risco para melhoria contínua da qualidade na produção de medicamentos estéreis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica) - Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2021a.

OLIVEIRA NETO, P. B. DE. **Processamento e propriedades de tiras metálicas fundidas da liga Al-Si a413 produzidas por re laminação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2019.

OLIVEIRA, T. M. O ciclo PDCA e o 5W2H: as ferramentas administrativas aplicadas na organização x. **Revista Valore**, v. 7, p. 1–15, 2021b.

PALIT, P. et al. Failure analysis of work rolls of a thin hot strip mill. **Case Studies in Engineering Failure Analysis**, v. 3, p. 39-45, 2015.

PANAT, R. et al. The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel’s manufacturing R&D environment. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2014.

PAVEZZI, C. C. **O método seis sigma como uma evolução do controle estatístico de processos desenvolvimento de um modelo customizado.** 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2021.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção.** Operações industriais e de serviços. Unicenp, 2007.

PEIXOTO, R. C. C. **Análise da variação típica da composição química de placas de lingotamento contínuo.** 2007.

PEREIRA, C. M. **Implementação de metodologia de gestão de melhorias em empresa de serviço.** p. 28, 2019.

PEREZ-WILSON, M. **Six Sigma: understanding the concept, implications, and challenges.** Scottsdale. Scottsdale: Advanced Systems Consultants, 1999.

PIECHNICKI, A. S. Proposta de um Método de Análise e Solução de Perdas. **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, v. 11, 2014.

PINHEIRO, T. H.; SCHELLER, A. C.; MIGUEL, P. A. Cauchick. Integração do Six Sigma com o lean production: uma análise por meio de múltiplos casos. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1297-1324, 2013.

PIZYBLSKI, E. M.; FRANCISCO, A. C. DE; PONTES, J. **As ferramentas da qualidade e sua aplicabilidade em Indústrias têxteis**. I Congresso Brasileiro De Engenharia De Produção. **Anais...**2012

PRIKLADNICKI, R.; GALARRAGA, O. MA-MNC: **Modelo de Avaliação para Grupos Cooperados de Empresas que Implementam o Modelo MR-MPS**. p. 16–30, 2021.

PRIORI, F. R.; SAURIN, T. A. Problem solving at an emergency room: evaluating a3 and root cause analysis methods. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, v. 20, n. 1, p. 63–94, 2020.

PONTES, L. C. R.; TARRENTO, G. E. Utilização da metodologia dmaic com ênfase na redução de não conformidades em uma indústria de cosméticos. In: **X JORNACITEC- Jornada Científica e Tecnológica**. 2021.

QUEIROZ, A. D. DE; LIMA, C. R. DE. **Análise comparativa dos processos da folha de pagamento para melhoria da competitividade empresarial - estudo de casos em empresas industriais e de serviços**, 2018. Disponível em: <<https://www.intercostos.org/documentos/congreso-08/187.pdf>>

RABELLO, G. **Descubra quais são os indicadores de performance mais utilizados**. Metodologias de Gestão. Siteware, jul. 2022. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/metodologias/quais-sao-indicadores-de-performance/>>. Acesso em 20 de dez. 2022.

RAOUF, A.; BEN-DAYA, M. Total maintenance management: a systematic approach. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 1995.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Métodos estatísticos aplicados à melhoria da qualidade**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

RODRIGUES, A. R. S. **Manutenção industrial, princípios da manutenção produtiva total – TPM, com foco na manutenção autônoma**. 2017. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Centro Universitário UNIFACEVEST, Lages, SC, 2017.

ROMAGNOLI, J. A.; PALAZOGLU, A. **Introduction to process control**. 2. ed. Boca Raton: FL: CRC Press, 2012.

SANDER, C. **Lean Six Sigma: O guia básico da metodologia**. 1. ed. Editora CAE. Edição do Kindle, 2021.

SANTANA, L. A. *et al.* DMAIC methodology applied to problem solving in a petrochemical plant. **Revista Espacios**, v. 36, n. 14, 2015.

SANTOS, D. F.; CASAGRANDE, D. J. Ferramentas da qualidade com ênfase em carta de controle. **Interface Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 784–795, 2021.

SANTOS, A. J.; VALENTINA, L. V. O. D. A Systematic for Effectiveness Analysis of Process Control Methods Production. **Revista Espacios**, v. 36, n. 9, 2015.

SANTOS, J. P.; SILVA, J. J. DA. Improving the productive capacity in the Manufacture of aluminum billets -Alcoa case study. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e583985638, 2020.

SANTOS, T. G. **Utilização de Simulação Computacional Para Análise Do Impacto Causado Pela Alteração No Processo Produtivo De Uma Aciaria**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SANTOS, M. M. M. S. E. **Análise da Filosofia Lean como fator de produtividade – Estudo exploratório**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade Beira Interior, 2021.

SCHMITT, J. C.; LIMA, C. R. C. Método de Análise de Falhas utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. **Revista ESPACIOS** v. 37, n. 38, 2016.

SCHRODER, L. C. et al. Análise da integridade de dados para construção de kpi's na produção: estudo de caso em uma empresa de mineração. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12283–12301, 2019.

SCINTO, P. R. Statistical engineering examples in the engine oil additive industry. **Quality Engineering**, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2011.

SILVA, A. **Efeito das taxas de resfriamento nas propriedades mecânicas e elétricas da liga AA2024**. 2017. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências em Materiais para Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, MG, 2017a.

SILVA, A. DOS S. et al. Variabilidade em gargalos no setor produtivo: um estudo de caso. **Temas em Administração**, v. 6, n. 1, 2014.

SILVA, M. C. N. et al. **Gestão de estoques: implementação da ferramenta 5W2H para o controle de estoque das matérias-primas**. 2019. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, FAPESMIG, Minas Gerais, 2019.

SILVA, A. J. DE J. Analysis of the electrolytic reduction and of its pollutant emissions in a primary aluminum factory in the historical city of Ouro Preto / MG. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, n. 3, p. 176–192, 2020a.

SILVA, A. M. **Comparação de Testes de Qualidade de Ajustamento para Controle Estatístico do Processo numa Unidade Industrial da Indústria Automóvel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2020b.

SILVA, E. M.; GONZALEZ JUNIOR, I. P. A importância do Lean Six Sigma: um estudo de caso na Nestlé Brasil LTDA - unidade Feira De Santana / BA. **Revista Formadores**, v. 15, p. 43–57, 2022a.

SILVA, M. F. **Soldadura por explosão entre ligas de alumínio e compósitos termoplásticos reforçados com fibras**. Dissertação (Mestrado em Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020c.

SILVA, M. M. **Aplicação Da Metodologia Six Sigma Para Melhoria Contínua Da Qualidade Em Uma Indústria Alimentícia**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019a.

SILVA, R. M. DA; GASPAROTTO, A. M. S. Metodologia 5S: um importante perspectiva para a gestão da qualidade na Indústria. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 58, n. 12, p. 7250–7257, 2019b.

SILVA, F. C. M. **Proposta De Indicadores De Desempenho Da Produção: Um Estudo De Caso Em Uma Indústria De Polímeros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

SILVA, R. N. A.; BACELAR, G. R. **Contribuições do Lean à gestão em tempos de crise para redução do índice de falhas falsas no processo produtivo de montagem TVs / LCD**. VII Congresso de Sistemas LEAN. **Anais...**2017b.

SILVA, S. A.; MAGNO, R. N. O. Probabilidade, carta de controle aplicada a software em ciência da educação. **O ensino de matemática na atualidade: percepções, contextos e desafios 2**, n. February, p. 140–163, 2022b.

SILVA, D. R. C. M. **Melhoria Contínua Na Indústria Do Metal Duro: Implementação Simbiótica De Ferramentas Lean**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Indústria I) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2020d.

SILVA, M. G. S.; JESUS, J. S. T. **Utilização do método DMAIC para aplicação de processo de usinagem**. 2018. 32 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2018.

SILVEIRA, C. B. **Os 8 pilares da manutenção produtiva total**. 2016. Disponível em: <www.citisystems.com.br/pilares-manutencao-produtiva-total/>. Acesso em 18 de dez. 2022.

SINGH, K.; AHUJA, I. S. An evaluation of transfusion of TQM-TPM implementation initiative in an Indian manufacturing industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2015.

SELVI, K.; MAJUMDAR, Rana. Six sigma-overview of DMAIC and DMADV. **International Journal of Innovative Science and Modern Engineering**, v. 2, n. 5, p. 16-19, 2014.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOARES, M. M.; AMARANTE, M. S. Metodologia Lean Six Sigma como método para melhorar a produção e reduzir custos. **Pesquisa e Ação**, v. 8, p. 75–96, 2022.

SOUSA, J. V. Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. **Exacta**, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017.

SOUZA, A. M. F. **Uso De Técnicas De Aprendizado De Máquina Para Extração De Conhecimento E Modelagem Do Processo De Produção De Alumínio Primário**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Do Pará, Belém, 2020.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **TPM, total productive maintenance**. Quality Resources, 1990.

TEIXEIRA, R. L. P. et al. Avaliação da melhoria de desempenho da frota de transporte e carregamento de uma mineradora aliando ferramentas estatísticas ao software de despacho eletrônico. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 30928–30939, 2019.

THOMAS, A. J.; JONES, G. R.; VIDALES, P. An integrated approach to TPM and six sigma development in the castings industry. In: **Intelligent Production Machines and Systems**. Elsevier Science Ltd, 2006. p. 620-625.

THOMSETT, M. C. **Getting started in six sigma**. John Wiley & Sons, 2004.

TORMEM, G. R. D. S.; RÖDER, C. **Implantação de indicadores de desempenho para o setor de planejamento e controle da produção em uma Indústria de extrusão de alumínio**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

TRUCOLO, C. C. **Análise de tendências em redes sociais acadêmicas**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

UPADHYAYA, G.; BHAT, S. The effect of contingencies on mutual influence among quality awards and quality initiatives. **The TQM Journal**, 2016.

VAN DER WAL, R. W. E.; LYNN, D. Total productive maintenance in a South African pulp and paper company: a case study. **The TQM Magazine**, 2002.

VIEIRA, I. M.; PACAGNELLA JUNIOR, A. C.; TERRA, L. A. A. Desafios Do Lean Six Sigma Na Indústria De Bebidas. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 19, p. 35–55, 2018.

WANG, C. H.; CHEN, K. S.; TAN, K. H. Lean Six Sigma applied to process performance and improvement model for the development of electric scooter water-cooling green motor assembly. **Production Planning & Control**, v. 30, n. 5-6, p. 400-412, 2019.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Six Sigma**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 253

WICHER, E. W. et al. **Gestão pela Qualidade**. v. 3, Belo Horizonte: Poisson, 2018.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.** 2ª edição. New York: Free Press, 2003.