

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**Análise de Variabilidade no Setor de Fundição em uma
Hidrometalúrgica**

Matheus Antonio Marques dos Santos

TCC-EP-XX-2014

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**Análise de Variabilidade no Setor de Fundição em uma
Hidrometalúrgica**

Matheus Antonio Marques dos Santos

TCC-EP-XX-2014

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientador(a): Prof.^(a): Gislaine Camila Lapasini Leal

**Maringá - Paraná
2014**

“Não Sabendo que era Impossível, foi lá e fez.”

Jean Cocteau

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pilares nessa jornada, que são meus amados pais Antonio e Cassilda, por todo o esforço, apoio, atenção e carinho durante esse período.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida, por todas as oportunidades que me proporcionou, por todas as pessoas que colocou ao meu lado, por sempre colocar uma luz no fim do túnel para me guiar, e por me servir de inspiração em toda minha vida.

Agradeço a minha família, que rezou e torceu por mim em todos esses anos de minha jornada acadêmica. Em especial, agradeço aos meus pais, Antonio Amancio dos Santos e Cassilda Marques dos Santos, que sempre foram grande exemplo de vida, me apoiando e me motivando, tornando o meu sonho realidade.

Também agradeço à minha namorada Amanda Spolon Alcalá, por ser meu porto seguro nos momentos de angústia, por ser o ombro amigo que eu precisava nas horas difíceis e por me proporcionar tantos momentos de alegria durante todo o tempo em que estamos juntos.

Agradeço aos meus grandes amigos Arthur, Godoi, Sheila, Diow, Deia, Vinícius, Marco, Everton, Kiruba, Portuga, Bands e ao meu irmão Paulo Henrique, por me acompanharem, até mesmo de longe, durante esses anos de graduação e me proporcionaram tantos momentos de felicidade e aprendizado.

À minha professora orientadora Gislaine Camila por me aceitar como orientando, por toda dedicação, disponibilidade, sabedoria e paciência durante a elaboração desse trabalho.

Às organizações AIESEC e Dinâmica Empresa Júnior, por todos os conhecimentos compartilhados e experiências de liderança a mim proporcionados, que foram de grande auxílio na modelagem de meu perfil profissional.

Por fim, agradeço às empresas Ingá Alumínios e ZM Bombas, e a todos os seus funcionários, por acreditarem em meus projetos e propostas, e me proporcionarem ótimas experiências no mercado de trabalho.

RESUMO

A busca pelo alto grau de excelência no mercado, e o grau de competitividade vem afetando na escolha dos consumidores pelo produto de melhor qualidade. Analisando esta situação, a busca da redução de defeitos nos processos produtivos se apresenta como oportunidade de melhoria para a redução de custos e fidelização dos clientes. O presente trabalho foi focado na busca da raiz dos problemas de fabricação no setor de fundição de alumínio, em uma hidrometalúrgica de Maringá. Para a realização do projeto, foi escolhida a utilização de ferramentas utilizadas para controle de qualidade aliadas à metodologia para definição, medição, análise, melhoria e controle denominada DMAIC. O estudo buscou encontrar a causa raiz dos problemas de produção de fundidos e propôs melhorias para a redução das perdas referentes à mesma.

Palavras-chave: Qualidade, Fundição, *DMAIC*, Ferramentas da Qualidade.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| RESUMO..... | iv |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | viii |
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| LISTA DE QUADROS..... | x |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | xi |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 2 |
| 1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS | 3 |
| 1.3.1 <i>Objetivo geral</i> | 3 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> | 3 |
| 1.4 METODOLOGIA..... | 3 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 4 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 6 |
| 2.1 QUALIDADE..... | 6 |
| 2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE..... | 7 |
| 2.2.1 <i>Brainstorming</i> | 7 |
| 2.2.2 <i>Diagrama Causa-Efeito</i> | 8 |
| 2.2.3 <i>Diagrama de Pareto</i> | 9 |
| 2.2.4 <i>SIPOC</i> | 10 |
| 2.2.5 <i>5WIH</i> | 10 |
| 2.3 OS SEIS SIGMA | 11 |
| 2.3.1 <i>DMAIC</i> | 12 |
| 3 DESENVOLVIMENTO..... | 15 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | 15 |
| 3.1.1 <i>Organograma</i> | 15 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO..... | 16 |
| 3.3 DIAGNÓSTICO..... | 20 |
| 4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC..... | 23 |
| 4.1.1 <i>Etapa de Definição do Problema</i> | 23 |
| 4.1.2 <i>Etapa de Medição do Problema</i> | 25 |
| 4.1.3 <i>Etapa de Análise do Problema</i> | 26 |
| 4.1.4 <i>Etapa de Melhoria</i> | 30 |
| 4.1.5 <i>Etapa de Controle</i> | 31 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 32 |
| 5.1 CONTRIBUIÇÕES | 32 |
| 5.2 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES | 32 |
| 5.3 TRABALHOS FUTUROS..... | 32 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - DIAGRAMA CAUSA-EFEITO | 9 |
| FIGURA 2 - MODELO GRÁFICO DE PARETO ADAPTADO DE (WERKEMA, 2006) | 9 |
| FIGURA 3 - EXEMPLO DE MAPA SIPOC. ADAPTADO DE (JORGE E MIYAKE, 2012) | 10 |
| FIGURA 4 - 5W1H. ADAPTADO DE MOSER ET AL(2012)..... | 11 |
| FIGURA 5 - ORGANOGRAMA RESUMIDO DA EMPRESA..... | 16 |
| FIGURA 6 - PAINEL DE CONTROLE DOS FORNOS | 17 |
| FIGURA 7 - FLUXOGRAMA FUNDIÇÃO (1) | 19 |
| FIGURA 8 - FLUXOGRAMA FUNDIÇÃO (2) | 20 |
| FIGURA 9 - ÍNDICE DE DEVOLUÇÃO DE PRODUTOS FUNDIDOS PRIMEIRO BIMESTRE 2014 | 21 |
| FIGURA 10 - ÍNDICE DE DEVOLUÇÃO DE PRODUTOS FUNDIDOS SEGUNDO BIMESTRE | 21 |
| FIGURA 11 - MAPA <i>SIPOC</i> DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO..... | 23 |
| FIGURA 12 - ANÁLISE DE PARETO PARA PERDAS | 26 |
| FIGURA 13 - ANÁLISE DE PARETO PARA MOTIVOS DE PERDAS | 27 |
| FIGURA 14 - DIAGRAMA ESPINHA DE PEIXE - POROSIDADE | 28 |
| FIGURA 15 - PLANO DE AÇÕES 5W1H..... | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - PARÂMETROS DA LIGA DE ALUMÍNIO..... | 16 |
| TABELA 2 - QUANTIDADES DE DEGASEIFICANTE E REFINADORES POR BANHO | 18 |
| TABELA 3 - QUANTIDADE DE REFUGO DOS PRIMEIRO E SEGUNDO BIMESTRES 2014 | 25 |
| TABELA 5 - MOTIVOS DOS REFUGOS | 27 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 - MOTIVOS DE NÃO CONFORMIDADES..... | 24 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------|--|
| <i>DMAIC</i> | <i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i> |
| <i>SIPOC</i> | <i>Suppliers, Input, Process, Output, Customers</i> |
| <i>5S</i> | Cinco Sentos da Qualidade (Descarte, Organização, Limpeza, Saúde e Disciplina) |
| <i>5WIH</i> | <i>What, When, Why, Where, Who e How</i> |
| <i>FMEA</i> | <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| <i>QFD</i> | <i>Quality Function Deployment</i> |

1 INTRODUÇÃO

A definição do que é Qualidade vem evoluindo dentro das empresas, a nível estratégico, tático e operacional. A busca da excelência levou as indústrias a repensarem no desenvolvimento do seu produto, não só delimitando a qualidade dos mesmos como a inexistência de defeitos ou somente como a adequação do produto ao uso do cliente, mas também levando em consideração os processos de fabricação dos produtos, desde o que se refere aos fornecedores de matéria prima até o pós venda (CROSBY, 1990).

Pensa-se na implantação de um sistema de qualidade a nível empresarial auxiliando na redução dos custos de produção motivados por perdas, que também são produtos de fabricação e tem o seu valor, durante o processo de fabricação, melhoria nos serviços de atendimento aos clientes e auxílio na visão geral do sistema. Deming aponta também que o mal manuseio a nível interno de empresa dos produtos em processo corresponde a quase um décimo dos custos de produção (DEMING, 1990).

Nesse cenário de evolução dos conceitos da Qualidade juntamente com o avanço da globalização, foram criadas e inseridas ferramentas estatísticas que auxiliaram na análise das atividades das empresas e na modelagem dos dados da produção e metodologias de implementação junto às mesmas. Tais melhorias levaram a Motorola a introduzir o conceito dos Seis Sigma, utilizando a metodologia DMAIC, que diferente dos outros programas de gestão da qualidade, dava a visão do lucro atingido com a diminuição da variabilidade da produção, fixando ainda mais os levantamentos estatísticos no controle de processos críticos (PALADINI et al, 2006).

O DMAIC é uma metodologia baseada em definir (*define*) as etapas e metas de acordo com o que é requerido no projeto, medir (*measure*) as atividades operacionais e seus resultados e quais são críticas para qualidade, analisar (*analyze*) as informações coletadas nas fases anteriores comparando-os com a causa-raiz, melhorar (*improve*) o processo utilizando “*inputs*” derivados do comparativo entre as etapas de medição e análise, e então estabelecer medidas padrão para manter e controlar (*control*) as melhorias realizadas. A metodologia DMAIC é utilizada para identificar a causa raiz para um problema levantado, e em seguida

propôr soluções que possam impactuar expressivamente nas melhorias do item estudado (ANTONY & al, 2012).

O trabalho que será desenvolvido visa aplicar e analisar as ferramentas utilizadas na metodologia *DMAIC* no setor de fundição referente à Hidro Metalúrgica ZM, onde atualmente foi implantada a norma ISO 9001.

1.1 Justificativa

As ferramentas aplicadas na metodologia *DMAIC* são grandes aliados na melhoria dos processos de grandes empresas promovendo mudanças na maneira de identificar e tratar os problemas. Temos como exemplo de empresas que implementaram as ferramentas em seus processos internos a Motorola, pioneira na aplicação da metodologia, Sony, *General Eletrics*, entre outras. A metodologia *DMAIC* vem sendo aplicadas em empresas de pequeno e médio porte, aumentando e motivando assim o desenvolvimento desse tipo de projeto (AGUIAR, 2002).

A proposta do presente trabalho é identificar as principais causas das perdas que ocorrem nos processos referentes ao setor de fundição, que foi escolhido por apresentar média de não conformidades mensal de 29%, com a melhoria da qualidade dos produtos, com relação à qualidade dos mesmos.

1.2 Definição e delimitação do problema

O problema está relacionado à falta de conhecimento sobre as causas das perdas de produção no setor de fundição de peças de alumínio. O setor é responsável pela produção de peças que estão presentes em grande parte dos produtos desenvolvidos na empresa. As perdas referentes aos produtos fundidos na empresa chegam a 29%, e as causas não são claramente conhecidas. O problema reflete-se no grande número de perdas nos processos subsequentes da produção, como no setor usinagem das peças fundidas na empresa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Aplicar ferramentas da qualidade, por meio da metodologia DMAIC, no setor de fundição e propor melhorias para descobrir as causas principais de variabilidade dos processos e produtos resultantes do processo.

1.3.2 Objetivos específicos

Foram definidos como objetivos específicos:

- Analisar e definir o problema que o setor de fundição apresenta;
- Definir quais serão as ferramentas de qualidade que servirão como base de análise dos dados do projeto;
- Analisar e particionar o problema em vários níveis;
- Melhorar a interpretação dos dados para melhor visualização dos motivos de perdas da produção;
- Desenvolver métodos para controle dos processos e ferramentas aplicadas nos itens anteriores.

1.4 Metodologia

Quando uma pesquisa tem por objetivo gerar conhecimento para ser aplicada na prática, envolvendo verdades e interesses na solução de problemas, é considerada uma pesquisa de natureza aplicada (SILVA & MENEZES, 2005).

Com relação à sua abordagem, a pesquisa possui o caráter quantitativo, já que as informações serão quantificáveis. Quanto aos objetivos, a pesquisa será de caráter descritivo, pois “Visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis” (GIL, 2002).

A pesquisa que envolve um estudo exaustivo e aprofundado de um determinado objetivo com a finalidade de ampliá-lo e detalhá-lo deverá ser definida como um estudo de caso (SILVA & MENEZES, 2005).

O trabalho foi desenvolvido a partir da realização das seguintes etapas:

- Desenvolvimento de uma revisão da literatura de apoio aos estudos, de objetivos do trabalho, das definições e delimitações do projeto e da justificativa para seu desenvolvimento;
- Caracterização da empresa, do setor, e dos processos que ocorrem no mesmo;
- Definição das ferramentas da metodologia *DMAIC* que serão utilizadas para o levantamento e modelagem dos dados;
- Análise as informações coletadas, a fim de se encontrar os processos com altos níveis de erros no setor e suas possíveis causas;
- Implementação de propostas de melhorias visando o aumento da capacidade de rastreabilidade dos processos envolvidos;

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1, são apresentados a introdução do trabalho, seguido de sua justificativa, a delimitação do problema, seus objetivos e a metodologia utilizada para o desenvolvimento.

No Capítulo 2 está a fundamentação teórica necessária para a elaboração do estudo, revisando a literatura em livros, artigos e estudos de caso.

O Capítulo 3 apresenta a explicação do estudo de caso realizado na empresa. A etapa constitui-se de uma sucinta explicação sobre a empresa estudada, a descrição do processo escolhido para o estudo e o que foi diagnosticado na análise do mesmo.

No Capítulo 4, são apresentadas as etapas que fizeram parte do desenvolvimento da metodologia proposta para redução do problema, bem como as ações para o alcance de alguns objetivos e etapas que não foram desenvolvidas.

O Capítulo 5 contém as considerações finais do trabalho, apresentando as contribuições do projeto para a empresa, as dificuldades de sua implantação e também algumas sugestões para serem desenvolvidas em trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Qualidade

Segundo Campos (2004) as organizações humanas trabalham para atender requisitos, a fim de facilitar e amenizar cotidiano do ser humano na Terra. A qualidade pode ser entendida como a presença de requisitos que atendam de forma confiável, acessível, segura e no determinado período de tempo que são solicitados, em um determinado produto ou serviço comprado.

O conceito de qualidade vem evoluindo com o passar do tempo. Séculos atrás os artesãos elaboravam seus produtos manualmente, conforme os requisitos e necessidades do cliente. Esses produtos não seguiam padrões, e a pessoa que o elaborava tinha a resposta se seu produto atendia às necessidades do seu cliente e tinha seu produto divulgado pelo boca a boca (CARVALHO e ROTONDARO, 2006).

Com a Revolução Industrial, entre o século XVIII e XIX, a customização dos produtos foi substituída pela padronização. Os processos de produção ficaram mais ágeis, pois não havia a necessidade de uma minuciosa inspeção do artesão para cada cliente, e os custos de produção eram reduzidos, deixando os produtos baratos e acessíveis aos consumidores.

No cenário das esteiras e do modelo de linha de montagem, Henry Ford investiu em melhorias na qualidade das peças para que as mesmas pudessem ser trocadas. Carvalho (2006) explica que foi nessa época que surgiram a metrologia, o sistema de medidas e de especificações, e um pouco mais tarde Shewhart utilizou de conceitos estatísticos aliados à realidade do chão de fábrica para criar os gráficos de controle.

Após a segunda guerra mundial, a qualidade foi começando a ser tomada de uma forma mais séria e sistêmica. Assim, Armand Feigenbaum criou um sistema administrativo para controle da qualidade na produção em todos os níveis da empresa, visando entregar o produto de melhor qualidade com o menor custo. Esse sistema foi chamado de TQC (*“Total Quality Control”*) (CAMPOS, 2004).

No final da década de 80, devido à expansão da globalização, foi criado um modelo normativo para o controle e gestão da qualidade, nomeado ISSO 9000. Segundo a norma ISO 9000:2000, os clientes buscam produtos que satisfaçam suas necessidades e expectativas. Tais requisitos somados às mudanças do conceito de qualidade pelo mercado fazem com que o mesmo fique mais competitivo, exigindo com que as empresas façam investimentos em novas tecnologias para satisfazer seus clientes.

O conceito de qualidade pode ser definido de várias formas, dependendo de onde e como a qualidade está sendo aplicada. Alguns estudiosos da qualidade, os chamados “Gurus” elaboraram conceitos que se aplicam a grande parte das realidades.

Pode-se definir qualidade como o alcance da melhoria contínua através de métodos estatísticos, com ênfase em dados da empresa, do cotidiano dos trabalhadores em sociedade, e até mesmo do conhecimento próprio (DEMING, 1990).

Na introdução conceitos do TQC, dizia que qualidade é um processo que engloba toda a empresa e seu objetivo era atender os requisitos do cliente com o custo mais baixo possível. Analisando os conceitos do programa Zero Defeito, é possível entender que qualidade é um produto ou serviço oferecido, que atendia aos requisitos e especificações do seu cliente. Seu lema era “fazer bem a primeira” (CROSBY, 1990).

2.2 Ferramentas da Qualidade

2.2.1 *Brainstorming*

Segundo Hoerl e Snee(2012), o *Brainstorming* é uma abordagem formal que consiste na identificação e documentação de novas ideias que pode auxiliar em um ambiente de equipe que busca o levantamento de fatores críticos ou a solução de problemas, não se limitando apenas a esse tipo de utilização. Para o desenvolvimento da prática, é necessário que se especifique e formalize-se uma questão específica para que a equipe analise e escreva, em um período de tempo, individualmente, suas ideias. O próximo passo é fazer com que cada pessoa apresente suas ideias, sendo essas anotadas da forma como foram apresentadas em um quadro ou local que a equipe tenha acesso visual. Isso pode evitar a rejeição de ideias antes que passem por análise detalhada e previne que a hierarquia organizacional interfira no processo.

Essa “tempestade de ideias” é aplicável em diversos contextos para geração rápida de uma grande quantidade de ideias, não levando em conta, em um primeiro momento, na utilidade daquilo que foi levantado. A prática do *Brainstorming* deve ser elaborada com dados avaliados de forma minuciosa, e a equipe deve ter conhecimento elevado na situação pois isso refletirá nos resultados obtidos (HOERL e SNEE, 2012).

2.2.2 Diagrama Causa-Efeito

A essência por trás de todos os níveis de controle hierárquicos de uma empresa se dá pelo gerenciamento e controle de seus processos e para boa compreensão dos mesmos, é necessário que se conheçam os relacionamentos de causa-efeito. O Diagrama Causa-Efeito, conhecido também como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama Espinha de Peixe apresenta de forma visual as causas que podem gerar um resultado ou efeito previamente levantado (CAMPOS, 2004).

A melhoria de processos envolve a tomada de ações nas causas que geram variabilidade. Para a maioria das aplicações, o número de possíveis causas para cada problema dado pode ser grande. O gráfico auxilia também a organizar graficamente todos os conhecimentos dos problemas referentes ao processo em grupos (PYZDEK e KELLER, 2003).

Para a construção do Diagrama de Espinha de Peixe é necessário identificar o problema que será analisado. Divide-se então o processo onde o problema foi encontrado em famílias de causas, sendo as mais tradicionais: matéria-prima, ambiente, método, mão de obra, maquinário, medida. O diagrama pode apresentar categorias mais genéricas, que são escolhidas conforme a aplicação ou o processo estudado. As categorias escolhidas servirão para auxiliar no levantamento de sub causas que deveram ser identificadas e inseridas no gráfico em sua respectiva causa maior (HOERL e SNEE, 2012).

A Figura 1 mostra um exemplo de Diagrama de Causa-Efeito.

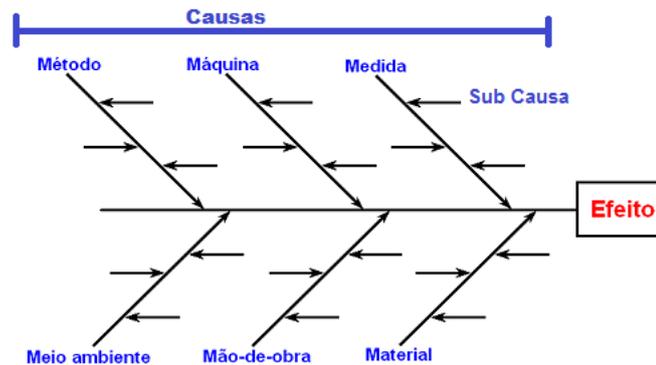


Figura 1 - Diagrama Causa-Efeito

2.2.3 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto, ou Análise de Pareto, é o processo de seleção de oportunidades de melhoria para definição de quais das mesmas tem maior participação no aparecimento de variabilidades nos processos, podendo assim separar os problemas de maior relevância da trivial maioria. A análise pode ser utilizada em várias etapas em um programa de melhoria de qualidade para determinar a sequência de tomadas de decisão, facilitando a escolha dos defeito em que o programa concentrará esforços (PYZDEK e KELLER, 2003).

O princípio do Diagrama de Pareto destaca que, em geral, oitenta por cento dos erros estão ligados a apenas vinte por cento dos problemas levantados, ou seja, apenas um quinto das causas de problemas é vital, e a grande maioria restante ocasionam menores consequências à produção (BRUE, 2006).

A Figura 2 apresenta um modelo do gráfico de pareto.

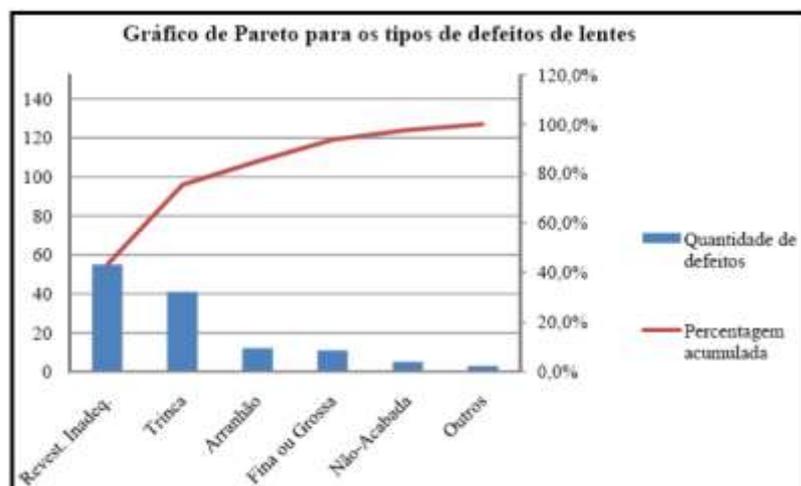


Figura 2 - Modelo Gráfico de Pareto Adaptado de (WERKEMA, 2006)

2.2.4 SIPOC

O mapeamento SIPOC é a análise para melhoria de processos baseadas em uma representação em diagrama de elementos chave de um processo pré-estabelecido. Os elementos que são analisados no mapa são os fornecedores envolvidos (*Suppliers*), as entradas (*Inputs*), o processo em questão (*Process*), seus resultados (*Outputs*) e os clientes que serão afetados (*Customers*) (PARAKASH e KAUSHIK, 2011).

É possível visualizar no mapeamento os recursos necessários para o desenvolvimento de processo, possibilitando ao *Customer* saber a quantidade de recurso que será gasto, seja ele qual for, para que os requisitos sejam alcançados (JORGE e MIYAKE, 2012).

A Figura 3 apresenta um exemplo de mapa SIPOC.

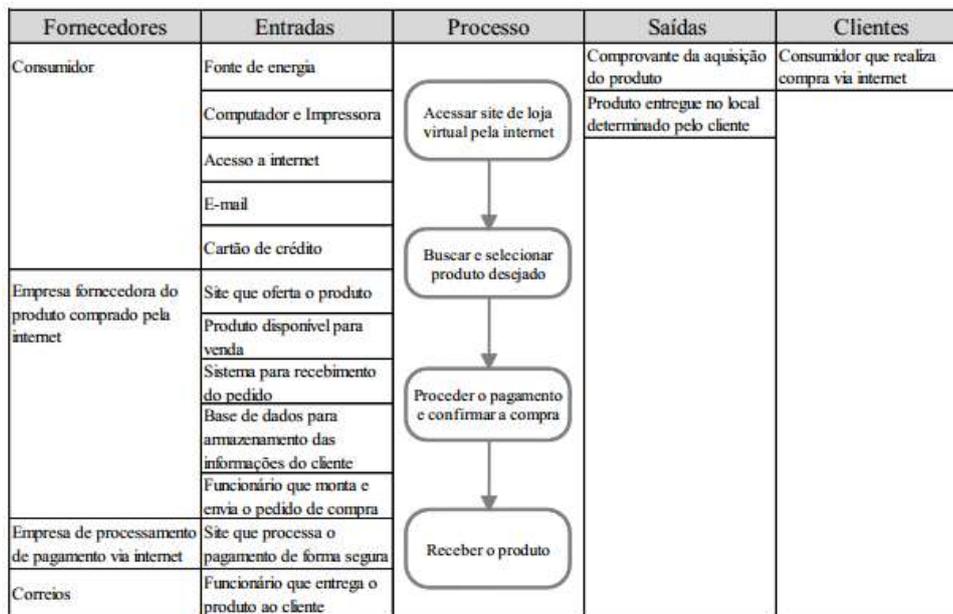


Figura 3 - Exemplo de Mapa SIPOC. Adaptado de (JORGE e MIYAKE, 2012)

2.2.5 5W1H

A ferramenta 5W1H é um modelo de lista de verificação que contém planos de ação e documenta de formar organizada e precisa as ações, através de seis questionamentos, quais os passos que serão seguidos. O nome da ferramenta vem das iniciais das palavras chave das perguntas: *What* (o que deve ser feito?), *When* (quando a atividade deverá ser realizada?), *Where* (onde será desenvolvida?), *Why* (por que será elaborada?), *Who* (quem é o responsável?) e *How* (como será executada?) (ROSSATO, 1996).

A Figura 4 exemplifica o modelo.

| O QUE (WHAT) | PORQUE (WHY) | QUEM (WHO) | QUANDO (WHEN) | ONDE (WHERE) | COMO (HOW) |
|--|--|--------------------------|---------------|--------------|---|
| Constante oscilação da pressão do vapor | Falta reativar a válvula redutora da pressão do vapor e falta de reparo na válvula rotativa de controle do vapor | Supervisor da manutenção | 25/04 | Subproduto | Revisar válvula redutora da pressão do vapor com o auxílio do técnico autorizado |
| mora na coleta do sangue | Falta de um modo de coleta de sangue canalizado | Supervisor do abate | 22/04 | Abate | Instalar canalização de coleta de sangue do processo de esfola com destino direto para a caixa de contenção de sangue |
| vazamentos de água próximo ao processo de esfola | Falta de contenção dos vazamentos nos pedais de acionamento das pias e esterilizadores | Supervisor da manutenção | 20/04 | Abate | Substituir borrachas de vedação dos pedais de acionamento das pias |
| queda de objetos estranhos na calha coletora do processo de esfola | Falta de um retentor de objetos no ralo da calha | Supervisor da manutenção | 25/04 | Abate | Instalar grade tipo moeda no ralo da calha de coleta de sangue no processo de esfola |

Figura 4 - 5W1H. Adaptado de Moser et al(2012).

2.3 Os Seis Sigma

Os Seis Sigma é uma ferramenta de caráter gerencial, que através da quantificação e controle dos dados da qualidade dos produtos e processos, tem como objetivo otimizar o desempenho das empresas e aumentar consideravelmente sua lucratividade, refletindo também nos níveis de satisfação dos clientes. Os Seis Sigma tem foco no alcance das metas estratégicas definidas pelas empresas, sendo na melhoria dos processos já existentes ou na criação de novos produtos com foco no cliente (WERKEMA, 2011).

O programa, por realizar uma modificação no que diz respeito à identificação e tratamento dos problemas, acaba refletindo positivamente na cultura organizacional da empresa. O foco da empresa passa a ser o atendimento das necessidades dos clientes, e para isso são definidas metas como atualização constante de informações sobre como anda a satisfação dos clientes, tendências do mercado e também das ações tomadas pelos concorrentes (AGUIAR, 2002).

Existem vários estímulos para se iniciar um projeto Seis Sigma, como uma demanda que o mercado apresenta uma exigência legal como acontece nas empresas de transporte aéreo e até mesmo a exigência do cliente. Contudo, deve se saber se os recursos dos projetos estão alocados de forma correta ou se é de caráter crítico para a qualidade. Tendo mapeado o CTQ (“*Critical to Quality*”), ou seja, aquilo que é de maior importância para a garantia da qualidade, deve ser implementado o programa Seis Sigma para, através dos dados e ferramentas estatísticas, reduzir a variabilidade dos processos da empresa (PALADINI et al, 2006).

2.3.1 DMAIC

Segundo Pyzdeck e Keller (2003), o *DMAIC* é a metodologia de seleção e otimização dos processos utilizando ferramentas da qualidade para desenvolvimento de programas para análise e solução de problemas. A ferramenta é também utilizada como metodologia para o programa seis sigma, que envolve análise estatísticas para diminuição de variabilidade dos processos.

Essa metodologia aborda um problema que foi identificado pela organização e utiliza técnicas e ferramentas de forma lógica para chegar a soluções acessíveis. Os resultados minimizam ou eliminam o problema, colocando a empresa em um nível competitivo (SHANKAR, 2009).

Como apontado por Brue (2006), o *DMAIC* é composto por cinco fases: Definir (*Define*) o problema em uma linha de pensamento que seja claramente entendida em todos os seus termos, medir (*Measure*) usando métricas e ferramentas, analisar (*Analyze*) como desenvolver hipóteses sobre quais fatores são mais próximos ao problema definido, melhorar (*Improve*) estabelecendo as correlações entre as entradas e saídas do processo, e controlar (*Control*) as

mudanças realizadas. A metodologia é apresentada com mais detalhamento nas seguintes definições.

- *Definine* (Definir): segundo Brue (2003), leva a visão do cliente para a organização, as possibilidades de melhoria nessa fase são amplas. Nessa etapa, é essencial definir as características *CTQ* através dos requisitos (nesse caso, os problemas a serem estudados) especificados pelo cliente, confirmando de forma preliminar as razões para abordagem do problema identificado. A equipe levanta os processos críticos que podem refletir no cliente e na variabilidade do processo, aumentando os custos de produção. Geralmente são utilizadas ferramentas como o Gráfico de Gantt, Cartas de Controle e *SIPOC* (*Suplyer, Input, Process, Output, Customers*);
- *Measure* (Medir): nessa etapa é desenvolvido o mapa dos processos e subprocessos que se relacionam com os requisitos críticos para a qualidade (*CTQ*), definindo o início e o fim, assim como as entradas e saídas. O propósito da etapa de medição é levantar informações básicas sobre o processo que apresentou oportunidade de melhoria, coletando dados para qualificar o problema (SHANKAR, 2009). As ferramentas mais utilizadas nessa fase são o Diagrama de Pareto, Fluxograma, Diagrama em Árvore e Amostragem;
- *Analyze* (Analisar): Segundo Pyzdek e Keller (2003) esta é fase para melhor percepção dos “*gaps*” entre o presente desenvolvimento e compreensão do problema. Divide o problema em outros menores e os analisa de pontos de vista diferentes, considerando os fatores que possam ter ocasionado os problemas e levantando possíveis causas-raiz. Há grandes possibilidades da necessidade de um software estatístico para auxílio em elaboração de gráficos e facilitação de cálculos. As ferramentas que auxiliam na fase de análise são os fluxogramas, Diagrama de Ishikawa, Matriz de Causa e Efeito, Análise da Variância e Diagrama de Pareto;
- *Improve* (Melhorar): fase que surgem as melhorias nos processos. Aqui os dados são modelados e transformados em informações para determinar como intervir no

processo para que seja melhorado de forma expressiva. A equipe envolvida no processo deve apresentar melhorias que impactem na eliminação dos problemas na causa-raiz, podendo estas estar subdivididas em várias atividades. É realizada também uma análise de custo-benefício do projeto que irá revelar quais ações terão o retorno do capital investido mais rápido (HOERL e SNEE, 2012). São usadas ferramentas como o *FMEA*, o Diagrama de Relações, a Matriz *QFD*, o Diagrama de Prioridade e o Diagrama de Ishikawa;

- *Control* (Controlar): é apontada por Pyzdek e Keller (2003) como a fase em que serão definidas as metodologias de controle das ferramentas e melhorias implantadas. Essa fase sustentará todas as outras fases elaboradas com ferramentas estatísticas de controle de processos e ações para que essas ferramentas sejam corretamente utilizadas, como treinamentos e a validação de um sistema de medição. As ferramentas que podem ser utilizadas são a Métrica Seis Sigma, Sistema à Prova de Erro (“*Poka-Yoke*”), Norma ISO9000 e Auditorias;

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da Empresa

A ZM Bombas foi fundada em 1981 e está localizada no estado do Paraná, na cidade de Maringá. É uma indústria hidrometalúrgica considerada de pequeno porte com 80 funcionários e receita estimada em 15 milhões de reais.

Os produtos desenvolvidos pela empresa, em sua maioria, são voltados às áreas de energia renovável e redução de consumo de recursos. Seu portfólio baseia-se nos seguintes produtos: bombas acionadas por rodas d'água e por cata-ventos, lavadoras industriais de alta e média pressão, serras de corte rápido de metais e nebulizadores para umidificação de aviários.

A empresa possui uma produção empurrada, controlando a produção em cima da capacidade produtiva da empresa. A mesma preocupa-se com o planejamento, elaborado pelo Departamento de Planejamento e Controle da Produção, realizando a emissão das ordens de fabricação aos setores da produção com o objetivo de alcançar a meta de produtos manufaturados.

3.1.1 Organograma

A empresa se organiza como apresentado no fluxograma da Figura 5. São descritas apenas as funções macro da empresa, sendo essas subdivididas em funções de cargos que estão abaixo da hierarquia descrita, com mostra o organograma completo presente no Anexo A no final deste trabalho.

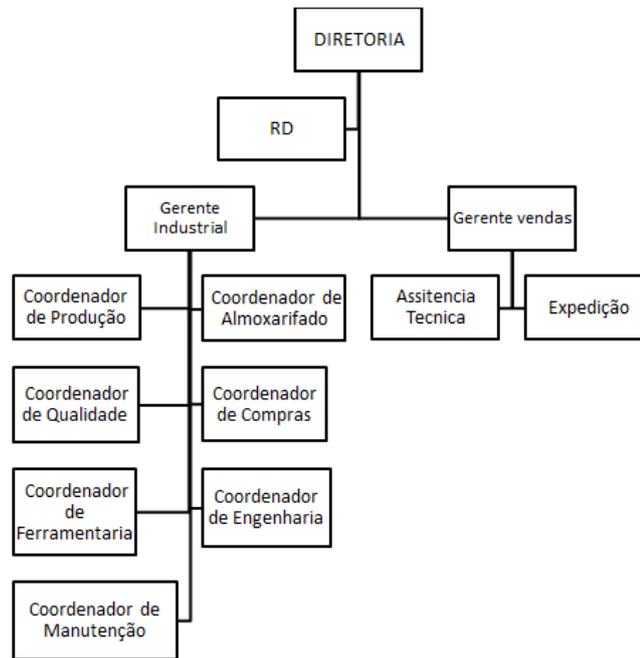


Figura 5 - Organograma Resumido da Empresa

3.2 Caracterização do Processo

O processo de fundição das peças em alumínio inicia-se com o controle da composição dos lingotes de liga de alumínio SAE 305, realizado por meio da conferência do certificado de composição química enviado pelo fornecedor a cada novo lote de lingotes adquirido. Na chegada de cada novo lote de matéria-prima, é realizada a conferência da mesma, onde o inspetor de matéria-prima verifica se as concentrações de Cobre, Ferro e Silício presentes na liga utilizada estão dentro dos parâmetros estabelecidos pelo setor responsável pelo controle da qualidade presentes na Tabela 1.

| Parâmetros de Composição da Liga de Alumínio | | | |
|---|----------------|--------------|--------------|
| | Silício | Ferro | Cobre |
| Quantidade Máxima aceitável na liga | 13,00% | 0,50% | 1,30% |
| Quantidade Mínima aceitável na liga | 12,60% | 0,40% | 0,80% |

Tabela 1 - Parâmetros da Liga de Alumínio

Caso os lotes estejam conforme o especificado, são derretidos nos dois fornos de aquecimento a gás, com cadinhos de capacidade para cento e oitenta quilogramas de alumínio cada. Se os lotes não estiverem dentro dos parâmetros de inspeção, a matéria prima é devolvida ao fornecedor.

O preenchimento dos fornos é realizado pelos operadores dos mesmos, utilizando lingotes de alumínio, peças refugadas por não conformidades durante a fundição e processos subsequentes, e de sobras referentes aos canais que se formam no vazamento de alumínio nos moldes de peças, que são serrados após o resfriamento das peças produzidas.

Os fornos possuem um sistema de aquecimento automático que é programado para acionamento diariamente às sete horas da manhã para derreter a liga de alumínio previamente inserida no dia anterior de trabalho. Para controle de temperatura e situação dos fornos é utilizado o painel, representado na Figura 6, onde luzes indicam se cada forno está ligado ou desligado, e se as bombas de resfriamento dos mesmos estão sendo utilizadas.



Figura 6 - Painel de Controle dos Fornos

Enquanto ocorre o derretimento do alumínio, os operadores preparam, paralelamente, os sistemas de moldagem de do mesmo. Este sistema é composto por um conjunto de pistões que tem a função de deixar as peças referentes ao molde encaixadas para que o mesmo, quando receba a matéria prima em estado líquido, não permita vazamento. A preparação é feita com o aquecimento dos moldes, utilizando um dispositivo de aquecimento a gás que deve deixar a peça a uma temperatura de 120 “graus celcius”, evitando danos provenientes de choque térmico quando entre em contato com a liga de alumínio derretida.

Quando a liga de alumínio apresenta-se completamente derretida, e com a temperatura na faixa entre 600 e 700 graus, inicia-se o processo de retirada de impurezas presentes na matéria

prima. O operador do forno adiciona, com ajuda de um sino de imersão, produtos para retirada de gases da liga e para refinamento da mesma, com concentrações conforme mostrados na Tabela 2.

Tabela de Aditivos para Elaboração do Banho

| Aditivos | DEGAMIL (desgaseificante) | ESCORIMIL (refinador) | REFIMIL (refinador) |
|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Quantidade | 200g | 2 pastilhas | 2 pastilhas |

Tabela 2 - Quantidades de Desgaseificante e Refinadores por Banho

O sino é imerso até que chegue ao fundo do recipiente, e mantém os reagentes submersos em um período de tempo que pode variar entre 3 e 5 minutos, para que ambos desempenhem seu trabalho de forma eficiente. Após esse período, o operador retira o sino de imersão, e com a ajuda de uma haste de ferro, mistura a liga para que a os produtos utilizados no banho sofram reação uniforme com toda a matéria prima. Novamente, o operador aguarda um período de tempo, nesta etapa de apenas 2 ou 3 minutos para que as impurezas do alumínio emergam à superfície da liga e assim seja possível a remoção dessa “sujeira” com auxílio de uma escumadeira de ferro.

Com os processos anteriores finalizados, o operado pode então dar início do envasamento dos moldes com a liga de alumínio, chamado “coquilhamento”. O primeiro passo do processo é o operador inspecionar se todas as partes do molde estão devidamente encaixadas, de forme com que o alumínio em estado líquido não vaze por alguma abertura que não seja a do canal de alimentação. O forneiro então, com auxílio de uma concha de ferro previamente aquecidas, coleta a matéria-prima dos fornos e preenche o molde totalmente, aguardando o resfriamento da peça, que é verificado quando a liga de alumínio presente no canal de alimentação para de retrair e solidifica o seu meio. Com o resfriamento, o operador retira a peça do molde, com auxílio de uma garra de ferro, e realiza inspeção visual para separar as peças que apresentaram algum defeito das demais que estão em boas condições. As peças que apresentam não conformidades são colocadas em um lote de peças não conformes, e as que estão em boas condições são separadas para a finalização do resfriamento em um lote com o

número da ordem de fabricação a indicação que a peça foi aprovada para os próximos passos de manufatura.

O processo subsequente ao coquilhamento é o de serra e lixamento dos canais e imperfeições presentes nas peças. O operador da serra recolhe o lote de peças conformes, e então pega o gabarito da peça referente ao código da ordem de fabricação para facilitar a verificação dos pontos onde a peça será serrada. Após a verificação, o operador serra as partes indicadas no gabarito e, caso fique alguma parte irregular que a serra não consiga remover, a peça passa pelo processo de lixamento dos pontos onde ainda apresenta defeito.

As peças que passarem na inspeção elaborada pelo operador são estocadas em gaiolas com a descrição da peça e o número de sua ordem de fabricação. As peças que não são aprovadas pela inspeção e os canais e resíduos sobressalentes são enviados ao lote de rejeitos para futuro derretimento e reuso. Os fluxogramas das Figuras 7 e 8, mostram de maneira lógica o fluxo de produção do setor estudado.

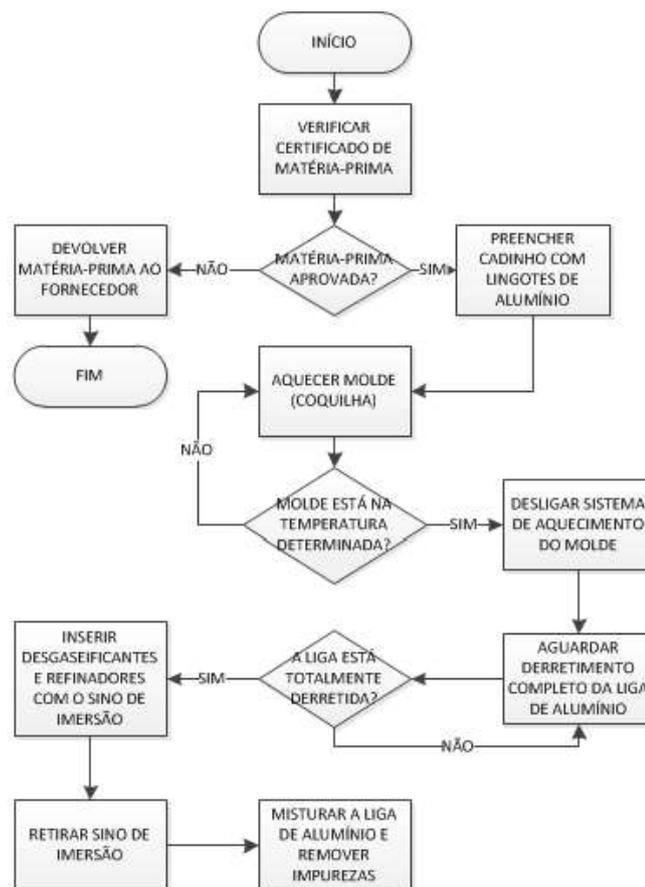


Figura 7 - Fluxograma Fundição (1)

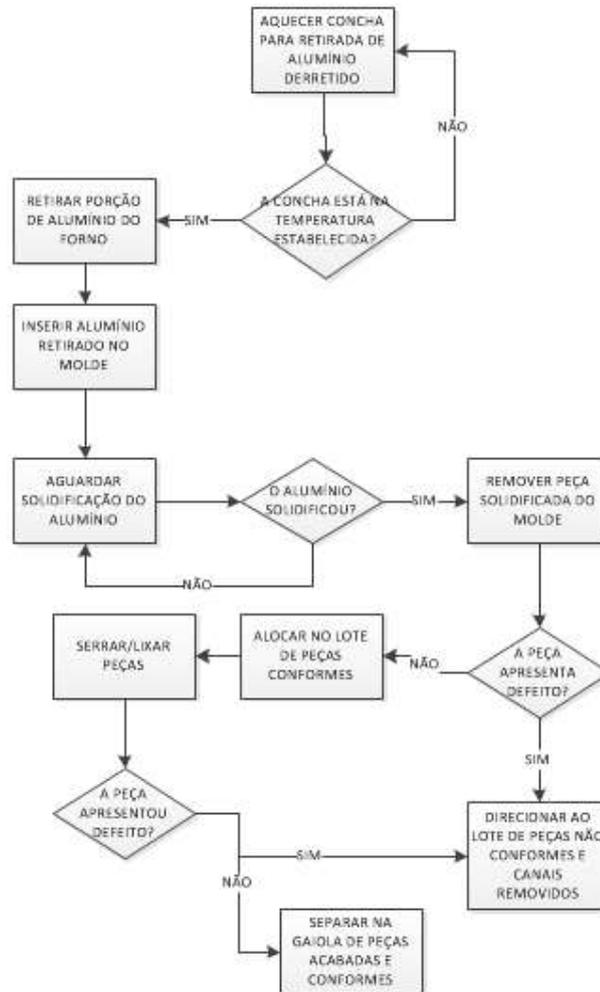


Figura 8 - Fluxograma Fundição (2)

3.3 Diagnóstico

O setor escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho foi o de fundição da empresa ZM Bombas. A escolha por esse setor foi tomada a partir da constatação de problemas levantados no chão-de-fábrica em operações subsequentes em que as peças produzidas pela fundição passavam por outros processos, onde grande parte dos problemas se encontravam. Após tais constatações, foi sugeridos pela equipe de gestão da qualidade e pelo gerente industrial a realização de um trabalho para levantar as principais causas de perdas na produção, e quais os seus motivos. Foram considerados levantamentos referentes ao custo de produção do mesmo e o custo das peças refugadas durante a produção. Os gráficos das figuras 9 e 10 mostra a proporção, em porcentagem, dos gastos referentes às perdas, comparados com os custos que a produção no primeiro bimestre de 2014. Os gráficos fazem comparativos dos índices de perdas da fundição interna com os principais fornecedores de produtos fundidos, e

mostra que os maiores valores levantados em cada gráfico, 29,38% e 21,90%, fazem referência ao setor de fundição da própria empresa.

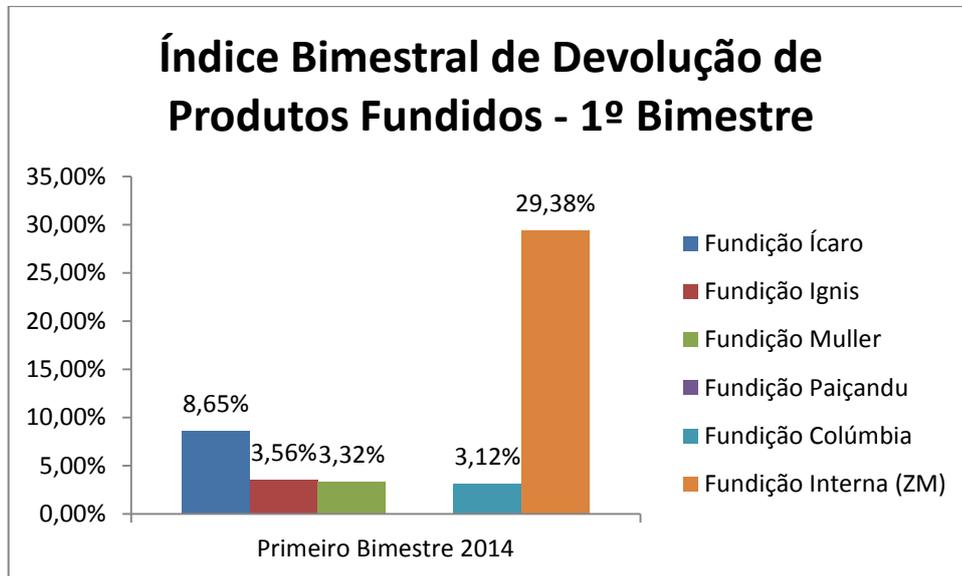


Figura 9 - Índice de Devolução de Produtos Fundidos Primeiro Bimestre 2014

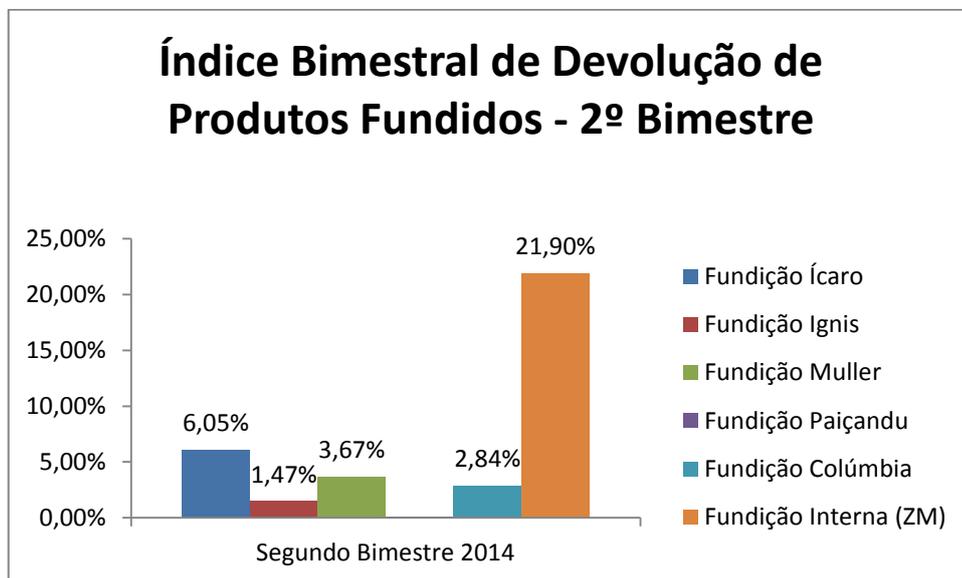


Figura 10 - Índice de Devolução de Produtos Fundidos Segundo Bimestre

Mesmo com os dados indicando grandes perdas no setor, não são de conhecimento as maiores causas de perdas e o motivo que dá início às mesmas. Com essas informações, observa-se que há uma grande oportunidade de melhoria no setor, visto que se comparado com outras

fundições, o índice de perdas é consideravelmente maior, e com o conhecimento das principais causas de perda do setor, será possível um maior controle dos problemas relacionado à produção de fundidos.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

4.1.1 Etapa de Definição do Problema

A fase de definição propõe certificar-se que o projeto siga a ideia do planejamento estratégico da empresa e quem será o cliente, ou seja, quem receberá o produto após sua elaboração. Para facilitar na definição do cliente, foi elaborado um mapa *SIPOC*, conforme a Figura 11 inserindo todos os principais fornecedores, suas entradas, os processos envolvidos, as saídas e os principais clientes do processo.

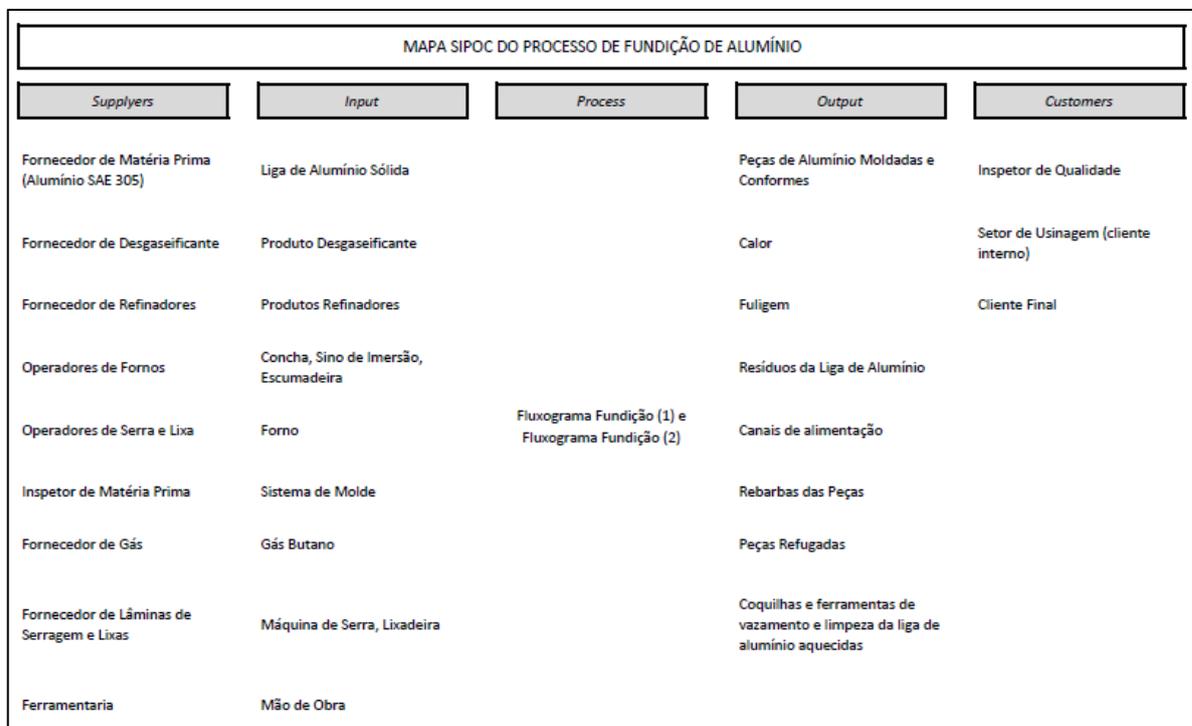


Figura 11 - Mapa *SIPOC* do Processo de Fundição

O cliente definido nessa situação é o setor subsequente ao da fundição, o de usinagem. Este setor é encarregado de receber as peças que foram elaboradas no setor de fundição de alumínio e remover a primeira camada de material bruto de partes dos produtos. Para a satisfação do “cliente usinagem”, as peças que chegam ao setor não devem apresentar furos, medidas irregulares, pois a qualidade e bom funcionamento do produto final dependem da inexistência de não conformidades na peça. Porém, é comum que este cliente não esteja

satisfeito, pois durante o processo de usinagem a ocorrência de defeitos aumenta, pois não conformidades que antes estavam escondidas, aparecem com a retirada de camadas de material.

Para facilitar no levantamento de informações e identificação dos problemas, foi seguido o modelo da empresa de motivos de refugo analisados na usinagem referentes às principais causas de perda no setor. Este está presente no Quadro 1, com os códigos de cada erro, nomenclatura e descrição do tipo de problema.

| Motivos de Não Conformidades em Peças Fundidas | | |
|--|---------------------------------|---|
| Código do Motivo | Motivo | Descrição |
| 1 | Defeito de Estanqueidade | Defeito de Estanqueidade: A peça apresenta furos que podem acarretar em vazamento de óleo e perda de pressão. |
| 2 | Macho Deslocado | A peça interna do molde não foi fixada em seu local padrão devidamente, comprometendo a estrutura da peça. |
| 3 | Porosidade | A peça apresenta pequenos orifícios com restos de sujeira que podem comprometer o rendimento do produto final. |
| 4 | Junta Fria | A peça apresenta divisões em sua estrutura solidificada, deixando o acabamento ruim e deformando o padrão da peça. |
| 5 | Acabamento com Defeito | A peça apresenta rebarbas ou defeitos não retirados no processo de serra ou lixamento. |
| 6 | Material com Usinabilidade Ruim | A peça produzida complicações para usinagem, devido ao material apresentar dureza acima do comum. Pode acarretar em desgaste excessivo ou até mesmo quebra da ferramenta de usinagem. |
| 7 | Peça Trincada | O produto da fundição apresenta trincos em sua estrutura, que podem acarretar em vazamentos ou até mesmo quebra da peça durante o processo de usinagem, podendo danificar o maquinário. |
| 8 | Peça Empenada | A peça identificada como empenada apresenta dimensões deformadas, impossibilitando o encaixe do produto no torno e a usinagem da mesma. |

Quadro 1 - Motivos de Não Conformidades

O modelo apresentado acima é uma adaptação desdobrada da tabela presente no Anexo B. Os defeitos apresentados acima são parâmetros para atendimento dos requisitos críticos (CCR) do setor de usinagem, sendo que a inexistência dos defeitos enumerados acima é de fundamental importância para que o que foi requerido pelo cliente seja cumprido.

4.1.2 Etapa de Medição do Problema

Para a etapa de medição do problema, foram considerados e somados todos os tipos de defeitos da Figura 12 e feitos levantamentos, com auxílio da equipe referente ao setor de Planejamento e Controle de Produção, do setor de Qualidade e de coleta de dados presentes *software ERP*, do número de defeitos referentes a cada tipo de peça que o setor de fundição elabora. Essas informações foram separadas e modeladas em forma de tabela, e a partir das mesmas foram feitos cálculos para encontrar a porcentagem de perdas referentes a cada peça. O resultado conseguido está nas informações contidas na Tabela 3.

| Motivos dos Refugos dos Primeiro e Segundo Bimestre - 2014 | | | | | | | | | |
|--|--|---------|-----------|-------|-------|--------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| Código | Descrição da Peça | janeiro | fevereiro | Março | Abril | Perdas | Porcentagem de Perdas | Perdas Acumuladas | Porcentagem Acumulada |
| 20030017 | CABEÇOTE HL 25L (AL) | 159 | 268 | 294 | 159 | 878 | 21,04% | 878 | 21,04% |
| 30030019 | BIELA HL 25L (AL) | 67 | 315 | 298 | 0 | 680 | 16,30% | 1558 | 37,34% |
| 30030086 | MANCAL DA BIELA HL 25L (NOVA) | 67 | 315 | 298 | 0 | 680 | 16,30% | 2238 | 53,63% |
| 30030045 | CARTER HL 25L (AL) 30L (AL) | 65 | 72 | 90 | 186 | 413 | 9,90% | 2651 | 63,53% |
| 30030025 | TAMPA SEM FURO HL 11L | 44 | 42 | 66 | 220 | 372 | 8,91% | 3023 | 72,44% |
| 30030026 | BIELA HL 11L | 5 | 108 | 94 | 151 | 358 | 8,58% | 3381 | 81,02% |
| 30030027 | TAMPA COM FURO HL 11L | 11 | 56 | 11 | 155 | 233 | 5,58% | 3614 | 86,60% |
| 30030028 | CARTER HL 11L | 34 | 39 | 64 | 4 | 141 | 3,38% | 3755 | 89,98% |
| 30030029 | TAMPA DO CARTER 1P-38 MX / ZM-44 MX | 23 | 0 | 46 | 6 | 75 | 1,80% | 3830 | 91,78% |
| 30030032 | TAMPA DO CARTER HL 25L (AL) | 39 | 15 | 2 | 7 | 63 | 1,51% | 3893 | 93,29% |
| 30030037 | CABEÇOTE HL 11L | 2 | 0 | 53 | 3 | 58 | 1,39% | 3951 | 94,68% |
| 30030038 | POLIA 185-8PK ALUM (VIRABREQUIM HL 25) | 3 | 24 | 4 | 6 | 37 | 0,89% | 3988 | 95,57% |
| 30030039 | PISTÃO DA BOMBA 2012 | 36 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0,86% | 4024 | 96,43% |
| 30030040 | POLIA 60-6PK ALUM F.15,88(MOTOR HL 25L) | 3 | 26 | 0 | 0 | 29 | 0,69% | 4053 | 97,12% |
| 30030041 | POLIA 180-6PK ALUM (VIRABR.HL 25L-50) | 5 | 13 | 7 | 0 | 25 | 0,60% | 4078 | 97,72% |
| 30030042 | POLIA 84-3PK ALUM F.15,88(MOTOR HL15L) | 1 | 1 | 21 | 0 | 23 | 0,55% | 4101 | 98,27% |
| 30030043 | TAMPA DO CARTER HL 11L (AL.) | 0 | 0 | 5 | 13 | 18 | 0,43% | 4119 | 98,71% |
| 30030041 | POLIA 72-2A ALUM F.19,05 P/PINO(MAXICOR) | 5 | 0 | 2 | 8 | 15 | 0,36% | 4134 | 99,07% |
| 30030046 | POLIA 90-2A ALUM F.19,05(MAXICORT) | 2 | 1 | 8 | 0 | 11 | 0,26% | 4145 | 99,33% |
| 30030030 | POLIA 88-6PK ALUM F.19,05(MOTOR HL 25L) | 6 | 1 | 1 | 0 | 8 | 0,19% | 4153 | 99,52% |
| 30030051 | POLIA 178-3PK ALUM F.18,00 | 1 | 0 | 6 | 1 | 8 | 0,19% | 4161 | 99,71% |
| 30030049 | POLIA 80-6PK ALUM F.19,05(MOTOR HL 25L) | 5 | 1 | 0 | | 6 | 0,14% | 4167 | 99,86% |
| 30030051 | TAMPA DO CARTER ZM-51/83 MX (AL) | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0,10% | 4171 | 99,95% |
| 30030040 | POLIA 84-3PK ALUM F.19,05(MOTOR HL 15L) | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,05% | 4173 | 100,00% |
| Total | | | | | | | | 4173 | |

Tabela 3 - Quantidade de Refugo dos Primeiro e Segundo Bimestres 2014

Com o levantamento das perdas de produção por tipo de peças foi possível desenvolver um gráfico de Pareto, para melhor visualização da quantidade de perdas referentes ao produto desenvolvido. O gráfico encontra-se na Figura 12.

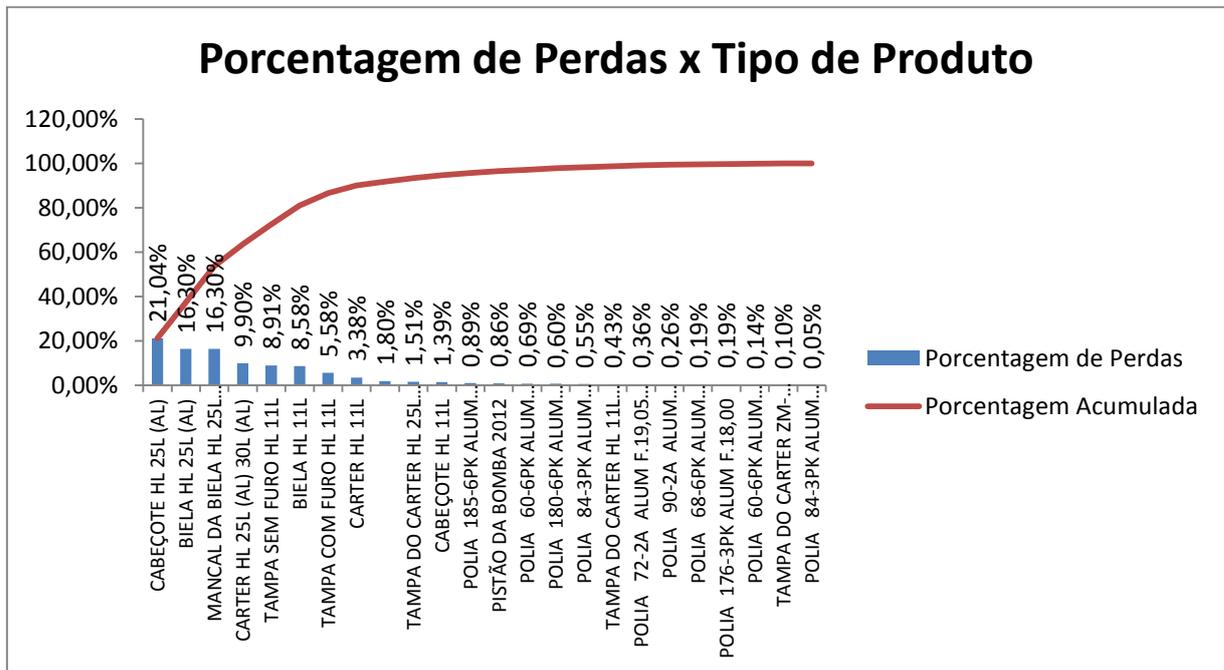


Figura 12 - Análise de Pareto para Perdas

Com auxílio da análise de Pareto, verificou-se facilmente que mais de 80% da quantidade de defeitos estavam ligados a apenas seis dos vinte e quatro tipos de peça que apresentaram defeitos nos dois bimestres analisados neste estudo.

4.1.3 Etapa de Análise do Problema

Utilizando a análise de Pareto como base de coleta de dados, foi notado que os maiores índices de perdas foram relacionados ao Cabeçote da HL 25L, Biela HL 25L, Mancal da Biela HL 25L, Carter HL 25L 30L, Tampa sem furo HL 11L e Biela da HL 11L.

Após o levantamento das perdas referentes às principais peças da fundição, foi elaborado um estudo sobre os principais tipos de defeitos que os produtos apresentavam. Os dados foram coletados pela equipe de Qualidade da empresa e expostos na Tabela 5.

| Motivos dos Refugos dos Primeiro e Segundo Bimestre - 2014 | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------|-----------|-------|-------|--------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| Código | Descrição da Peça | janeiro | fevereiro | Março | Abril | Perdas | Porcentagem de Perdas | Perdas Acumuladas | Porcentagem Acumulada |
| 20030017 | Porosidade | 427 | 1217 | 1284 | 897 | 3825 | 89,70% | 3825 | 89,70% |
| 30030019 | Defeito de Estanqueidade | 27 | 60 | 31 | 52 | 170 | 3,99% | 3995 | 93,69% |
| 30030066 | Acabamento com Defeito | 49 | 21 | 47 | 8 | 125 | 2,93% | 4120 | 96,62% |
| 30030045 | Macho Deslocado | 36 | 8 | 10 | 1 | 55 | 1,29% | 4175 | 97,91% |
| 30030025 | Junta Fria | 43 | 1 | 0 | 0 | 44 | 1,03% | 4219 | 98,94% |
| 30030026 | Peça Empenada | 11 | 12 | 0 | 1 | 24 | 0,56% | 4243 | 99,51% |
| 30030027 | Peça Trincada | 4 | 3 | 4 | 10 | 21 | 0,49% | 4264 | 100,00% |
| 30030028 | Material com Usinabilidade Ruim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 4264 | 100,00% |
| Total | | | | | | | | 4264 | |

Tabela 4 - Motivos dos Refugos

Após a elaboração da tabela, foi feita mais uma análise de Pareto, para facilitar na visualização do problema, e o resultado obtido é apresentado no gráfico da Figura 13.

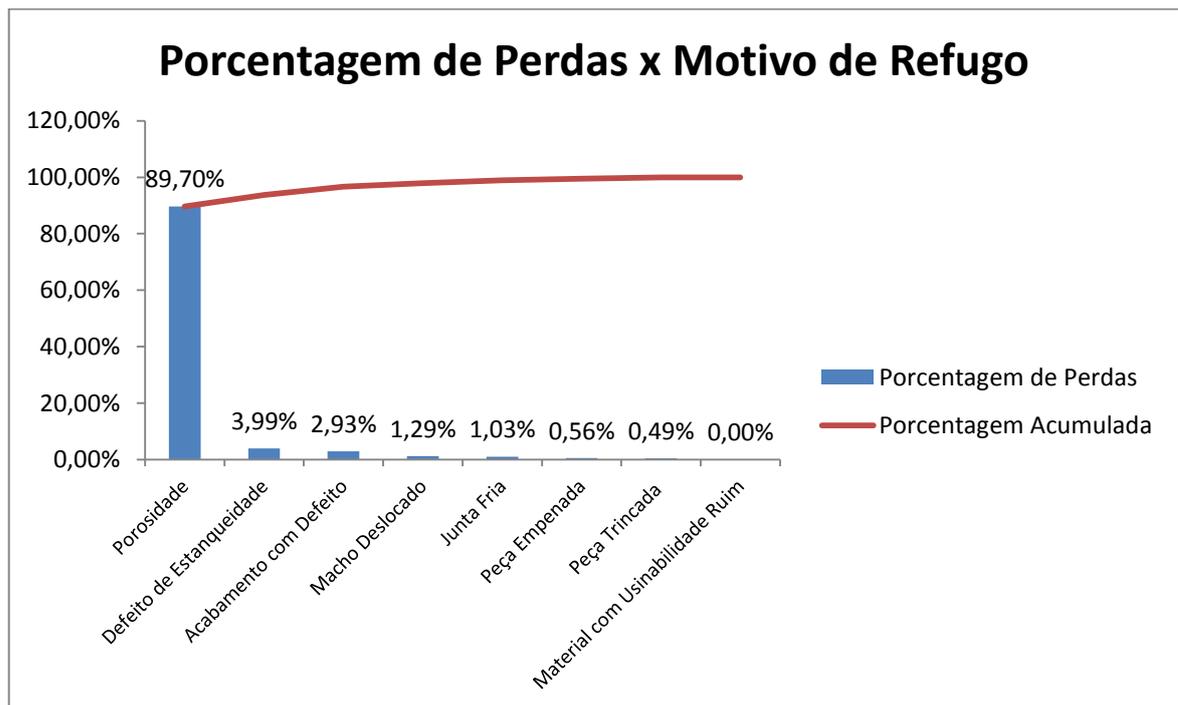


Figura 13 - Análise de Pareto para Motivos de Perdas

Os resultados obtidos mostraram que, de toda a produção 98% dos problemas são causados pela porosidade que a peça apresenta após sua produção. O problema em questão é de difícil rastreabilidade, devido ao fato de que, em grande parte das ocasiões, o problema só se torna aparece após a usinagem da peça.

Após a análise pelo diagrama de Pareto, foi verificado que não haviam informações na empresa referentes aos fatores que ocasionavam o aparecimento de porosidade em praticamente todas as peças produzidas no setor de fundição. Então, o setor de Qualidade em reunião com o setor de Fundição e Gerência Industrial da empresa levantou, por meio do processo de *Brainstorming*, dados sobre os possíveis fatores que ocasionavam o aparecimento do problema. Com as informações coletadas, foi decidido então, reuni-las em um Diagrama Espinha de Peixe, mostrado na Figura 14.



Figura 14 - Diagrama Espinha de Peixe - Porosidade

Analisando o diagrama de Ishikawa da Figura 14, foi possível verificar que existe uma grande variedade de possíveis causas do problema, não se concentrando apenas em uma categoria ou causa.

No que diz respeito à medida, foi verificado com o operado e com o líder do setor de fundição que existe uma relação entre a porosidade e o encaixe dos moldes, sendo que quando os moldes não se localizavam na posição correta para o vazamento do alumínio derretido, o material escoava de forma irregular e acaba deixando lacunas em sua estrutura, podendo levar até mesmo a outros tipos de problema, como o defeito de macho deslocado.

Observando as causas referentes à matéria-prima, observou-se que os problemas apareceram devido à liga de alumínio não estar na temperatura correta para vazamento, provocando porosidade na fundição da peça, fazendo com que a mesma não possuísse os requisitos

necessários para ser usinada por apropriadamente. Também com relação ao material utilizado, foi possível levantar que quando o material utilizado não possuía a composição estabelecida na Tabela 1, ou quando o material apresentava impurezas devido à falha no processo de limpeza do material, as peças resultantes apresentavam pontos com impureza que comprometiam a estanqueidade, fazendo com que a peça fosse descartada.

Quando observadas as causas que resultam em porosidade referente à mão-de-obra, foi verificado que quando o operador do forno não possui experiência nos processos de fundição, ou mesmo não segue as etapas presentes na instrução de trabalho que é fornecida pela empresa, as falhas ou omissões de etapas resultam em lotes de produto com grandes índices de rejeito, porém de vários outros tipos além da porosidade.

Foi verificado também que as condições climáticas do local de trabalho afetavam no rendimento do operador, fazendo com que o mesmo viesse a cometer, em alguns momentos, falhas em suas atividades, resultando em problemas diversos na produção de fundidos.

Quando analisado as causas de defeitos resultantes nas máquinas utilizadas no processo, observou-se que a falta de manutenção nos moldes, que sofrem com o acúmulo de resíduos durante os processos de fundição, afetavam diretamente nos problemas relacionados à porosidade. O resíduo que acumula nos moldes mistura-se com a liga de alumínio quando a mesma é vazada para dentro dos moldes, gerando porosidade no produto. Outros problemas causados pela falta de manutenção no maquinário são o deslocamento do macho, impossibilitando a usinagem da peça, e o aparecimento de defeitos no acabamento do produto, resultando em grande parte das vezes em retrabalho.

Quando verificado os problemas causados por falhas dos métodos utilizados nos processos, conclui-se que é imprescindível a correta elaboração das instruções de trabalho e tabelas com parâmetros atualizados e condizentes com as atividades. A utilização de instruções de trabalho desatualizadas gera irregularidades no preparo da liga e dos equipamentos utilizados para o envase e fundição das peças, e o resultam em grandes perdas, de diversos tipos.

4.1.4 Etapa de Melhoria

A etapa de melhoria esteve focada na proposta de um plano de ações corretivas para serem tomadas de forma separada, não necessariamente sendo lógica, pois os problemas foram separados de modo que as ações possam ocorrer de forma isolada e por vários setores. Algumas ações definidas foram para aumentar a rastreabilidade dos erros no setor, sendo que essas atividades farão parte da rotina diária da empresa e o restante delas serão pontuais. Foi utilizado então o modelo de ferramenta 5W1H para organização visual das ações para melhoria dos processos. A Figura 15 apresenta uma parte da ferramenta, sendo que a ferramenta completa está no Anexo C presente no final do presente trabalho.

| Plano de Ações 5W1H | | | | | |
|--|------------------|--------------|---|--------------------|--|
| What (O que) | When (Quando) | Where (Onde) | Why (Por que) | Who (Quem) | How (Como) |
| Verificar se as Instruções de Trabalho estão Atualizadas | Não Especificado | Fundição | Evitar que o operador realize o processo de forma não conforme devido a uma informação errada | Setor de Qualidade | Verificando Atualizações na Lista Mestra |
| Verificar o Processo de Preparação da Liga de Alumínio pelo Operador | Semanalmente | Fundição | Assegurar-se o operador está fazendo o processo de limpeza corretamente | Setor de Qualidade | Acompanhando o operador na realização do processo e verificando se o mesmo está coerente com a instrução de trabalho |
| Observar se os Moldes do Setor da Fundição Apresentam Sujeira | Diariamente | Fundição | Evitar que a sujeira do molde provoque porosidade nas peças | Operador do Forno | Fazendo inspeção visual no equipamento antes do uso |

Figura 15 - Plano de Ações 5W1H

4.1.5 Etapa de Controle

A etapa de controle não foi desenvolvida de forma completa por falta de disponibilidade das equipes que estavam auxiliando no desenvolvimento da metodologia, sendo resumida à criação e implantação de ferramentas para controle de temperatura do fornos, item que foi apresentado nas etapas anteriores como crítico para o controle do processo, de derretimento e controle de vida útil do cadinho do forno, também apontado como crítico para a qualidade da fabricação. As duas planilhas foram criadas no decorrer do processo para auxiliar na coleta de dados e no controle dos processos referentes à temperatura dos fornos que derretem alumínio e de vida útil dos recipientes internos dos fornos. As ferramentas desenvolvidas foram inseridas no grupo de ferramentas que auxiliam no controle e manutenção da norma ISO9001 da empresa, e auxiliaram como seus dados referentes à fundição nos processo de auditoria. As mesmas se encontram nos Anexos D e E desse trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Contribuições

A qualidade dos produtos elaborados no setor de fundição da ZM Bombas tem grande influência no andamento das atividades de toda a empresa, visto que todos os produtos desenvolvidos possuem pelo menos um componente fundido em alumínio.

O trabalho realizado teve como intuito facilitar a tomada de ações dos departamentos relacionados ao setor de fundição, através da análise e definição das principais causas envolvidas nas perdas de produtos fundidos e da apresentação do impacto causado pelos diversos tipos de falhas.

5.2 Dificuldades e Limitações

Durante o período de desenvolvimento da metodologia DMAIC, ocorreu um grande número de pausas, devido ao atraso de atividades rotineiras e também de outros projetos que caminhavam paralelamente ao projeto apresentado no presente trabalho. Por essa razão, o projeto foi finalizado ainda na etapa de melhoria (*Improve*).

Mesmo com o apoio do gerente industrial e dos outros setores, o desenvolvimento das ferramentas de controle da qualidade foi prejudicado, pois algumas informações necessárias não foram coletadas pelos colaboradores que se comprometeram a levanta-las.

5.3 Trabalhos Futuros

Para próximos trabalhos utilizando a metodologia, sugere-se que sejam elaboradas todas as etapas do DMAIC, pois as ferramentas que devem ser elaboradas na etapa de controle geram dados importantes para a melhoria contínua dos processos.

Seria de grande relevância pensar na aplicação do controle estatístico de processos (CEP) utilizando as informações coletadas até a finalização do presente trabalho, visando à diminuição da variabilidade dos processos da fundição.

Por fim, uma oportunidade de melhoria de produção seria aplicar os conceitos do DMAIC nos demais setores da empresa. As ferramentas facilitariam na visualização dos principais motivos de falhas durante os processos subsequentes que ocorrem em outros locais da fábrica.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. (2002). O Programa Seis Sigma. In: S. AGUIAR, *Introdução das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma* (pp. 201-223). Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.
- ANTONY, J. et al (2012). Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31-53.
- BRUE, G. (2006). *Six Sigma for Small Business*. Madison: CWL Publishing Enterprises.
- CAMPOS, V. F. (2004). *TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda.
- CARVALHO, M. M. e ROTONDARO, R. G. (2006). Gestão da qualidade em serviços. In: E. PALADINI, *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos* (pp. 331-351). Rio de Janeiro: Campus.
- CROSBY, P. B. (1990). *Qualidade, falando sério*. São Paulo: McGraw-Hill.
- DEMING, W. E. (1990). *Qualidade: a revolução da administração*. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva.
- GIL, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- HOERL, R. e SNEE, R. D. (2012). *Statistical Thinking: Improving Business Performance*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- JORGE, G. e MIYAKE, D. (10 de 2012). *Um estudo comparativo sobre as ferramentas de mapeamento das atividades desempenhadas pelos consumidores nos processos de consumo de serviço*. Acesso em 01 de 10 de 2014, disponível em ABEPRO: <https://www.abepro.org.br/biblioteca>
- MOSER, A. et al (2012). *Aplicação do ciclo PDCA (PLAN, DO, CHECK, ACTION) no rendimento de farinha de sangue em uma indústria frigorífica*. Acesso em 2014 de 10 de 05, disponível em Ergonomix: <http://pt.engormix.com/MA-pecuaria-corte/frigorifico/artigos/aplicacao-ciclo-pdca-plan-t1199/378-p0.htm>
- PALADINI, E. P. et al (2006). *Gestão da Qualidade, teoria e casos*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda.
- PARAKASH, S. e KAUSHIK, V. (2011). *Supplier performance monitoring and improvement (SPMI) through SIPOC analysis and PDCA model to the ISO 9001 QMS in sports goods manufacturing industry*. Acesso em 01 de 10 de 2014, disponível em LogForum: <http://www.logforum.net>
- PYZDEK, T. e KELLER, P. (2003). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.

ROSSATO, I. (1996). Uma metodologia para a análise e solução de problemas. Florianópolis, SC, Brasil.

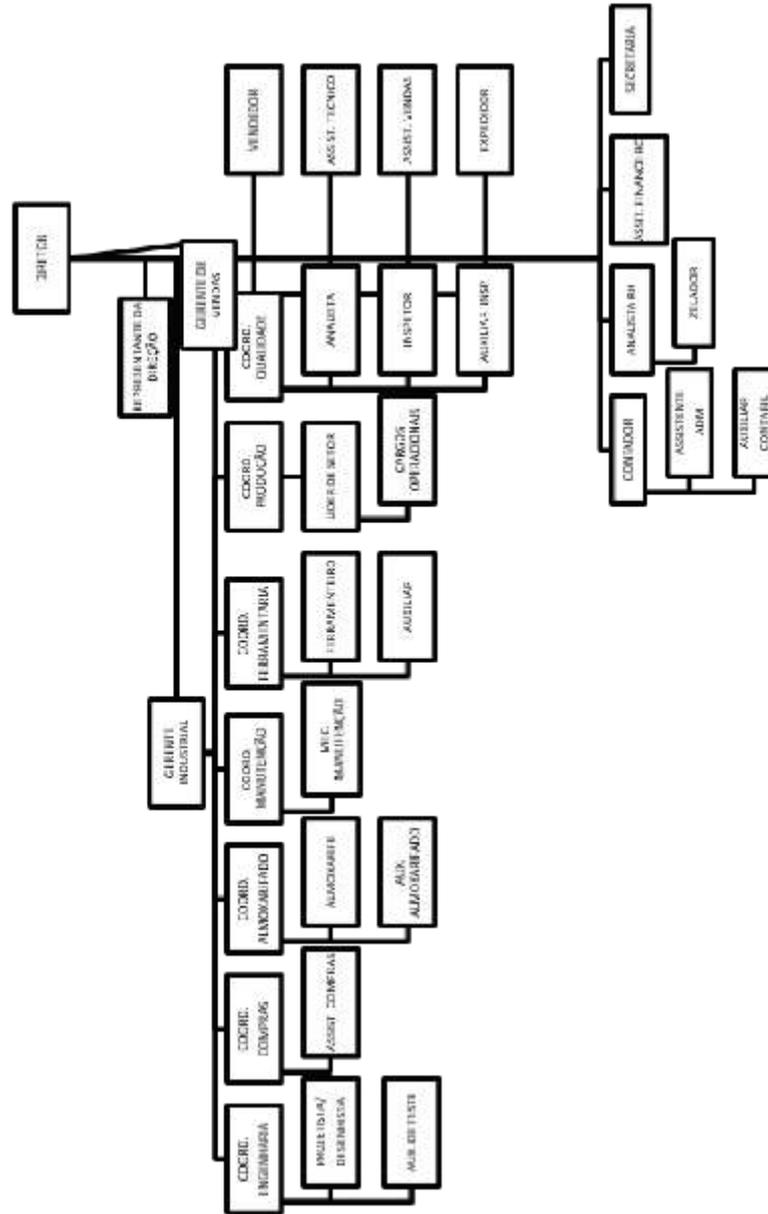
SHANKAR, R. (2009). *Process improvement using Six Sigma: a DMAIC guide*. Milwaukee: ASQ Quality Press .

SILVA, E. L. e MENEZES, E. M. (2005). *Metorologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

WERKEMA, C. (2011). *Lean seis sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing*. Rio de Janeiro: Elsevier.

ANEXOS

ANEXO A – Organograma da Empresa



ANEXO B - Tabela de Relação dos Motivos de Não Conformidades

|  | TAB_QUA_003 | | Emissão: 12/07/2013 |
|---|--|-------------------------|---|
| | RELAÇÃO DOS MOTIVOS DE NÃO CONFORMIDADE | | Revisão: 01 |
| | | | Página: 1/1 |
| Devoluções | | Sucatas | |
| 01 | DEFEITOS DE ESTANQUEIDADE / FURADAS | 09 | MEDIDAS MAIORES QUE AS TOLERÂNCIAS |
| 02 | MACHO DESLOCADO | 10 | MEDIDAS MENORES QUE AS TOLERÂNCIAS |
| 03 | POROSIDADE | 11 | REFUGO NA REGULAGEM DA MÁQUINA |
| 04 | JUNTA FRIA | 12 | VARIAÇÃO DO MATERIAL FUNDIDO |
| 05 | ACABAMENTO COM DEFEITO | 13 | ESCAPOU DA FIXAÇÃO |
| 06 | MATERIAL COM USINABILIDADE RUIM (DURO) | 14 | VARIAÇÃO DE MEDIDAS NA MÁQUINA |
| 07 | PEÇA TRINCADA | 15 | PEÇA QUEBRADA / EMPENADA / TRINCADA |
| 08 | PEÇA EMPENADA | 16 | FERRAMENTA QUEBRADA NA PEÇA |
| | | 17 | ACABAMENTO RUIM |
| | | 18 | REFUGO NA MONTAGEM / TORTO |
| | | 25 | TESTE / GABARITO COM PROBLEMAS / OUTROS |
| CONTROLE DE REVISÕES | | | |
| Revisão | Data | Descrição | |
| 00 | 31/10/2012 | Emissão inicial | |
| 01 | 12/07/2013 | Correções na formatação | |

| | | |
|----------------|------------------|------------|
| Elaborado por: | Henrique Conte | 18/08/2013 |
| Analisado por: | Ana Carolina | 18/08/2013 |
| Aprovado por: | Idézio Tomazzeli | 12/07/2013 |

ANEXO C - Ferramenta 5W1H para Problemas de Porosidade

| Plano de Ações 5W1H para Diminuição da Porosidade | | | | | |
|--|---|---------------------|---|--|---|
| What (O que) | When (Quando) | Where (Onde) | Why (Por que) | Who (Quem) | How (Como) |
| Verificar se as Instruções de Trabalho estão Atualizadas | Não Especificado | Fundição | Evitar que o operador realize o processo de forma não conforme devido a uma informação errada | Setor de Qualidade | Verificando Atualizações na Lista Mestra |
| Verificar o Processo de Preparação da Liga de Alumínio pelo Operador | Semanalmente | Fundição | Assegurar-se o operador está fazendo o processo de limpeza corretamente | Setor de Qualidade | Acompanhando o operador na realização do processo e verificando se o mesmo está coerente com a instrução de trabalho |
| Observar se os Moldes do Setor da Fundição Apresentam Sujeira | Diariamente | Fundição | Evitar que a sujeira do molde provoque porosidade nas peças | Operador do Forno | Fazendo inspeção visual no equipamento antes do uso |
| Fazer Medições da Temperatura da Liga de Alumínio | A cada fundição de lingotes de alumínio | Fundição | Controlar a temperatura da liga para que a mesma não apresente problemas. | Operador do Forno | Utilizando o termômetro presente no setor e anotando os resultados no formulário de controle de temperatura |
| Analisar Plano de Manutenção Preventiva do Maquinário da Fundição | Não Especificado | Fundição | Evitar paradas ou problemas como porosidade no processo devido ao mal funcionamento do maquinário utilizado | Setor de Manutenção | Verificar nas fichas de controle de manutenção preventiva presentes na máquina se as mesmas passaram por manutenção preventiva no período |
| Preparar Treinamento para Funcionários do Setor da Fundição | Não Especificado | Fundição | Assegurar-se que o operador está realizando o processo de forma correta | Setor de Recursos Humanos e Engenharia | O Setor de Engenharia elabora um treinamento conforme as instruções de trabalho. O setor de Recursos Humanos se responsabilizará em definir a data, hora e certificados para os que participarem do treinamento |
| Controlar Quantidade de "Corridas" dos fornos. | Diariamente | Fundição | Evitar que o recipiente se desgaste e contamine a liga de alumínio, aumentando a porosidade | Operador do Forno | Utilizar formulários de controle de corridas dos fornos, e seguir as instruções do mesmo. |
| Verificar Situação dos Termômetros da Fundição | Não Especificado | Fundição | Assegurar-se que os instrumentos de medição estão apresentando valores confiável | Inspetor da Qualidade | Verificando se os instrumentos estão dentro do plano de calibração estabelecido pela Software de gerenciamento de instrumentos de medição. |

| | | | | | |
|---|------------------|----------|--|-----------------------|--|
| Procurar Casos de Sucesso referentes à Eliminação de Porosidade de Peças Fundidas | Não Especificado | Fundição | Aumentar o "Know-How" sobre o Processo de fundição e suas oportunidades de melhoria. | Setor de Engenharia | <i>Benchmarking</i> com outras empresas e buscando materiais de apoio. |
| Inspecionar os Produtos provenientes Fundição e Serra de Peças de Alumínio | Diariamente | Fundição | Verificar se os produtos que chegam ao setor de Usinagem estão em conformidade comparados aos parâmetros estabelecidos | Inspetor da Qualidade | Inspecionando visualmente o lote de produtos produzidos. |
| Verificar Situação do Posto de Trabalho da Fundição | Mensalmente | Fundição | Assegurar-se que o operador está trabalhando em um local que favoreça a execução de suas atividades de maneira correta e eficiente | Setor de Qualidade | Utilizando instrumentos de medição de temperatura, ruído e umidade, e consultando o trabalhador do setor |

ANEXO D – FORMULÁRIO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA

| ZM ZOMBA | | CONTROLE DE TEMPERATURA DOS FORNOS DA FUNDIÇÃO | | | FOR_QUA_040 |
|-------------|---------|--|------------------|-------------|---------------------|
| | | | | | Emissão: 24/02/2014 |
| | | | | | Revisão: 00 |
| Forno: 2 | | ATILIO | | | |
| | | Mês/Ano: 14/07/14 | | | |
| Dia | Medição | Horário (hh:mm) | Temperatura (°C) | Responsável | |
| 14/07/14 | 1 | 7 : 43 | 675 | ATILIO | |
| | 2 | 10 : 05 | 683 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 40 | 670 | ATILIO | |
| | 4 | 3 : 50 | 683 | ATILIO | |
| 15/07/14 | 1 | 7 : 42 | 679 | ATILIO | |
| | 2 | 11 : 05 | 694 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 40 | 680 | ATILIO | |
| | 4 | 3 : 55 | 671 | ATILIO | |
| 16/07/14 | 1 | 7 : 35 | 680 | ATILIO | |
| | 2 | 10 : 00 | 675 | ATILIO | |
| | 3 | 2 : 50 | 680 | ATILIO | |
| | 4 | 4 : 05 | 690 | ATILIO | |
| 17/07/14 | 1 | 7 : 40 | 680 | ATILIO | |
| | 2 | 11 : 05 | 689 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 40 | 680 | ATILIO | |
| | 4 | 3 : 55 | 670 | ATILIO | |
| 18/07/14 | 1 | 7 : 40 | 679 | ATILIO | |
| | 2 | 10 : 30 | 690 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 41 | 681 | ATILIO | |
| | 4 | 3 : 55 | 676 | ATILIO | |
| 21/07/14 | 1 | 7 : 40 | 683 | ATILIO | |
| | 2 | 10 : 25 | 678 | ATILIO | |
| | 3 | 3 : 43 | 650 | ATILIO | |
| | 4 | 4 : 03 | 685 | ATILIO | |
| 22/07/14 | 1 | 7 : 40 | 690 | ATILIO | |
| | 2 | 11 : 25 | 676 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 40 | 680 | ATILIO | |
| | 4 | 4 : 00 | 675 | ATILIO | |
| 23/07/14 | 1 | 7 : 30 | 688 | ATILIO | |
| | 2 | 11 : 34 | 690 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 40 | 690 | ATILIO | |
| | 4 | 3 : 30 | 680 | ATILIO | |
| 24/07/14 | 1 | 7 : 40 | 690 | ATILIO | |
| | 2 | 11 : 30 | 685 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 45 | 683 | ATILIO | |
| | 4 | 4 : 10 | 679 | ATILIO | |
| 25/07/14 | 1 | 7 : 40 | 685 | ATILIO | |
| | 2 | 10 : 20 | 690 | ATILIO | |
| | 3 | 1 : 38 | 670 | ATILIO | |
| | 4 | 4 : 05 | 685 | ATILIO | |

Realizar as medições de temperatura com o Pirômetro a cada 2 horas a partir do início da fundição, sendo duas medições no período da manhã e duas no período da tarde conforme indica IT_PRO_001.

