

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

CRISTIAN JARDEL SCHNEIDER

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC para redução do
índice de defeitos em planta de fundição

Ibirubá
2023

CRISTIAN JARDEL SCHNEIDER

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC para redução do índice de defeitos em planta de fundição

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Metalurgia e Qualidade.
Orientador: Prof. Dr. Adão Felipe Oliveira Skonieski

Ibirubá

2023

SCHNEIDER, Cristian Jardel.

Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC para redução do índice de defeitos em planta de fundição / Cristian Schneider, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Adão Felipe Oliveira Skonieski

87 páginas, il.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá. Engenharia Mecânica, Ibirubá, 2023.

1. Engenharia Mecânica. 2. Qualidade. 3. Metalurgia.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá.

Engenharia Mecânica.

Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC para redução do índice de defeitos em planta de fundição

Cristian Jardel Schneider

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 14 de julho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. (orientador)
IFRS campus Ibirubá

Prof.
Instituição

Prof.
Instituição

Dedico este trabalho aos meus pais Ledecira e Alfeu, e à minha amada esposa Angélica, o meu mais profundo agradecimento por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos, apoiando-me e incentivando-me a alcançar meus objetivos. Sem o amor e o apoio de vocês, essa conquista não seria possível. Vocês são minha força e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força e sabedoria durante toda minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adão, sou grato por sua orientação e apoio indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que compartilharam seu conhecimento ao longo do curso, meu sincero agradecimento por sua dedicação e inspiração.

Por último, quero agradecer ao IFRS Campus Ibirubá, a qual me proporcionou uma formação acadêmica gratuita e de qualidade.

Minha eterna gratidão a todos que contribuíram para esta minha conquista.

“Há três caminhos para o fracasso: não ensinar o que se sabe, não praticar o que se ensina, não perguntar o que se ignora.”

São Beda

RESUMO

O processo de fundição consiste em transformar metais ou ligas metálicas em peças acabadas por meio da fusão em um forno da matéria prima e posteriormente vazamento em um molde que possui a forma negativa da peça desejada. É um método bastante versátil podendo comportar a fabricação de uma variada gama de peças, desde as formas mais simples até as geometrias mais complexas, de forma única ou em série, com isso tornou-se um processo bastante competitivo devido ao baixo custo quando comparado a outros métodos produtivos. A proposta deste trabalho foi aplicar as ferramentas da qualidade e a metodologia DMAIC para reduzir o índice de refugos gerados em uma planta de fundição. Para isso foi realizado levantamento bibliográfico sobre as ferramentas da qualidade, metodologia DMAIC e sobre o processo de fundição e seus defeitos a fim de formar uma base teórica para desenvolver o trabalho. Para iniciar o desenvolvimento do trabalho foi posto em prática os objetivos do trabalho, onde foram realizados levantamentos, tratamentos e estratificação dos dados do refugo obtidos. Através do auxílio do diagrama de Pareto se obteve os defeitos que mais impactam na produção, os quais são a inclusão de areia, junta fria e vazamento incompleto. Com estes três maiores defeitos identificados aplicou-se as ferramentas como Ishikawa e 5 Porquês para definir as causas raízes. Para eliminar uma das causas raízes que era formada pela influência da temperatura ambiente na geração de defeitos, foi implementado uma melhoria que consistiu na substituição das painéis de vazamento por uma com capacidade maior e que durante os testes apresentou resultados positivos, demonstrando que houve uma redução nos índices de refugos gerados por defeitos que envolvem a temperatura do metal durante o vazamento. Pode ser constatado também algumas dificuldades para implementações de melhorias e algumas ações que devem ser tomadas ainda necessitam de uma preparação maior, envolvendo estudos mais detalhados e grandes investimentos. Contudo foi possível concluir que o trabalho apresentou melhorias para o processo, contribuição para a redução dos refugos gerados pela fundição e demonstrando que quando aplicada de forma correta, as ferramentas da qualidade e a metodologia DMAIC podem trazer uma grande melhora para a qualidade tanto da produção quanto do processo.

Palavras chave: Ferramentas da qualidade. Metodologia DMAIC. Fundição.

ABSTRACT

The casting process consists of transforming metals or metallic alloys into finished parts through the melting of raw materials in a furnace and subsequent pouring into a mold that has the negative shape of the desired part. It is a highly versatile method that can accommodate the production of a wide range of parts, from simple to complex geometries, either unique or in series, making it a highly competitive process due to its low cost compared to other manufacturing methods. The purpose of this study was to apply quality tools and the DMAIC methodology to reduce the incidence of scrap generated in a foundry plant. To achieve this, a literature review was conducted on quality tools, the DMAIC methodology, and the casting process and its defects in order to establish a theoretical foundation for the study. The development of the work began by implementing the objectives, which involved data collection, treatment, and stratification of the scrap obtained. Through the use of a Pareto diagram, the defects that had the greatest impact on production were identified, namely sand inclusion, cold joint, and incomplete pouring. For these three major defects, tools such as Ishikawa and 5 Whys were applied to determine the root causes. To eliminate one of the root causes, which was influenced by ambient temperature in defect generation, an improvement was implemented by replacing the pouring ladles with larger ones, which yielded positive results during testing, demonstrating a reduction in scrap rates generated by defects involving metal temperature during pouring. It was also noted that there were some difficulties in implementing improvements, and certain actions still require further preparation, involving more detailed studies and significant investments. However, it was possible to conclude that the study presented improvements to the process, contributed to the reduction of scrap generated by the foundry, and demonstrated that when applied correctly, quality tools and the DMAIC methodology can greatly enhance both production and process quality.

Key words: Quality tools. DMAIC methodology. Casting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os passos da metodologia DMAIC.....	13
Figura 2 - Principais símbolos utilizados no fluxograma.	16
Figura 3 - Exemplo de fluxograma.....	17
Figura 4 - Carta de controle.....	18
Figura 5 - exemplo de diagrama causa e efeito.	19
Figura 6 - Exemplo de folha de verificação.....	20
Figura 7 - Exemplo de histograma.....	20
Figura 8 - Exemplo de diagrama de dispersão.....	21
Figura 9 - Exemplo de diagrama de Pareto	22
Figura 10 - Ciclo PDCA	24
Figura 11 - Ciclo DMAIC.....	26
Figura 12 - Processo de vazamento	27
Figura 13 - Defeito causado por bolha de gás	31
Figura 14 - Camada de areia sinterizada.....	32
Figura 15 - Defeito de escamas	32
Figura 16 - Defeitos por inclusões.....	33
Figura 17 - Quebra de molde	34
Figura 18 - Representação do defeito de deslocamento	34
Figura 19 - Formação do rechupe.....	35
Figura 20 - Defeito de junta fria	35
Figura 21 - Formação da gota fria	36
Figura 22 - Identificação do sintoma <i>Define</i>	39
Figura 23 - Descrição do problema <i>Define</i>	40
Figura 24 - Objetivos do projeto <i>Define</i>	40
Figura 25 - Indicador Produção X Refugo <i>Define</i>	41
Figura 26 – Diagrama SIPOC.....	43
Figura 27 – Fluxograma da fundição.....	44
Figura 28 - Dados do refugo período 04/22 a 04/23.....	45
Figura 29 - Registro de temperatura média no período de 04/2022 a 04/2023	45
Figura 30 - Pareto do refugo em kg.....	46

Figura 31 - Relação inclusão de areia X temperatura média	47
Figura 32 - Relação junta fria X temperatura média	48
Figura 33 - relação vazamento incompleto X temperatura média	48
Figura 34 - Painéis 250Kg	53
Figura 35 - Painel 500kg	53
Figura 36 - Peça utilizada no teste	54
Figura 37 - Placas de identificação dos moldes	55
Figura 38 - Moldes identificados após vazamento	56
Figura 39 - Resultados primeiras painéis 250kg	57
Figura 40 - Resultados últimas painéis 250kg	58
Figura 41 - Resultados primeiros moldes painel 500kg	58
Figura 42 - Resultados primeiros moldes painel 500kg	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de fundidos no Brasil.....	30
Tabela 2 – inclusão de areia.....	49
Tabela 3 – Ishikawa junta fria	50
Tabela 4 – Ishikawa vazamento incompleto.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	QUALIDADE.....	15
2.1.1	Conceito de qualidade	15
2.1.2	Ferramentas da qualidade	15
2.1.2.1	Fluxograma	16
2.1.2.2	Cartas de controle	17
2.1.2.3	Diagrama de Ishikawa	18
2.1.2.4	Folhas de verificação	19
2.1.2.5	Histogramas	20
2.1.2.6	Diagrama de dispersão.....	21
2.1.2.7	Diagrama de Pareto.....	22
2.2	MELHORIA CONTÍNUA	23
2.2.1	PDCA	23
2.2.2	Metodologia DMAIC	25
2.3	FUNDIÇÃO	27
2.3.1	Moldagem em areia	28
2.3.1.1	Areia verde.....	28
2.3.1.2	<i>Shell molding</i>	29
2.3.1.3	<i>Cold box</i>	29
2.3.2	Fundições no brasil.....	29
2.3.3	Defeitos de fundição	30
2.3.3.1	Bolhas	31
2.3.3.2	Sinterização de areia	31
2.3.3.3	Escama	32
2.3.3.4	Inclusões	33
2.3.3.5	Quebra de moldagem.....	33

2.3.3.6	Deslocamento	34
2.3.3.7	Rechupe	35
2.3.3.8	Junta fria	35
2.3.3.9	Gota fria	36
3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAL.....	37
4	RESULTADOS	39
4.1	DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS	39
4.2	MEDIÇÃO	42
4.2.1	SIPOC E FLUXOGRAMA.....	42
4.2.2	ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS.....	44
4.3	ANALISE DOS RESULTADOS	47
4.4	MELHORIAS IMPLEMENTADAS (<i>IMPROVE</i>)	51
4.4.1	TESTES DE VALIDAÇÃO DA MELHORIA	52
4.4.1.1	Descrição da melhoria implementada.....	52
4.4.1.2	Procedimento do teste.....	54
4.4.1.3	Resultados obtidos	57
4.4.1.4	Conclusões do teste.....	60
4.5	CONTROLE.....	60
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APENDICE	64
	APENDICE A – APLICAÇÃO DOS 5 PORQUÊS.....	64
	APÊNDICE B – RESULTADOS DOS TESTES COM AS PANELAS DE VAZAMENTO DE 250KG	76
	APÊNDICE C – RESULTADOS DOS TESTES COM AS PANELAS DE VAZAMENTO DE 500KG	80

1 INTRODUÇÃO

O Processo de fundição é amplamente conhecido e tem inúmeras utilizações, desde itens para setores automotivos como peças até aplicações na engenharia biomédica como próteses. Este processo é conhecido pela facilidade em produzir peças com geometrias variadas podendo ter desde formas complexas quanto simples. A fundição quando aplicada em série traz um grande número de benefícios ao setor produtivo pois consegue-se reduzir custos e atingir uma grande produtividade com variados tipos de modelos de peças.

Com um mercado cada vez mais competitivo a demanda por processos de alta produtividade e com baixos custos de produção fazem da fundição uma das opções quando se busca um processo produtivo com as características descritas acima.

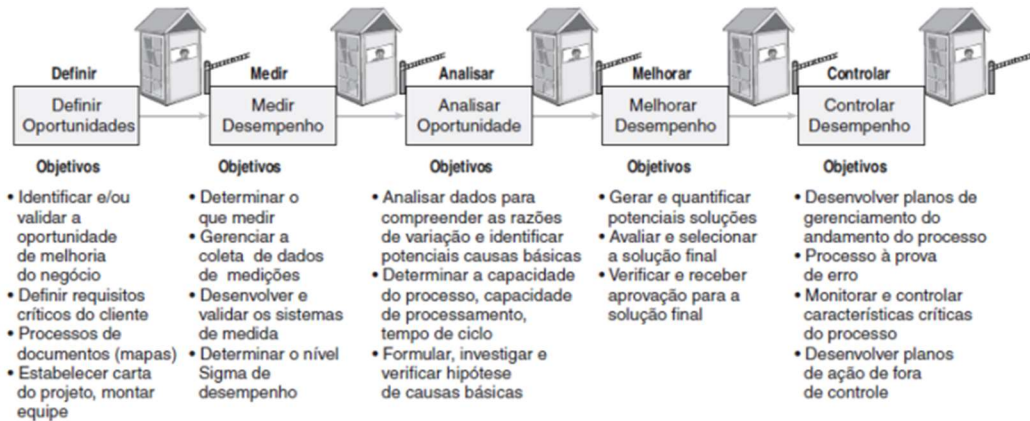
Entretanto com o aumento da demanda também é extremamente necessário ter um controle sobre a qualidade do produto, buscando a redução de defeitos e conseqüentemente um aumento na eficiência da produção, além de também atender as necessidades do cliente.

Segundo Marshall Junior, Rocha, Mota, & Quintella (2012) a qualidade está relacionada às necessidades e aos anseios dos clientes. Seja qual for o porte da empresa, pode-se observar programas de qualidade e de melhoria de processos na maioria dos setores econômicos. Não importa fazer o melhor produto com os melhores processos se o que se faz não vai ao encontro do consumidor, razão de ser de todos os processos organizacionais.

Compreender e melhorar a qualidade são fatores chave que conduzem ao sucesso, ao crescimento e a uma melhor posição de competitividade de uma empresa. A melhor qualidade e o emprego bem sucedido da qualidade como parte integrante da estratégia geral da empresa produzem retorno substancial sobre o investimento (MONTGOMERY, 2004).

Para ter o controle da qualidade e melhoria dos procedimentos, existem alguns métodos que quando aplicados ajudam a controlar, mensurar e melhorar os processos de produção. Uma destes métodos é o DMAIC que é uma abreviação das palavras em inglês *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, em português significa Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Estas siglas representam passos que estão identificados na figura 1.

Figura 1 - Os passos da metodologia DMAIC



Fonte: (MONTGOMERY, 2004)

O DMAIC é um procedimento estruturado de resolução de problema largamente usado na melhoria da qualidade e do processo. Em geral, é associado a atividades do Seis Sigma, e quase todas as implementações do Seis Sigma usam o processo DMAIC para o gerenciamento e conclusão de projetos. No entanto, DMAIC não é necessariamente ligado de maneira formal ao Seis Sigma, e pode ser usado pela organização independentemente do Seis Sigma, sendo um procedimento bem geral. (MONTGOMERY, 2004)

1.1 JUSTIFICATIVA

Uma planta de fundição gera refugos durante todas as etapas de produção, porém estes defeitos se não forem identificados e tratados podem vir a ocasionar grandes perdas tanto de tempo quanto de recursos, por outro lado quando os defeitos são identificados, analisados e tratados ajudam a reduzir os custos e evitar desperdícios além de também aumentar a satisfação do cliente, pois num mercado cada vez mais competitivo é importante manter uma boa produção com qualidade e constância, atendendo as necessidades do cliente e assim agregando qualidade ao produto.

Para tratar estes defeitos é importante a aplicação das ferramentas da qualidade, ajudando assim a identificar os principais defeitos, determinar as possíveis causas e realizar o tratamento das causas raízes, fazendo um controle de qualidade do processo e padronizando assim a produção.

A melhoria contínua também deve se estar ligado a visão de uma empresa, buscando sempre a evolução de seu processo produtivo, tornando-o mais enxuto, com um fluxo definido e aumentando a agilidade e com isso, por consequência, reduzindo os custos e eliminando desperdícios.

Portanto com o auxílio das ferramentas da qualidade e aplicando a metodologia DMAIC pode-se identificar os principais tipos de defeitos, as causas raízes e realizar a melhoria contínua do processo visando reduzir as quantidades de refugo e a redução dos desperdícios de produção de uma planta de fundição.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar dos dados adquiridos no refugo de uma planta de fundição e através destes dados aplicar a metodologia DMAIC, utilizando as ferramentas da qualidade para identificando os principais defeitos, realizar o tratamento dos mesmos, melhorando e controlando o processo da planta de fundição a fim de diminuir o índice de refugo, reduzindo os desperdícios gerados no processo e aumentando a eficiência do mesmo.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Verificar a planta de uma fundição e coletar os dados do refugo diário
- Aplicar a metodologia DMAIC e com auxílio das ferramentas da qualidade, tratar os dados coletados para identificar e eliminar a causa raiz dos principais defeitos.
- Utilizar estes dados tratados e através da metodologia DMAIC buscar melhorias para o processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 QUALIDADE

Com o passar dos anos a qualidade vem desempenhando um papel cada vez mais relevante no que se refere ao aumento da vantagem competitiva para as organizações, uma vez que a mesma é utilizada como forma de medir a satisfação dos clientes, o aumento da produtividade e também a redução de refugo ou retrabalho que conseqüentemente resulta em maior lucratividade as empresas proporcionando maior visibilidade no mercado.

2.1.1 Conceito de qualidade

A qualidade por ser subjetiva pode ter várias definições e elas dependerão do ambiente a qual está sendo empregada. As pessoas compreendem a qualidade com algo que está ligado a característica do produto ou serviço, podendo ser boa ou má e isto está relacionado também a se o produto ou serviço atende as expectativas. Segundo NBR ISO 9001:2015, a qualidade dos produtos e serviços de uma organização é determinada pela capacidade de satisfazer os clientes e pelo impacto pretendido e não pretendido nas partes interessadas pertinentes.

Montgomery (2004) também diz que a qualidade pode ser definida de diversas maneiras mas que a maioria das pessoas compreendem o conceito de qualidade como algo relacionado com uma ou mais características desejáveis que um produto ou serviço deva ter.

2.1.2 Ferramentas da qualidade

Para se ter o controle da qualidade são utilizadas algumas ferramentas as quais ajudam a visualizar mensurar definir e tratar assuntos relacionados a qualidade. São conhecidas também como as sete ferramentas da qualidade, são elas: Fluxograma, Cartas de controle, Diagramas de causa-efeito (espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa), Folhas de verificação, Histogramas, Gráficos de dispersão e Diagrama de Pareto.

As vantagens destas ferramentas é que podem ser utilizadas por pessoas com pouco ou nenhum treinamento e que conseguem ajudar a resolver a maioria dos problemas relacionados a qualidade.

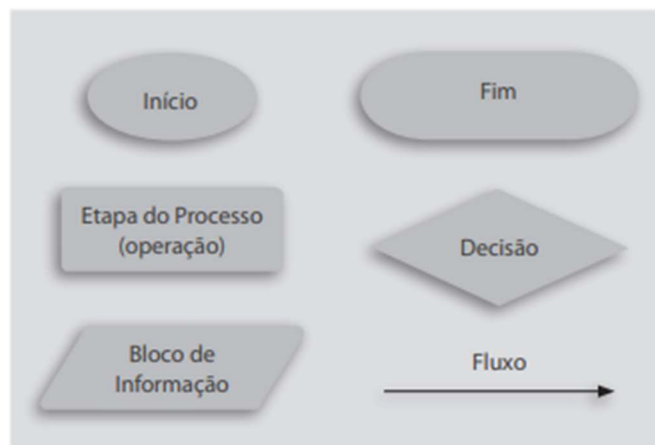
2.1.2.1 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta gráfica que ajuda a visualizar de forma fácil o passo a passo do processo, apresentando uma sequência lógica e de encadeamento de atividades e decisões, obtendo assim uma visão total do fluxo do processo, auxiliando assim a realizar análises para detectar falhas e oportunidades de melhorias.

Seleme & Stadler (2012) definem o fluxograma como uma representação gráfica que permite a fácil visualização dos passos de um processo, apresentando a sequência lógica e de encadeamento de atividades e decisões, a fim de se obter uma visão integrada do fluxo de um processo técnico, administrativo ou gerencial, o que permite a realização de análise crítica para detecção de falhas e de oportunidades de melhorias.

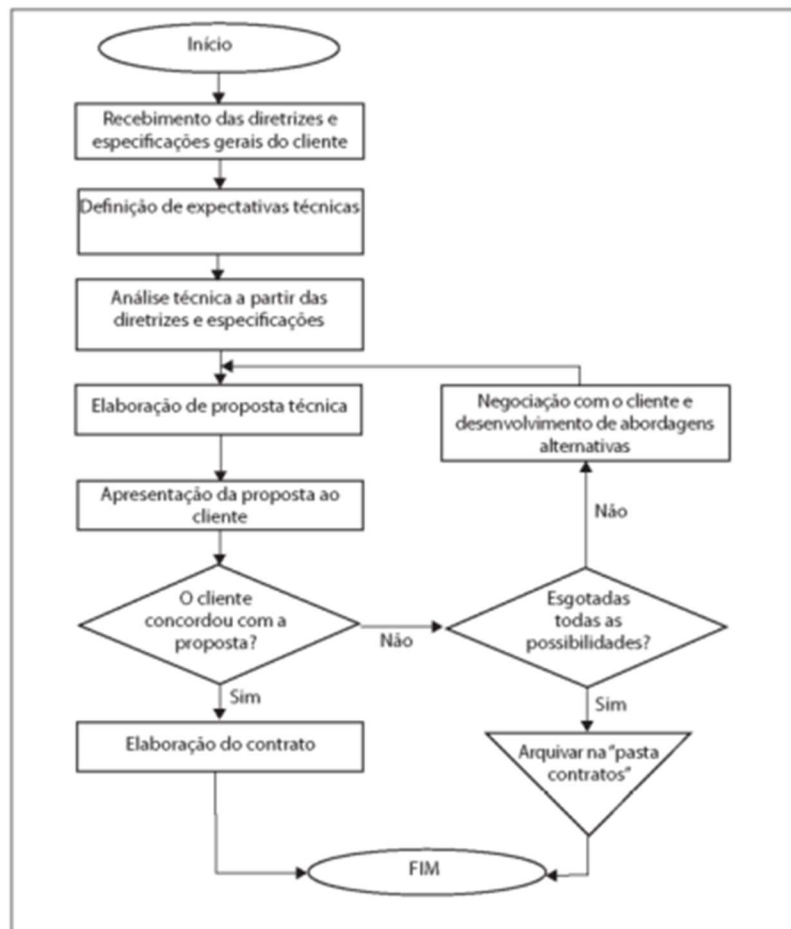
A figura 2 representa os principais símbolos utilizados para realizar a montagem de um fluxograma, o qual também pode ser visualizado em um exemplo da figura 3.

Figura 2 - Principais símbolos utilizados no fluxograma.



Fonte: (MARTINELLI, 2009)

Figura 3 - Exemplo de fluxograma



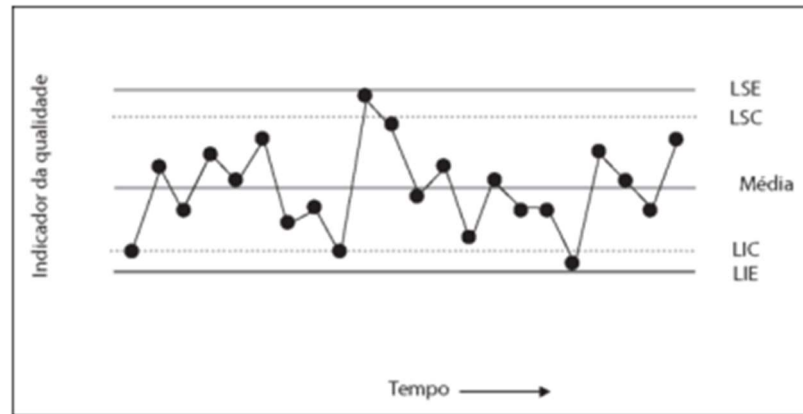
Fonte: (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012)

2.1.2.2 Cartas de controle

A carta de controle, observada na figura 4, também conhecida por gráfico de controle ou carta de controle estatístico de processo (CEP), é uma ferramenta que faz uso da estatística para analisar as variações dos dados em um certo processo. Dessa forma, é possível determinar se as variações estão dentro do limite aceitável.

Segundo Marshall Junior, Rocha, Mota, & Quintella, (2012) a carta de controle é um tipo específico de gráfico de controle, que serve para acompanhar a variabilidade de um processo, identificando suas causas comuns (intrínsecas ao processo) e especiais (aleatórias).

Figura 4 - Carta de controle



Fonte: (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012)

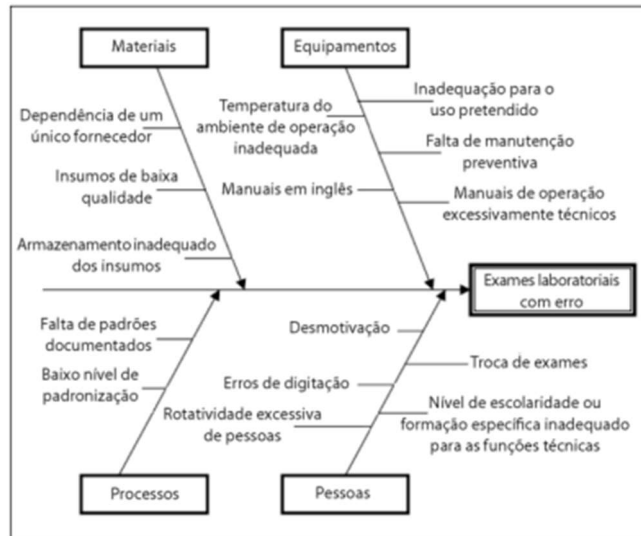
2.1.2.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, apresentado na figura 5, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama espinha de peixe, é uma ferramenta de representação das possíveis causas que levam a determinado efeito.

Este tipo de diagrama é utilizado para a ilustração das várias fontes de não conformidades em produtos e suas inter-relações. É útil para focar a atenção nos problemas da qualidade. O desenvolvimento de um bom diagrama de causa e efeito usualmente melhora o nível de compreensão tecnológica do processo (MONTGOMERY, 2004).

As causas são agrupadas por categorias e semelhanças previamente estabelecidas ou percebidas durante o processo de classificação. A grande vantagem é que se pode atuar de modo mais específico e direcionado no detalhamento das causas possíveis e dependendo da complexidade do diagrama, podem-se desdobrar algumas causas em um novo diagrama de causa e efeito, mais aprofundado e detalhado, a fim de permitir uma abordagem mais minuciosa. (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012)

Figura 5 - exemplo de diagrama causa e efeito.



Fonte: (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012)

2.1.2.4 Folhas de verificação

A folha de verificação ou também conhecida como lista de recolhimento de erros ou checklist de defeitos é um meio utilizado para coletar dados durante os processos de produção, podendo ser montada conforme a necessidade, sendo em forma de formulário, tabela ou até mesmo planilha como representado na figura 6.

Nesta ferramenta, os dados são preenchidos de forma rápida e concisa. Visto que as folhas tem planejamento de forma a simplificar o preenchimento e evitar que o usuário tenha de escrever informações repetidas, evitando o retrabalho.

A folha de verificação é uma ferramenta utilizada para observar e quantificar a frequência em que ocorrem certos eventos, em um determinado período de tempo. Pode-se também ser utilizada para reunir os dados assim como um ponto lógico para iniciar a maioria dos controles de processos ou esforços para solucionar problemas. (MARTINELLI, 2009)

Figura 6 - Exemplo de folha de verificação

Reclamações de clientes	Dia					Total
	Seg.	Ter.	Qua.	Qui.	Sex.	
Atraso	//// //	////	//	//// //// /	//// ////	35
Embalagem	///	/		////	//	10
Atendimento	//// //	//	///	///	/	17
Sujeira	////		//	//// /		12
Riscos	//		////			6
Quebra	///			///	//// ///	15
Total	27	7	11	29	21	95

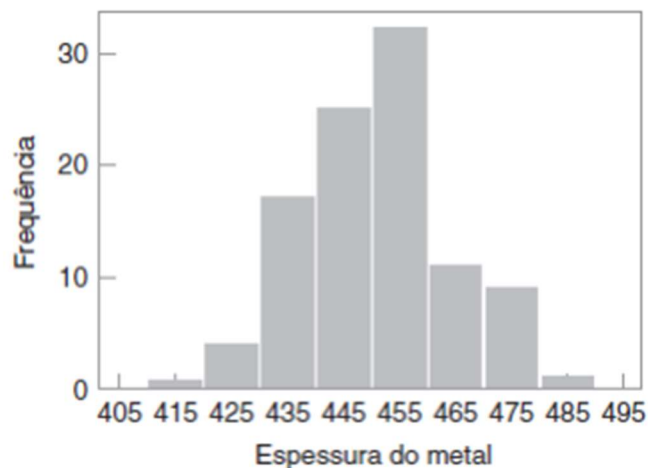
Fonte: Google imagens.

2.1.2.5 Histogramas

Histograma é uma ferramenta que permite mapear padrões de uma amostra através de agrupamentos de dados, estes que possuem variações pois não são sempre os mesmos. Estes dados depois de agrupados e distribuídos por população ajudam a realizar a análises.

Segundo Montgomery (2004), para a construção de um histograma para dados contínuos, deve-se dividir a amplitude dos dados em intervalos, que são usualmente chamados de intervalos de classe, células ou caixas, como pode ser observado na figura 7.

Figura 7 - Exemplo de histograma



Fonte: (MONTGOMERY, 2004)

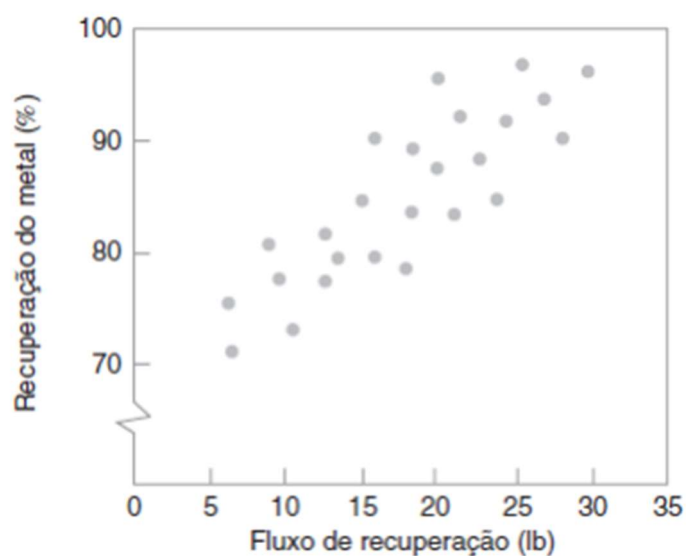
2.1.2.6 Diagrama de dispersão

Segundo Martinelli (2009), o diagrama de dispersão é uma forma de demonstrar graficamente associação entre dados, parâmetros ou fatores. Esse diagrama também apresenta a variabilidade entre esses dados quando há uma alteração sofrida por uma das variáveis, ou o reflexo de uma variável na outra.

O diagrama de dispersão ajuda a visualizar a alteração sofrida por uma variável quando outra se modifica, porém, esse diagrama serve apenas para demonstrar a intensidade da relação entre as variáveis selecionadas, o que não garante, necessariamente, que uma variável seja causa de outra, ou melhor, não garante a relação entre causa e efeito. Dependendo da dispersão apresentada no diagrama, pode-se identificar diferentes níveis de correlação: positiva, negativa ou sem correlação (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012).

A figura 8 apresenta um exemplo de montagem de um diagrama de dispersão.

Figura 8 - Exemplo de diagrama de dispersão



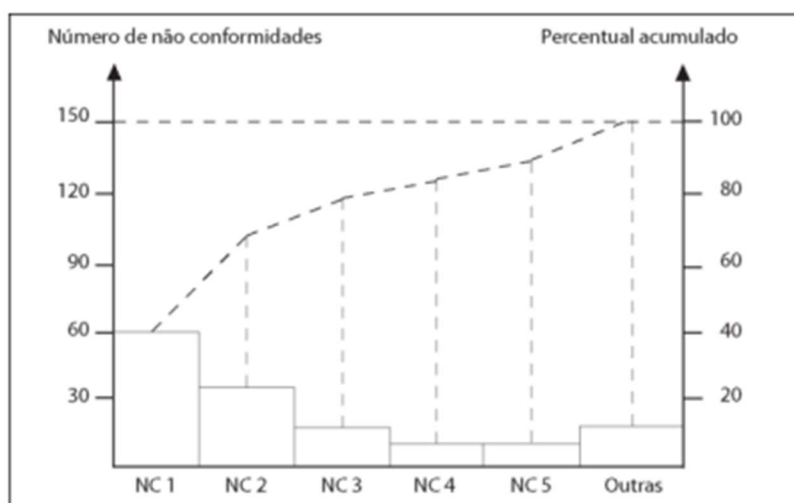
Fonte: (MONTGOMERY, 2004)

2.1.2.7 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto ou também conhecido como gráfico de Pareto é um gráfico de barras, como apresentado na figura 9, o qual é construído a partir de um processo de coleta de dados (em geral, uma folha de verificação), e que é utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto.

A ideia básica surgiu a partir do princípio de Pareto que foi desenvolvido pelo economista Vilfredo Pareto com base no estudo sobre desigualdade na distribuição de riquezas, cuja conclusão era de que 20% da população detinham 80% da riqueza, enquanto o restante da população detinha apenas 20%. Essa relação é também conhecida como a regra dos 80/20 e se aplica a muitos problemas de baixa qualidade, onde a maioria dos defeitos são resultantes de poucos tipos de problemas. O diagrama de Pareto nos ajuda a priorizar a solução dos poucos problemas úteis, em vez de buscar atacar todos de uma vez. (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012).

Figura 9 - Exemplo de diagrama de Pareto



Fonte: (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012).

2.2 MELHORIA CONTÍNUA

O processo de melhoria contínua é uma forma de aprimoramento constante, onde se busca por eficiência, produtividade, qualidade e desempenho de forma gradual e sustentável. É um processo interativo e que envolve a identificação de oportunidades de melhoria, a implementação de mudanças e a avaliação do impacto dessas mudanças. A melhoria contínua é baseada na filosofia de que sempre há espaço para aprimoramento e que pequenas melhorias ao longo do tempo podem levar a grandes resultados. Ela é frequentemente associada à metodologia japonesa de gerenciamento de qualidade chamada *Kaizen*, que enfatiza a participação ativa dos funcionários em todos os níveis da organização.

Para implantar a prática da melhoria contínua e criar uma cultura de padronização por toda a empresa, a direção tem de estar insatisfeita com o desempenho passado e precisa ter coragem para mudar. Tem que estar ansiosa para alterar seu estilo de administração. É essencial que se desenvolva essa crítica. Os colaboradores não podem agir sozinhos e a direção também não. (MARSHALL JUNIOR, ROCHA, MOTA, & QUINTELLA, 2012).

2.2.1 PDCA

PDCA é uma abreviação do inglês *Plan* (planejar), *Do* (Fazer), *Check* (Controlar), *Act* (Agir), é aplicado frequentemente no processo de gerenciamento da qualidade a fim de promover a melhoria contínua a qual é aplicada de forma cíclica e ininterrupta.

Segundo Seleme & Stadler (2012), as quatro fases do ciclo são descritas como:

P → *Plan*: Planejar – É utilizado para definir os objetivos a serem alçados na manutenção ou na melhoria dos métodos e dos processos que servirão para atingir as metas propostas.

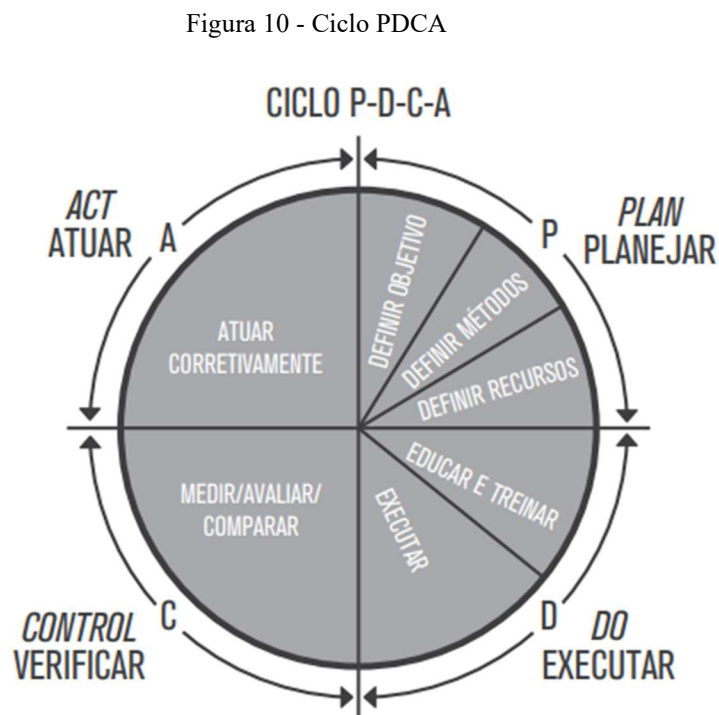
D → *Do*: Fazer, executar – é a realização da educação e dos treinamentos necessários para à execução das atividades que servirão para se atingir os objetivos e efetivamente a execução das atividades que compõem os processos e a realização da manutenção e das medições da qualidade.

C → *Check*: Verificar – é a verificação dos resultados das atividades executadas, comparando as medições realizadas com os objetivos definidos. Procede-se então a análise em direção a melhoria.

A → *Act*: Ação, Agir – Com o resultado das análises anteriores, esta etapa compreende na realização das correções dos desvios apresentados em relação aos objetivos e a eliminação de problemas de acordo com os parâmetros já definidos, ou se necessário, com novos padrões estabelecidos.

O PDCA foi projetado para ser usado como um modelo dinâmico. A conclusão de uma volta do ciclo nos levará diretamente para o próximo ciclo e assim por diante. É por isto que tratado como um processo de melhoria contínua. O PDCA é um método que exige trabalhar continuamente com planejamento e compreender que as tarefas, por mais simples que pareçam, irão requerer algum planejamento, mesmo que não documentado. (POLLI, 2014).

A figura 10 representa de forma gráfica o ciclo PDCA.



Fonte: (POLLI, 2014).

2.2.2 Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC vem do inglês que significa: *Define* (definir), *Measure* (medição), *Analyse* (análise), *Improve* (aperfeiçoamento) e *Control* (controle), esta metodologia é um programa que visa o aperfeiçoamento tanto das pessoas quanto dos processos para a obtenção de um melhor desempenho e resultado. (MARTINELLI, 2009)

Os autores Marshall Junior, Rocha, Mota, & Quintella (2012) definem as fases do DMAIC como:

D – *Define* - Definir - Na primeira fase (D), a equipe do projeto entra em acordo sobre o que ele é e o que se pretende como resultado. Todos na equipe devem estar cientes de qual é o problema e como os clientes estão sendo afetados por ele. Nesta fase, todos precisam definir, com total exatidão, o escopo do projeto, bem como qual é exatamente o benefício que esperam. Principais ferramentas utilizadas nesta fase: brainstorming, matriz GUT, técnica do grupo nominal, diagrama de causa e efeito, gráfico de Pareto, histograma, matriz de priorização e carta de controle.

M – *Measure* - Medir - Na segunda fase (M), todos precisam estar cientes de que a medição é a razão de ser da filosofia seis sigma e que uma medição bem feita, com indicadores apropriados, é o caminho para o sucesso do projeto. Os indicadores é que vão permitir mensurar qual a real situação do problema antes e depois de o projeto terminar. Os indicadores demonstram as melhorias implementadas nos processos. Principais ferramentas utilizadas nesta fase: *brainstorming*, estratificação, folha de verificação, gráfico de Pareto, carta de controle e histograma.

A – *Analyse* - Analisar - O objetivo da terceira fase (A) é confirmar a validade de todos os indicadores levantados na fase anterior e usar esses dados para ratificar a fonte de atrasos, desperdícios e falta de qualidade. Nesta etapa, também são verificados os padrões que serão seguidos na fase seguinte (melhoria). Principais ferramentas utilizadas nesta fase: fluxograma, mapa de processo, *failure mode and effect analysis* (FMEA), histograma, estratificação, *brainstorming*, diagrama de causa e efeito e diagrama de afinidades.

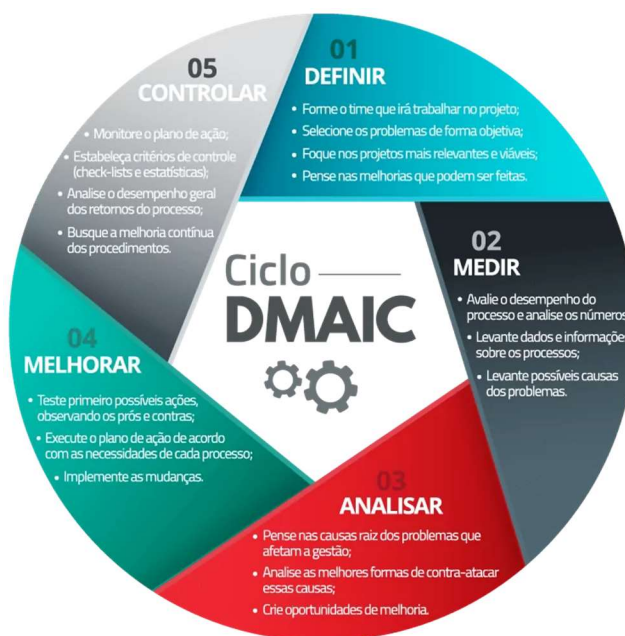
I – *Improve* - Melhorar - Esta fase (I) objetiva fazer as mudanças necessárias no processo, de maneira que este atenda aos objetivos previstos na primeira fase. É prudente não modificar todas as atividades do processo-alvo, e sim fazer o teste em um processo-piloto, no

qual as oportunidades de melhoria poderão ser bem acompanhadas, evitando que haja qualquer desperdício se as propostas de mudança não atingirem seus objetivos. Principais ferramentas utilizadas nesta fase: *brainstorming*, diagrama de causa e efeito, diagrama de afinidades, FMEA e 5W2H.

C – Control - Controlar - A última fase é a mais importante, pois ela permitirá a continuidade do programa de melhoria. Na fase C, precisa-se ter a certeza de que os ganhos serão preservados. Para que isso seja possível, todos os procedimentos deverão ser documentados, bem como os resultados quantificados e, preferencialmente, convertidos em moeda forte, para que todos tenham consciência das vantagens de um projeto bem-sucedido. Há, também, obrigatoriedade de se criar um plano de controle bem delineado, para que todas as variações no processo sejam acompanhadas e possíveis desvios sejam corrigidos. Principais ferramentas utilizadas nesta fase: gráfico de Pareto, histograma, *Poka-Yoke* (metodologia à prova de erros) e carta de controle.

A imagem da figura 11 representa graficamente o ciclo DMAIC.

Figura 11 - Ciclo DMAIC



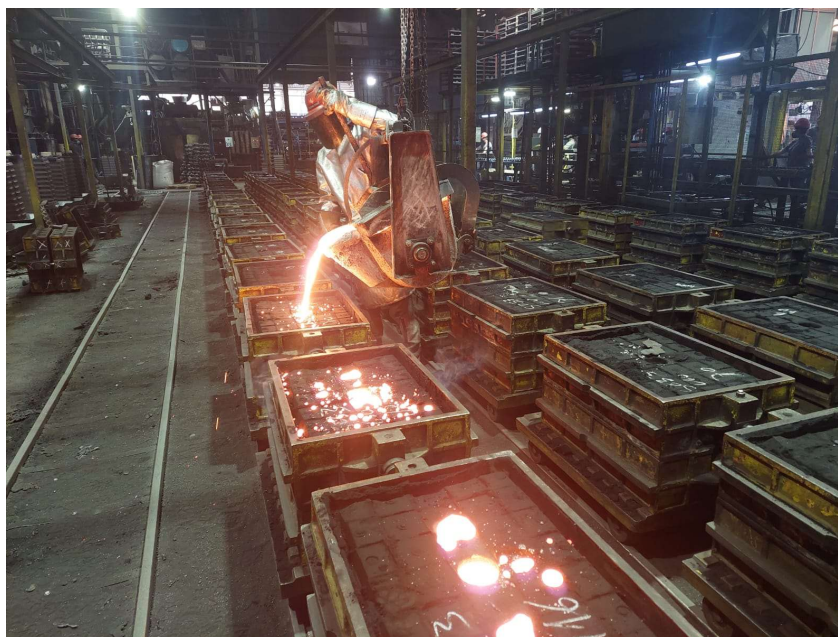
Fonte: Siteware.

2.3 FUNDIÇÃO

Os primeiros objetos fundidos encontrados são datados do período entre 5000 a 3000 a.C., quando foram encontrados pequenos enfeites de cobre fundidos os quais eram feitos através de moldes de pedra lascada, a fundição de ferro começou na China por volta de 600 a.C. e a fundição de aços começou somente a partir dos anos 1740 na Inglaterra. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015).

O processo de fundição ocorre quando o metal (ou liga metálica) é aquecido até atingir o estado líquido, após isso este metal líquido é vazado dentro de um molde que irá ter a forma negativa da figura desejada. (SIEGEL, 1984). Na figura 12 pode-se observar o processo de vazamento, após o metal se solidificar é realizada a desmoldagem e rebarbação para então se obter o item fundido final.

Figura 12 - Processo de vazamento



Fonte: Autoria própria (2023)

Este processo por ser relativamente simples e de baixo custo quando produzido em série se tornou muito utilizado na indústria pois é possível se obter itens com variadas geometrias além de reduzir o número de procedimentos necessários para se obter a peça final quando comparada a outros métodos fabris.

2.3.1 Moldagem em areia

Os moldes utilizados nos processos de fundição podem ser confeccionados em diversas formas, porém um dos métodos mais utilizados é a moldagem em areia, tendo como principais métodos o de areia verde, *Shell molding* e o *Cold box*. Estes métodos tem em comum a utilização da areia como principal matéria prima para a confecção do molde.

Na confecção do molde são utilizadas geralmente três matérias primas principais: areia de base (sílica, zirconita, cromita, sílica vítrea), ligantes (argila, resinas, silicato de sódio, cimento) e produtos de adição (carvão mineral, serragem, óxido de ferro). A escolha da matéria prima possui influência direta nas propriedades do molde, sendo as principais a facilidade de confecção, comportamento inerte em relação ao metal de vazamento e facilidade de desmoldagem. Por isso, a escolha do método de fabricação e da matéria prima é fundamental para que a peça adquira as propriedades mecânicas e metalúrgicas requeridas pelo projeto, já que o processo de moldagem influencia nas variáveis que controlam a solidificação como taxa de resfriamento e também no acabamento superficial da peça. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015).

2.3.1.1 Areia verde

A moldagem em areia verde é a mais empregada nas fundições pois é um processo que quando feito em grande escala se torna econômico além de também atingir uma boa qualidade nos itens produzidos por este tipo de moldagem.

O processo consiste basicamente em compactar uma mistura de areia composta por uma liga de areia silicosa, argila e água sobre um modelo que possui o formato negativo da peça desejada. O molde pode receber machos também dependendo do projeto para realizar as furações e vazios necessários e logo após já pode receber o processo de vazamento sem a necessidade de esperar que ocorra a secagem do mesmo. (SIEGEL, 1984)

2.3.1.2 *Shell molding*

O processo de fundição em casca é baseado no uso de uma mistura de resina sintética com areia sobre uma placa metálica aquecida, formando uma casca de pequena espessura sobre a mesma. As resinas empregadas são normalmente do tipo fenólico e a areia deve apresentar uma granulometria em torno de 100 AFS (American foundrymen's society), isento de qualquer impureza. A mistura é constituída normalmente de 2 a 8 partes de resina para 100 partes de areia, sendo a homogeneização obtida em qualquer tipo de misturador usado em fundição. Os modelos e placas são confeccionados em ligas metálicas, sendo as placas um sistema de pinos extratores que permite a retirada da casca. Com o objetivo de evitar a aderência da casca na placa pintam-se os modelos e placas com tintas isolantes (BALDAM & VIEIRA, 2015, PÁG. 190. APUD SIEGEL, 1984)

2.3.1.3 *Cold box*

O processo *Cold Box* utiliza um catalisador básico do tipo amina que é pulverizado junto a um gás de arraste, polimerizando a resina. Esse processo por dispensar estufagem e longos tempos de secagem praticamente desativaram processos antigos como areia-seca, areia-cimento, entre outros. Apesar do custo elevado da resina e da possibilidade de algumas gerarem gases nocivos à peça e à saúde do moldador, a qualidade e a rapidez de obtenção dos moldes ampliaram a demanda por machos e moldes obtidos a partir desses processos. (SOARES, 2000)

2.3.2 **Fundições no Brasil**

As primeiras fundições no Brasil surgiram por volta de 1580 em São Paulo e destinavam-se a fundir minérios de ouro extraído de minas em Jaraguá e arredores. com o passar dos anos novas casas de fundição foram sendo criadas em outros estados como por exemplo em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia. A partir do século XVII as fundições começaram a fundir minérios de ferro através das construções dos primeiros alto-forno do país. Segundo Bethell (2002), a crescente demanda devido a novas ferrovias e portos fomentaram o desempenho das fundições, de modo que os pátios das companhias férreas e os estaleiros passaram a ter as fundições mais bem equipadas do país.

Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), durante o ano de 2022 foram produzidas no Brasil 2.263.584 toneladas de fundidos. Um aumento de 11,3% em relação ao ano de 2021 como pode ser observado na tabela 1 logo mais abaixo.

Tabela 1 - Produção de fundidos no Brasil.

PERÍODO	DEZ/22 (A)	NOV/22 (B)	DEZ/21 (C)	A/B %	A/C %	JAN-DEZ/22 (D)	JAN-DEZ/21 (E)	D/E %
METAL								
1- FERRO TOTAL	153.583	188.042	138.007	(18,3)	11,3	2.263.584	2.036.521	11,1
2- AÇO TOTAL	17.248	24.726	16.443	(30,2)	4,9	289.588	267.065	8,4
3- NÃO FERROSOS	14.160	17.607	14.056	(19,6)	0,7	425.521	402.768	5,6
3.1 - COBRE	2.937	2.929	2.865	0,3	2,5	34.815	33.067	5,3
3.2 - ZINCO	98	98	98	-	-	1.176	1.176	-
3.3 - ALUMÍNIO	10.705	14.160	10.673	(24,4)	0,3	169.491	168.485	0,6
3.4 - MAGNÉSIO	420	420	420	-	-	5.039	5.040	-
3.5 - CHUMBO	---	---	---	---	---	215.000	195.000	10,3
4 - TOTAL GERAL	184.991	230.375	168.506	(19,7)	9,8	2.978.693	2.706.354	10,1

Fonte: ABIFA/NÚCLEO DE ESTUDOS DE MERCADO-NEM

2.3.3 Defeitos de fundição

Os defeitos das peças fundidas podem ser ocasionados durante várias etapas do processo e também podem ter diferentes causas. Por isso se faz importante as inspeções dos itens, e o controle destas não conformidades, pois muitas vezes mesmo que o defeito não interfira no funcionamento da peça, em muitos casos é necessário tratamentos adicionais para reduzir ou eliminar completamente estes defeitos, o que torna a fabricação das peças mais cara. Muitos destes defeitos externos podem ser facilmente eliminados durante o processo de limpeza através de jatos de granalha ou durante a fase de rebarbação ou retificação do item. Porém outros defeitos mais difíceis de serem eliminados podem ser aceitos dependendo da aplicação. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015).

Há muitos tipos de defeitos que podem ocorrer nos itens fundidos e os principais que atingem as formas de moldagem em areia estão listadas abaixo.

2.3.3.1 Bolhas

Durante o vazamento, o fluxo do metal líquido entrando no molde acaba se misturando com os gases que são expelidos do molde e estas bolhas flutuam para a superfície do metal, mas são presos pelo metal em solidificação. Estas bolhas geram uma deformidade na peça, são pequenos furos arredondados. Há vários fatores que podem causar este defeito nos itens fundidos, desde excesso de humidade no molde até baixa permeabilidade do bolo. (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017).

A figura 13 apresenta uma peça com defeito por bolhas de gás.

Figura 13 - Defeito causado por bolha de gás

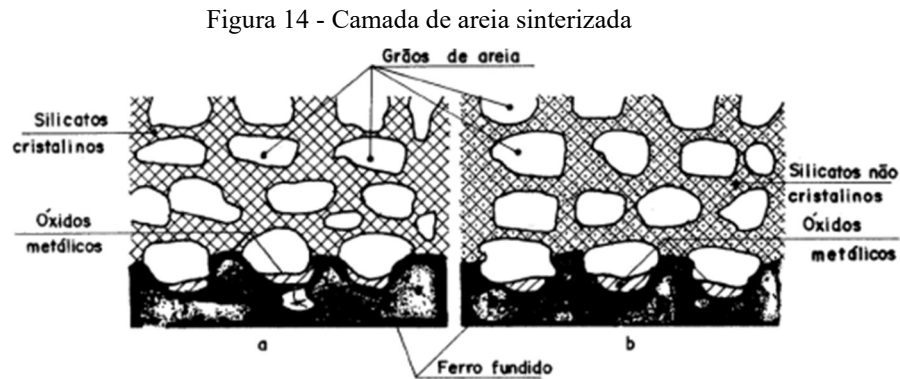


Fonte: (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

2.3.3.2 Sinterização de areia

Quando metais ou ligas de maior ponto de fusão, como ferros fundidos e aços, entram em contato com impurezas de baixo ponto de fusão como silicato de sódio, óxido de ferro e argila inerte entre outros, é comum estas impurezas e parte dos grãos de areia se fundir com parcela do metal e com isso gerar uma crosta sinterizada muito dura, que só pode ser retirada da peça por maçarico ou esmerilhamento. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015)

Na figura 14 pode se observar uma exemplificação do defeito ocasionado por uma camada de areia sinterizada sobre o ferro fundido.

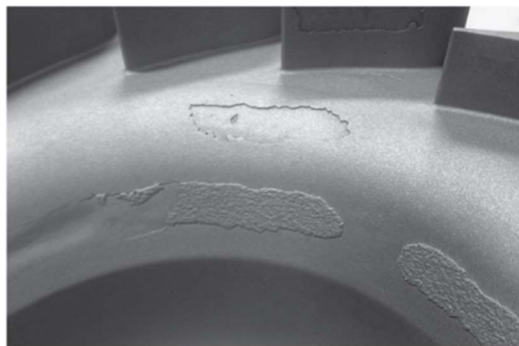


Fonte: (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015)

2.3.3.3 Escama

O defeito de escama, que pode ser observado na figura 15, ocorre quando uma parte superficial da parede do molde se rompe e ocasiona penetração do metal. O defeito tem a característica de uma casca de metal misturado com areia e que pode ser facilmente removido com auxílio de um martelo pneumático ou uma lixadeira. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015).

Figura 15 - Defeito de escamas



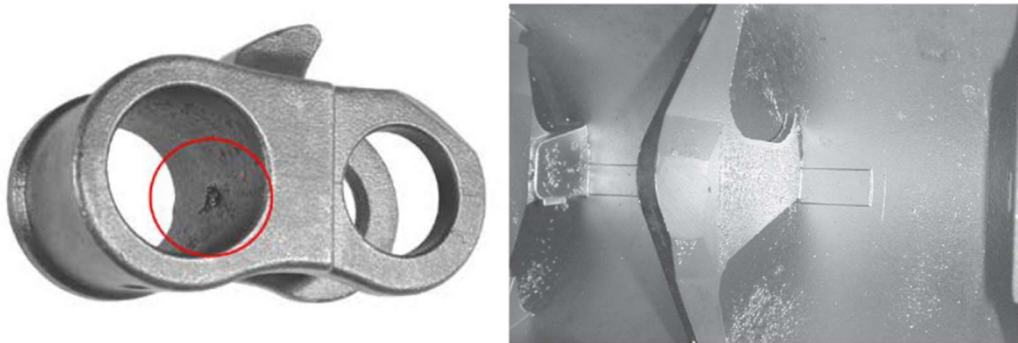
Fonte: (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

2.3.3.4 Inclusões

As inclusões são causadas por materiais estranhos que adentram do molde e que acabam por não se misturarem ao banho de metal líquido causando a segregação deste material e formando descontinuidades na peça. Estas inclusões podem ser originadas tanto por materiais metálicos como por não metálicos. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015)

A figura 16 apresenta peças com o defeito gerados por inclusão.

Figura 16 - Defeitos por inclusões



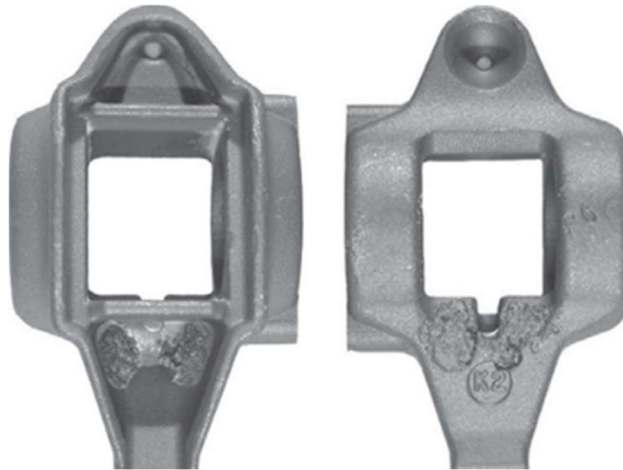
Fonte: (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

2.3.3.5 Quebra de moldagem

A quebra de moldagem ocorre quando o molde não tem uma força de aglomeração suficiente e durante o processo de vazamento acaba por quebrar fazendo que a areia penetre no metal líquido e o molde tenha uma geometria diferente da original ocasionando o refugo da peça por completo. (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

Imagem 17 apresenta uma peça refugada devido à quebra do molde.

Figura 17 - Quebra de molde



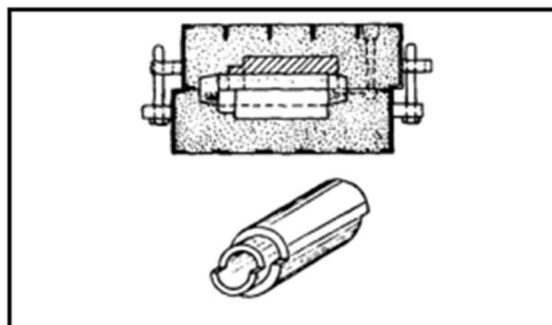
Fonte: (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

2.3.3.6 Deslocamento

O defeito por deslocamento ocorre quando um molde tem uma diferença de alinhamento entre sua parte superior em relação a parte inferior causando um efeito de deslocamento na emenda do item. Este defeito pode ser ocasionado por um desgaste dos pinos de alinhamentos das matrizes quando os desgastes dos pinos e buchas das caixas de moldagem.

A figura 18 apresenta uma peça com defeito de deslocamento.

Figura 18 - Representação do defeito de deslocamento

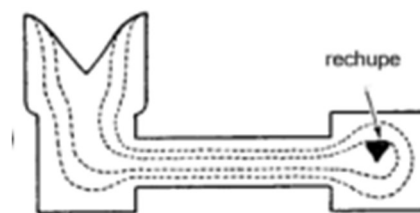


Fonte: (SOARES, 2000)

2.3.3.7 Rechupe

O rechupe ou porosidade é um defeito característico que aparece em fundidos e ocorre devido a contração do material durante o seu resfriamento. Quando esse metal resfria ele diminui seu volume, porém se houver a falta de metal pode ocorrer o aparecimento de vazios na peça, estes que são chamados comumente de rechupe e podem ser observados na figura 19.

Figura 19 - Formação do rechupe



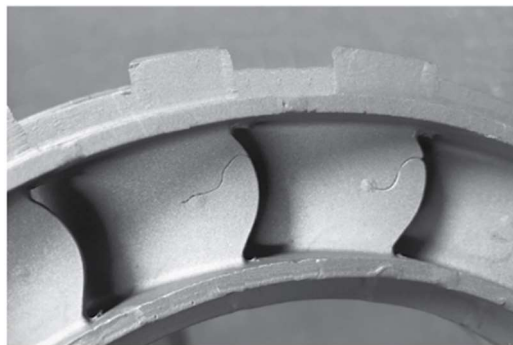
Fonte: (SOARES, 2000)

2.3.3.8 Junta fria

A junta fria é uma descontinuidade na forma de fissura a qual aparece como uma junta visível ao longo de um plano horizontal da peça. As duas porções da peça podem estar completamente separadas ou unidas em alguns pontos. As partes mais baixas apresentam bordas arredondadas pode ocorrer devido à baixa temperatura de vazamento assim com também devido a interrupção do processo de vazamento.

A figura 20 apresenta uma peça com defeito de junta fria.

Figura 20 - Defeito de junta fria



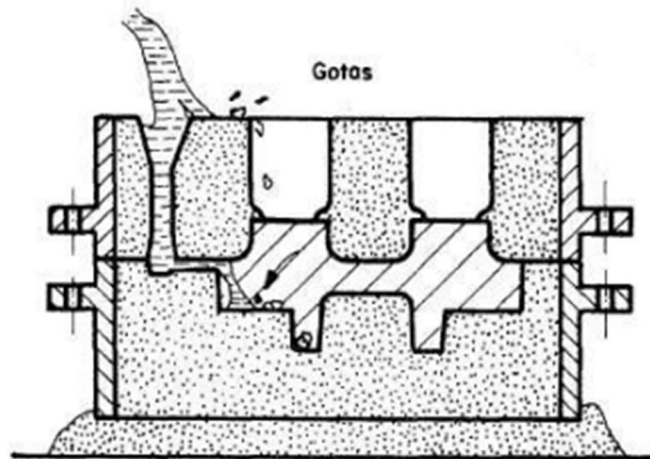
Fonte: (ATLAS OF CASTING DEFECTS, 2017)

2.3.3.9 Gota fria

A gota fria é uma inclusão de mesma composição química do metal base, geralmente de formato esférico, podendo ser envolvida numa camada de óxido. Geralmente ocorrem devido à queda de gotas do metal que caem prematuramente durante o processo de vazamento e acabam por solidificar sem que haja tempo de redissolução. (BALDAM & VIEIRA, Fundição: processos e tecnologias correlatas., 2015)

A figura 21 ilustra a formação do defeito por gota fria em um item fundido.

Figura 21 - Formação da gota fria



Fonte: (Baldam & Vieira, 2015)

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAL

Para a realização deste trabalho primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico visando formar uma base sólida sobre o assunto abordado, utilizando de livros, trabalhos, sites, revistas e artigos, pois segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa é um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais.

Após a construção desta base referencial, partiu-se para a aplicação do DMAIC na forma prática, onde o primeiro passo D (*define*) foi iniciado, buscando definir o objetivo de forma clara e concisa, a fim de estabelecer o propósito do trabalho.

Com o objetivo fixado seguiu-se para o próximo passo, M (*measure*), foi então realizado o levantamento dos dados de refugo que são coletados diariamente através das anotações de controle do refugo, as quais são lançadas em planilhas excel pelo responsável pelos registros do PCP da fundição, os dados observados foram durante o período de abril de 2022 até abril de 2023. É importante também conhecer o fluxo do processo e todos as entradas e saídas que o mesmo possui, sendo assim, para auxiliar nestes quesitos foi realizado a construção do fluxograma e do diagrama SIPOC, para então, obter-se uma forma mais visual do fluxo do processo. Os dados que foram coletados neste passo também necessitaram passar por uma estratificação para facilitar a análise.

No terceiro passo foi elaborado a análise, A (*analyse*), destes dados adquiridos anteriormente com o auxílio do diagrama de Ishikawa pode-se definir causas e efeitos dos 3 principais defeitos dos itens fundidos que mais afetam a produção, também se realizou um brainstorming de forma mais casual com alguns dos principais colaboradores da linha de produção a fim de encontrar as variadas causas que podem estar relacionadas ao surgimento do defeito. Com estas ideias captadas foi aplicado o método dos 5 porquês para poder encontrar a causa raiz do problema.

No quarto passo, I (*improve*), foram preparados planos de ações de modo a centralizar e organizar os esforços para solucionar os principais defeitos identificados e melhorar o processo, neste momento foram levantadas as possibilidades mais acessíveis no momento, assim como também foram identificadas soluções mais complexas e que envolvem graus maiores de mudanças do processo para poder atingir melhorias consideráveis. Também foi

realizado um teste com uma das ações definidas a fim de visualizar a eficiência desta solução encontrada.

O quinto e último passo, C (*control*), foi definir um plano de controle para o processo a fim de realizar uma análise contínua do mesmo para inspecionar e comprovar que as melhorias implementadas foram realmente eficazes e assegurar que as práticas adotadas continuam sendo realizadas conforme o definido, além de assegurar a implementação das ações ainda em andamento.

4 RESULTADOS

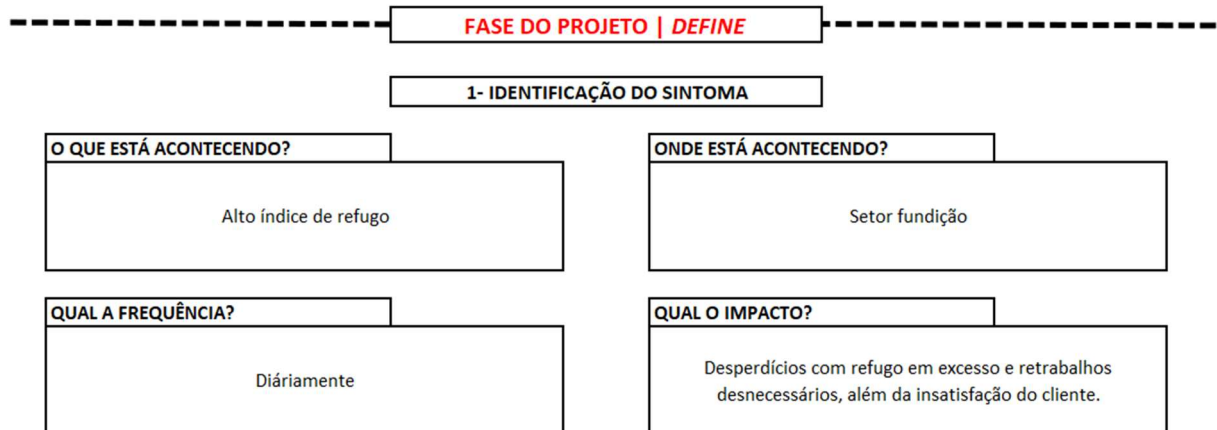
4.1 DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS

O processo de fundição, assim como outros métodos produtivos, também está sujeito a gerar itens não conformes ao decorrer do seu andamento, esses defeitos devem ser analisados e tratados corretamente de modo a mitigar o máximo possível a ocorrência dos mesmos, evitando assim desperdícios com refugo em excesso e retrabalhos desnecessários.

Com isto em mente e com o auxílio do conhecimento adquirido ao decorrer do curso, venho a oportunidade de aplicar de forma prática os ensinamentos em uma planta de fundição. Para isto foi primeiramente definido os problemas que acometem os produtos fundidos, este é um ponto de grande abrangência pois podem estar relacionados a diversos fatores, tanto humanos quanto referentes a processo e também ao meio ambiente.

Portanto na fase de definição do projeto *Define*, o primeiro passo foi realizar a identificação do sintoma como pode ser observado da imagem 22 logo mais abaixo.

Figura 22 - Identificação do sintoma | *Define*



Fonte: Autoria própria (2023)

Com o sintoma definido e identificado, o segundo passo foi realizar a descrição do problema, pois ele é importante para ter uma melhor compreensão do mesmo além de seu impacto. Na imagem 23 está ilustrado a descrição do problema.

Figura 23 - Descrição do problema | *Define*

2 - DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O processo produtivo da fundição acaba gerando refugos porém se este índice estiver elevado significa que o processo de produção está com algum problema que acaba ocasionando redução da eficiência, aumento de custos, além de causar a diminuição da qualidade do produto, gerando assim insatisfação dos clientes.

Fonte: Autoria própria (2023)

Outro passo importante durante a fase de definição é estabelecer o objetivo do projeto, pois é com ele que se define a direção e o propósito do trabalho, além de também já se ter uma ideia dos resultados esperados. A imagem 24 exemplifica os objetivos do projeto.

Figura 24 - Objetivos do projeto | *Define*

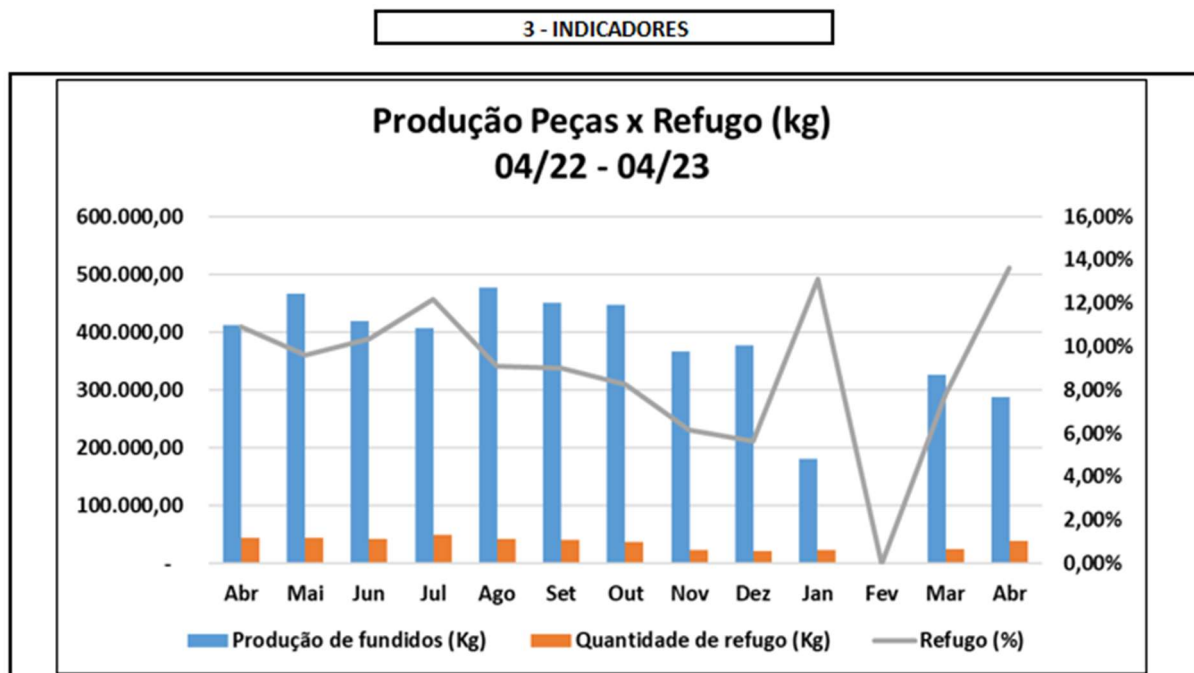
2.1 - OBJETIVO DO PROJETO

Aprimorar o desempenho operacional, reduzir defeitos e maximizar a qualidade dos produtos fundidos.

Fonte: Autoria própria (2023)

Durante a definição dos problemas também é necessário estar atentos aos indicadores pois são estes que irão fornecer informações que nos ajudarão a entender o processo, identificar tendências, avaliar o comprimento das metas e ajudar a tomar decisões. Para este trabalho foram observados alguns indicadores e um destes é apresentado abaixo na imagem 25 onde demonstra a quantidade de refugo em relação a produção por mês durante o período do estudo que foi de abril de 2022 a abril de 2023. No gráfico é possível notar um ponto totalmente fora da curva que é referente a fevereiro de 2023, neste mês a planta da fundição passou por um processo de melhorias e automação, o que resultou na parada por completo na moldagem e consequentemente deixando o mês zerado de produção.

Figura 25 - Indicador Produção X Refugo | *Define*



Fonte: Autoria própria (2023)

Com a finalização de todos estes primeiros passos, o estágio da definição (*Define*) da metodologia DMAIC foi completada, este é uma etapa fundamental para estabelecer uma base sólida para o projeto de modo a permitir uma compreensão clara do problema, o estabelecimento de metas e objetivos, a delimitação do escopo e o alinhamento com a estratégia para atingir os objetivos finais.

4.2 MEDIÇÃO

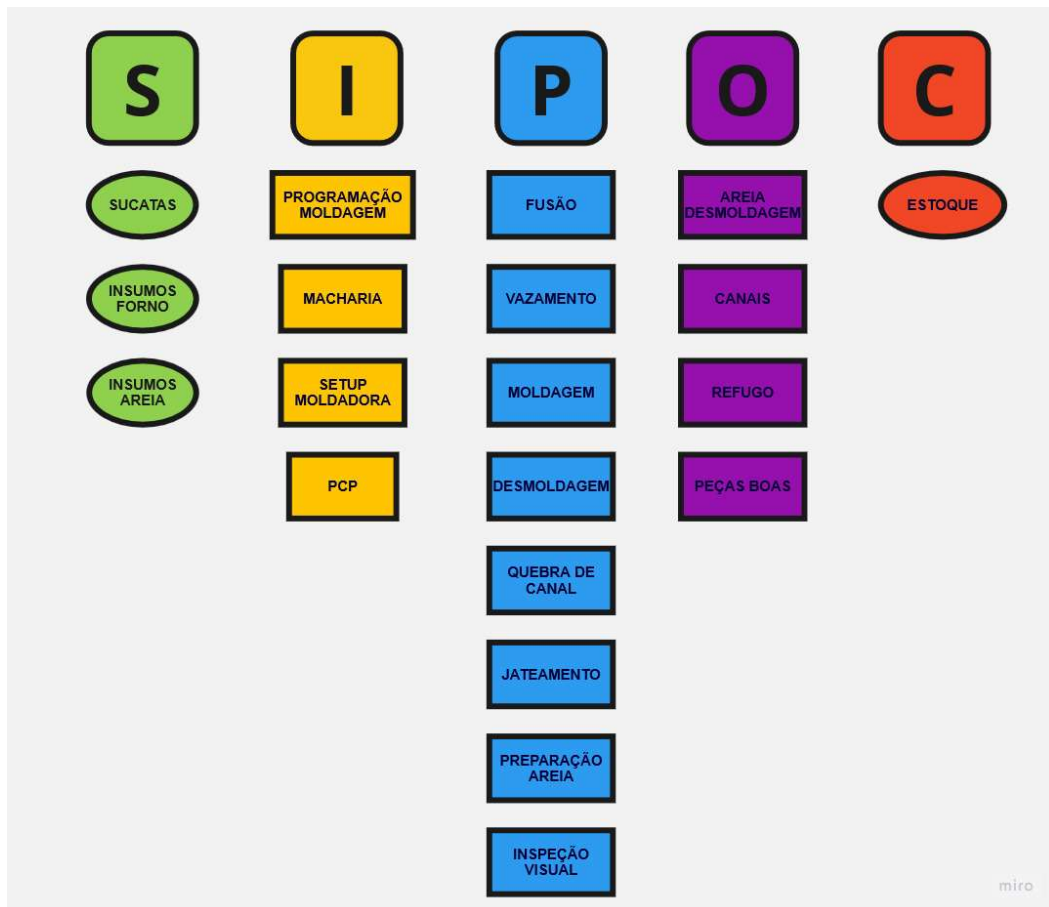
A etapa medir (*Measure*) do DMAIC é muito importante porque envolve a coleta de dados para entender como o processo está funcionando atualmente. Todos esses dados ajudam a ter uma visão clara do problema e identificar áreas que precisam ser melhoradas. Com base nessa análise, foi possível estabelecer indicadores de desempenho e identificar as causas raiz dos problemas. Os dados também orientam nossas decisões e nos ajudam a definir pontos essenciais do processo para a realização das melhorias necessárias.

Deste modo, deve-se também conhecer as etapas que regem o processo de fundição, pois isto facilita o entendimento das entradas e saídas e também nos fornecem conhecimento sobre locais que possam gerar não conformidades.

4.2.1 SIPOC E FLUXOGRAMA

Uma das ferramentas que nos ajudam neste quesito é o diagrama de SIPOC, pois ele é uma ferramenta simples e útil que representa de forma visual os elementos essenciais de um processo: *Suppliers* (fornecedores), *Inputs* (entradas), *Process* (processo), *Outputs* (saídas) e *Customers* (clientes). Ele demonstra a sequência do processo, destacando as interações entre cada elemento. Este diagrama ajuda a obter uma visão geral do processo, identificar os pontos chaves de entrada e saída, e compreender as relações entre fornecedores, entradas, processo, saídas e clientes, e por este motivo foi elaborado um diagrama SIPOC do processo de fundição que pode ser observado na figura 26 abaixo.

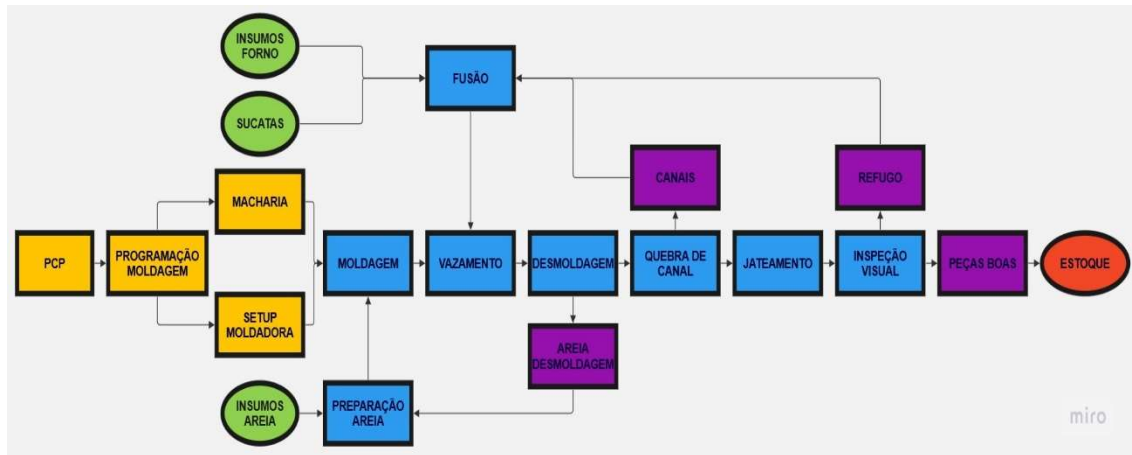
Figura 26 – Diagrama SIPOC



Fonte: Autoria própria (2023)

Outra ferramenta elaborada para ajudar a compreender melhor o processo de fundição foi o fluxograma que está representado na figura 27. Este artifício representa graficamente a sequência de etapas do processo. O fluxograma ajuda a identificar gargalos, redundâncias, desperdícios e oportunidades de melhoria, permitindo que as equipes otimizem o processo, aumentem a eficiência, comuniquem-se de forma mais eficaz e tomem decisões informadas com base em uma representação visual.

Figura 27 – Fluxograma da fundição



Fonte: Autoria própria (2023)

Com a elaboração destas duas ferramentas de forma conjunta pode-se obter uma visão mais completa do processo, o que também ajuda a entender melhor o fluxo de trabalho, assim como os componentes essenciais ao mesmo, além de também ajudar a identificar oportunidades de melhorias de forma mais eficaz.

4.2.2 ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS

A estratificação dos dados é um passo indispensável durante a aplicação da metodologia DMAIC pois permite analisar e compreender melhor um problema ou fenômeno ao dividi-los em diferentes categorias ou grupos. Isso ajuda a identificar padrões, variações ou tendências específicas em cada grupo, fornecendo percepções mais profundas sobre a causa raiz do problema.

Para a realização das análises foram agrupados os tipos de defeitos, em quilogramas, que foram identificados durante o período de análises de abril de 2022 até abril de 2023 e que podem ser conferidas na imagem 28.

Figura 28 - Dados do refugo período 04/22 a 04/23

Dados refugo 04/22 a 04/23			
Tipos de defeitos	kg	Tipos de defeitos	kg
Inclusão de areia	211.423,38	Peça Empenada	799,33
Junta Fria	82.418,99	Mal esmerilhado	782,78
Vazamento incompleto	63.590,37	Macho quebrado	689,26
Bolo estourado	31.011,38	Bolha de Ar	562,50
Peça Quebrada	13.832,73	Dimensional (Projeto)	472,19
Deslocamento	9.230,66	Porosidade	182,56
Ausência de macho	8.350,39	Macho deslocado	179,26
Quebra de Moldagem	6.428,21	Dureza	125,04
Rechupe	2.665,00	Gota Fria	111,54
Outros	2.453,41	Canal mal cortado	64,55
Vazamento interrompido	1.274,39	Inclusão escoria	30,60
Total			436.223,50

Fonte: Autoria própria (2023)

Outra análise que também foi levantada para o estudo foi a dos registros de temperaturas médias registradas na cidade de Ibirubá durante o período de análise que pode ser observada na figura 29 abaixo, estes dados foram obtidos através do site do instituto natural de meteorologia (INMET).

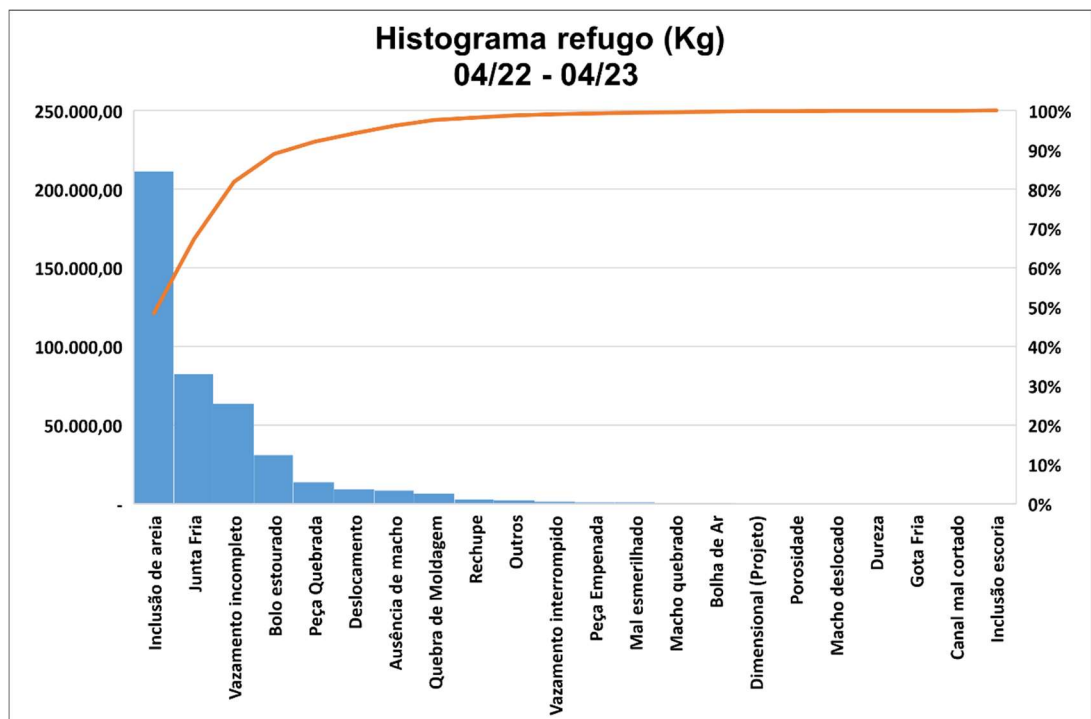
Figura 29 - Registro de temperatura média no período de 04/2022 a 04/2023

Registros de temperatura média 04/22 a 04/23	
Mês	Temp. méd. (°C)
abr/22	18,40
mai/22	13,63
jun/22	12,17
jul/22	16,94
ago/22	13,93
set/22	14,67
out/22	17,58
nov/22	20,53
dez/22	23,55
jan/23	24,88
fev/23	23,76
mar/23	24,82
abr/23	22,82

Fonte: Autoria própria (2023)

Com este primeiro tratamento de dados foi possível também realizar outra análise com o auxílio do diagrama de Pareto, o qual ajuda a identificar e priorizar os problemas que mais afetam o processo. Como pode ser observado na imagem 30, os defeitos de inclusão de areia, junta fria e vazamento incompleto representam mais de 81% dos defeitos gerados em relação ao peso produzido de fundidos durante o período de análise.

Figura 30 - Pareto do refugo em kg



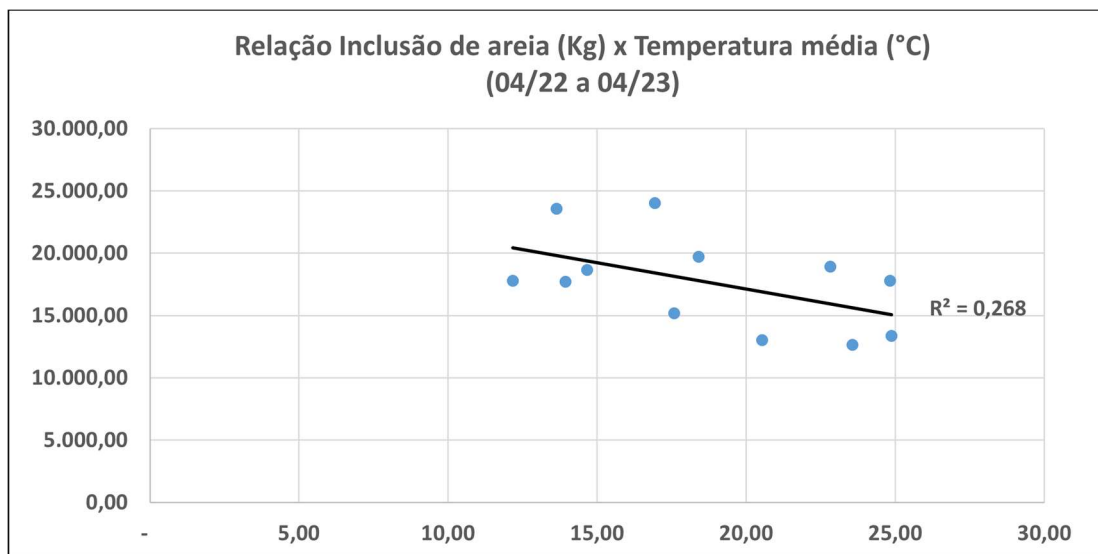
Fonte: Autoria própria (2023)

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos durante a estratificação dos dados da produção e com o auxílio do diagrama de Pareto, conclui-se que a inclusão de areia representa 48,47% do refugo quando analisado em relação ao peso de rejeitados, tendo um peso total de 211.423kg, além disso a junta fria representa 18,89% do refugo, em números de peso, é igual a 82.418kg de peças defeituosas e o por último o vazamento incompleto tem uma participação de 14,58% do refugo total, com 63.590kg de peças refugadas.

Com estes três maiores defeitos identificados, foi realizado mais uma comparação agora com a temperatura média durante o período a fim de conferir a relação entre a temperatura ambiente com os principais tipos de defeitos. Na figura 31 pode-se conferir esta análise da correlação de inclusão de areia e a temperatura média, pode se observar um R^2 baixo o que significa que a correlação entre os defeitos relacionados a inclusão de areia com a variação da temperatura não é tão forte.

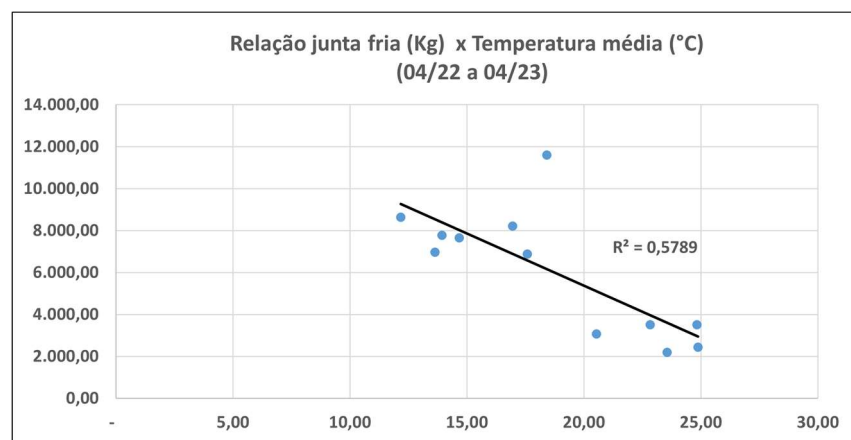
Figura 31 - Relação inclusão de areia X temperatura média



Fonte: Autoria própria (2023)

Já na análise de correlação referente a junta fria e a variação da temperatura que está ilustrada na figura 32, pode-se observar um R^2 mais alto, que significa que as variações de temperatura média estão relacionadas a variações das quantidades de refugos gerados por junta fria. Isto significa que o defeito de junta fria pode estar associado as variações de temperaturas, onde em dias mais frios o número de defeitos encontrados é maior que nos dias com temperaturas mais elevadas.

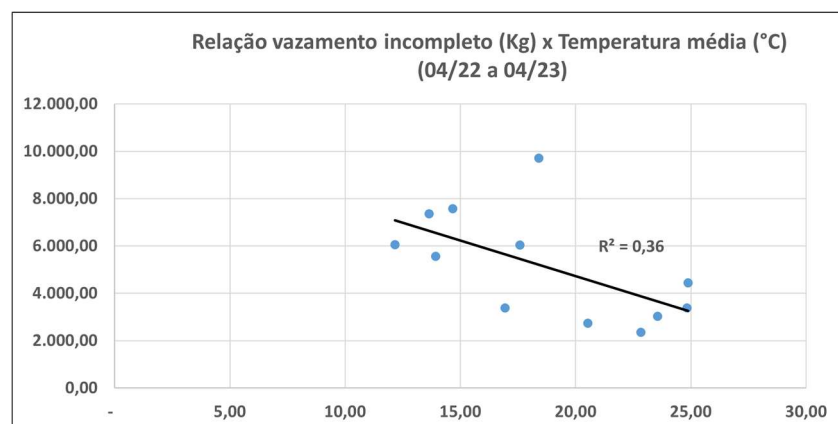
Figura 32 - Relação junta fria X temperatura média



Fonte: Autoria própria (2023)

Na figura 33 que apresenta a relação de defeitos de vazamento incompleto com a temperatura média, o R^2 possui um valor menor o que indica uma relação mais fraca e que pode não interferir muito no surgimento deste tipo de defeito.

Figura 33 - relação vazamento incompleto X temperatura média



Fonte: Autoria própria (2023)

Com os três principais defeitos encontrados que são respectivamente, inclusão de areia, junta fria e vazamento incompleto, o próximo passo foi realizar a elaboração do diagrama de Ishikawa, pois com ele é possível mapear e visualizar as causas potenciais relacionadas a cada um destes defeitos, permitindo uma abordagem estruturada e focada na resolução dos problemas identificados, com o objetivo de melhorar ou então encontrar soluções que podem vir a aprimorar os resultados finais e evitar estes defeitos voltar a acontecer.

Na tabela 2 apresentada abaixo, foram identificados os potenciais causas que originam o defeito de inclusão de areia.

Tabela 2 – inclusão de areia

MATERIAIS	MÉTODOS	MÃO-DE-OBRA	
quebra do molde	falta de limpeza do molde		EFEITO
granulometria inadequada	fechamento inadequado do molde		
areia contaminada	procedimentos inadequados	desatenção	
qualidade da areia	falta de controle do processo	falta de treinamento	
			INCLUSÃO DE AREIA
placas empenadas	temperatura da areia	dosagem incorreta	
manutenção inadequada		tempo de preparo da areia	
mistura da areia ineficiente			
ajustes da máquina incorretos			
MÁQUINAS	MEIO-AMBIENTE	MEDIDAS	

Fonte: Autoria própria (2023)

Do mesmo modo a tabela 3 abaixo também apresenta as potenciais causas que geram o defeito de junta fria durante o processo de fundição.

Tabela 3 – Ishikawa junta fria

MATERIAIS	MÉTODOS	MÃO-DE-OBRA	
refratários das painelas de vazamento			EFEITO
propriedades da areia	velocidade de vazamento	falta de treinamento	
composição do material	projeto do molde	técnica de vazamento	JUNTA FRIA
eficiência da panela	umidade alta	tempo de solidificação	
capacidade da panela de vazamento	temperatura ambiente	temperatura de vazamento	
		temperatura do forno	
MÁQUINAS	MEIO-AMBIENTE	MEDIDAS	

Fonte: Autoria própria (2023)

Por último, na tabela 4, são apresentadas as possíveis causas do que acabam gerando o defeito de vazamento incompleto.

Tabela 4 – Ishikawa vazamento incompleto

MATERIAIS	MÉTODOS	MÃO-DE-OBRA	
propriedades da areia	interrupção do vazamento	desatenção	EFEITO
composição do material	sistema de alimentação	falta de treinamento	
canais de vazamento	contaminação do banho	temperatura do forno (fusão)	VAZAMENTO INCOMPLETO
capacidade da panela de vazamento	temperatura ambiente	temperatura de vazamento	
MÁQUINAS	MEIO-AMBIENTE	MEDIDAS	

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a realização dos diagramas de cause e efeito, notou-se algumas possíveis causas que estão interligadas entre os defeitos, como por exemplo a falta de mão de obra qualificada, a falta de treinamento dos colaboradores e também erros de processos e máquinas.

Para ajudar a encontrar as causas raízes, utilizou-se de uma ferramenta conhecida como 5 porquês a fim de ir além e encontrar as causas subjacentes, em alguns casos no quarto porque já se obtém uma resposta satisfatória que entrega a verdadeira causa raiz do problema e com isso consegue-se criar um plano de melhoria para mitigar o defeito.

Foram realizados esse passo para todas as causas descritas nos diagramas de Ishikawa de cada defeito e que pode ser visualizado no APÊNDICE A do referido trabalho.

Com as causas raízes encontradas após os 5 porquês, foram definidos alguns planos de melhorias para implementar no setor e buscar a eliminação dos defeitos gerados por estas causas.

4.4 MELHORIAS IMPLEMENTADAS (*IMPROVE*)

Para melhorar significativamente o processo, uma das ações seria realizar a troca do sistema de areia pois o maior indicie de refugo é causado pela total ineficiência do mesmo visto que o sistema atual é antigo e defasado e já não atende mais as necessidades de produção atual da planta de fundição. Porém por ser uma melhoria mais drástica e de grandes valores investidos, não se pode aplicá-la de forma imediata. Se tornando então uma melhoria mais custosa e ficando como uma sugestão para a diretoria da empresa.

Porém há outros tipos de melhorias que podem interferir positivamente nos indicies de refugo e que não necessitam de grandes investimentos.

Alguns dos principais defeitos estão ligados a temperatura de vazamento do metal líquido que são a junta fria e o vazamento incompleto. A junta fria que se origina na falta da redissolução do metal está ligado, isto deve-se ao fato do metal ser vazado já em baixa temperatura, do mesmo modo que ocorre o defeito de vazamento incompleto onde o metal já em temperatura mais baixa acaba ficando com elevada viscosidade, o que afeta no fluxo do metal através do filtro e canais de alimentação acabando por não conseguir completar todo o molde.

Visto isso, notou-se que atualmente o modo de vazamento possuía uma deficiência em relação ao processo e que acaba afetando o mesmo com a perda de temperatura e surgimento de defeitos.

O sistema processo ocorre atualmente da seguinte maneira:

- O metal sai do forno de 2000kg para uma panela de reação com capacidade de 500kg
- A panela de reação distribui o metal em duas panelas de vazamento de 250kg
- As panelas de vazamento só seguem para a cancha após as 2 estarem cheias, ou seja, uma fica esperando a outra e perdendo calor para o ambiente.

Portanto a melhoria proposta para o processo foi a substituição das duas panelas de vazamento de 250kg por uma única com capacidade de 500 kg, pois além de eliminar o problema da espera, essa panela com capacidade maior também consegue conservar durante mais tempo a energia térmica devido ao volume maior de ferro líquido.

4.4.1 TESTES DE VALIDAÇÃO DA MELHORIA

Para validar a melhoria foi realizado um teste a fim de comparar a quantidade de refugo gerados no vazamento dos dois modelos de panela. Os testes foram realizados na data de 03/06/2023 pelo período da manhã, que é onde se encontra as menores temperaturas do dia que também acabam influenciando na geração dos refugos.

4.4.1.1 Descrição da melhoria implementada

A melhoria implementada foi a substituição das panelas de 250kg, figura 34, por uma única panela com capacidade de 500kg, figura 35, para suportar todo o metal da panela de reação e buscar reduzir os índices de refugo causados por problemas envolvendo temperatura do metal.

Figura 34 - Panelas 250Kg



Fonte: Autorial própria (2023)

Figura 35 - Panela 500kg



Fonte: Autorial própria (2023)

4.4.1.2 Procedimento do teste

O forno possui uma capacidade de derreter 2000kg de metal e a panela de reação possui uma capacidade de 500kg de metal, portanto para realizar o vazamento de todo o material do forno é realizado quatro vezes a transferência do metal para a panela de reação. Desta panela de reação, o material é transferido novamente para as panelas de vazamento, estas que irão percorrer a cancha para fazer o enchimento dos moldes.

No sistema com panelas de 250kg, cada uma delas deve ser preenchida quatro vezes para utilizar todo o volume do forno, logo serão realizados oito vazamentos com estas panelas.

Já o sistema com a panela de 500 kg só irá ser preenchida 4 vezes para consumir todo o metal do forno tornando o processo mais rápido e consequentemente evitando a perda de calor para o ambiente.

A Peça que foi utilizada no teste é uma braçadeira que pode ser observada na figura 36, o molde que contém 12 figuras, necessita de aproximadamente 21kg de metal para o total preenchimento.

Figura 36 - Peça utilizada no teste



Fonte: Autoria própria (2023)

Esse volume de metal necessário para preencher o molde representa para a panela de 250kg uma capacidade de vazar 12 moldes e o dobro de quantidade para a panela de 500kg, ou seja, 24 moldes.

Portanto para fim de análise, durante o vazamento com a panelas menores, foi realizado a marcação dos quatros primeiros moldes vazados pela primeira panela a qual

possui temperatura maior devido a ser a última preenchida com o metal antes de partir para a cancha de vazamento. Foi segregado também os quatros últimos moldes da segunda panela de vazamento pois ela é liberada por último, conseqüentemente terá uma temperatura menor nos últimos moldes.

Para auxiliar nesta segregação dos moldes do teste, foi produzido pequenas placas de identificação a fim de ajudar a visualizar os moldes do teste para posterior controle de qualidade. A figura 37 apresenta as placas que foram confeccionadas para realizar a segregação dos moldes onde as placas 1, 2, 3 e 4 representam os quatros primeiros moldes vazados e as placas 9, 10, 11 e 12 representam os quatros últimos moldes.

Figura 37 - Placas de identificação dos moldes



Fonte: Autoria própria (2023)

Após o vazamento é realizado a identificação dos moldes, como ilustrado na figura 38 onde a identificação funcionou da seguinte maneira.

No vazamento realizado com as painéis de 250kg, os moldes identificados são os quatro primeiros da primeira painél e os quatro últimos da segunda painél.

Já no vazamento realizado com a painél de 500kg, foi segregado os quatro primeiros moldes e os quatro últimos.

Figura 38 - Moldes identificados após vazamento



Fonte: Autoria própria (2023)

Esta segregação de moldes teve em números exatos a quantia de 32 moldes segregados para análise em ambos os testes. Como cada molde é formado por 12 peças, resultou num total final de 384 peças analisadas em ambos os testes.

4.4.1.3 Resultados obtidos

Após a segregação dos moldes, desmoldagem e quebra de canal das peças, foi realizado o controle de qualidade dos itens a fim de verificar os defeitos ocorridos e anotar as quantidades para posterior comparação entre os métodos de vazamento.

No método de vazamento com as painéis de 250kg de capacidade foram obtidos os seguintes resultados que podem ser conferidos na figura 39.

Das 192 peças produzidas, 5 tiveram defeitos de inclusão de areia e 3 apresentaram quebra de moldagem. Em percentual isso significa um índice de refugo de 4,17% para as primeiras painéis vazadas.

Figura 39 - Resultados primeiras painéis 250kg

RESULTADOS DOS QUATRO PRIMEIROS MOLDES VAZADOS PELA PRIMEIRA PAINEL DE 250Kg		
N° PEÇAS	PEÇAS OK	PEÇAS NÃO CONFORMES
192	184	8
DEFEITOS		Qtd
Inclusão de areia		5
Quebra de Moldagem		3
TOTAL		8

Fonte: Autoria própria (2023)

Já os dados coletados no ensaio da dos 4 últimos moldes da segunda painéis apresentaram dados significantes. Das 192 peças fabricadas, 32 apresentaram algum tipo de defeito, sendo o vazamento incompleto o mais expressivo com 12 peças refugadas por este tipo de defeito.

No total esses valores de refugo indicaram um índice de 16,67% de refugo gerado nos últimos moldes vazados pela segunda painela.

A figura 40 apresenta os resultados obtidos no vazamento dos quatro últimos moldes da segunda painela.

Figura 40 - Resultados ultimas panelas 250kg

RESULTADOS DOS QUATRO ULTIMOS MOLDES VAZADOS PELA SEGUNDA PANELA DE 250Kg		
N° PEÇAS	PEÇAS OK	PEÇAS NÃO CONFORMES
192	160	32
DEFEITOS		Qtd
Inclusão de areia		5
Junta Fria		6
Vazamento incompleto		12
Quebra de Moldagem		6
Gota Fria		3
TOTAL		32

Fonte: Autoria própria (2023)

No método de vazamento com as panelas de 500kg de capacidade foram obtidos resultados promissores. Nos primeiros moldes vazados tiveram um desempenho parecido com o vazamento com a panela menor, com um índice de refugo de 4,69% para os quatro primeiros moldes vazados. Pode-se observar os resultados na figura 41.

Figura 41 - Resultados primeiros moldes panela 500kg

RESULTADOS DOS QUATRO PRIMEIROS MOLDES VAZADOS NA PANELA DE 500Kg		
N° PEÇAS	PEÇAS OK	PEÇAS NÃO CONFORMES
192	183	9
DEFEITOS		Qtd
Inclusão de areia		4
Quebra de Moldagem		5
TOTAL		9

Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 42 apresenta os resultados obtidos no teste de vazamento dos quatro últimos moldes da panela de capacidade de 500kg e traz o resultado mais significativo, pois comparado ao teste da panela de 250kg apresenta uma grande melhora, apontando um índice de refugo de 5,73% (11 Peças), contra 16,67% (32 Peças)

Figura 42 - Resultados primeiros moldes panela 500kg

RESULTADOS DOS QUATRO ÚLTIMOS MOLDES VAZADOS NA PANELA DE 500Kg		
Nº PEÇAS	PEÇAS OK	PEÇAS NÃO CONFORMES
192	181	11
DEFEITOS		Qtd
Inclusão de areia		3
Junta Fria		2
Quebra de Moldagem		4
Gota Fria		2
TOTAL		11

Fonte: Autoria própria (2023)

4.4.1.4 Conclusões do teste

Com os resultados obtidos pelos testes de vazamento pode-se concluir que a alteração da capacidade de carga das panelas traz um grande benefício para o processo pois consegue sanar os defeitos que eram gerados pela perda de calor das panelas menores, e que pode apresentar uma significativa melhora dos dados referentes ao refugo.

Os defeitos gerados por junta fria e vazamento incompleto sofreram uma drástica redução na panela de 500kg e isso demonstra a eficiência desta melhoria.

Os defeitos referentes a inclusão de areia não obtiveram uma melhora significativa, o que demonstra que para melhorar os índices de refugo gerados por este tipo de falha não está ligado a perda de temperatura do metal para o meio ambiente.

Porém para conseguir aplicar estas melhorias no dia a dia, ainda necessita de ajustes para tornar viável o sistema com a panela de 500kg, pois durante os testes foi detectado uma dificuldade na movimentação da panela pela cancha de vazamento, necessitando assim a aplicação de mais melhoria para o sistema funcionar de modo satisfatório.

4.5 CONTROLE

Para manter a sustentabilidade das melhorias implementadas é importante fazer um controle mais rigoroso, definindo indicadores chaves para ajudar a controlar o processo como por exemplo os indicadores de refugo por tipo e por mês o qual deverá estar sempre atualizado. Outro passo importante também é criar um limite aceitável para que não haja possibilidade de encontrar desvios significativos de modo que ao primeiro sinal de grande criação do refugo já acenda um alerta para verificar o processo e encontrar a anomalia.

Também é importante acompanhar o andamento da implementação das melhorias sugeridas de forma a garantir que todos os passos feitos para poder atingir uma qualidade maior e reduzindo a produção de refugo mensal.

Por último, também deve-se acompanhar e revisar as melhorias a fim de manter sempre o processo atualizado, fazendo pequenas correções e ajustes para garantir a melhoria contínua do processo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A aplicação das ferramentas da qualidade e da metodologia DMAIC exercem um papel fundamental para a busca da redução de refugos de uma de fundição, pois elas ajudam a fornecer uma estrutura sistemática para abordar os defeitos e buscar uma resolução completa.

Um exemplo destes resultados positivos pode ser observado nos dados obtidos após os testes realizados com as melhorias que foram definidas durante o passo *improve* do DMAIC. No teste com as painelas de 250kg foram produzidas 384 peças das quais 40 apresentaram defeitos, em percentual isto representa um refugo de 10,42%. No segundo teste, com a panela de 500kg, das 384 peças produzidas apenas 20 apresentaram defeitos, representando um percentual de refugo de 5,21%. Estes resultados demonstram uma melhora no índice de rejeitados com uma redução de 5,21% de defeitos, somente com a aplicação de uma única melhoria.

No entanto foram encontradas algumas dificuldades para implementar algumas melhorias, como por exemplo para os defeitos gerados por problemas do sistema de areia, o qual tem uma dificuldade maior de implementação por motivo de envolver grandes investimentos e amplas obras em virtude da necessária troca e modernização do sistema. Até mesmo na melhoria implementada da panela de 500kg foram detectados problemas com o sistema de trilhos que devem passar por adequações para comportar a panela com o dobro de massa e facilitar o uso da mesma.

Uma sugestão para futuros trabalhos é a aplicação do DMAIC em outros setores produtivos, como na solda, pintura, usinagem entre outros. Também fica como sugestão a aplicação da metodologia *lean* na fundição, a fim de atingir uma padronização do processo.

Portanto conclui-se que o presente trabalho oferece uma contribuição significativa para a área, agregando conhecimento e trazendo benefícios práticos para a indústria, embora o DMAIC seja amplamente conhecido e utilizado em várias indústrias, sua aplicação específica em fundições ainda pode ser considerada pouco explorada. Portanto, este estudo ofereceu uma oportunidade única de adaptar, personalizar e aplicar de forma prática a metodologia para as necessidades e desafios específicos que são encontrados nas plantas de fundição.

REFERÊNCIAS CITADAS

- ABIFA. (15 de 06 de 2023). Fonte: Associação Brasileira de Fundição (ABIFA):
www.abifa.org.br
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO
9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
- ATLAS OF CASTING DEFECTS. (2017). Investment Casting Institute.
- BALDAM, R. d., & VIEIRA, E. A. (2015). *Fundição: processos e tecnologias correlatas*. (2ª ed.). São Paulo, SP: Érica.
- BETHELL, L. (2002). *História da América Latina*. São Paulo: imprensa oficial .
- INMET. (Abril de 2023). Fonte: Site do Instituto Nacional De Meteorologia :
<https://portal.inmet.gov.br/>
- MARCONI, M. D., & LAKATOS, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*.
São Paulo: Atlas.
- MARSHALL JUNIOR, I., ROCHA, A. V., MOTA, E. B., & QUINTELLA, O. M. (2012).
Gestão de qualidade e processos. Rio de Janeiro: FGV.
- MARTINELLI, F. B. (2009). *Gestão da qualidade total*. Curitiba: IESDE.
- MONTGOMERY, D. C. (2004). *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. (4ª ed.). Rio
de Janeiro: LTC.
- POLLI, M. F. (2014). *Gestão da qualidade*. Rio de Janeiro: Editora Estácio de Sá.
- SELEME, R., & STADLER, H. (2012). *Controle da qualidade: As ferramentas essenciais*.
Curitiba: Ibpx.
- SIEGEL, M. (1984). *Fundição* (14ª ed.). São Paulo: ABM.
- SOARES, G. d. (2000). *FUNDIÇÃO: Mercado, Processos e Metalurgia*. Rio de Janeiro:
COPPE/UFRJ.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

- ABREU, A. G., & FONSECA, M. T. (2003). *Alimentação e enchimento de peças fundidas vazadas em molde de areia*. Itaúna: SENAI DR MG/CEFET.
- ALDABÓ, R. (2006). *Gerenciamento de projetos: procedimento básico e etapas essenciais*. São Paulo: Artliber.
- BRASSAR, M. (1985). *Qualidade - ferramentas para uma melhoria contínua: (The Memory Jogger)*. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark.
- CAMPOS FILHO, M. P., & DAVIES, G. J. (1978). *Solidificação e fundição de metais e suas ligas*. São Paulo: LTC/EDUSP.
- CAMPOS, V. F. (1992). *TQC controle da qualidade total: (no estilo japonês)*. (7ª ed.). Belo Horizonte: UFMG.
- CAMPOS, V. F. (2014). *Qualidade total: Padronização de empresas*. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni.
- CAPELLO, E. (1966). *Tecnología de la Fundición*. Barcelona: Gustavo Gili.
- CARVALHO, P. C. (2011). *O programa 5S e a qualidade total*. (5ª ed.). Campinas, SP: Alínea.
- CHIAVERINI, V. (1996). *Aços e ferros fundidos: características, tratamentos térmicos, principais tipos*. (7ª ed.). São Paulo, SP: Assoc. bras. de Metalurgia, Materias e Mineração.
- GUESSER, W. L. (2009). *Propiedades mecânicas dos ferros fundidos*. São Paulo, SP: Blucher.
- MARANHÃO, M. (2009). *ISO série 9000: manual de implementação: o passo a passo para solucionar o quebra-cabeça da gestão sustentada*. (9ª ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.
- METALS HANDBOOK. (1996). *Melting and Casting*. Ohio: American Society for Metals.
- ROTANDARO, R. G. (2011). *Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas.

APENDICE

APENDICE A – Aplicação dos 5 porquês.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
porque dosagem incorreta?	não foi adicionado a quantidade correta de bentonita e carvão	operador utilizou um copo padrão	não há balança para pesar a bentonita e o carvão de forma precisa		fornecer balança e material para realizar a dosagem correta dos insumos.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
tempo incorreto do preparo da areia	ficou pouco tempo realizando a mistura da areia	operador não controlou tempo corretamente devido a falta de instrumentação para controle de tempo	misturador não possui controle do tempo de mistura	equipamento caseiro e que não atende mais a demanda da produção	orçar um sistema de areia mais moderno e eficiente para atender as novas realidades da empresa.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
operador não estava atento ao trabalho	operador acomodado devido a repetitividade	operador ocupando sempre a mesma função	outros colaboradores não possuem capacidade para a função	falta de um treinamento multifuncional	treinar e preparar funcionários para realizar diferentes funções dentro do setor

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
operador sem treinamento e conhecimento para a função	são contratados sem experiência e conhecimento da função	falta de mão de obra qualificada na região	salário pouco atrativo para funcionários mais experientes		fazer um estudo do salário e benefícios para melhorar a competitividade do salário.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
falta de limpeza no molde	operador não passou ar após moldagem	operador com pouca instrução	estrangeiro que não compreende bem o português	pouca mão de obra qualificada no mercado	criar um grupo de estrangeiros mais experientes para treinar e orientar novos funcionários

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
molde não fechou corretamente	grampo com folga	desgaste natural da máquina	alta produtividade e falta de manutenções preventivas		criar plano de manutenção preventiva para componentes que sofrem maiores cargas de trabalho

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
processo não possui controle	falta de análises em pontos específicos	operadores não sabem quando analisar e onde controlar o processo	não há instruções de trabalho		criar instrução de trabalho e treinar monitores para inspecionar e realizar o controle do processo.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
temperatura da areia inadequada	areia de recuperada entra com temperatura elevada de volta para o processo	não há sistema de resfriamento para a areia recuperada	sistema de areia antigo e que não comporta mais a produção atual		orçar um sistema de areia mais moderno e eficiente para atender as novas realidades da empresa.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
molde quebrado	pouca compactabilidade do molde	pressão hidráulica da moldadora baixa	operador não aferiu a compactabilidade dos moldes para ajustar moldadora	falta de uma instrução de trabalho definindo frequências de inspeção	criar instrução de trabalho para definir frequência de inspeção de compactabilidade e treinar operadores

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
granulometria inadequada	diferença da granulometria interferindo na compactabilidade	falta de controle sobre a quantidade de areia nova e antiga no processo	análises feitas em períodos muitos distantes	sistemática com uma revisão antiga, numa época em que a produção não era tão elevada	revisar sistemática e alterar tempos de análises da areia do sistema.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
areia com contaminantes	areia armazenada de forma incorreta	falta de espaço	não há um layout que comporte corretamente o estoque de areia		medir o espaço e criar um layout para reorganizar o estoque de areia

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
areia com qualidade inferior	não segue um padrão preciso, variando muito a granulometria	análise feita de forma aleatória no lote	sistemática que define análises de matéria prima recebida está desatualizada		atualizar sistemática definindo inspeção de 100% do lote

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
placas empenadas devido ao desgaste	produção de itens com alta quantidade de pedidos	falta de controle da vida útil da placa	não há plano de manutenção corretiva		criar plano de manutenção corretiva para placas conforme sua utilização

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
falta de manutenção	peças desgastando e quebrando repentinamente	realização de somente manutenção corretiva	não há checklist sobre itens essenciais da maquina	falta de plano de manutenção preventiva	criar um plano de manutenção preventiva em para evitar problemas gerados por falta de manutenção

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
misturador ineficiente	componentes do misturador não funcionam corretamente	dosagem de insumos de forma manual e sem muito controle	sistema feito em casa e sem muita experiencia	redução de custos	orçar um sistema de areia mais moderno e eficiente para atender as novas realidades da empresa.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
tempo de solidificação	metal solidificou antes de encher completamente o molde	ferro foi vazado com uma temperatura baixa	capacidade das panelas de vazamento baixa	as panelas de vazamento acabam perdendo tempo e temperatura esperando o preenchimento de ambas.	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura durante vazamento	metal resfriou antes de chegar na cancha de vazamento	tempo de espera para encher as duas panelas de vazamento antes de começar a vazar perdendo calor para o ambiente	panela de vazamento com capacidade de 1/2 panela de reação	projeto das panelas antigo, antes dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura do forno	liberado para o vazamento sem considerar baixa temperatura ambiente	sistema de vazamento com panelas que não comportam todo metal da panela de reação	panelas não conservam calor o tempo o suficiente para realizar todo o processo de vazamento	projeto das panelas antigo, antes dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
falta de treinamento do operador	são contratados sem experiência e conhecimento da função	falta de mão de obra qualificada na região	salário pouco atrativo para funcionários mais experientes		fazer um estudo do salário e benefícios para melhorar a competitividade e do salário.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
técnica de vazamento inadequada	vazamento realizado com interrupções	operador com pouco ou nenhum treinamento sobre vazamento de metais	falta de mão de obra qualificada na região		solicitar um treinamento de capacitação para vazadores e realizar uma atualização periodicamente e antes de novos vazadores começarem

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
projeto do molde incorreto	metal não preenche corretamente todos os espaços	gases não escapam e metal não chega com temperatura correta em todas as partes da peça	canis de vazamento e de escape de gases em locais e dimensão incorretas		realizar estudo para ajustar canais de vazamento e mudar canais de escape de gases

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
velocidade baixa de vazamento	metal demora para chegar em todas as partes da geometria	devido baixa velocidade metal esfria e altera a viscosidade e velocidade de escoamento do metal	operador com pouco ou nenhum treinamento sobre vazamento de metais	falta de mão de obra qualificada na região	solicitar um treinamento de capacitação para vazadores e realizar uma atualização periodicamente e antes de novos vazadores começarem

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
alta umidade do molde	areia entra para o processo de moldagem com alto teor de umidade	sistema de areia não possui dosador de água	equipamento caseiro e que não atende mais a demanda da produção		orçar um sistema de areia mais moderno e eficiente para atender as novas realidades da empresa.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura ambiente	panela não isola o metal pelo tempo necessário para realizar o vazamento completo	baixa capacidade da panela de vazamento e longa espera para realizar o vazamento	panela de vazamento com capacidade de 1/2 panela de reação	projeto das panelas antigo, ante dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
refratário das panelas de vazamento ineficientes	não mantem o calor do metal	camada com espessura inadequada	operador não colocou a quantidade necessária	falta de treinamento e conhecimento necessário	treinar mão de obra para realizar o revestimento das panelas de vazamento com o material e quantidade necessária como descrito pelos fabricantes

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
areia com propriedades incorretas	baixa compactação e aderência da areia do molde	controle inadequado da areia circulando no sistema	tempo de análise do sistema incorreto	sistemática antiga e desatualizada	ajustar sistemática conforme nova realidade de produção da empresa

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
composição incorreta do material	erro de inoculação na hora da transferência para a panela de vazamento	operador não colocou quantidade correta de inoculante	não pesou o inoculante antes de preparar a inoculação	falta de conhecimento sobre a inoculação com quantidade incorreta de inoculante	criar instrução de trabalho sobre processo de inoculação e treinar colaboradores.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa eficiência da panela	panela não conserva temperatura do metal	refratário não foi preparado corretamente	falta de instrução de trabalho para revestir panela com refratário de forma correta		criar instrução de trabalho para realizar o revestimento correto do refratário das panelas de vazamento

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
capacidade baixa da panela de vazamento	panela não suporta todo metal da panela de reação	projeto das panelas antigo	fornos antigos eram de capacidade menor		realizar estudo de viabilidade para alterar capacidade das panelas de vazamento

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura do forno	liberado para o vazamento sem considerar baixa temperatura ambiente	sistema de vazamento com painelas que não comportam todo metal da panela de reação	panelas não conservam calor o tempo o suficiente para realizar todo o processo de vazamento	projeto das panelas antigo, ante dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura durante vazamento	metal resfriou ante de chegar na cancha de vazamento	tempo de espera para encher as duas panelas de vazamento antes de começar a vazar perdendo calor para o ambiente	panela de vazamento com capacidade de 1/2 panela de reação	projeto das panelas antigo, ante dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
operador desatento	não estava devidamente focado no vazamento não completando totalmente o molde com metal	operador com pouco ou nenhum treinamento sobre vazamento de metais e a importância de completar totalmente o molde com metal	falta de mão de obra qualificada na região		solicitar um treinamento de capacitação para os vazadores e realizar uma atualização periodicament e e antes de novos vazadores comecem

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
falta de treinamento do operador	são contratados sem experiência e conhecimento da função	falta de mão de obra qualificada na região	salário pouco atrativo para funcionários mais experientes		fazer um estudo do salário e benefícios para melhorar a competitividade e do salário.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
vazamento interrompido	o fluxo de ferro não foi constante durante o vazamento	operador não manteve fluxo do vazamento	operador não conhecia o processo completamente	alta rotatividade de funcionários e falta de instrução de trabalho e treinamento	criar instrução de trabalho para o vazamento e realizar treinamento com os vazadores

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
sistema de alimentação ineficiente	metal não preenche corretamente todos os espaços	gases não escapam e metal não chega com temperatura correta em todas as partes da peça	canais de vazamento e de escape de gases em locais e dimensão incorretas		realizar estudo para ajustar canais de vazamento e mudar canais de escape de gases

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
banho de metal líquido contaminado	excesso de escória	impurezas não foram devidamente removidas causando entupimento do canal de vazamento	operador não realizou limpeza da panela de vazamento	falta experiência e instrução de trabalho	criar instrução de trabalho para o vazamento e realizar treinamento com os vazadores

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
baixa temperatura ambiente	panela não isola o metal pelo tempo necessário para realizar o vazamento completo	baixa capacidade da panela de vazamento e longa espera para realizar o vazamento	panela de vazamento com capacidade de 1/2 panela de reação	projeto das panelas antigo, ante dos fornos atuais estarem instalados e produção menor	criar panela de capacidade maior para acomodar todo o metal da panela de reação e conseguindo assim evitar perda da temperatura pro ambiente.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
areia com propriedades incorretas	baixa compactação e aderência da areia do molde	controle inadequado da areia circulando no sistema	tempo de análise do sistema incorreto	sistemática antiga e desatualizada	ajustar sistemática conforme nova realidade de produção da empresa

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
composição incorreta do material	erro de inoculação na hora da transferência para a panela de vazamento	operador não colocou quantidade correta de inoculante	não pesou o inoculante antes de preparar a inoculação	falta de conhecimento sobre a inoculação com quantidade incorreta de inoculante	criar instrução de trabalho sobre processo de inoculação e treinar colaboradores.

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
canais de vazamento ineficientes	pouco fluxo de metal ocasionado junta fria	canais mal distribuídos e pequenos	projeto do modelo com problemas		solicitar a engenharia estudo para alterar canais de peças que são ineficientes

Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	o que fazer?
capacidade baixa da panela de vazamento	panela não suporta todo metal da panela de reação	projeto das panelas antigo	fornos antigos eram de capacidade menor		realizar estudo de viabilidade para alterar capacidade das panelas de vazamento

APÊNDICE B – RESULTADOS DOS TESTES COM AS PANEIS DE VAZAMENTO DE 250kg

MOLDE 1		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	0	0,00%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	1	2,08%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	1	2,08%

MOLDE 2		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	1	2,08%

MOLDE 3		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	2	4,17%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechue	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	4	8,33%

MOLDE 4		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	2	4,17%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechue	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	2	4,17%

MOLDE 9		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	3	6,25%

MOLDE 10		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	3	6,25%

MOLDE 11		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	0	0,00%
Junta Fria	2	4,17%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	3	6,25%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	7	14,58%

MOLDE 12		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	3	6,25%
Junta Fria	4	8,33%
Vazamento incompleto	12	25,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	19	39,58%

APÊNDICE C – RESULTADOS DOS TESTES COM AS PANEAS DE VAZAMENTO DE 500kg

MOLDE 1		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	3	6,25%

MOLDE 2		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	2	4,17%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	2	4,17%

MOLDE 3		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	0	0,00%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	0	0,00%

MOLDE 4		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	3	6,25%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	4	8,33%

MOLDE 9		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	0	0,00%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	2	4,17%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	2	4,17%

MOLDE 10		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	1	2,08%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	1	2,08%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	2	4,17%

MOLDE 11		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	2	4,17%
Junta Fria	0	0,00%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	0	0,00%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	2	4,17%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	4	8,33%

MOLDE 12		
4 VAZAMENTOS = 48 PEÇAS		
DEFEITOS		% REFU.
Inclusão de areia	0	0,00%
Junta Fria	2	4,17%
Vazamento incompleto	0	0,00%
Peça Quebrada	0	0,00%
Bolo estourado	0	0,00%
Deslocamento	0	0,00%
Ausência de macho	0	0,00%
Bolha de Ar	0	0,00%
Rechupe	0	0,00%
Mal esmerilhado	0	0,00%
Macho quebrado	0	0,00%
Vazamento interrompido	0	0,00%
Quebra de Moldagem	1	2,08%
Outros	0	0,00%
Inclusão de tinta	0	0,00%
Gota Fria	0	0,00%
Macho deslocado	0	0,00%
Peça Empenada	0	0,00%
Superfície Rugosa	0	0,00%
Porosidade	0	0,00%
Canal mal cortado	0	0,00%
Dimensional (Projeto)	0	0,00%
Dureza	0	0,00%
Escama	0	0,00%
Inclusão escoria	0	0,00%
Sinterização	0	0,00%
Macho com Defeito	0	0,00%
Erro de Composição	0	0,00%
TOTAL	3	6,25%