

**FACULDADE DE TECNOLOGIA ASSESSORITEC
DEPARTAMENTO DE CURSOS SUPERIORES
TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

MARCIEL SOUSA PEREIRA

**A INFLUÊNCIA DA GESTÃO DA QUALIDADE E DA METODOLOGIA DMAIC NA
EFICIÊNCIA OPERACIONAL E NA QUALIDADE DE PRODUTOS NA
INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

JOINVILLE

2025

MARCIEL SOUSA PEREIRA

**A INFLUÊNCIA DA GESTÃO DA QUALIDADE E DA METODOLOGIA DMAIC NA
EFICIÊNCIA OPERACIONAL E NA QUALIDADE DE PRODUTOS NA
INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Cursos Superiores da Faculdade de Tecnologia Assessoritec como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão da Qualidade.

Orientador: Prof. Katiana da Silva Estevam

JOINVILLE

2025

MARCIEL SOUSA PEREIRA

**A INFLUÊNCIA DA GESTÃO DA QUALIDADE E DA METODOLOGIA DMAIC NA
EFICIÊNCIA OPERACIONAL E NA QUALIDADE DE PRODUTOS NA
INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Cursos Superiores da Faculdade de Tecnologia Assessoritec como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão da Qualidade.

Joinville, XX de XXXX de 20XX.

Prof. Me. Katiana da Silva Estevam (Orientador)
Faculdade de Tecnologia Assessoritec (FTA)

Prof. Esp./Me./Dr. XXXXXXXX
Faculdade de Tecnologia Assessoritec (FTA)

Prof. Esp./Me./Dr. XXXXXXXX
Faculdade de Tecnologia Assessoritec (FTA)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar forças para chegar ao final desta jornada.

Agradeço à professora Katiana por ter sido minha instrutora no TCC.

Agradeço também aos professores que compartilharam seus conhecimentos durante o curso.

Por fim, agradeço à Faculdade Assessoritec pelos excelentes cursos e métodos de ensino.

“Faça o seu melhor nas condições que você tem.”

Mário Sérgio Cortela

RESUMO

O setor de fundição é crucial para a indústria de transformação, mas enfrenta desafios significativos em termos de qualidade e produtividade, especialmente devido à alta ocorrência de peças não conformes e defeitos como inclusão de areia e porosidades, que elevam custos operacionais e geram retrabalho. Diante deste cenário, a aplicação sistemática de ferramentas de gestão da qualidade torna-se fundamental para aprimorar processos e garantir a competitividade. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo geral verificar como determinadas ferramentas da qualidade influenciam na melhoria dos processos de fabricação, no monitoramento de processos e na qualidade dos produtos do setor de fundição.

A metodologia empregada é de natureza qualitativa e exploratória, desenvolvida sob a forma de uma pesquisa bibliográfica.

Os estudos de caso analisados demonstram que a aplicação dessas ferramentas resulta em ganhos tangíveis, como a redução significativa de refugos (até 70% em um dos casos), maximização do lucro em 112% , e diminuição de não conformidades. Em particular, o método DMAIC se mostrou eficaz ao fornecer uma estrutura sistemática para diagnosticar causas, planejar melhorias sustentáveis e reduzir desperdícios. Conclui-se que o uso das ferramentas da qualidade e metodologias como o DMAIC são essenciais para promover a melhoria contínua, aumentar a eficiência operacional e elevar a qualidade dos produtos, reforçando a competitividade da indústria de fundição no mercado.

Palavras-chave: Fundição, DMAIC, Ferramentas da Qualidade, Melhoria Contínua, Redução de Defeitos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento dos Assuntos Relacionados aos Termos de Busca

Tabela 2 – Principais Resultados em Relação ao Uso das Ferramentas de Qualidade

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diagrama de Ishikawa
- Figura 2 – Folha de Verificação
- Figura 3 – Diagrama de Pareto
- Figura 4 – Metodologia DMAIC
- Figura 5 – Detecção da Causa Raiz Usando Diagrama de Ishikawa
- Figura 6 – Plano de Ação com 5W2H
- Figura 7 – Relação Tempo e Faturamento Antes e Depois
- Figura 8 – Processo de Fabricação de Peças Fundidas
- Figura 9 – Média dos tempos antes e depois das melhorias e padronização
- Figura 10 – Folha de Verificação Utilizada para Encontrar Defeitos de Fundição
- Figura 11– Gráfico de Pareto para Defeitos de Fundição
- Figura 12 – Causa e efeito: inclusão de areia em peças metálicas fundidas
- Figura 13 – Mapa de Processo Final

SUMÁRIO

1. OBJETIVOS.....	17
1.1. OBJETIVO GERAL.....	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. INTRODUÇÃO.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1. Aplicação de Ferramentas Lean Manufacturing para Melhoria Contínua em Processos Produtivos.....	20
3.2. Ferramentas da Qualidade no Processo Produtivo	22
3.3. DMAIC Como Ferramenta de Apoio a Identificação de Causas Raiz.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1. Procedimentos Metodológicos.....	29
4.2. Apresentação dos Estudos Seleccionados Conforme Estratégia Metodológica...30	
4.2.1. Meneses e Tarrento (2023): Ferramentas de qualidade aplicada na fabricação de peças de ferro fundido	30
4.2.2. Ribeiro et al. (2019): Padronização dos postos de trabalho no setor de fundição 33	
4.2.3. Santana (2016): Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade.....	36
4.2.4. Souza e Demétrio (2010): O ciclo PDCA E DMAIC na melhoria do processo produtivo no setor de fundição	38
5. RESULTADOS	41
6. CONCLUSÕES.....	43
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GERAL

- Verificar como determinadas ferramentas da qualidade influenciam melhorando os processos de fabricação, o monitoramento de processos e a qualidade dos produtos do setor de fundição.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os principais indicadores de desempenho da qualidade aplicados ao setor de fundição, verificando sua contribuição para o monitoramento dos processos.
- Avaliar o uso de ensaios não destrutivos como ferramenta de controle de qualidade em peças fundidas.
- Aplicar e discutir o ciclo DMAIC como método de apoio na redução de defeitos em peças fundidas.

2. INTRODUÇÃO

O cenário da indústria de transformação moderna é caracterizado pela busca incessante por eficiência operacional e qualidade superior do produto, fatores que se traduzem diretamente na competitividade de mercado. Dentro deste contexto, o setor de fundição ocupa uma posição vital, sendo responsável pela produção de componentes essenciais para diversos segmentos, desde o automotivo ao de bens de capital. No entanto, este setor é notoriamente desafiador em termos de controle de processo, frequentemente enfrentando elevadas taxas de não conformidades, tais como inclusões de areia, porosidades e deslocamento de furos. Tais falhas resultam em custos operacionais elevados, aumento de retrabalho e insatisfação do cliente, impactando negativamente a saúde financeira e a reputação das empresas.

Diante da complexidade em manter a estabilidade e a qualidade em processos de alta variabilidade, como a fundição, a adoção de uma Gestão da Qualidade robusta, embasada em ferramentas e metodologias estruturadas, torna-se um imperativo estratégico. Ferramentas como o Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), o Gráfico de Pareto e a metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) oferecem os meios necessários para que as organizações não apenas identifiquem os problemas, mas atuem diretamente em suas causas-raiz, promovendo melhorias contínuas e sustentáveis.

Neste sentido, a presente pesquisa se justifica pela sua relevância acadêmico-científica e prática, pois contribui para a discussão sobre as melhores práticas na indústria de fundição, um setor com desafios específicos de qualidade e produtividade. O estudo visa fornecer evidências de que a aplicação sistemática e integrada dessas ferramentas pode levar a melhorias substanciais na eficiência operacional e na qualidade dos produtos, promovendo a eficiência e a satisfação do cliente.

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é verificar como determinadas ferramentas da qualidade influenciam melhorando os processos de fabricação, o monitoramento de processos e a qualidade dos produtos do setor de fundição. Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: analisar os principais indicadores de desempenho da qualidade aplicados ao setor de fundição; avaliar o uso de ensaios não destrutivos como ferramenta de controle de qualidade

em peças fundidas; e aplicar e discutir o ciclo DMAIC como método de apoio na redução de defeitos em peças fundidas.

Para atender a esses objetivos, o estudo utiliza uma metodologia de pesquisa qualitativa e exploratória, sob a forma de uma revisão bibliográfica sistemática, analisando a produção acadêmica recente (2010 a 2023) nas bases Scielo e Google Acadêmico. O corpo do trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a Revisão de Literatura, detalhando os conceitos de Lean Manufacturing, Ferramentas da Qualidade e o ciclo DMAIC. O Capítulo 3 descreve a Metodologia de pesquisa utilizada. O Capítulo 4 apresenta os estudos selecionados e seus resultados. Por fim, os Capítulos 5, 6 e 7 contêm os Resultados, as Conclusões e as Sugestões para Trabalhos Futuros, respectivamente, consolidando as descobertas sobre a eficácia das ferramentas de qualidade no setor de fundição.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão da literatura tem como objetivo apresentar os principais conceitos e estudos que fundamentam esta pesquisa. Para isso, são analisadas produções acadêmicas que abordam os princípios, ferramentas e métodos relacionados à gestão da qualidade e melhoria contínua em processos produtivos.

Esses conceitos fornecem uma base sólida para a aplicação de ferramentas como o diagrama de Ishikawa, gráfico de Pareto, DMAIC, PDCA, entre outras, que são amplamente utilizadas para identificar causas, propor soluções e otimizar processos em diversos setores.

Nesta seção, são discutidas a evolução dos conceitos relacionados à melhoria contínua e gestão da qualidade, com foco na aplicação de ferramentas estruturadas que auxiliam na identificação de problemas e implementação de melhorias.

Além disso, são apresentados exemplos de estudos e casos práticos que demonstram a eficácia dessas ferramentas em diferentes contextos organizacionais, destacando os resultados obtidos em termos de redução de custos, aumento de eficiência e melhoria da qualidade dos produtos ou serviços.

3.1. Aplicação de Ferramentas Lean Manufacturing para Melhoria Contínua em Processos Produtivos

Bellato e Mazzonetto (2021) citador por Meneges e Tarrento (2023) ao pesquisaram uma empresa metalmecânica, no setor de tratamento térmico, observaram as possíveis causas e soluções, através da aplicação da ferramenta diagrama de Ishikawa, onde o ganho do estudo realizado foi em qualidade, com 100% dos problemas corrigidos, sendo possível atingir a expectativa de vida útil das peças tratadas, ou seja, 43.770 horas ou, aproximadamente, 5 anos, provendo melhorias durante todo o fluxo produtivo.

Já Cavallari et al. (2020) citador por Meneges e Tarrento (2023), notaram em sua pesquisa que, uma industria, através da ferramenta de diagrama de Ishikawa e 5W2H, reduziu o percentual de 61,2% de peças retornadas para 20%, gerando ganhos financeiros tangíveis da ordem de R\$141.541,00 ao ano, sendo que, a recuperação do investimento inicial de R\$ 259.000,00 será recuperada em aproximadamente dois anos.

Pujati et al. (2017) citado por Meneges e Tarrento (2023) realizaram um trabalho sobre a aplicação de ferramentas da qualidade na busca de melhoria contínua e redução de erros na área de soldagem para manufatura de torres eólicas, onde foram levantadas, abordadas e discutidas todas as falhas e possíveis causas de erros, através da formação de equipes, utilização de ferramentas de apontamento como Pareto e diagrama de Ishikawa e brainstorming. Em quatro meses foram nítidos os ganhos com a identificação e aplicação das modificações na empresa, os erros que anteriormente representavam 73,7% passando para atuais 18,70%

Em sua pesquisa, notaram uma redução dos custos da não qualidade em uma organização metalúrgica e moveleira onde, para o encontro dos resultados planejados foi utilizada a metodologia A3 e as ferramentas de qualidade estratificação, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT e 5W1H. Após a efetivação das ações propostas, os custos de Sucata gerados nos meses de junho e julho de 2021 são respectivamente iguais a R\$3.712,85, redução de 27% e R\$2.733,07 redução de 46%, em comparação a média dos custos do semestre estudado R\$5.108,51. (Meneges e Tarrento, 2023, p.2)

E ainda, Carvalho (2021) citado por Meneges e Tarrento (2023) constaram que, em uma empresa metalúrgica com sede na cidade de São José dos Pinhais, foi realizada aplicação de um projeto para redução de não conformidades, com o objetivo de melhoria em uma peça chamada caixa de bateria, as ferramentas da qualidade que foram utilizadas para a aplicação do projeto, com o diagrama de Ishikawa, foram colocados em pauta as causas, com a Matriz GUT foram priorizadas as causas, e após isso foi realizado um brainstorming, e 5W2H como plano de ação para as causas priorizadas, como teste produzindo 100 unidades, das quais apenas uma apresentou não conformidade, o que representa 1%, sendo que antes o índice de não conformidade era de 5%, ou seja, foi reduzido em 4% o índice de não conformidade.

Freire et al. (2019) citado por Meneges e Tarrento (2023), em estudo com o objetivo de mostrar a análise e solução de problemas, utilizando as ferramentas da qualidade em um setor de usinagem em uma empresa do ramo metalúrgico, constataram que o setor conseguiu um índice de 0,11% de sucata, sendo que a meta é de 0,22%. O tempo de setup também foi reduzido de 40 minutos para 10 minutos com a mudança no método de troca rápida de ferramenta.

Gaigher e Feroni (2021) citado por Meneges e Tarrento (2023) levantaram as causas do alto índice de falta de materiais no processo de manufatura em uma montadora automotiva. Para isso, foram aplicadas algumas ferramentas de gestão da qualidade como MASP, diagrama de causa-efeito (Ishikawa), cinco porquês, 5W2H e lista de verificação. O resultado foi uma redução de 90,14% nos atrasos de fornecedores.

Junior e Pacheco (2019) citado por Meneges e Tarrento (2023) observaram as causas de alto índice de refugo e retrabalho no processo de manufatura em uma fábrica de sistemas de embreagem. Para isso, foram aplicadas algumas ferramentas de gestão da qualidade como Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP, diagrama de causa e efeito, cinco porquês, 5W 2H e análise de causa raiz. Como resultado nos primeiros seis meses subsequentes a implementação das ações os custos foram reduzidos 95,32% valores superiores a ordem de R\$30.000,00.

Já Andrade, Gomes e Junior (2021) citado por Meneges e Tarrento (2023), em estudo com o objetivo de soluções e melhorias para redução de quebra da máquina ensacadeira, apontaram que o uso das ferramentas da qualidade como diagrama de Ishikawa, matriz GUT e 5W2H, integraram-se ao MASP. Após aplicação do MASP, os resultados mostraram uma redução de 64% do tempo de parada de linha por quebra da máquina ensacadeira.

Braintt e Fettermann (2014) citado por Meneges e Tarrento (2023), em sua pesquisa, notaram que com o uso do método DMAIC, foi possível obter reduções de 36,09% das perdas relacionadas a pedidos parados e de 4% no custo com o gerenciamento do estoque.

3.2. Ferramentas da Qualidade no Processo Produtivo

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 e Stadler (2012) citador por Scheneider (2023),

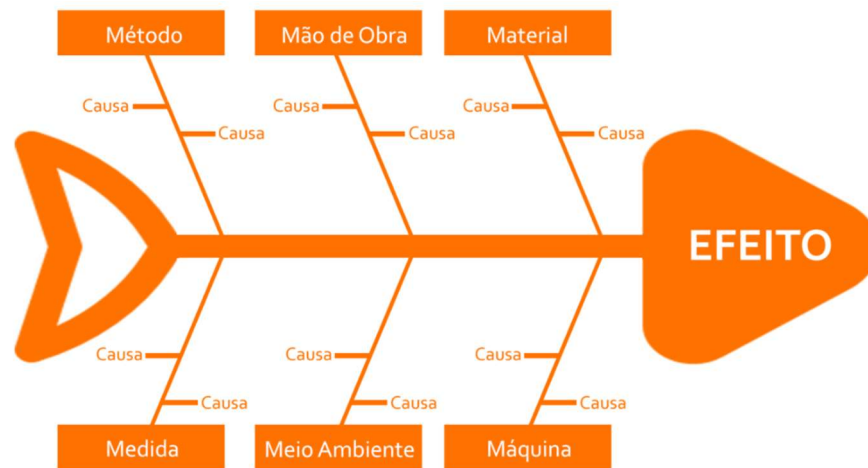
Definem o fluxograma como uma representação gráfica que permite a fácil visualização dos passos de um processo, apresentando a sequência lógica e de encadeamento de atividades e decisões, a fim de se obter uma visão integrada do fluxo de um processo técnico, administrativo ou gerencial, o que permite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

A carta de controle, 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. Seleme e Stadler, 2012 citador por Scheneider, 2023, p.26).

Segundo Marshall Junior et al. (2012) citado por Scheneider (2023) 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).

De acordo com o autor, o **diagrama de Ishikawa**, 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.

Figura 1. Diagrama de Ishikawa



Fonte: Soares (2024)

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 citado por Scheneider, 2023).

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 et al., 2012 citado por Scheneider, 2023, p. 18)

Para Scheneider (2023), 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. 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, segundo Scheneider (2023) 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.

Figura 2. Folha de Verificação

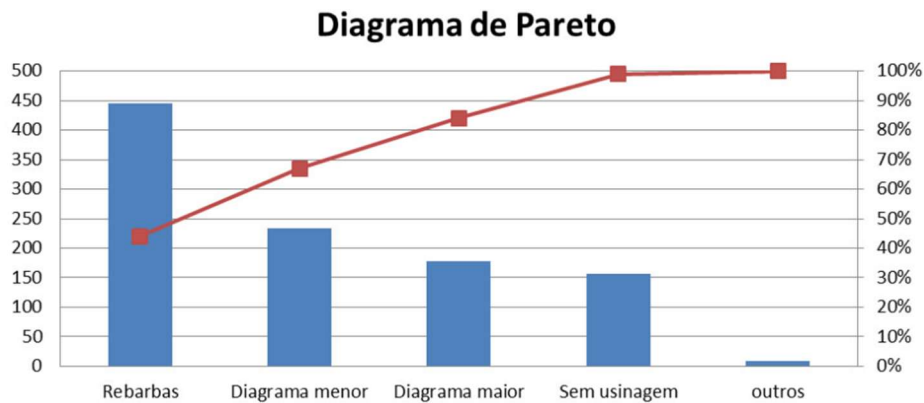
FOLHA DE VERIFICAÇÃO		
Local de coleta: inspeção final	Produto: Peça Plástica X	
Data: 17/05/2022	Lote inspecionado: EPR2000	
Responsável: Júlia		
Defeitos	Recorrência	Total
Deformação da Base		8
Trinca na tampa		13
Risco na superfície		5
Peça Quebrada		3
Peça Torta		4
Outros Defeitos		6

Fonte: ERP Consultoria (2025)

Segundo Martinelli (2009) citado por Scheneider (2023), 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.

De acordo com Castro (2013) citador por Santana (2023), o **gráfico de pareto** recebe essa nomeação em honra ao Vilfredo Pareto (1848-1923), que observou que a maioria da riqueza estava concentrada na mão da minoria da população, onde aproximadamente 80% da riqueza pertenciam apenas a 20% da população, conhecida com a regra dos 80/20. Juran tornou conhecida essa ferramenta, após constatar que as ocorrências de defeitos na indústria seguiam a mesma teoria descrita por Vilfredo Pareto.

Figura 3. Diagrama de Pareto



Fonte: Silveira (2012)

Para Carpinetti (2012) citado por Santana (2023), o Princípio de Pareto é demonstrado através de um gráfico de barras verticais (Gráfico de Pareto) que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a ordem de importância de problemas, causas e temas em geral.

No entanto para Ramos (2000) citado por Santana (2023), o diagrama de Pareto é usado quando é preciso dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los.

Para Santana (2023), gráfico de Pareto indica os elementos críticos organizados da esquerda para direita na ordem decrescente de importância, indicando facilmente ao gestor onde ele deve focar o investimento para reduzir os problemas identificados. As empresas têm buscado a melhoria contínua com a utilização das ferramentas da qualidade, abrangendo os ciclos PDCA (planejamento, execução, verificação e ação), e DMAIC (definir, medir e analisar).

O ciclo PDCA foi idealizado na década de 20 por Walter A. Shewarth, e em 1950, passou a ser conhecido como o ciclo de Deming, em tributo ao “guru” da qualidade, William E. Deming, que publicou e aplicou o método. O PDCA é mais uma definição para os estudiosos do difícil processo de planejar (PALADINI, 2008 citado por Souza e Demétrio, 2010).

Segundo Slack et al (1999) citado por Souza e Demétrio (2010), o conceito da melhoria contínua gera um procedimento ininterrupto, discutindo e rediscutindo as atividades delineadas de uma intervenção. O princípio repetitivo e periódico da melhoria contínua é mais sucinto que o ciclo PDCA ou ciclo de Deming, William E.

Deming. O método PDCA, por sua vez é a sucessão de trabalhos que são cursadas de modo circular para aprimorar esforços.

Marshall Junior et al (2006) citado por Scheineider (2023), tem a seguinte assertiva sobre o método PDCA: “o ciclo PDCA é um método gerencial para a promoção da melhoria contínua e reflete, em suas quatro fases, a base da filosofia do melhoramento contínuo”. Por isso, é fundamental que estas fases sejam consecutivas, gerando a melhoria contínua distribuída na organização, estabelecendo a unificação de práticas.

As ferramentas da qualidade desempenham um papel crucial no processo produtivo, proporcionando meios estruturados para análise, controle e melhoria contínua. O fluxograma, por exemplo, facilita a visualização sequencial das etapas de um processo, permitindo identificar gargalos, falhas e oportunidades de otimização. Já a carta de controle utiliza métodos estatísticos para monitorar a variabilidade de processos, distinguindo entre causas comuns e especiais, o que auxilia na manutenção da estabilidade e no alcance de padrões de qualidade consistentes.

Além disso, ferramentas como o diagrama de Ishikawa e o gráfico de Pareto permitem análises mais focadas nas causas e prioridades de problemas. O diagrama de Ishikawa organiza possíveis causas de não conformidades, promovendo um entendimento mais profundo dos fatores que impactam negativamente os processos. Por sua vez, o gráfico de Pareto ajuda a identificar os problemas mais críticos por meio da regra 80/20, permitindo que as empresas concentrem esforços nos pontos de maior impacto, otimizando recursos e ações corretivas.

Por fim, metodologias como o ciclo PDCA e DMAIC destacam-se por promoverem a melhoria contínua. Essas abordagens estruturam o planejamento, execução, análise e controle de processos, garantindo a repetição sistemática de ações que levam ao aperfeiçoamento organizacional. Dessa forma, as ferramentas da qualidade não apenas ajudam a resolver problemas existentes, mas também criam um ambiente de aprendizado e inovação, essencial para a competitividade no mercado atual.

3.3. DMAIC Como Ferramenta de Apoio a Identificação de Causas Raiz

Para Silva (2023), o modelo DMAIC é uma abordagem utilizada para melhorar processos existentes que apresentam falhas ou que necessitam de aprimoramento. A sigla representa cinco etapas:

1. **Definir (Define):** Identificar o problema, definir os objetivos do projeto e atender às necessidades do cliente.
2. **Medir (Measure):** Coletar dados e estabelecer uma linha de base para o desempenho atual do processo.
3. **Analisar (Analyze):** Identificar as causas-raiz dos problemas e entender como o processo funciona.
4. **Melhorar (Improve):** Desenvolver e implementar soluções para melhorar o processo.
5. **Controlar (Control):** Monitorar e controlar o processo para garantir que as melhorias sejam sustentadas.

O modelo DMAIC é amplamente utilizado para estruturar projetos de melhoria contínua e garantir resultados consistentes.

Figura 4. Metodologia DMAIC



Fonte: Silva (2023)

De acordo com Leão (2025), o DMAIC serve para melhorar a qualidade na empresa, já que com processos otimizados a empresa gera resultados melhores.

As melhorias também geram outros benefícios indiretos, como redução de perdas e economia de materiais, que acabam gerando um aumento na lucratividade da empresa. Por fim, produtos de alta qualidade aumentam a satisfação dos clientes e acabam fidelizando essas pessoas e empresas para a sua marca.

De acordo com o estudo feito por Mochinski (2021), DMAIC como metodologia proporcionou:

DMAIC proporcionou uma estrutura sistemática para identificar, analisar e resolver os problemas de defeitos nas peças fundidas, permitindo uma abordagem organizada e eficiente. Na pesquisa, o método ajudou a:

- Diagnosticar as causas raízes dos defeitos, como a questão da temperatura na fundição
- Planejar e implementar melhorias, como a substituição das painelas e a priorização na produção
- Controlar o processo aprimorado para garantir resultados sustentáveis

Quanto aos ganhos, a aplicação do DMAIC resultou em:

- Redução de defeitos por falta de enchimento nas peças
- Eliminação de desperdício de alumínio, com uma economia de aproximadamente 432 gramas na produção do último dia
- Melhoria na eficiência do processo de fundição
- Redução do retrabalho e perdas de material

Em suma, o DMAIC ajuda a:

- Estruturar o raciocínio e as ações de melhoria, passo a passo
- Focar na causa raiz dos problemas, ao invés de apenas tratar os sintomas
- Garantir que as melhorias sejam sustentadas ao longo do tempo
- Facilitar a comunicação e o acompanhamento dos resultados pelos envolvidos no processo. (Mochinski, 2021, p. 31)

Para Mochinski (2021), o uso do DMAIC na pesquisa demonstrou ser uma ferramenta eficaz para promover melhorias contínuas nos processos produtivos, especialmente na identificação e resolução de causas raízes de defeitos. Sua aplicação proporcionou uma abordagem estruturada, que facilitou a tomada de decisões embasadas em dados e análises precisas, resultando em melhorias concretas na qualidade do produto, na redução de desperdícios e no aumento da eficiência do processo de fundição.

Os benefícios do DMAIC, segundo Mochinski (2021) incluem a obtenção de resultados sustentáveis, maior controle sobre as variáveis do processo, redução de custos, diminuição de retrabalho e rejeições, além de promover uma cultura de melhoria contínua dentro da organização. Dessa maneira, o método se revela uma ferramenta valiosa para alcançar sua estratégia de operações mais eficientes, de forma sistemática e orientada a resultados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa e exploratória, desenvolvida sob a forma de uma pesquisa bibliográfica. No contexto da pesquisa sobre a aplicação de ferramentas de qualidade na indústria de fundição, a exclusividade dos artigos selecionados garante uma aderência de 100% ao tema do TCC. Assim, a pesquisa qualitativa se mostra adequada para investigar como as práticas de qualidade podem influenciar a eficiência e a redução de defeitos nos processos de fundição.

O tema tem importante relevância acadêmico-científica porque contribui para a compreensão das melhores práticas na indústria de fundição, um setor com desafios específicos em termos de qualidade e produtividade. Este estudo pretende contribuir para a discussão sobre práticas que não apenas melhoram a qualidade dos produtos, mas também promovem a eficiência operacional e a satisfação do cliente.

4.1. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa adota como instrumento de coleta de dados duas das principais bases de dados acadêmicas: Scielo e Google Acadêmico. Essas bases de dados foram escolhidas por sua ampla cobertura de periódicos e artigos científicos de alta qualidade. A seleção dos termos de busca foi feita com base em uma análise preliminar da literatura existente, de forma a capturar os principais aspectos relacionados à fundição e às ferramentas de qualidade. Assim, foram utilizados termos como "Ferramentas da Qualidade", "Fundição", "DMAIC", "Melhoria Contínua" e "Qualidade". Esses termos foram escolhidos com o objetivo de cobrir uma ampla gama de tópicos pertinentes, garantindo que a pesquisa fosse abrangente e que incluísse apenas artigos que abordassem especificamente a fundição, assegurando a relevância dos dados coletados.

A pesquisa selecionou artigos do ano de 2010 a 2023 a fim de garantir que as informações estivessem atualizadas e refletissem as práticas contemporâneas do setor. Após a coleta inicial dos artigos, foi realizada uma triagem minuciosa para garantir que apenas os estudos mais relevantes fossem incluídos na análise. Nesse sentido, os artigos foram avaliados com base em sua relevância para os temas abordados e sua contribuição para o entendimento dos desafios e oportunidades na indústria de fundição.

Essa análise permite identificar conceitos como a eficácia das ferramentas de qualidade na redução de defeitos, a importância da padronização de processos e a aplicação de metodologias como DMAIC para melhoria contínua.

Tabela 1. Detalhamento dos Assuntos Relacionados aos Termos de Busca

Termo de Busca	Assuntos Selecionados	Autor / Ano
Ferramentas da Qualidade; Fundição	Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria em fabricação de peças de ferro fundido.	Menezes e Tarrento (2023)
Fundição	Avaliação da padronização do posto de trabalho, tempos e métodos numa Empresa do Setor de Fundição: Uma Visão do Gestor Empresarial.	Ribeiro et al. (2019)
Ferramentas da Qualidade; Fundição	Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em uma fundição de peças metálicas.	Santana (2016)
DMAIC; Fundição	O ciclo PDCA E DMAIC na melhoria do processo produtivo no setor de fundição: um estudo de caso da empresa Deluma Indústria e Comércio Ltda.	Souza e Demétrio (2010)

Fonte: Autor (2025)

Em síntese, a metodologia utilizada neste estudo foi projetada para garantir a inclusão dos artigos mais relevantes do setor, utilizando uma combinação de termos de busca cuidadosamente selecionados e múltiplas bases de dados. Essa abordagem assegura que a pesquisa se mantenha focada e pertinente ao tema da fundição, proporcionando uma base sólida para a discussão sobre a aplicação das ferramentas de qualidade neste setor.

4.2. Apresentação dos Estudos Selecionados Conforme Estratégia Metodológica

A seguir a metodologia empregada pelos autores selecionados, centralizando todos os casos na indústria de fundição, os benefícios alcançados e as principais contribuições.

4.2.1. Menezes e Tarrento (2023): Ferramentas de qualidade aplicada na fabricação de peças de ferro fundido

No estudo de caso proposto por Menezes e Tarrento (2023), os autores aplicaram ferramentas da qualidade, como o diagrama de Ishikawa, 5W2H e

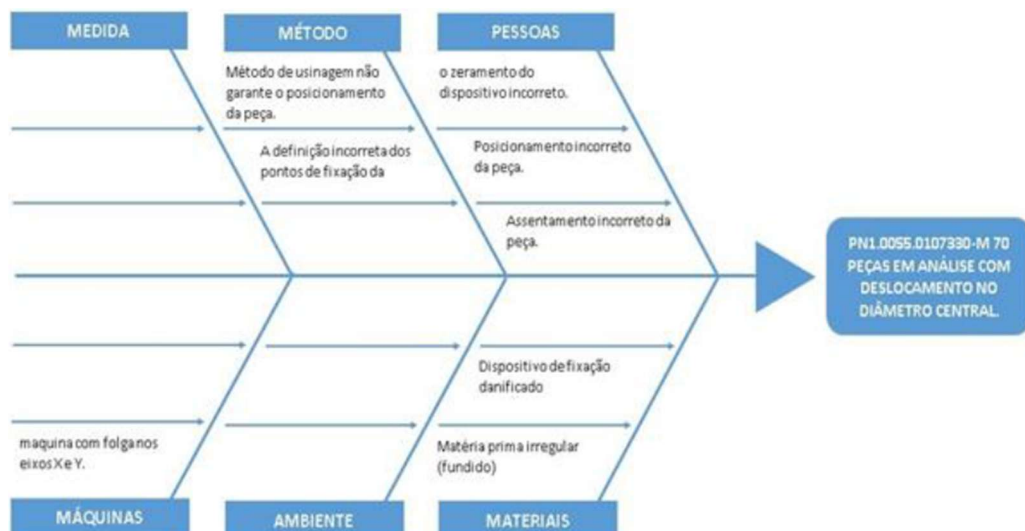
brainstorming, com o objetivo de melhorar a produtividade e reduzir o índice de peças não conformes no processo de usinagem de peças de ferro fundido.

Os resultados indicaram uma redução significativa de 70% no refugo e uma maximização do lucro em 112%, demonstrando a eficácia das ferramentas utilizadas na identificação e eliminação das principais causas de problemas de usinagem.

A melhoria foi aplicada como um estudo de caso, com informações de peças não conformes relatadas pelo cliente onde as mesmas apresentavam deslocamento dos furos em relação ao contorno da peça.

Foi registrada a falha em seu sistema de gestão da qualidade. Como contenção, foi bloqueado o roteiro de fabricação das ordens ativas na produção, na análise de causa foi utilizado diagrama de Ishikawa e brainstorming com uma equipe multidisciplinar formada por supervisor da qualidade, supervisor de produção, líder de centro de usinagem, inspetor de qualidade, supervisor de engenharia, analista da qualidade, programador de manufatura assistida por computador (CAM- Computer-Aided Manufacturing), os plano de ação foram aplicados 5W2H para concluir as execução, como verificação da eficácia foram monitorados os próximos lotes após a alteração do processo de fabricação.

Figura 5. Detecção da Causa Raiz Usando Diagrama de Ishikawa



Fonte: Meneses e Tarrento (2023)

Como resultado do plano de ação, foi desenvolvido novo método de fixação utilizando apenas 3 pontos com orientação pelo furo central do fundido.

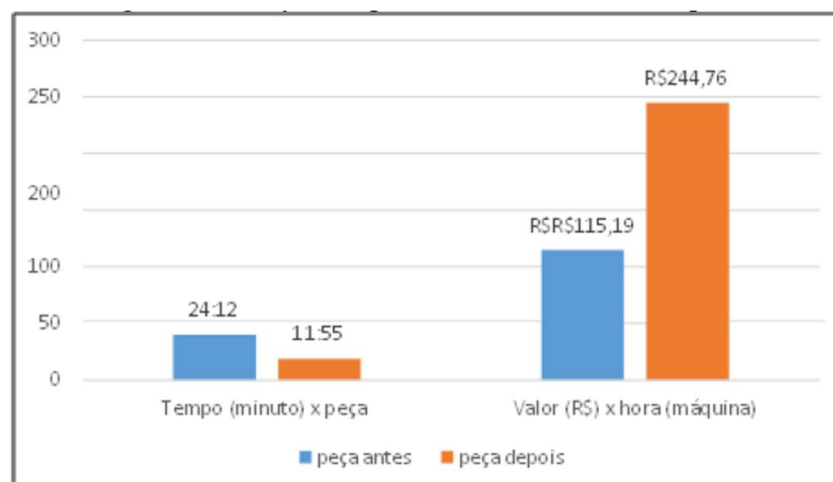
Figura 6. Plano de Ação com 5W2H

Ação	
Método	5W2H
Etapa	
O que?	Desenvolver um novo método de fixação
Quem?	Douglas Meneses (DMENESES)
Quando?	Data início: 01/11/2021 Data fim: 10/11/2021
Onde?	Método e processos
Porquê?	Eliminar o posicionamento incorreto da peça
Como?	Reunir equipe multidisciplinar para definir método de fixação com repetibilidade no posicionamento da peça.
Custo	0,00
O que foi feito?	Executado em: 12/01/2022 08:00:00 Foi desenvolvido novo método de fixação utilizando apenas 3 pontos com orientação pelo furo central do fundido. Segue informação em anexo.

Fonte: Meneses e Tarrento (2023)

Somando o tempo de todas as etapas do novo método de usinagem uma peça é concluída em 11 minutos e 55 segundos de máquina, ou seja, houve uma redução no tempo de usinagem em aproximadamente 53%. Na Figura 7, verifica-se que antes, em uma hora de produção, era possível faturar R\$ 115,19 e depois foi para R\$ 244,76, maximizando o lucro em 112 %.

Figura 7. Relação Tempo e Faturamento Antes e Depois



Fonte: Meneses e Tarrento (2023)

A principal contribuição deste estudo reside na evidência de que a aplicação sistemática de ferramentas de qualidade pode levar a melhorias substanciais na eficiência operacional e na qualidade dos produtos, servindo como um modelo para outras indústrias que enfrentam desafios semelhantes.

4.2.2. Ribeiro et al. (2019): Padronização dos postos de trabalho no setor de fundição

O estudo foi aplicado em uma empresa do setor de fundição localizada no interior do estado de São Paulo. O processo abordado no estudo foi o de usinagem de peças de aço fundido, onde foram realizadas operações para agregar valor às peças já fundidas, incluindo fresagem, torneamento e furação. O foco principal foi a padronização das operações de usinagem para garantir a qualidade e a eficiência do processo produtivo.

Figura 8. Processo de Fabricação de Peças Fundidas



Fonte: Ribeiro et al. (2019)

O estudo focou a área da usinagem, em que são recebidas peças que necessitem de agregação de valor. Foi observado que o gestor da área utilizava o gráfico de Pareto para definir quais as principais perdas de processo que deveria combater. O gestor identificou os pontos do processo que deveria corrigir, por exemplo, um item de perda de tempo identificado por meio de Pareto que se acentuava no processo foi a troca de ferramenta.

Uma equipe foi formada para realizar um Kaizen (palavra em japonês que significa melhorar sempre), em que foram elencados os objetivos essenciais:

- Eliminar troca de ferramenta;
- Diminuir o tempo de Usinagem;
- Diminuir custo;
- Eliminar tempo gasto por troca de ferramenta.

Para isso foram definidas as seguintes ações:

- Teste de ferramenta;
- Medição de tempo;
- Correção do Programa de usinagem.

Para discutir os resultados reais da padronização do processo apresenta-se a Tabela 9, que foi criada após melhorias no processo atendendo as recomendações feitas na metodologia, o foco foi o tempo efetivo de usinagem, por esta razão os itens da tabela estão grifados.

Figura 9. Média dos tempos antes e depois das melhorias e padronização

Medida de tempo	MÉDIA depois	MÉDIA antes
Verificação dos pontos de encosto	0:03:03	00:03:39
Limpar a peça	0:00:35	00:01:06
Carregamento, posicionamento, aperto	0:11:31	00:10:28
Conferir alinhamento usando traçado da metrologia	0:03:46	00:03:53
Conferir alinhamento dos diâmetros	0:04:55	00:07:02
Usinar topador X6	0:00:00	00:18:19
Usinar bolacha conforme processo	0:10:52	00:02:06
Usinar diâmetro interno conforme processo	0:14:03	00:38:22
Soltar e retirar a peça	0:05:01	00:06:41
Tempo total	0:38:31	01:31:37
Tempo efetivo de usinagem	0:24:55	00:58:47

Fonte: Ribeiro et al. (2019)

Comparando os dados posteriores às melhorias pode ser considerado um ganho em controle do processo e em produtividade, o que atendeu às exigências apresentadas à equipe formada para a aplicação do kaizen.

Comparando os dados da média dos tempos, apresentado na Tabela 3, nota-se significativa melhora em produtividade, principalmente no foco direcionado pelo gestor que foi no "Tempo efetivo de Usinagem".

Observa-se que a etapa de "ciclo de usinagem" apresentada na Tabela 2 com os itens "Usinar Bolacha conforme processo" e "Usinar Diâmetro interno conforme processo" foi compactada com adaptação do programa de comandos de computador, que foi realizado para que o processo de usinagem ficasse mais rápido e utilizasse somente uma ferramenta o que não acontecia antes da melhoria e da padronização.

Essas contribuições e resultados destacam a relevância da padronização e das ferramentas de qualidade na melhoria dos processos produtivos no setor de fundição.

As principais contribuições do artigo foram:

- a) **Padronização de Processos:** O artigo destaca a importância da padronização no setor de fundição, evidenciando como a padronização garante que os produtos mantenham as mesmas características, independentemente do operador. Isso contribui para a previsibilidade dos resultados e a melhoria da qualidade.
- b) **Redução de Desperdícios:** A pesquisa demonstra que a padronização e a utilização de ferramentas de qualidade, como MASP e PDCA, resultam na redução significativa de desperdícios, aumentando a eficiência produtiva e, conseqüentemente, a competitividade da empresa.
- c) **Gerenciamento Eficaz:** O papel do gestor é enfatizado como crucial para identificar problemas e propor soluções. O estudo sugere que a liderança ativa e a comunicação clara são fundamentais para o sucesso da padronização.
- d) **Documentação e Treinamento:** O desenvolvimento de um documento de trabalho padrão serve como uma ferramenta de treinamento para novos operadores, garantindo que todos sigam os mesmos procedimentos.

Como principais resultados alcançados estão:

- a) **Redução do Tempo de Processamento:** O estudo de caso mostrou uma redução significativa no tempo de processamento das peças, o que melhora a produtividade.
- b) **Melhoria na Qualidade:** A padronização levou a uma diminuição na variabilidade dos resultados, resultando em um aumento na qualidade do produto final.
- c) **Aumento da Eficiência:** Após a implementação das melhorias, houve um controle mais eficaz dos processos, permitindo um aumento na eficiência operativa.

4.2.3. Santana (2016): Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade

O estudo foi aplicado em uma fundição de peças metálicas localizada na cidade de Vitória, onde o foco principal foi a identificação e análise dos principais defeitos que ocorriam durante o processo de fabricação. O problema abordado neste contexto foi a elevada taxa de peças não conformes, especialmente as defeituosas devido a inclusões de areia e porosidades, que comprometiam não apenas a qualidade do produto final, mas também geravam retrabalhos e aumentavam os custos operacionais.

Para enfrentar esses desafios, o autor utilizou uma série de ferramentas da qualidade. Inicialmente, foi realizada uma inspeção visual das peças fabricadas ao longo de um período de dois meses. Os dados coletados foram registrados em uma folha de verificação, permitindo uma sistematização dos tipos de defeitos encontrados em cada ordem de produção.

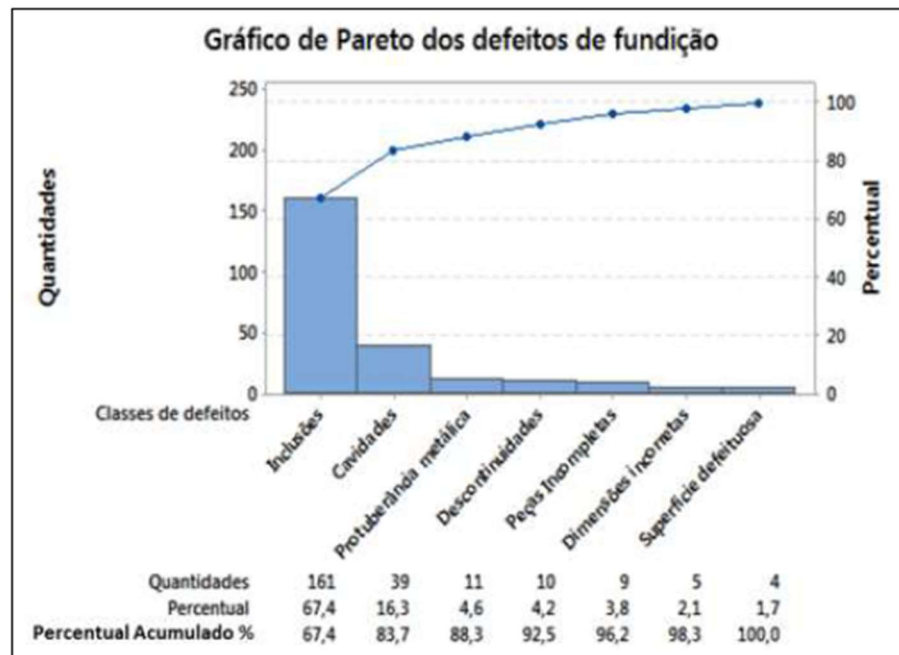
Figura 10. Folha de Verificação Utilizada para Encontrar Defeitos de Fundição

DEFEITOS DE FUNDIÇÃO			
Classes de defeitos	Tipos de defeitos	Quantidade por tipo de defeito	Quantidade por classe de defeitos
Protuberância metálica	Erosão de areia	0	11
	Levantamento de molde	0	
	Macho quebrado	0	
	Rebarba de ângulo	4	
	Rebarba metálica	3	
	Veilamento	4	
Cavidades	Porosidade	38	39
	Rechupes	1	
Descontinuidades	Trinca a frio	1	10
	Trinca a quente	9	
Superfície defeituosa	Esmagamento	0	4
	Expansão da areia	4	
Peças Incompletas	Falta de enchimento	0	9
	Falta de metal	8	
	Molde vazando	1	
Dimensões incorretas	Contração	5	5
Inclusões	Escória/Areia	161	161
	Produto utilizado Banho Metálico	0	
Totais de defeitos			239

Fonte: Santana (2016)

A partir disso, foi construído um gráfico de Pareto utilizando o software MINITAB®, que revelou que as inclusões de areia e os defeitos de porosidade eram responsáveis por 83,7% das falhas identificadas. Essa análise do gráfico de Pareto destacou a importância de priorizar esses defeitos na busca por soluções.

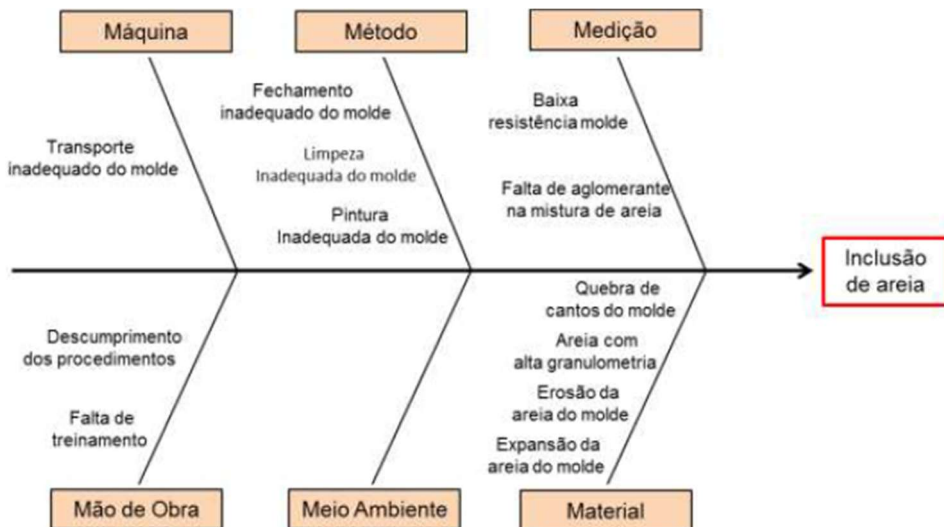
Figura 11. Gráfico de Pareto para Defeitos de Fundição



Fonte: Santana (2016)

A partir do Diagrama de Causa e Efeito, pode-se demonstrar as várias causas que levam a ocorrência de defeito de inclusão de areia nas peças metálicas produzidas na fundição estudada.

Figura 12. Causa e efeito: inclusão de areia em peças metálicas fundidas



Fonte: Santana (2016)

Além disso, um diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa, foi elaborado para identificar as causas raiz dos defeitos. A partir das informações coletadas, ficou evidente que a falta de treinamento dos operadores e

métodos inadequados de limpeza e pintura dos moldes eram fatores críticos que contribuíam para a ocorrência das inclusões de areia.

Com base nas análises realizadas, foi implementado um plano de ação utilizando a metodologia PDCA (Planejar, Fazer, Checar, Agir). Esse ciclo permitiu que o gestor da fundição realizasse um acompanhamento contínuo das melhorias, garantindo que as alterações propostas fossem efetivas. As ações incluíram a atualização dos procedimentos de limpeza dos moldes e a capacitação dos operadores, o que resultou em uma significativa redução dos defeitos notificados.

Os resultados alcançados foram claros e positivos: após a implementação das melhorias, houve uma diminuição substancial na ocorrência de defeitos, especialmente nas peças de barra de grelha, onde as inclusões de areia foram eliminadas. A padronização dos processos, aliada ao treinamento adequado, não apenas melhorou a qualidade das peças produzidas, mas também contribuiu para uma maior eficiência operacional e redução de custos, alinhando a produção da fundição aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado. Assim, o estudo não apenas cumpriu seu objetivo de identificar e solucionar os defeitos de fundição, mas também destacou a importância do uso de ferramentas da qualidade na gestão de processos produtivos.

4.2.4. Souza e Demétrio (2010): O ciclo PDCA E DMAIC na melhoria do processo produtivo no setor de fundição

O estudo foi aplicado na Deluma Indústria e Comércio Ltda., uma empresa localizada em Guarulhos, SP, especializada na fundição de peças metálicas por meio do processo de fundição sob pressão.

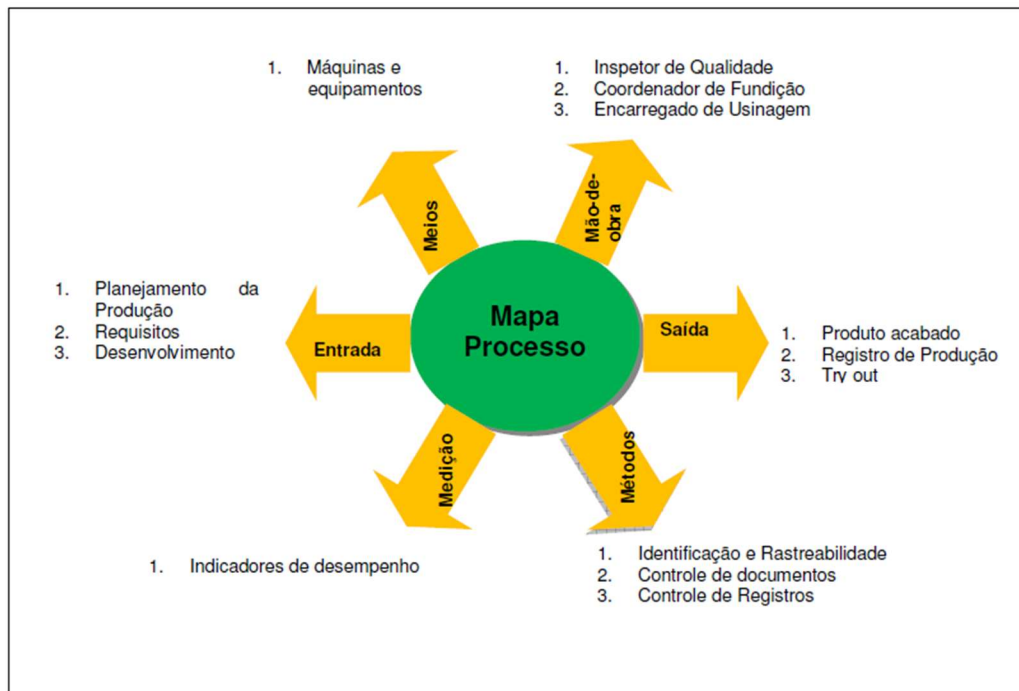
O foco principal do trabalho foi abordar a elevada taxa de defeitos de qualidade observados nas peças produzidas, especialmente os relacionados a inclusões de areia e porosidades, que comprometiam tanto a funcionalidade quanto a estética dos produtos finais. Esses problemas não apenas impactavam a satisfação do cliente, mas também resultavam em retrabalhos e aumento dos custos operacionais, afetando a competitividade da empresa no mercado.

Para solucionar essas questões, foram empregadas diversas ferramentas da qualidade, integrando os ciclos PDCA (Planejamento, Execução, Verificação, Ação) e DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar).

O PDCA foi utilizado para estruturar a melhoria contínua dos processos, enquanto o DMAIC ajudou na identificação e análise das causas dos defeitos. A equipe também utilizou gráficos de Pareto para priorizar os problemas mais críticos, permitindo que a empresa focasse seus esforços nas causas que mais contribuíam para os defeitos. Além disso, o diagrama de causa e efeito (Ishikawa) foi utilizado para mapear as diversas causas subjacentes, facilitando a identificação de falhas no processo de fundição.

A empresa teve que aderir a postura de mudança na percepção e na ação dentro da organização, de modo a prospectar novos clientes, fidelizar aqueles já existentes, além de reduzir os custos dos processos, os desperdícios e os retrabalhos. Essas mudanças geradas contribuíram de modo significativo para a Deluma, a partir do uso das ferramentas: Diagrama de causa e efeito, Gráfico de Pareto, Fluxogramas, Carta de Controle, Folha de Verificação, Histogramas, Diagrama de Dispersão, Matriz Gut, Braisntorming, 5W2H e 5'S.

Figura 13. Mapa de Processo Final



Fonte: Santana (2016)

Por fim, a aplicabilidade dos ciclos PDCA e DMAIC é possível no segmento industrial de fundição, segundo o autor e se analisou os resultados obtidos e os identificou como válidos, bem como reconheceu os obstáculos e os sucessos no decorrer de sua implantação.

Os resultados alcançados foram notáveis. A análise inicial revelou que as inclusões de areia e as porosidades representavam uma alta porcentagem dos defeitos, o que levou à implementação de melhorias específicas nas etapas de limpeza e pintura dos moldes. Após a adoção das práticas recomendadas, a empresa experimentou uma redução significativa nos defeitos, resultando em um aumento de 75% no faturamento em um curto período.

Além disso, a padronização dos processos não apenas melhorou a qualidade das peças, mas também otimizou os procedimentos operacionais, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência produtiva.

5. RESULTADOS

Nesta seção, apresentamos os resultados obtidos a partir da aplicação de ferramentas da qualidade em estudos realizados no setor de fundição. Os artigos analisados demonstram a eficácia dessas ferramentas na identificação e resolução de problemas, além de evidenciar melhorias significativas em processos produtivos. A utilização de metodologias como PDCA e DMAIC, assim como ferramentas como gráficos de Pareto e diagramas de causa e efeito, contribuiu para a otimização das operações e a redução de desperdícios, refletindo diretamente na qualidade das peças fundidas.

Os resultados aqui sintetizados são fundamentais para entender como a aplicação sistemática das ferramentas da qualidade pode transformar o desempenho de empresas no setor de fundição. A seguir, apresentamos uma tabela que resume os principais achados de cada artigo, destacando as melhorias alcançadas e as ferramentas utilizadas.

Tabela 2. Principais Resultados em Relação ao Uso das Ferramentas de Qualidade

Artigo	Ferramentas Utilizadas	Resultados Obtidos
Menezes e Tarrento (2023)	Diagrama de Ishikawa, 5W2H, Brainstorming	Redução de 70% no refugo de peças de ferro fundido e maximização do lucro em 112%.
Ribeiro et al. (2019)	Gráfico de Pareto, Ciclo PDCA	Redução significativa do tempo de processamento e aumento da eficiência operacional, melhorando a qualidade das peças.
Santana (2016)	Folha de verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito	Identificação de que inclusões de areia e porosidades representavam 83,7% dos defeitos, resultando em melhorias no processo de fundição e aumento da qualidade das peças.
Souza e Demétrio (2010)	Ciclos PDCA e DMAIC, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito	Melhoria contínua dos processos, resultando em uma redução dos desperdícios e aumento da produtividade, além de um controle mais eficaz sobre a qualidade das peças produzidas.

Fonte: Autor (2025)

Ao observar a tabela, percebe-se uma evolução consistente no uso das ferramentas da qualidade ao longo dos anos, aplicada ao setor de fundição. Desde os estudos mais antigos, como o de Souza e Demétrio (2010), até os mais recentes, como Menezes e Tarrento (2023), há um movimento claro de amadurecimento no uso combinado e estratégico dessas ferramentas.

Nos primeiros anos, as ferramentas eram utilizadas de forma mais diagnóstica, voltadas à identificação de defeitos e causas dos problemas produtivos — como se nota em Santana (2016), que empregou folhas de verificação e diagramas de causa e efeito para descobrir que inclusões e porosidades representavam grande parte dos defeitos. Com o tempo, o uso passou a ter um caráter mais analítico e integrado, com a aplicação de ciclos PDCA, DMAIC e métodos de melhoria contínua, voltados não apenas para detectar, mas corrigir, padronizar e sustentar melhorias.

Nos estudos mais recentes, como o de Menezes e Tarrento (2023), observa-se a incorporação de ferramentas como o 5W2H e o brainstorming, que ampliam a participação das equipes e fortalecem a tomada de decisão colaborativa. Essa evolução mostra uma transição da simples resolução de problemas pontuais para uma gestão sistemática da qualidade, baseada em dados, planejamento e inovação.

Em termos de impacto, as ferramentas contribuíram significativamente para o aumento da eficiência operacional, redução de refugos e desperdícios, e melhoria da qualidade final das peças fundidas. Elas permitiram que as empresas do setor deixassem de atuar de forma reativa e passassem a ter uma postura preventiva e estratégica, reforçando a competitividade industrial e a confiabilidade dos processos de fundição.

6. CONCLUSÕES

- 1) As ferramentas da qualidade reduzem significativamente o refugo de peças, como demonstrado por Menezes e Tarrento (2023), que obtiveram uma redução de 70% no desperdício e aumento expressivo no lucro.
- 2) O uso do ciclo PDCA e do gráfico de Pareto melhora a eficiência operacional, conforme evidenciado por Ribeiro et al. (2019), que relataram redução do tempo de processamento e aprimoramento da qualidade.
- 3) A análise de causas e efeitos permite identificar os principais defeitos do processo, como mostrado em Santana (2016), que constatou que inclusões de areia e porosidades eram responsáveis por mais de 80% dos problemas na fundição.
- 4) A aplicação combinada de ferramentas promove melhoria contínua e aumento da produtividade, como descrito por Souza e Demétrio (2010), resultando em menor desperdício e maior controle sobre a qualidade das peças produzidas.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Ampliar o estudo para diferentes tipos de fundição e ligas metálicas, comparando como as ferramentas da qualidade se comportam em contextos produtivos distintos (ferro, alumínio, aço, etc.) e quais geram melhores resultados em cada caso.
- 2) Investigar o impacto da digitalização e da Indústria 4.0 na aplicação das ferramentas da qualidade, avaliando como tecnologias como sensores, análise de dados e inteligência artificial podem potencializar o controle e a melhoria contínua nos processos de fundição.
- 3) Desenvolver modelos integrados de gestão da qualidade específicos para o setor de fundição, combinando ferramentas clássicas (PDCA, Ishikawa, Pareto) com métodos modernos (Six Sigma, Lean Manufacturing) para aumentar a padronização e a eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

- 1 EPR CONSULTORIA. Folha de verificação: o que é, como fazer e exemplos. *EPR Consultoria*, [s.d.]. Disponível em: <https://eprconsultoria.com.br/folha-de-verificacao/>. Acesso em: 26 set. 2025.
- 2 LEÃO, Thiago. DMAIC: significado, exemplo e como funciona o método. *Blog Industrial Nomus*, 14 jan. 2025. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/dmaic/>. Acesso em: 26 set. 2025.
- 3 MENESES, Douglas Falaguera; TARRENTO, Gilson Eduardo. Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria em fabricação de peças de ferro fundido. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v. 14, n. 1, abr. 2023. ISSN 2176-4808.
- 4 MENEGES, Douglas Falaguera; TARRENTO, Gilson Eduardo. Aplicação de ferramentas da qualidade para melhoria em fabricação de peças de ferro fundido. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v. 14, n. 1, abr. 2023. ISSN 2176-4808. Recebido em: jul. 2022; aceito em: fev. 2023.
- 5 MOCHINSKI, Flávio Luís. Ferramentas Lean Six Sigma aplicadas na melhoria da qualidade de peças fundidas de alumínio. Monografia (Especialização em Lean Six Sigma) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Orientador: Wanderson Stael Paris.
- 6 RIBEIRO, Rosinei Batista; LEMOS, Luciano Silva; FERNANDES, Luiz Fernando Vargas Malerba; BENTO, Pâmela Sabrina; DOMINGOS, Bianca Siqueira Martins; JOEVALNER, Pablo. *Avaliação da padronização do posto de trabalho, tempos e métodos numa empresa do setor de fundição: uma visão do gestor empresarial*. FATEA; FATEC; UNIFEI; Universidade de Firenze, **2019**.
- 7 SANTANA, Adevanil dos Santos. Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em uma fundição de peças metálicas. Centro Universitário Católico de Vitória. Trabalho de Conclusão de Curso. Vitória, 2016.
- 8 SCHNEIDER, Cristian Jardel. *Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC para redução do índice de defeitos em planta de fundição*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Campus Ibirubá, 2023.
- 9 SILVA, Emmanuel Gomes da. Melhorando a qualidade dos processos com a metodologia Six Sigma. *Gestão com Qualidade*, 20 mar. 2023. Disponível em: <https://gestaocomqualidade.com.br/gestao-qualidade/teorias-da-qualidade/melhorando-a-qualidade-dos-processos-com-a-metodologia-six-sigma/>. Acesso em: 26 set. 2025.

- 10 SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Diagrama de Pareto**. *Citisystems: Gestão da Produção*, 21 nov. 2012. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/diagrama-de-pareto/>. Acesso em: 26 set. 2025.
- 11 SOARES, Vitor. Diagrama de Ishikawa: o que é, para que serve e como usar. *Na Prática*, 25 jun. 2024. Disponível em: <https://napratica.org.br/noticias/diagrama-de-ishikawa>. Acesso em: 26 set. 2025.
- 12 SOUZA, Roselaine Cunha de; DEMÉTRIO, Talita Veronez. *O ciclo PDCA e DMAIC na melhoria do processo produtivo no setor de fundição: um estudo de caso da empresa Deluma Indústria e Comércio Ltda*. Curso de Administração. Faculdade Anchieta. 2010.
- 13 SOUZA, Roselaine Cunha de; DEMÉTRIO, Talita Veronez. *O ciclo PDCA e DMAIC na melhoria do processo produtivo no setor de fundição: um estudo de caso da empresa Deluma Indústria e Comércio Ltda*. Faculdade Anchieta, 2010.
- 14 SANTANA, Adevanil dos Santos. *Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em uma fundição de peças metálicas*. 2016. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, Vitória, 2016.