

JOSÉ EDUARDO DE GOES ANTUNES

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO NO SETOR DE
FUNDIÇÃO DE LIGAS EM AÇOS**

São Paulo

2012

JOSÉ EDUARDO DE GOES ANTUNES

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO NO SETOR DE
FUNDIÇÃO DE LIGAS EM AÇOS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
certificado de Especialista em Gestão e
Engenharia da Qualidade - MBA / USP.

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

São Paulo

2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e esposa, em especial a minha irmã Valeria de Goes Antunes, pelo apoio dado em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus fonte de vida e inspiração.

Aos meus pais José Antunes e Maria Elildes, a minha irmã Valeria Antunes e em especial minha tia Maria Eni Goes.

À minha esposa Silmara Vicêncio pelo apoio, compreensão e carinho durante a realização do curso.

Ao coordenador do curso Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto pela preciosa orientação para a realização desta monografia, e aos professores e funcionários que contribuem para a realização do curso de Gestão e Engenharia da Qualidade da Universidade de São Paulo.

Aos amigos entre eles Tarciso Ribeiro, Antonio Maria, Ricardo Moraes, Danilo Dias, Luiz Fernando Rodrigues.

Por fim, não menos importante agradeço a Sra. Maria Luzita pelo incentivo aos estudos desde quando adolescente.

“Não se mede o valor de um homem pelas suas roupas ou pelos bens que possui, o verdadeiro valor do homem é o seu caráter, suas idéias e a nobreza dos seus ideais.”

Charles Chaplin

RESUMO

Atualmente as empresas do setor de fundição sofrem forte pressão externa em função de peças fundidas em países asiáticos as quais são importadas pelo Brasil e chegam com qualidade superior e preço inferior às aquelas encontradas no mercado nacional. Diante desse cenário, este trabalho procura utilizar as ferramentas da qualidade a fim de contribuir para redução do retrabalho, mais comumente executado em defeito relacionado a porosidade, dessa forma visa-se a melhoria da qualidade e a redução do retrabalho. Por meio das ferramentas da qualidade utilizadas neste trabalho, e principalmente pelo método da matriz de priorização, foi possível elencar e priorizar a causa raiz do problema, para posterior aplicação do plano de ação. Após a priorização da causa, foi elaborado um plano de ação que consistiu em pesquisar uma nova rota de desoxidação da liga estudada. O resultado mostrou que a adição de 0,250 kg/ton de cálcio, como agente novo de desoxidação, e o aumento da quantidade de alumínio na proporção de 0,300 kg/ton, foram eficazes para a redução da porosidade.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade. Defeito. Fundição.

ABSTRACT

Nowadays companies from the foundry sector are under intense external pressure due to cast parts in Asian countries which are imported by Brazil and delivered with higher quality and with reduced price when compared to our local market. Considering this scenario, this work focus on applying quality tools in order to contribute to reducing rework, which is more commonly found in porosity-related defects, this work is intended to improve quality and reduce rework. With the use of quality tools in this work and mainly by applying the prioritization matrix method it was possible to identify and prioritize the root cause of the problem, for later application of the action plan. After prioritizing the cause, an action plan was created consisting of searching for a new deoxidation route for the alloy that was being studied. The result showed that by adding 0,250kg/ton of calcium, as the new deoxidation agent, and by increasing the amount of aluminum in the proportion of 0,300 kg/ton, those two actions were effective to reduce porosity.

Keywords: Quality tools. Defects. Foundry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do Diagrama de causa e efeito.	5
Figura 2 - Representação do Diagrama de Pareto.	6
Figura 3 - Exemplo de Matriz de Priorização	7
Figura 4 - Esquema do quadro de 5W1H	8
Figura 5 - Etapas de Brainstorming	9
Figura 6 - Porosidade em peça fundida	11
Figura 7 - Quantidade de oxigênio em função da quantidade de elemento.	13
Figura 8 - Diagrama de Ellingham	14
Figura 9 - Representação de um forno elétrico a arco.	15
Figura 10 - Representação esquemática de um forno de indução eletromagnética.	16
Figura 11 - Transferência do metal do forno para panela de vazamento.	17
Figura 12 - Transformações morfológicas durante a desoxidação na panela de transferência.....	17
Figura 13 – Processo de produção global de uma fundição.....	20
Figura 14 - Representação do processo de uma aciaria.	22
Figura 15 - Gráfico de Pareto	24
Figura 16 - Gráfico de Pareto relacionado os defeitos e os tipos de defeitos.....	26
Figura 17 - Diagrama de causa e efeito.	28
Figura 18 -- Componente Apresentando Porosidade.....	38
Figura 19 -- Componente Ausente de Porosidade.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ferramentas da Qualidade.	4
Tabela 2 - Pesquisa de Satisfação de Clientes.....	22
Tabela 3 - Estatísticas de Reclamações de Clientes	23
Tabela 4 - Quantificação dos defeitos.....	25
Tabela 5 - Estatísticas dos defeitos por tipo.	25
Tabela 6 - Descrição das possíveis causas.	27
Tabela 7 - Descrição das Causas mais Prováveis.....	29
Tabela 8 – Texto de Comparação para Análise da Matriz de Priorização.	30
Tabela 9 - Matriz de Classificação.....	31
Tabela 10 – Matriz de Avaliação molde Úmido.....	31
Tabela 11 – Matriz de Avaliação Desoxidante Insuficiente.....	32
Tabela 12 – Matriz de Priorização.	32
Tabela 13 -- Descrição das Possíveis Soluções.....	33
Tabela 14 - Plano de Ação.....	34
Tabela 15 -- Quantidade de Desoxidante Padrão Utilizada.....	36
Tabela 16 -- Novo processo de Desoxidação.....	37
Tabela 17 -- Resultados Obtidos.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

SiO ₂	Dióxido de silício
Al ₂ O ₃	Trióxido de dialumínio
ZrO ₂	Dióxido de zircônio
Ca ₂ CO ₃	Trióxido de dicálcio
MgO	Monóxido de magnésio
CaO	Monóxido de cálcio
AgO	Monóxido de prata
Cr ₂ O ₃	Trióxido de dicromo
H ₂ O	Monóxido de dihidrogênio
PbO	Monóxido de chumbo
CO	Monóxido de carbono
O ₂	Oxigênio
CO ₂	Dióxido de carbono
ZnO	Monóxido de zinco
Li ₂ O	Monóxido de lítio
MPa	Mega Pascal
ΔG	Energia livre
KJ	Kilo Joule
T	Temperatura
K	Kelvin

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Justificativa*

Atualmente a indústria de fundição brasileira vem sofrendo forte concorrência com os produtos fundidos asiáticos, os quais chegam ao país até 60% mais barato do que os similares brasileiros, além de apresentarem boa qualidade.

Dentro desse contexto, Castro (2005) cita a China como um gigante que pode desequilibrar o mercado de aço:

Segundo os dados do Instituto Internacional do Ferro e Aço (IISI), a China, atualmente, importa cerca de 25 milhões de toneladas por ano e, se ocorrer uma inversão, ou seja, se passar de importadora para exportadora, poderá haver grave desequilíbrio na oferta e demanda no mercado mundial de aço.

Além do exposto anteriormente, Casotti, P. B. et al (2011) narra em seu resumo o difícil cenário internacional enfrentado pelo setor de fundição, conforme ela relata:

A crise financeira deflagrada em 2008 afetou fortemente a indústria de fundição, que não resistiu ao enfraquecimento da economia, reduzindo drasticamente a sua produção e, conseqüentemente, o emprego de mão de obra. O ano de 2010 apresentou-se como um período de recuperação, mas o setor espera que a produção volte ao patamar de 2008 (pré-crise) apenas em 2011.

Nesse sentido, alto custo de produção (insumos, custos trabalhistas e tributações) torna o setor de fundição brasileiro menos competitivo gerando enorme dificuldade para competir com os produtos importados, principalmente, oriundos do mercado asiático. Invariavelmente, custos com retrabalho em peças já fundidas, devido a não qualidade agravam ainda mais a situação, gerando atraso nos prazos de entrega e desgaste da imagem da empresa frente ao seu cliente.

Dessa forma, torna-se útil aplicar as ferramentas da qualidade no processo, visando à melhoria do mesmo, de acordo com Marshall Junior et al (2006):

Há que se ressaltar que essas ferramentas da qualidade colaboram para a melhoria dos processos, visando o aperfeiçoamento contínuo.

Frente ao cenário exposto, este trabalho encontra espaço para explorar a aplicação das ferramentas da qualidade, mais especificamente o método da matriz de priorização, tendo em vista que, até o momento não haver trabalhos equivalentes aplicados ao setor de fundição, utilizando matriz de priorização.

1.2 *Objetivo e Limitações*

O objetivo deste trabalho é aplicar o método da matriz de priorização para se estabelecer uma relação de prioridade para as causas do defeito em peças fundidas. A partir dessa priorização serão desenvolvidas atividades experimentais a fim de eliminar a causa do defeito.

Este trabalho limita-se à aplicação das ferramentas da qualidade e do método da matriz de priorização no processo de fusão numa empresa de fundição, mais especificamente no setor de aciaria, onde as peças são fundidas e vazadas sob a responsabilidade do autor deste trabalho; as atividades experimentais foram focadas somente em peças fundidas em aço inoxidável martensítico, haja vista que a empresa produz peças em outros tipos de ligas.

1.3 *Metodologia*

Para a elaboração dessa monografia, utilizou-se do acervo da Biblioteca de Engenharia Mecânica e Naval e outras bibliotecas interligadas ao sistema DEDALUS-USP como fonte para a pesquisa bibliográfica, também foram consultados diversos sites da internet.

A metodologia aplicada consistiu na aplicação do método de matriz de priorização numa empresa de fundição, para tanto os seguintes aspectos serão mais bem detalhados em capítulos futuros:

- Por meio de uma pesquisa de satisfação de cliente, foi investigado quais eram os problemas de maior criticidade em peças fundidas e constatou-se que o item defeito (porosidade) possui o maior numero de reclamações;
- Aplicação das ferramentas da qualidade para o levantamento das causas dos defeitos;
- Aplicação do método de matriz de priorização, a fim de priorizar a causa do defeito que deve ser tratada prioritariamente;
- Desenvolvimento de atividades experimentais, a partir do fator de maior prioridade, ordenado na matriz de priorização.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Ferramentas da Qualidade

Segundo Marshall e Junior et al (2006) as ferramentas da qualidade aqui utilizadas surgiram a partir de 1950, com embasamento em julgamentos e práticas existentes e contribuem para a manutenção e melhoria dos processos. Há que se ressaltar que essas ferramentas da qualidade colaboram para a melhoria dos processos, visando o aperfeiçoamento contínuo.

De acordo com Hegedus (2004) para compreender o processo é necessário identificar meios para seu estudo, planejamento e implantação, isto requer dados e informações. Desde que um processo esteja implantado ele pode e deve ser melhorado e isto requer ferramentas para sua compreensão e controle.

As ferramentas da qualidade utilizadas nesta monografia, assim como suas finalidades, podem ser visualizadas resumidamente na tabela 1, mostrada a seguir:

Tabela 1 - Ferramentas da Qualidade.

FERRAMENTAS DA QUALIDADE	FINALIDADE
Diagrama de Causa e Efeito	Identificar a semelhança entre o resultado e todas as causas de um problema.
Gráfico de Pareto	Favorecer a identificação, a medição e a prioridade dos problemas mais constantes de um processo.
Matriz de priorização	Representar os problemas ou riscos potenciais por meio das prioridades, visando diminuir os efeitos.
5W1H	Reapresentar e unificar os processos, na organização de planos de ação e na afirmação de métodos adjuntos aos indicadores, sendo assim de cunho gerencial.
Brainstorming	Detalhar as percepções em relação a um determinado assunto, buscando assim diferentes opiniões a partir da criatividade coletiva.

Fonte: Adaptado de Marshall Junior et AL, 2006).

Nos próximos capítulos, apresentam-se as ferramentas de qualidade introduzidas na tabela 1, de forma mais detalhada.

2.1.1 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito (ou Espinha de peixe) mostrado na figura 1 é uma técnica largamente utilizada, que mostra a relação entre um efeito e as possíveis causas que podem estar contribuindo para que ele ocorra. Construído com a aparência de uma espinha de peixe, essa ferramenta foi aplicada, pela primeira vez, em 1953, no Japão, pelo professor da Universidade de Tóquio, Kaoru Ishikawa, para sintetizar as opiniões de engenheiros de uma fábrica quando estes discutiam problemas de qualidade, Rotondaro (2002).

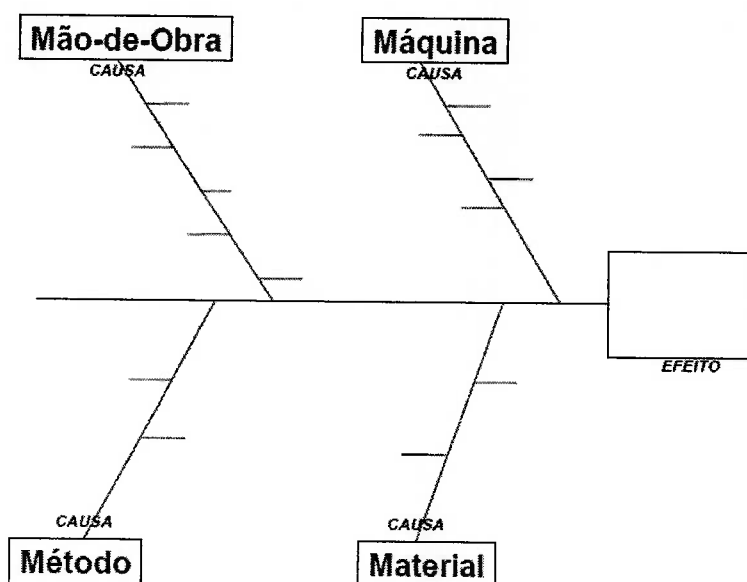


Figura 1 - Representação do Diagrama de causa e efeito. (Adaptado Rotondaro ,2002)

2.1.2 Gráfico de Pareto

Segundo Rotondaro (2002), Vilfredo Pareto foi um economista italiano que apresentou um estudo sobre o tema distribuição da renda, mostrando que esta era muito desigual, pois a maior parte da riqueza pertencia a um pequeno grupo de pessoas, originando a teoria dos poucos vitais. Um pouco depois, J. M. Juran

percebendo que fenômeno semelhante ocorria com os problemas da qualidade desenvolveu o instrumento Diagrama de Pareto para aplicação desse princípio.

Em forma de barras verticais, os gráficos de Pareto podem ser usados para identificar um problema importante ou a causa de origem, ou para acompanhar os resultados. As barras, conforme é observado na figura 2, são dispostas a partir da esquerda para a direita, começando da maior para a menor, assim permitindo-se concentrar nos problemas mais importantes, de acordo com Hegedus (2003).

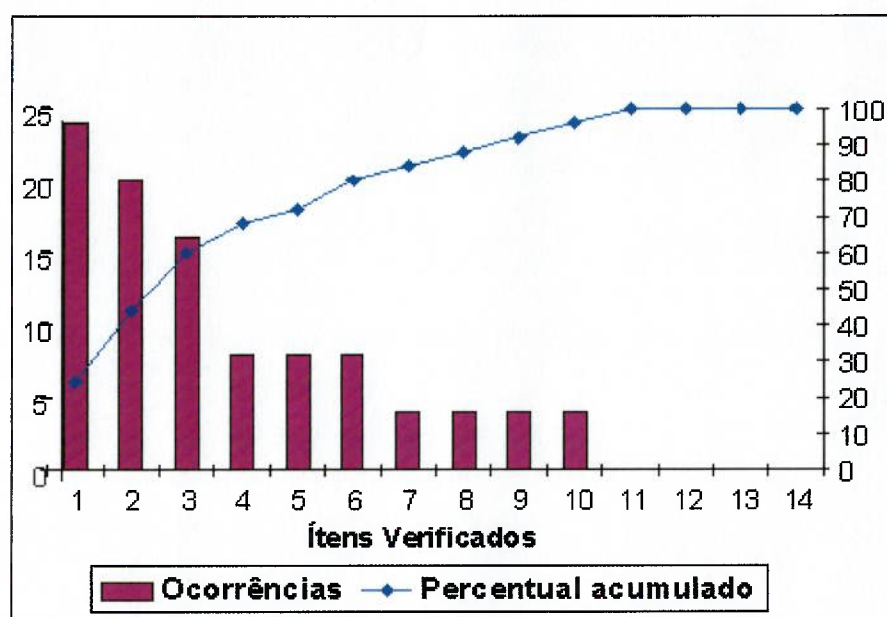


Figura 2 - Representação do Diagrama de Pareto. (Adaptado Veras, 2012).

2.1.3 Matriz de Priorização

Conforme Hegedus (2003) o método da matriz de priorização arranja os dados apresentados num diagrama de matrizes numa forma ordenada, de maneira a que um grande número de elementos possa ser visualizado e compreendido facilmente. A figura 3 apresenta uma representação esquemática desse tipo de matriz. É construída especialmente para ordenar uma lista qualquer elaborada de itens e quando se deseja priorizar a quantidade dos diversos itens.

O diagrama de matriz de priorização pode ser representado na forma de um diagrama de matrizes, onde são ponderados os pesos de coluna e/ou linhas, permitindo assim identificar quais os fatores mais significativos.

		GRUPO B					
		Critérios					
		Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	TOTAIS
GRUPO A	Item 1						
	Item 2						
	Item 3						
	Item 4						
	Item 5						
	...						

Figura 3 - Exemplo de Matriz de Priorização, (Veras, 2012).

Esse método da matriz de priorização encontra diversas aplicações, tais como:

- Fatores interligados de forma complexa;
- Não conformidade envolvendo grande quantidade de dados;
- Classificar de forma sistemática, características de percepção da qualidade;
- Analisar dados complexos.

2.1.4 5W 1H

Conforme Hegedus (2004), essa ferramenta traz uma abordagem em forma de uma matriz de perguntas que orienta o grupo na obtenção de respostas a determinados problemas ou planos de ação. Dessa forma é possível conduzir um processo detalhado de compreensão do problema e dos diversos fatores que a ele estão relacionados.

A fim de auxiliar no planejamento das ações que serão desenvolvidas, pode-se utilizar o modelo de plano de ação exposto na figura 4.

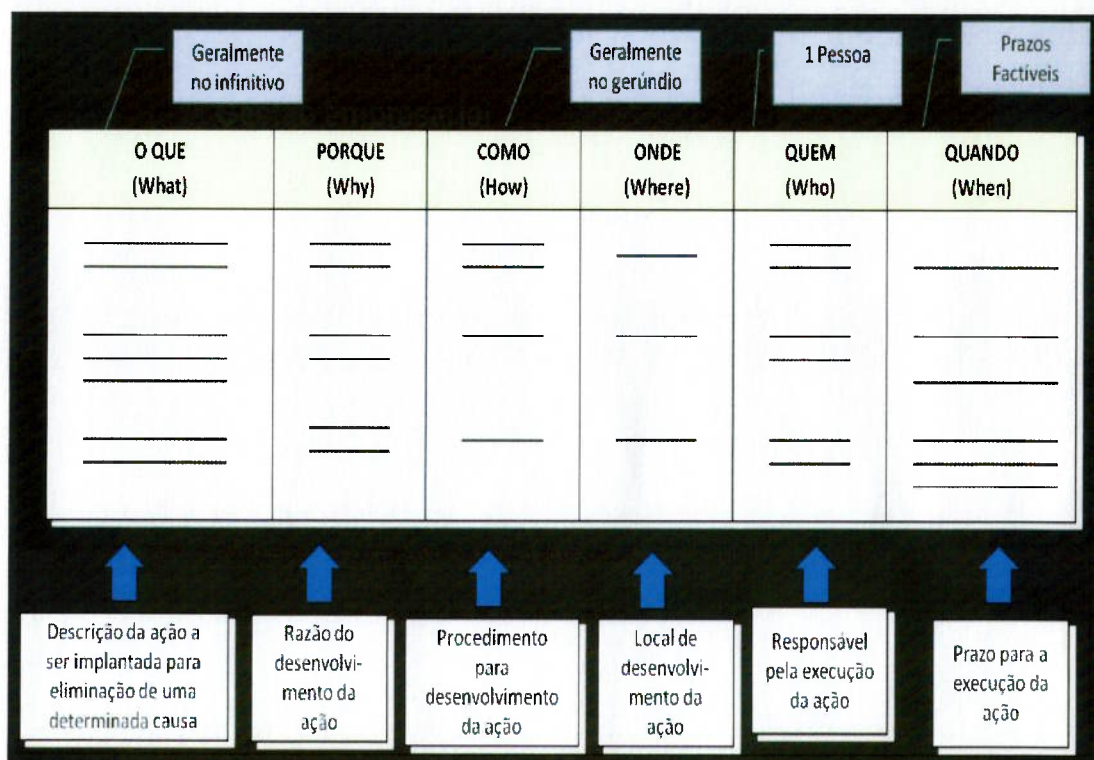


Figura 4 - Esquema do quadro de 5W1H (Adaptado de Veras, 2012).

2.1.5 BRAINSTORMING

De acordo com o manual de qualidade do SEBRAE (2005), *Brainstorming* é a mais conhecida das técnicas de geração de ideias e foi originalmente desenvolvida por Osborn em 1938. Essa ferramenta é uma técnica de ideias em grupo que envolve a contribuição espontânea de todos os participantes. Soluções criativas e inovadoras para os problemas, rompendo com paradigmas estabelecidos, são alcançadas com a utilização dessa ferramenta. A figura 5 ilustra as etapas de um *brainstorming*.

O clima de envolvimento e motivação gerado pelo Brainstorming assegura melhor qualidade nas decisões tomadas pelo grupo, maior comprometimento com a ação e um sentimento de responsabilidade compartilhado por todos.

Etapa	Método	Dicas para a condução
1) Introdução	- Inicie a sessão esclarecendo os seus objetivos, a questão ou o problema a ser discutido.	- Crie um clima descontraído e agradável. - Esteja certo de que todos entenderam a questão a ser tratada. - Redefina o problema, se necessário.
2) Geração de idéias	- Dê um tempo para que pensem no problema. - Solicite, em seqüência, uma idéia a cada participante, registrando-a no flip chart. - Caso um participante não tenha nada a contribuir, deverá dizer simplesmente "passo". Na próxima rodada, essa pessoa poderá dar uma idéia. São feitas rodadas consecutivas até que ninguém tenha mais nada a acrescentar.	- Não se esqueça de que todas as idéias são importantes, evite avaliações. - Incentive o grupo a dar o maior número de idéias. - Mantenha um ritmo rápido na coleta e no registro das idéias. - Registre as idéias da forma como forem ditas.
3) Revisão da lista	- Pergunte se alguém tem alguma dúvida e, se for o caso, peça à pessoa que a gerou para esclarecê-la.	- O objetivo dessa etapa é esclarecer e não julgar.
4) Análise e seleção	- Leve o grupo a discutir as idéias e a escolher aquelas que vale a pena considerar. - Utilize o consenso nessa seleção preliminar do problema ou da solução.	- Idéias semelhantes devem ser agrupadas; idéias sem importância ou impossíveis devem ser descartadas. - Cuide para que não haja monopolização ou imposição de algum participante.
5) Ordenação das idéias	- Solicite que sejam analisadas as idéias que permaneceram na lista. - Promova a priorização das idéias, solicitando, a cada participante, que escolha as três mais importantes.	- A votação deve ser usada apenas quando o consenso não for possível.

Figura 5 - Etapas de Brainstorming (SEBRAE, 2005).

2.2 DEFEITOS EM FUNDIÇÃO

O processo de fundição não é um processo simples de ser executado, requer experiência e competência por parte de quem o executa, qualquer variação pode acarretar uma falha no processo produtivo e esta inutilizar a peça final fabricada.

De acordo com Noro (2007), os defeitos mais comuns encontrados em fundidos são:

- Inclusão de material refratário do molde na peça;
- Heterogeneidade na composição da liga metálica;
- Rechupe;
- Porosidade.

Todos estes erros de processo ou falhas nas peças devem ser corrigidos o quanto antes, pois os fatores custos operacionais desproporcionais, retornos aceitáveis ou inaceitáveis e quebras indesejadas de processo, estão diretamente atrelados ao preço final do fundido.

O processo de fundição só funciona em economia de escala, quando tudo que foi projetado corretamente é realizado corretamente, desta forma, deve-se sempre monitorar o processo produtivo, procurar sempre reduzir custos operacionais, modernizar equipamentos, qualificar e treinar colaboradores.

Embora exista uma ampla gama de defeitos em peças fundidas, este trabalho detalha o mecanismo de formação do defeito mais recorrente em peça fundida que é a porosidade, conforme foi apontada por uma pesquisa de satisfação do cliente. Entretanto, os dados desta pesquisa estão apresentados mais adiante.

2.2.1 POROSIDADE

Grande parte das fundições depara-se com o problema da porosidade, cuja causa muita das vezes não é de fácil identificação, sendo necessário retrabalhar a peça.

De acordo com Junior (2012), as cavidades também chamadas de porosidades, gases ou bolhas têm as paredes lisas, ligeiramente esféricas, sem comunicação com o exterior. As maiores aparecem isoladas, enquanto que as menores em grupos, de dimensões variadas. Na figura 6 é mostrado o formato característico dos poros em peças fundidas.

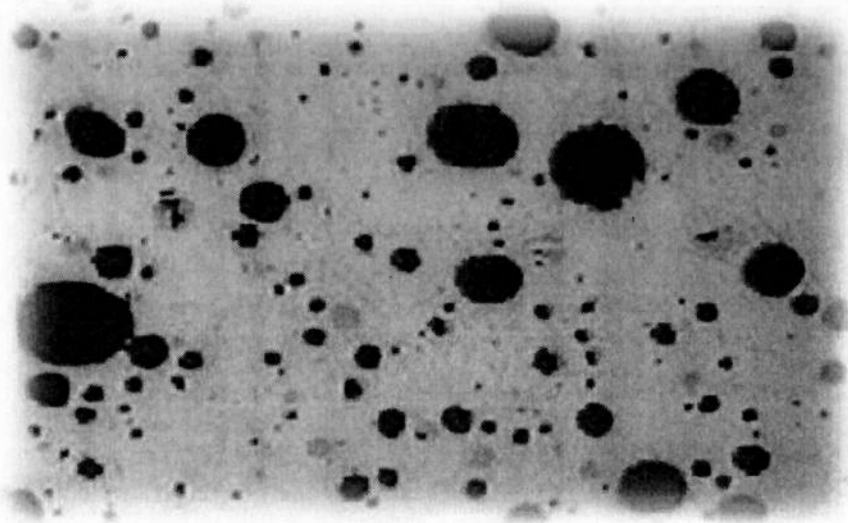


Figura 6 - Porosidade em peça fundida. (Viana, 2012).

As porosidades podem ser classificadas de acordo com a sua origem, sendo do tipo endógena ou exógena. São endógenas quando os gases são provenientes do metal, por outro lado nas exógenas os gases são provenientes dos materiais que constituem os moldes e machos (Junior, 2012).

Porosidades do tipo endógenas são causadas por uma quantidade de gás demasiado alto no banho metálico e em fundição de aço onde há a formação de gases de carbono (CO , CO_2), havendo também a possibilidade da difusão de hidrogênio (Junior, 2012).

Entretanto, porosidades do tipo exógenas são causadas por elevada umidade de moldes e machos, aglomerantes com elevada tendências em desprender gases, elevada porcentagem de aditivos que contenham carboneto de hidrogênio, pintura com forte tendência de liberação de gases, insuficiente saída de gases, baixa permeabilidade da areia do molde e macho, e arraste de ar pelos canais (Junior, 2012).

De acordo com Fachini (2009), a formação da porosidade está relacionada com uma série de fatores, sendo que o controle desses fatores deve ser buscado, no que diz respeito aos seguintes pontos:

- Minimizar a contaminação por gases a partir dos materiais de moldagem;
- Durante o processo de fusão e refino minimizar a contaminação por hidrogênio e nitrogênio;

- Procurar utilizar um processo de refino metalúrgico adequado à redução da quantidade de gases dissolvidos;
- Utilizar elementos desoxidantes que possuam elevada reatividade com oxigênio de modo a diminuir a pressão parcial (atividade) deste gás no metal líquido.

2.3 DESOXIDAÇÃO DE AÇOS

2.3.1 Parâmetros Importantes para Desoxidação

A atividade do oxigênio no metal líquido deve ser diminuída, e para tanto são utilizados diversos elementos desoxidantes que possuem alta reatividade com o oxigênio. Diversos elementos são usados, tais como alumínio, zircônio, titânio e cálcio.

A figura 7 ilustra a variação da atividade do oxigênio (% em peso) em função da quantidade (% em peso) dos diversos elementos adicionados para seu controle.

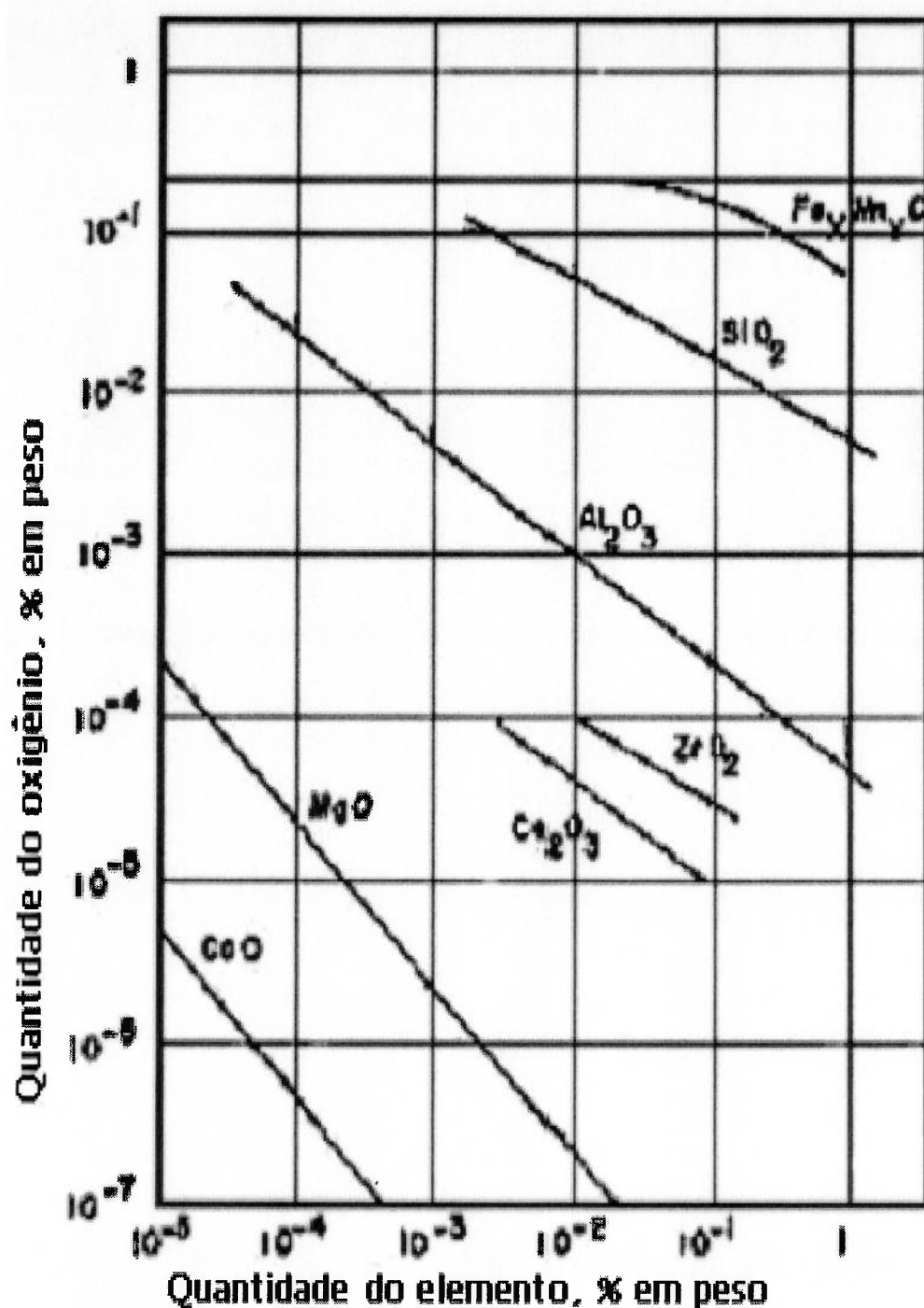


Figura 7 - Quantidade de oxigênio em função da quantidade de elemento. (Fachini, 2007).

Dentre os vários elementos desoxidantes, FACHINI (2009) relata que o cálcio possui uma alta afinidade pelo oxigênio e é um efetivo desoxidante dos aços inoxidáveis. Através do diagrama de Ellingham, ilustrado na figura 8, pode-se

observar que o cálcio é um dos agentes desoxidantes mais fortes formadores de óxidos.

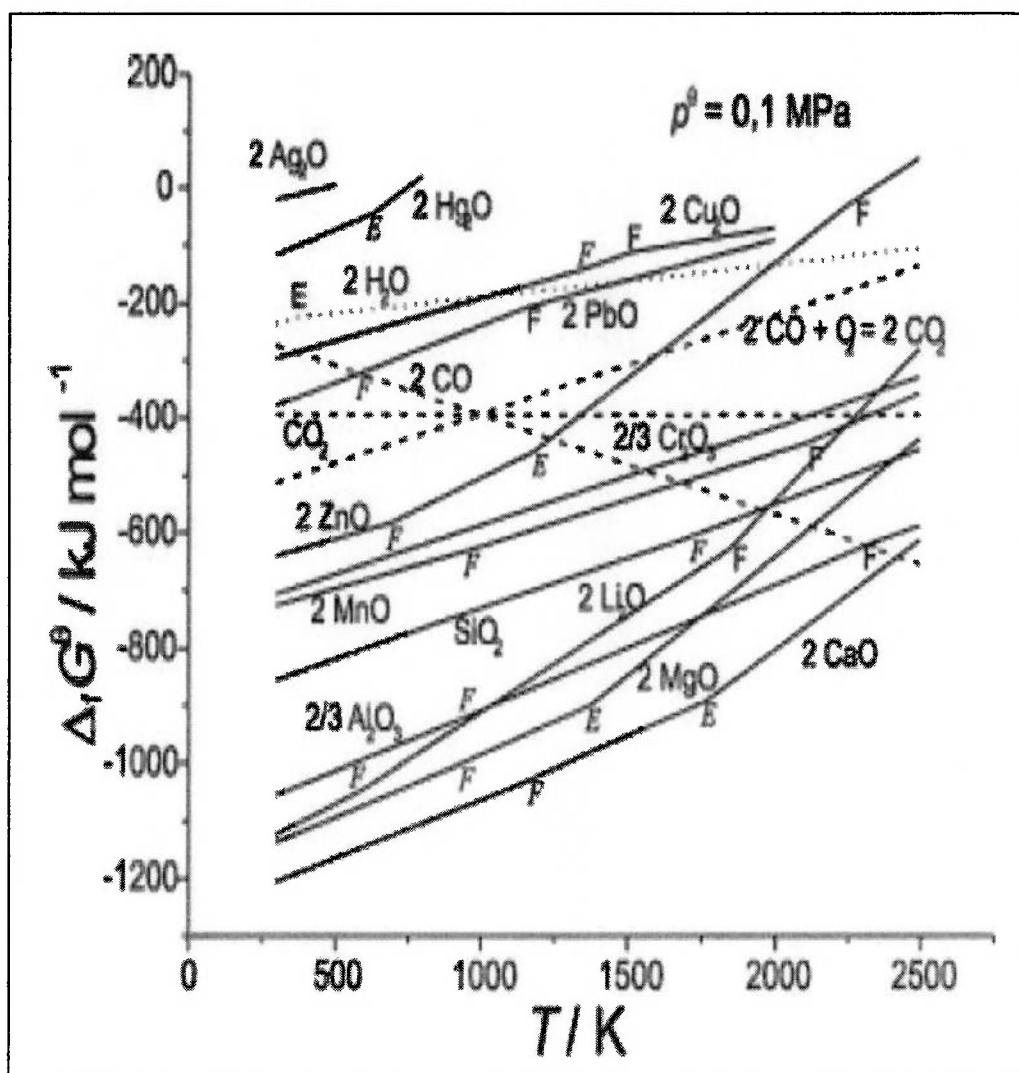


Figura 8 - Diagrama de Ellingham (Fachini, 2007).

A figura 8 relaciona a energia livre de formação de alguns óxidos em função da temperatura, para um mesmo tipo de oxido quanto maior a temperatura maior a energia de formação necessária para ocorrer a formação do oxido, sendo que os pontos de inflexão representam mudança de estado, Fachini(2007).

Dentre os valores de energia de formação dos diversos óxidos apresentados na figura 8, para uma mesma temperatura, verifica-se que a energia livre de formação do CaO é a mais baixa entre os óxidos comuns, Fachini(2007).

2.3.2 Desoxidação de aço em forno elétrico a arco.

De acordo com Fonseca (2009) a rota mais comum de produção de aços inoxidáveis atualmente é mostrada na figura 9. A sucata e ferro-liga são fundidos em um forno elétrico a arco enquanto a descarburização, redução da escória, remoção de enxofre e ajustes na composição do aço é realizada no convertedor. Muitas vezes o convertedor é complementado com alguns tipos de tratamento na panela de fundição para a desoxidação, limpeza final da composição, agitação para a homogeneização e remoção de inclusões não metálicas.

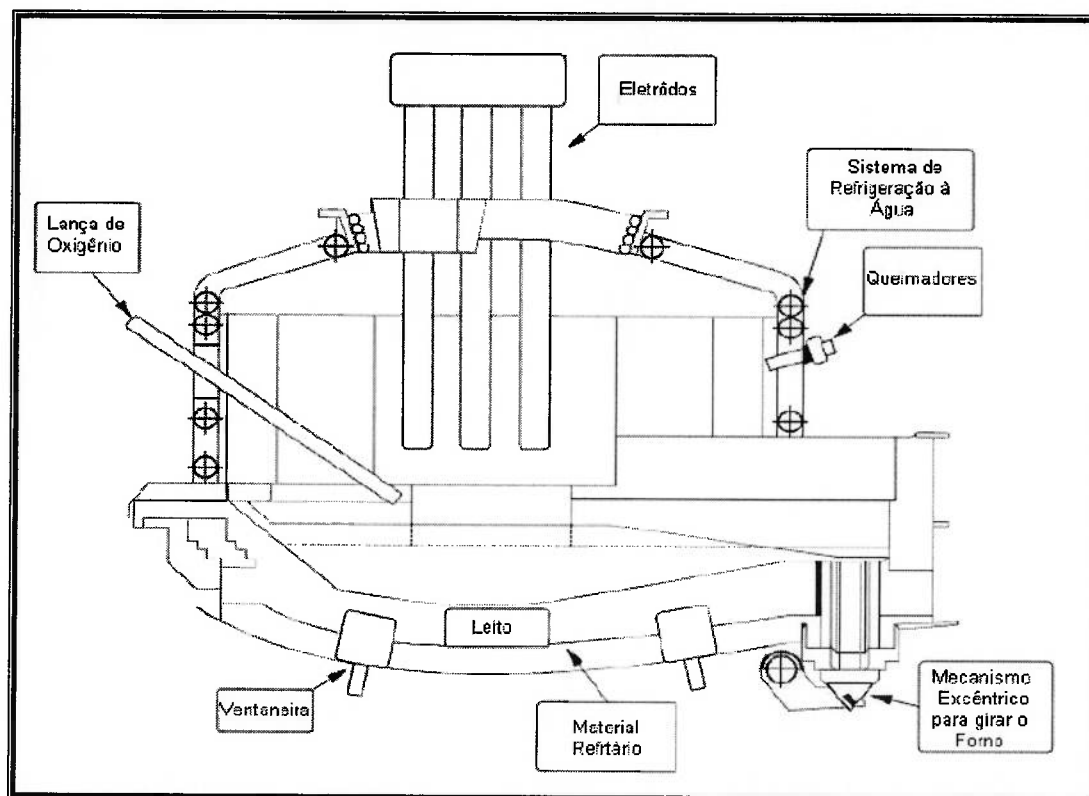


Figura 9 - Representação de um forno elétrico a arco. (Fonseca, 2009).

Entretanto, neste trabalho é abordado o processo de fundição em forno de Indução eletromagnética, cujas principais partes deste equipamento estão detalhadas na figura 10.

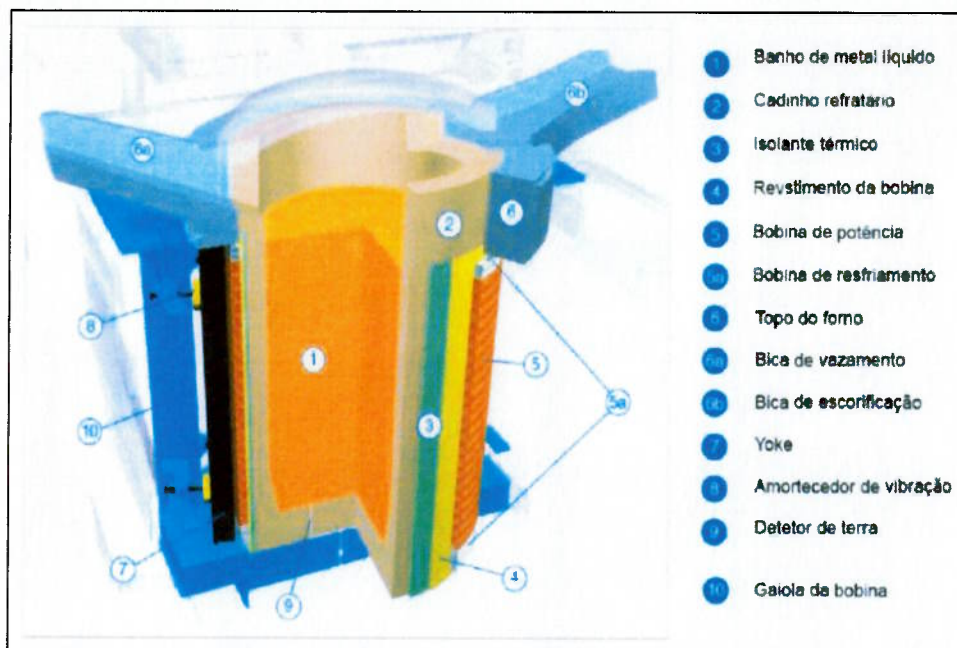
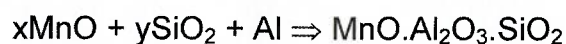


Figura 10 - Representação esquemática de um forno de indução eletromagnética. (B2B Group, 2012).

Um fator muito importante a ser observado é a parede refratária de revestimento destes fornos. Segundo Fachini (2007) as principais reações que ocorrem durante o processo de erosão do material refratário que reveste o forno de indução estão indicadas a seguir:



2.3.3 Desoxidação de aço em panela de transferência

Após o processo de desoxidação no forno de indução, o metal líquido é vertido do forno para panela de transferência, a qual levará o metal líquido até o molde. A figura 11 demonstra essa etapa do processo.

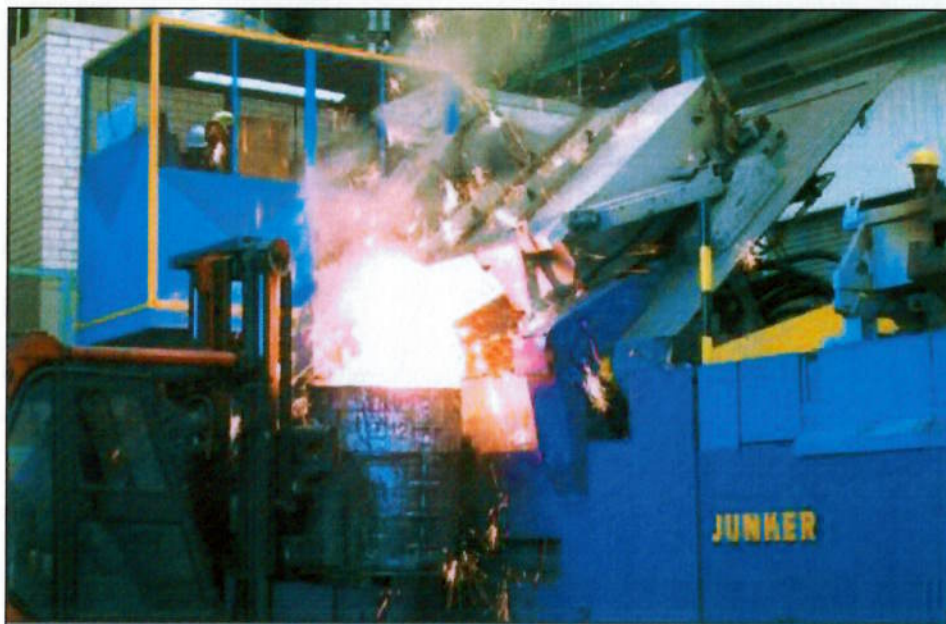


Figura 11 - Transferência do metal do forno para panela de vazamento. (B2B Group, 2012).

As transformações morfológicas que ocorrem durante o processo de desoxidação na panela de transferência estão indicadas na figura 12, conforme Fonseca (2009).

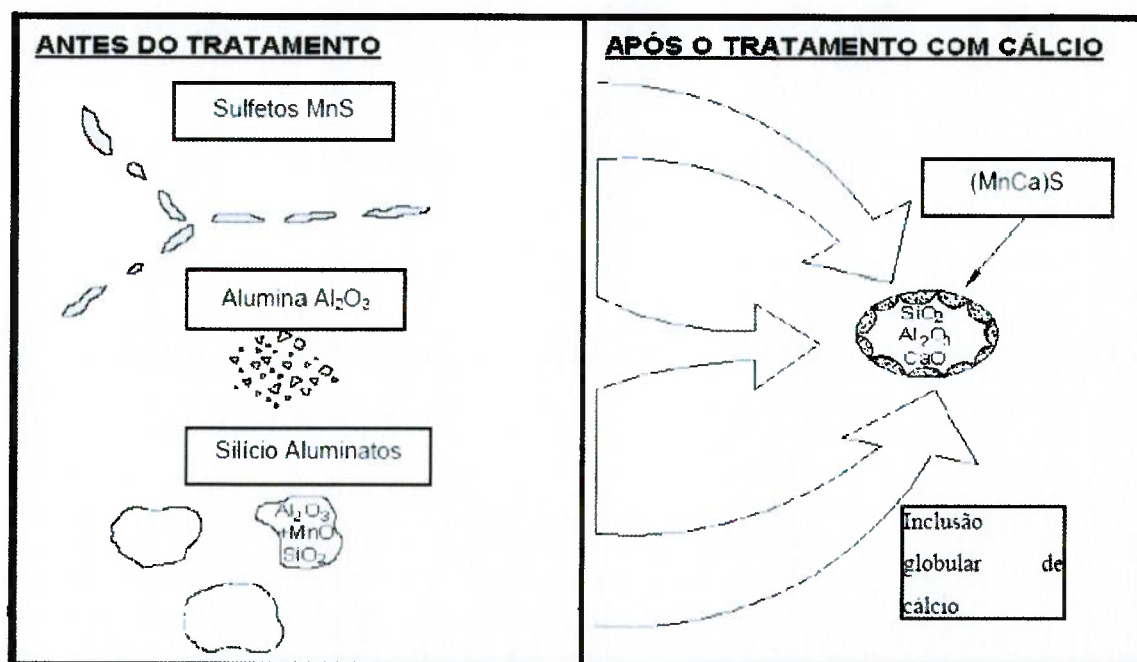


Figura 12 - Esquematização das transformações morfológicas durante a desoxidação na panela de transferência. (Fonseca, 2009).

3 ESTUDO DE CASO - FUNDIÇÃO DE AÇOS ESPECIAIS.

3.1 HISTORIA.

A Fundição de Aços Especiais é uma empresa de componentes mecânicos industriais, derivados de peças fundidas em aço e ligas especiais. Muitas de suas peças são componentes originais dos principais fabricantes de equipamentos para as indústrias de geração de energia, extração e refino de petróleo, mineração, siderurgia, máquinas e equipamentos entre outros setores vitais das indústrias de base que a empresa atende no país e no exterior.

Com 44 anos de experiência e norteadas por um rigoroso controle em todas as fases de seu processo produtivo, a empresa tornou-se referência de qualidade no mercado brasileiro.

Desde a aprovação das matérias-primas até a inspeção final, os produtos da empresa passam por todas as fases do processo produtivo submetidos ao rigor das normas e procedimentos que constituem a qualidade assegurada da empresa.

O entendimento minucioso da necessidade de cada cliente é à base do trabalho da Fundição de aços Especiais, o que a diferencia no mercado. A inteligência na engenharia dos materiais que oferece, torna-os super-resistentes e permite que os produtos funcionem com excelente desempenho e altos índices de durabilidade.

Qualidade assegurada e confiabilidade são essenciais para a indústria de petróleo, por isso, estão presentes na fabricação de componentes de válvulas e bombas em superligas, aços inoxidáveis ou de baixa liga, resistentes ao calor e à corrosão.

3.2 Processo de Produção

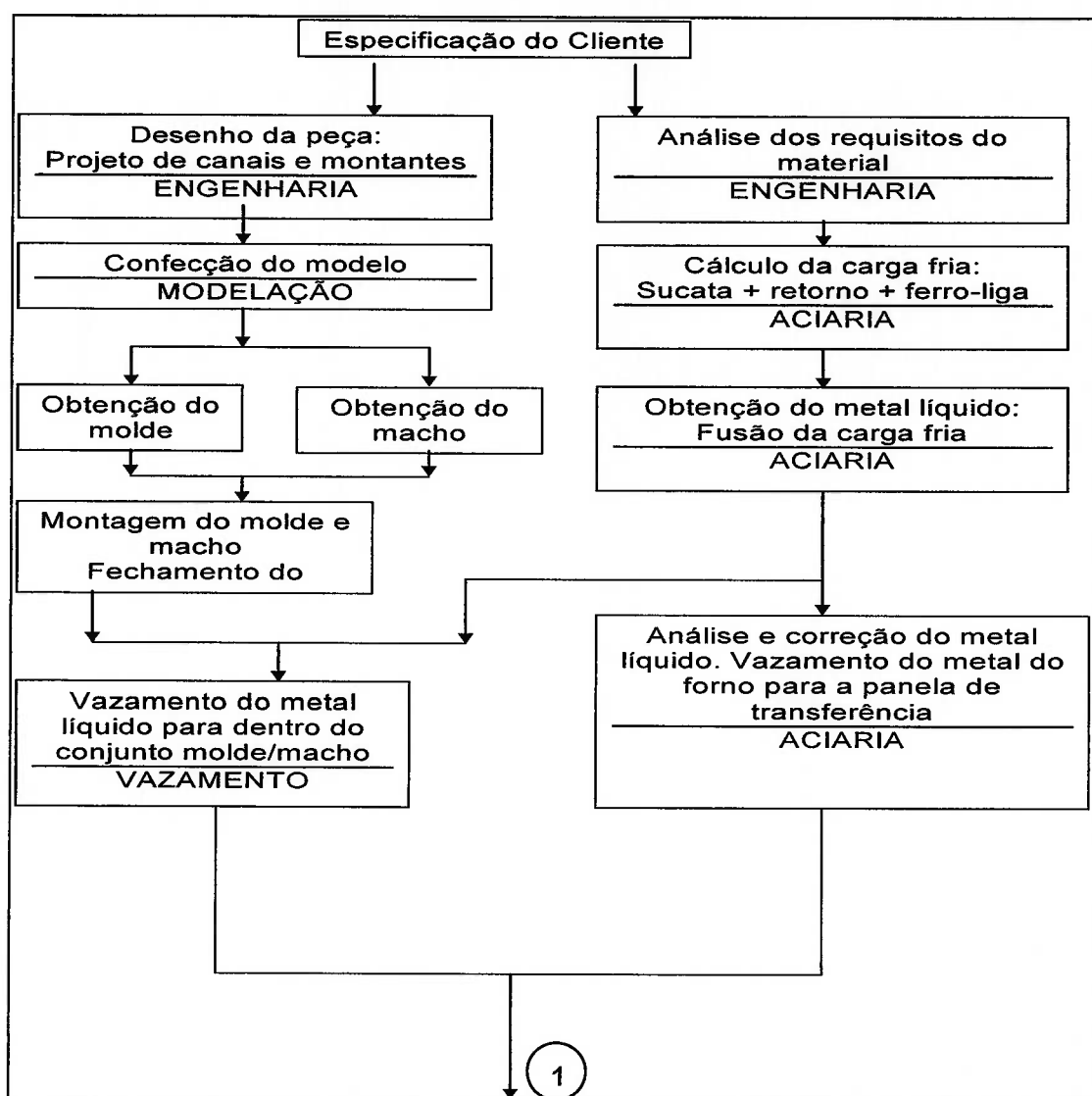
A Fundição Aços Especiais atende seus clientes nas diversas etapas necessárias para a produção de um componente fundido, isso inclui o projeto da peça utilizando programa computacional, modelação do modelo da peça em madeira, por meio de tornos programáveis, confecção do macho e do molde em

areia, fusão das matérias primas, tratamento térmico das peças, usinagem e expedição.

3.2.1 Fluxograma do Processo de Produção Global.

Observando-se a figura 13 é possível compreender o processo de produção de uma peça fundida em seus diversos estágios.

Embora a figura 13 demonstre diversos processos de produção de uma peça fundida, este trabalho delimita-se ao processo da aciaria.



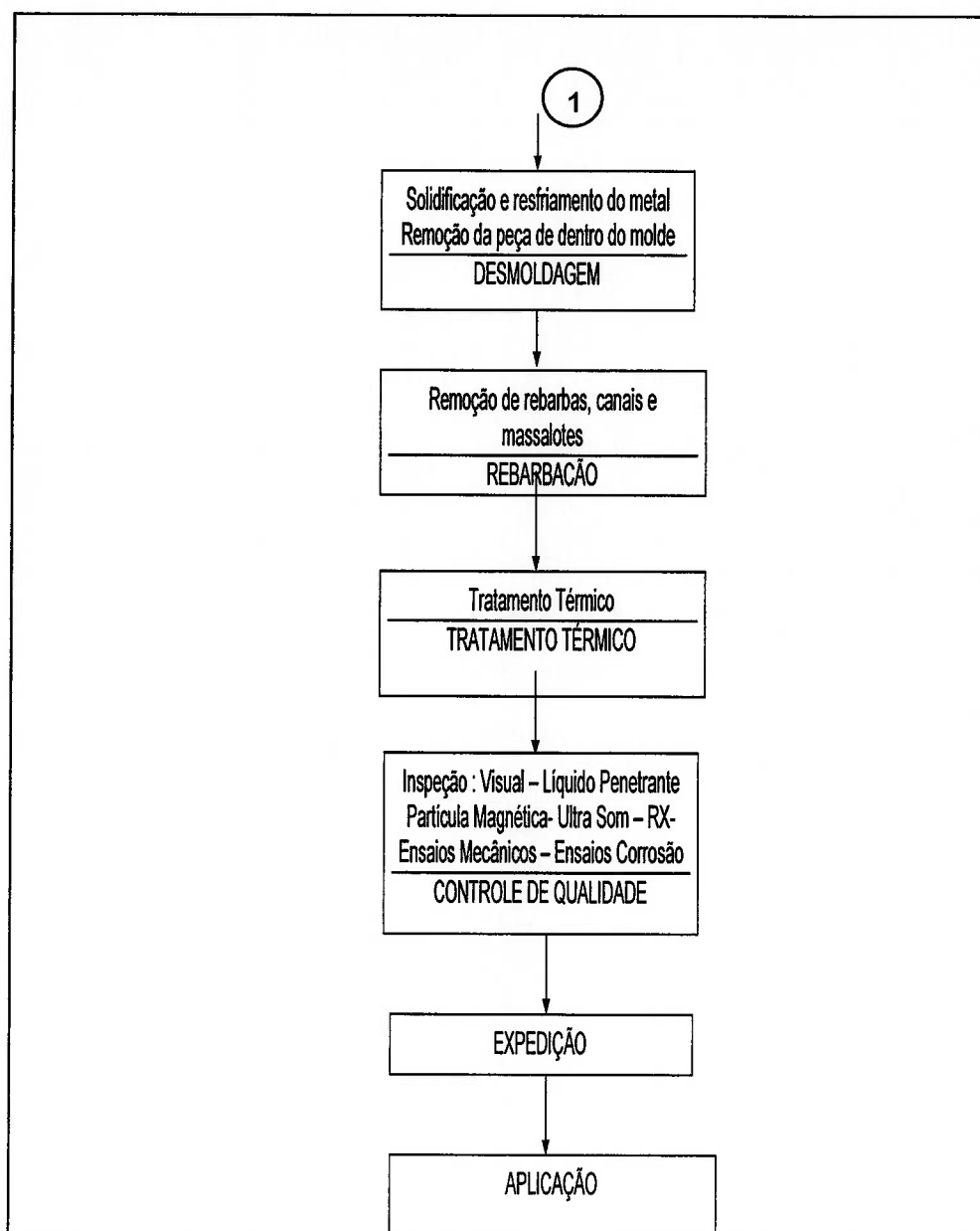


Figura 13 – Processo de produção global de uma fundição. (Autor)

3.2.2 Fluxograma do Processo de Aciaria

Neste trabalho é dada ênfase ao setor de aciaria, onde ocorre a fusão da carga-fria necessária à produção da peça fundida, pois o escopo do trabalho é delimitado pelo processo de fusão da aciaria das peças em aço inoxidável.

Na figura 14 é ilustrado o processo de uma aciaria, a primeira etapa denominada tempo com aço, à liga fundida é vazada para a panela de vazamento. Por meio de uma ponte rolante a panela de transferência é posicionada até o molde em caixa de areia, a válvula da panela é então aberta, o molde terá suas cavidades preenchidas com o metal liquido. A segunda etapa, correspondente ao tempo sem aço, representa a fase em que a panela de transferência é limpa por meio da injeção de ar ou será reparada, logo após a panela será reaquecida para posterior recarregamento de uma nova corrida de carga fundida.

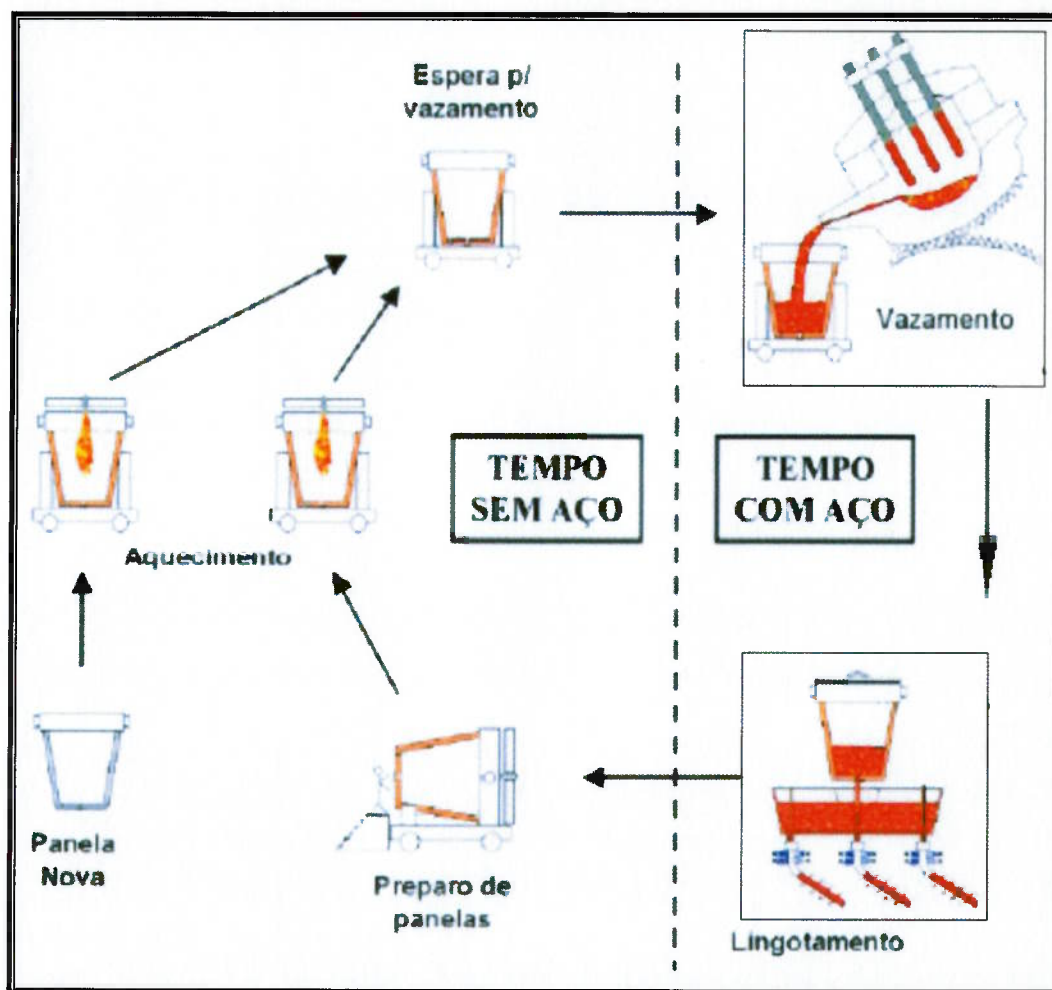


Figura 14 - Representação do processo de uma aciaria. (Autor)

3.3 *Aplicação das Ferramentas de Qualidade ao Estudo de Caso.*

As ferramentas da qualidade aplicadas neste caso tiveram seus aspectos conceituais detalhados anteriormente. No entanto, foram aplicadas estas ferramentas da qualidade com as particularidades do estudo de caso deste trabalho.

3.3.1 *Pesquisa de Satisfação de Clientes.*

A partir de uma pesquisa de satisfação ao cliente, foram levantadas diversas perguntas com o intuito de obter mais detalhes a respeito das necessidades dos clientes junto à empresa Fundação de Aços Especiais.

Para tal fim, o departamento da garantia da qualidade, enviou via e-mail aos dez principais clientes, um questionário contendo perguntas pertinentes às peças fundidas, durante o primeiro semestre de 2011, como o questionário é um documento do sistema de gestão da qualidade da empresa, não foi possível ter acesso ao mesmo, pois não houve liberação da empresa.

Por meio da avaliação foi possível ser levantado os problemas mais críticos apontados pelos clientes, e mediante o estudo de caso propor ações corretivas visando eliminar o problema, a fim de aumentar a satisfação de nossos clientes.

A tabela 2 apresenta uma compilação dos dados que foram extraídos a partir dos questionários preenchidos pelos clientes.

Tabela 2 – *Resumo dos dados da pesquisa de satisfação de clientes.*

Reclamações	Quantidade
Defeitos	12
Prazo de entrega	3
Pós-vendas	2
Atendimento ao cliente	1
Rastreabilidade	1
Qualidade de entrega	1

Fonte: Pesquisa de Campo

Analisando-se os dados da tabela 2 é possível observar que todos os itens levantados, tiveram algum grau de insatisfação, onde foi destacado o alto número de reclamações dos defeitos.

3.3.1.1 Apresentação dos dados da pesquisa de satisfação de clientes

Com os dados compilados na tabela 2, foi possível construir a distribuição de frequência, que relaciona a quantidade de reclamações com os problemas apresentado pelas peças fundidas, como pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas de Reclamações de Clientes

Estatísticas de Reclamações de Clientes					
Item	Descrição	Frequência	% Total	Quantidade acumulada	% Acumulada
A	Defeitos	12	60,0%	12	60,0%
B	Prazo de entrega	3	15,0%	15	75,0%
C	Pós-vendas	2	10,0%	17	85,0%
D	Atendimento ao cliente	1	5,0%	18	90,0%
E	Rastreabilidade	1	5,0%	19	95,0%
F	Qualidade de entrega	1	5,0%	20	100,0%
	Total	20	100,0%		

Fonte: Pesquisa de Campo

A partir dos dados da tabela 3, foi gerado um gráfico de Pareto, pois assim se pode relacionar de forma quantitativa o número de reclamação com o defeito.



Figura 15 - Gráfico de Pareto (Pesquisa de Campo).

Analisando-se os dados da figura 15, observa-se que o item A, que corresponde a defeitos, obteve a maior frequência de reclamação.

3.3.2 Estratificação do item defeito

Com os dados obtidos na pesquisa de satisfação, foi possível realizar a estratificação dos diversos tipos de defeitos. Os defeitos relatados foram porosidade, trinca, inclusão, ausência de planicidade, dimensional fora do especificado e usinagem.

A tabela 4 apresenta os diversos tipos de defeitos, os quais foram extraídos a partir da pesquisa de satisfação dos clientes.

Tabela 4 - Quantificação dos defeitos.

Defeitos	Quantidade
Porosidade	37
Trinca	6
Inclusão	3
Planicidade	2
Dimensional	1
Usinagem	1

Fonte: Pesquisa de Campo

A partir dos dados resumidos da tabela 4, foi elaborada a distribuição de frequência que relaciona a frequência com os tipos de defeitos, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Estatísticas dos defeitos por tipo.

Estatísticas de Defeitos por tipo					
Item	Descrição	Frequência	% Total	Quantidade acumulada	% acumulada
A	Porosidade	37	74,0%	37	74,0%
B	Trinca	6	12,0%	43	86,0%
C	Inclusão	3	6,0%	46	92,0%
D	Planicidade	2	4,0%	48	96,0%
E	Dimensional	1	2,0%	49	98,0%
F	Usinagem	1	2,0%	50	100,0%
	Total	50	100,0%		

Fonte: Pesquisa de Campo

Na tabela 5, relacionou os tipos de defeitos com as frequências com que ocorrem, sendo que estes dados formaram a base na qual se pode produzir o gráfico de Pareto.

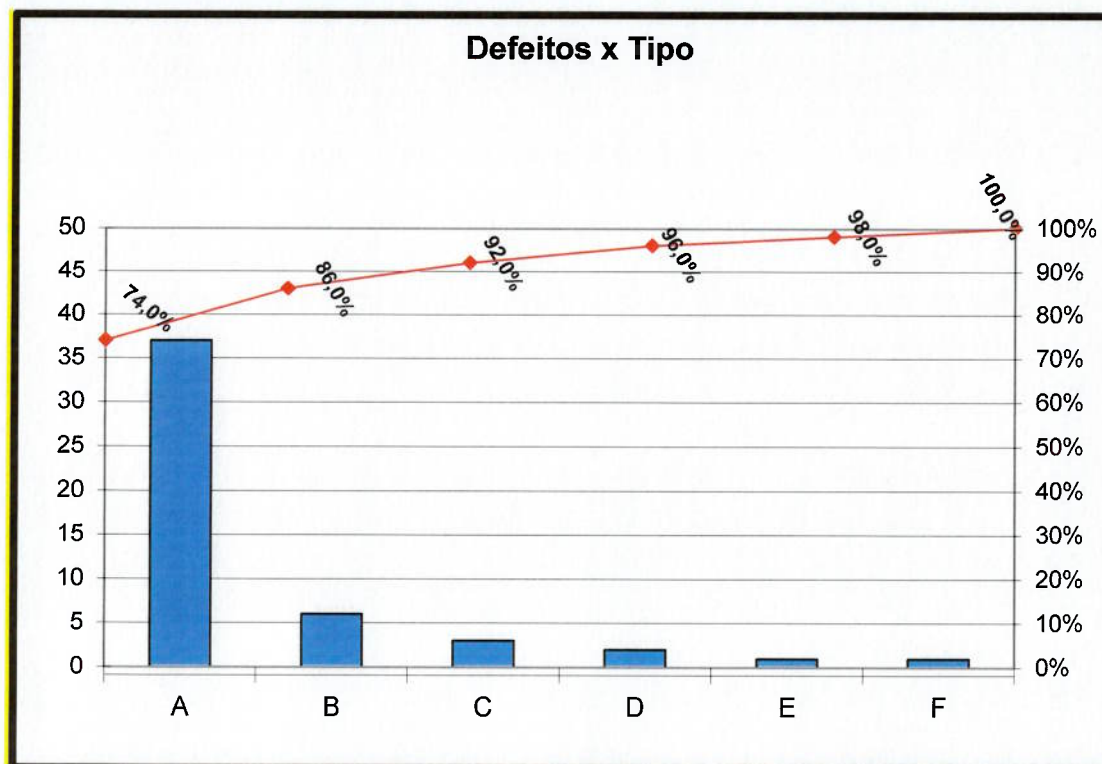


Figura 16 - Gráfico de Pareto relacionado o numero de defeitos e os tipos de defeitos, (Pesquisa de Campo).

Analisando-se os dados da figura 16, observou que o item A, que corresponde a porosidade, obteve a maior incidência de reclamação.

3.3.3 BRAINSTORMING DAS CAUSAS

Utilizou-se o *brainstorming* com a finalidade coletar informação que pudessem ser uteis para identificar as causas do problema que foi colocado na reunião.

Os dados que foram passados aos participantes da reunião foram os seguintes:

- Problema: Reclamação dos clientes relacionada ao defeito POROSIDADE nas peças.
- Objetivo: Identificar as possíveis causas que estão levando à ocorrência desse defeito.

Foi realizado um *brainstorming* do tipo não estruturado, pois dessa forma todos os participantes podem participar à medida que as opiniões vão surgindo.

Foram chamados para contribuir com as ideias os responsáveis pelos setores de qualidade, produção, engenharia e aciaria. Após o término da reunião as informações que foram relatadas foram compiladas na tabela 6, listada a seguir.

Tabela 6 - Descrição das possíveis causas.

Ordem	Descrição das Possíveis Causas
1	Reação metal molde (excesso de resina)
2	Molde úmido
3	Matéria-prima úmida
4	Saída de gases
5	Demora em transferir o aço do forno para a panela
6	Demora em transferir o aço da panela para o molde
7	Desoxidação do aço insuficiente
8	Não foi seguido o processo de desoxidação
9	Operadores novos
10	Mau dimensionamento dos canais e massalotes
11	Movimentação precoce dos moldes vazados
12	Limpeza das painéis de vazamento

Fonte: Pesquisa de Campo.

Com base nas informações coletadas pelo *brainstorming*, utilizou-se a ferramenta do diagrama de causa-efeito, a fim de organizar os fatores, segundo os critérios dos 6M's.

3.3.4 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.

3.3.4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS NO DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO.

A partir das informações obtidas pelo Brainstorming, as causas apontadas foram estratificadas, conforme o critério dos "6M's" e relacionadas com esses critérios.

A figura 17 apresenta a disposição dessa estratificação na forma do diagrama de causa-efeito.

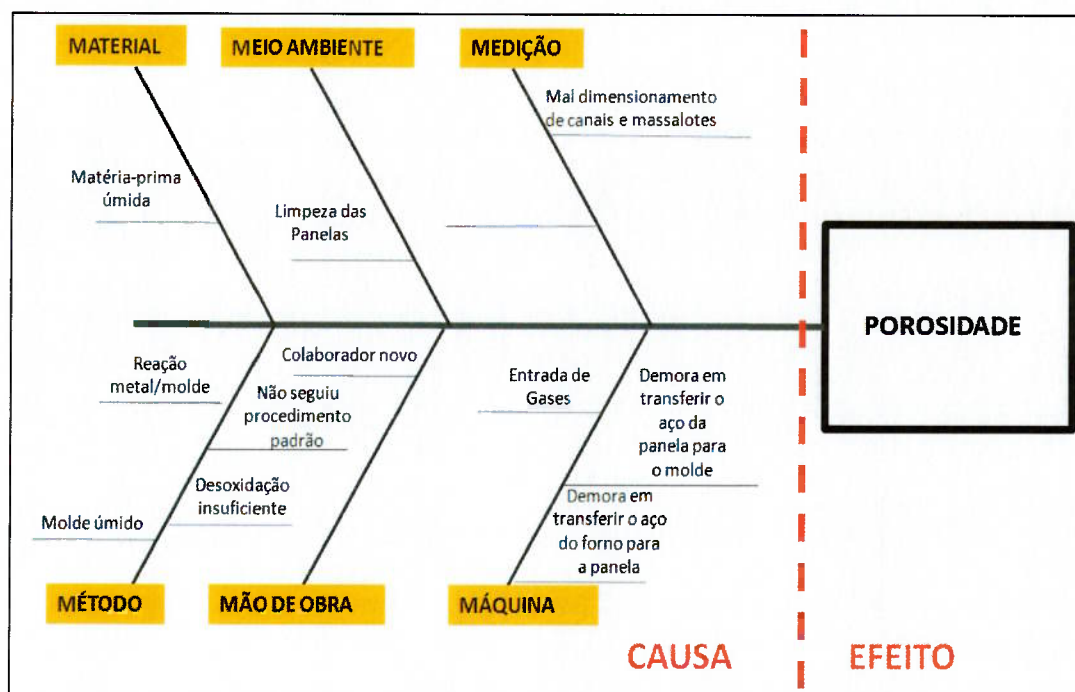


Figura 17 - Diagrama de causa e efeito, (Pesquisa de Campo).

3.4 ANÁLISE DAS CAUSAS SIGNIFICATIVAS

Após o apontamento das causas no diagrama de causa-efeito, foi realizada uma reunião a fim de descartar as causas menos prováveis relacionadas com o problema.

A tabela 7 apresenta as causas que foram apontadas como as mais significativas, no entanto, ainda se obteve um número de causas significativas que se relacionam ao problema.

Em função de haver mais de uma causa, foi utilizado o método da matriz de priorização, a fim de elencar as causas e através dos critérios de priorização atribuído pela equipe (engenharia, qualidade e aciaria), eleger a causa de prioridade *um*, para a qual será elaborado um plano de ação.

Tabela 7 - Descrição das causas mais prováveis.

Ordem	Descrição das Possíveis Causas
1	Reação metal molde (excesso de resina)
2	Molde úmido
3	Desoxidação do aço insuficiente

Fonte: Pesquisa de campo.

Os motivos pelos quais algumas causas foram descartadas encontram-se justificados abaixo:

- *Matéria-prima úmida:* avaliando em conjunto com os colaboradores e o encarregado de produção, constatou-se que não foram utilizados insumos úmidos.
- *Saída de gases:* o encarregado da engenharia afirmou que as peças são projetadas utilizando-se programas computacionais que levam em consideração esse parâmetro.
- *Demora em transferir o aço:* o supervisor da aciaria afirmou que as corridas levam aproximadamente o mesmo tempo para serem vazadas.
- *Não foi seguido o processo de desoxidação:* segundo o supervisor da aciaria, a maior parte das peças analisadas apresenta porosidade, além disso, consta-se no documento da folha de forno o registro das quantidades adicionadas de desoxidante.
- *Operadores novos:* devido a diferentes corridas apresentarem o mesmo problema o supervisor afirma que tanto colaboradores novos como os mais experientes participam do mesmo processo.
- *Mal dimensionamento dos canais e massalotes:* segundo o encarregado da engenharia as peças são dimensionadas segundo o mesmo conceito e programa computacional, afirmado que segue o procedimento da área.
- *Movimentação precoce dos moldes vazados:* por consenso os envolvidos entendem que a movimentação do molde não influencia na porosidade.
- *Limpeza das painéis de vazamento:* as partes envolvidas entendem que a falta de limpeza da panela, influencia mais diretamente na formação de inclusão.

3.4.1 APLICAÇÃO DA MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO.

3.4.1.1 DEFINIÇÃO DO FOCO DA MATRIZ

A fim de orientar o grupo de trabalho composto pelos responsáveis pelas áreas de engenharia, qualidade e aciaria, foi estabelecido que o foco do trabalho para a elaboração da matriz de priorização é: *estabelecer a causa primordial do defeito porosidade*

3.4.1.2 APRESENTAÇÃO DOS CRITERIOS

Definiu-se como critérios, as causas apontadas como responsável pelo defeito, portanto os critérios são: reação metal/molde, molde úmido e desoxidação insuficiente.

A tabela 8 atribui uma criticidade ao texto de comparação e um peso numérico ao texto.

Tabela 8 – Texto da comparação para Análise da Matriz de Priorização.

Texto da comparação	Pontos
Significativamente mais	10
Mais	5
Igualmente	1
Menos	0,2
Significativamente menos	0,1

Fonte: Pesquisa de Campo.

A fórmula utilizada para efeito de comparação entre duas alternativas pode ser escrita como: *Esta alternativa A [.....] é [...texto de comparação...] do que a alternativa B [.....] para [...foco...].*

Ao se fazer a comparação entre duas alternativas é possível escolher o texto que melhor atende ao requisito do foco e dessa forma atribuir uma pontuação a alternativa escolhida.

3.4.1.3 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO

A tabela 9 apresenta a matriz de classificação, após a definição dos critérios pode-se atribuir a cada item uma pontuação conforme a formula de comparação.

Após a soma dos pontos obtidos por cada item, foi possível verificar que o critério com maior peso é o critério desoxidação insuficiente, por outro lado o critério reação metal/molde tem peso 0 e por esse motivo o mesmo foi desconsiderado.

Tabela 9 - Matriz de classificação.

Critérios	Reação metal/molde	Molde úmido	Desoxidação insuficiente	Total da Linha	%	Peso
Reação metal/molde		0,2	0,1	0,3	1,18	0
Molde úmido	5		0,1	5,1	20,08	2
Desoxidação insuficiente	10	10		20,0	78,74	8
TOTAL				25,4	100	10

Fonte: Pesquisa de campo.

3.4.1.4 MATRIZ DE AVALIAÇÃO

A partir dos fatores máquina, método, mão de obra e matéria prima, foram avaliados os critérios molde úmido e desoxidação insuficiente.

A tabela 10 apresenta a matriz de avaliação do critério molde úmido e nela pode-se observar que os fatores maquina e matéria prima apresentam maiores índices.

Tabela 10 – Matriz de Avaliação molde úmido

Molde Úmido	MÁQUINA	MÉTODO	MÃO DE OBRA	MATÉRIA PRIMA	TOTAL LINHA	ÍNDICE
MÁQUINA		10	1	0,1	11,1	3
MÉTODO	0,1		1	5	6,1	2
MÃO DE OBRA	1	1		5	7	2
MATÉRIA PRIMA	10	0,2	0,2		10,4	3
Total Coluna	11,1	11,2	2,2	10,1	34,6	10

Fonte: Pesquisa de campo.

A tabela 11 apresenta a matriz de avaliação do critério desoxidante insuficiente, nota-se que o fator método apresenta o maior índice.

Tabela 11 - Matriz de avaliação desoxidante insuficiente.

Desoxidação Insuficiente	MÁQUINA	MÉTODO	MÃO DE OBRA	MATÉRIA PRIMA	TOTAL LINHA	ÍNDICE
MÁQUINA		0,1	1	0,2	1,3	0
MÉTODO	10		10	5	25	7
MÃO DE OBRA	1	0,1		1	2,1	1
MATÉRIA PRIMA	5	0,2	1		6,2	2
Total Coluna	16	0,4	12	6,2	34,6	10

Fonte: Pesquisa de campo.

3.4.1.5 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

A partir do valor do peso de cada critério que foi obtido pela tabela 9, multiplicando-se pelo índice de cada fator, foi possível construir a tabela 12 da matriz de priorização, na qual observa-se que o fator de maior prioridade é o método.

Tabela 12 – Matriz de priorização.

Matriz de Priorização					
Elaborador: José Eduardo			Setor: Aciaria		Processo: Produção
Fatores	Critérios			Total Linha	Prioridade
	Reação metal/molde	Molde Úmido	Desoxidação Insuficiente		
MÁQUINA	0	6	0	6	4 °
MÉTODO	0	4	56	60	1 °
MÃO DE OBRA	0	4	8	12	3 °
MATÉRIA PRIMA	0	6	16	22	2 °
Total Coluna	0	20	80	100	

Fonte: Pesquisa de campo.

Analisando-se a matriz de priorização pode-se concluir que o fator método, assim como o critério desoxidação insuficiente, devem ser investigados prioritariamente.

3.4.2 BRAINSTORMING B – LEVANTAMENTO DAS AÇÕES CORRETIVAS.

Através da matriz de priorização foi possível elencar as causas do problema em ordem de prioridade para posterior tomada de ação.

Uma nova reunião foi realizada, na qual as áreas envolvidas participaram com o objetivo de coletar ideias que pudessem contribuir para o bloqueio das causas. Dessa forma, todas as sugestões foram anotadas em um novo *brainstorming*, as quais estão resumidas na tabela 13.

Tabela 103 - Descrição das possíveis soluções.

Ordem	Descrição das possíveis soluções
1	Pesquisar novo processo de desoxidação
2	Treinamento do pessoal
3	Documentar novo processo

Fonte: Pesquisa de campo.

3.4.3 PLANO DE AÇÃO

Com base no 5W1H e tendo em vista as informações levantadas no *Brainstorming B*, foi possível elaborar um plano de ação para solucionar o problema identificado.

A tabela 14 estabelece as responsabilidades para os envolvidos com o plano de ação.

Tabela 11 - Plano de ação.

O que?	Quem?	Onde?	Quando?	Por Que?	Como?
Pesquisar novo processo de desoxidação	Supervisor Aciaria	Processo de Fusão	1º Semestre 2012	Eliminar porosidade	Pesquisa técnica e experimentos
Treinamento do pessoal	Qualidade	SGQ	2º Semestre 2012	Garantir conhecimento do novo procedimento	Curso na sala de treinamento
Documentar novo processo	Qualidade	SGQ	2º Semestre 2012	Padronizar novo procedimento	Elaborar novo procedimento com as informações do supervisor da aciaria

4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

4.1 *Materiais*

4.1.1 *Matérias Primas*

Como citado no item 1.2, este trabalho delimita-se ao estudo das peças produzidas em aço inoxidáveis do tipo martensítico.

Diante disso, as matérias primas utilizadas para a produção desta liga são: sucatas de aço inoxidável, ferro liga e elementos desoxidantes.

4.1.2 *Equipamentos*

Foram utilizados os equipamentos em operação na aciaria e no laboratório metalúrgico para realizar a fusão da corrida experimental, dentre os equipamentos usados cita-se: forno de indução com capacidade para 1 ton, panela de vazamento com capacidade para 1,5 ton e espectrômetro capaz de analisar até 24 elementos químicos.

4.2 *Procedimentos Experimentais*

Para o processo de fusão da liga foi seguido o procedimento padrão da aciaria, o qual consiste em:

- Calcular a carga-fria;
- Carregar o forno iniciando-se pela sucata;
- Após fusão inicial da sucata, adicionar os elementos de liga para corrigir a composição;

4.2.1 Procedimento Padrão de Desoxidação

Como já exposto, o processo de desoxidação ocorre em duas etapas, a primeira é realizada no forno de indução, sendo que a segunda etapa é feita na panela de transferência. A tabela 15 ilustra o procedimento padrão de desoxidação.

Tabela 125 - Quantidade de desoxidante padrão utilizado.

Processo de Desoxidação Padrão		
Desoxidante	Forno	Panela
Al	0,250Kg/Ton	0,250Kg/Ton

Fonte: Pesquisa de campo

Ao atingir a temperatura de vazamento da ordem de 1650°C o agente desoxidante é adicionado ao forno. Por meio de uma calha, o restante do agente desoxidante é adicionado à panela de transferência, onde logo em seguida o metal líquido é vertido.

4.2.2 Procedimento Experimental de Desoxidação

A fim de propor um novo procedimento de desoxidação foi necessário realizar uma pesquisa em diversos artigos técnicos, os quais foram citados na revisão bibliográfica.

Levando-se em consideração o tipo de liga fundida, que neste caso é aço inoxidável martensítico, encontrou-se diversas experiências de desoxidação, tendo como agente desoxidante o cálcio.

Além disso, como já citado no item 2.3,1, que relaciona a atividade do oxigênio (% peso) em função da quantidade (%peso) dos diversos elementos desoxidante, percebe-se que o cálcio proporciona a maior redução da quantidade de oxigênio no banho metálico.

Ademais, observa-se no Diagrama de Ellingham que o cálcio possui a menor energia livre de formação entre os óxidos, sendo, portanto um dos mais fortes agentes formadores de oxido.

A partir desse preceito, propõe-se como novo processo de desoxidação, a quantidade de desoxidante indicada na tabela 16.

Tabela 16 – Novo processo de desoxidação.

Novo Processo de Desoxidação		
Desoxidante	Forno	Panela
Al	0,300Kg/Ton	0,300Kg/Ton
Ca	0,250Kg/Ton	0,250Kg/Ton

Fonte: Pesquisa de Campo.

Comparando-se o procedimento padrão (tabela 14) e o novo procedimento (tabela 15), constata-se que foi aumentada a quantidade de alumínio de 0,250 Kg/ton para 0,300Kg/ton do agente desoxidante alumínio. Além disso, foi implementado o Cálcio (Ca) como novo agente de desoxidação na proporção de 0,250 Kg/ton.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já visto anteriormente, o tipo de defeito mais crítico apresenta-se na forma de porosidade como pode ser visto na figura 18.

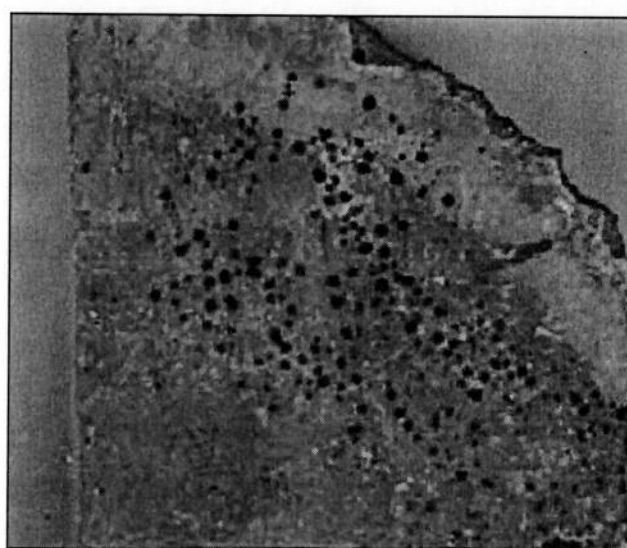


Figura 18 – Componente apresentando porosidade, (Pesquisa de campo).

Por meio das ferramentas da qualidade utilizadas neste trabalho foi possível elencar as principais causas desse defeito, e utilizando-se a matriz de priorização, foi possível priorizar a causa mais crítica, a qual serviu de referencia para elaborar um plano de ação.

Após reunião com os integrantes da equipe para compor um plano de ação, ficou evidenciado que principal ação a ser tomada foi referente à pesquisa de uma nova rota de desoxidação.

A partir de uma pesquisa a artigos técnicos, conclui-se que as quantidades ideais de desoxidantes, as quais deram origem ao novo processo de desoxidação, estão apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 - Resultados Experimentais

Resultados Experimentais		
Antigo Processo de Desoxidação		
Desoxidante	Forno	Panela
Al	0,250Kg/Ton	0,250Kg/Ton
Novo Processo de Desoxidação		
Desoxidante	Forno	Panela
Al	0,300Kg/Ton	0,300Kg/Ton
Ca	0,250Kg/Ton	0,250Kg/Ton

Fonte: Pesquisa de Campos

Foi fundida uma corrida com carga de 1000 Kg e por meio dessa corrida foi possível produzir 4 válvulas de um aço inoxidável martensítico, a fim de testar experimentalmente o novo processo de desoxidação.

Para tal fim, os demais parâmetros de fusão da carga-fria, como composição química, temperatura de fusão, tempo de fusão, temperatura para vazamento permaneceram inalterados.

Dessa forma, as únicas variáveis foram a quantidade e o tipo de agente desoxidante.

Após as peças terem sido vazadas e desmoldadas, as mesmas foram encaminhadas ao setor de controle da qualidade, onde foram inspecionadas por inspetores qualificados pelo Sistema Nacional de Qualificação de Pessoal que se utilizaram de procedimentos de execução de ensaio não destrutivo qualificado por engenheiro nível III.

Os ensaios realizados foram de inspeção visual, líquido penetrante e ultrassom, e os resultados obtidos estão em acordo com os critérios de aceitação dos procedimentos escritos para cada ensaio não destrutivo, durante a realização dos ensaios não foi possível fazer registros fotográficos.

Após a realização dos ensaios não destrutivos as 4 válvulas foram limpas e dispostas sob uma pancada de teste e fotografada, sendo que uma delas foi fotografada frontalmente.

Examinando-se visualmente as peças, pode-se perceber que a nova rota de desoxidação foi eficaz, no sentido de diminuir a porosidade, como visto na figura 19.



Figura 19 – Componente ausente de porosidade, (Pesquisa de campo).

Este trabalho delimita-se ao estudo da liga em aço inoxidável, essa mesma rota de desoxidação foi experimentada em outro tipo de liga, no entanto não se obteve melhora na redução da porosidade.

6 CONCLUSÕES

A partir da análise do estudo das atividades experimentais, pode-se concluir deste trabalho:

- As ferramentas da qualidade empregadas demonstraram-se eficazes para análise da causa raiz;
- Além disso, os critérios adotados para priorização das causas foram assertivos, visto que, foi possível isolar a principal causa da porosidade;
- O aumento da quantidade, tanto no forno como na panela, do desoxidante alumínio de 0,250Kg/ton para 0,300Kg/ton, além da adição de cálcio na quantidade de 0,300Kg/ton no forno e 0,250Kg/ton na panela, foram eficazes para a redução da porosidade.

6.1 *SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS*

Diante do estudo realizado e da importância de verificar outros impactos que foram abordados neste estudo de caso, sugere-se os seguintes aspectos para estudo futuro.

- Analisar se houve prejuízo das propriedades mecânicas em função da formação e absorção de inclusões pelo banho metálico;
- Pesquisar novas rotas de desoxidação para as outras ligas que não fizeram parte do escopo deste estudo, haja vista que, para outras ligas essa rota de desoxidação não surtiu resultado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

B2B Group, Soluções para Siderurgia e Fundição. 2012. Disponível em: <http://www.b2bgroup.com.br>. Acesso em: 20 nov. 2012.

CASSOTTI, P. B. et al, Indústria de fundição: situação atual e perspectivas, Rio de Janeiro, 2011.

CASTRO, C. Y. F., A competitividade do setor de fundição à Luz da tipologia de Porter. Minas, 2005.

FACHINI, F., L., Estudo da desoxidação de aços inoxidáveis CF8M (AISI 316) em forno a indução convencional, com adições variáveis de CaSi e CaSiMn. 2009. 51p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Tupy. Disponível em: <http://www.sociesc.org.br/pt/pesquisa/>. Acesso em: 25 set. 2012.

FONSECA, C. E. C. Caracterização microestrutural e mecânica de um aço inoxidável austenítico modificado com cálcio. 2009. 50 p. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo.

HEGEDUS, Clovis E. Gerenciamento da qualidade total. Escola de Administração de Mauá, 2004.

JUNIOR, A., F., B., Defeito de fundição porosidades, 2012. III Workshop de fundição. Disponível em: <http://www.labmat.com.br/pdf/defeitos-de-porosidade.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

MARSHALL, J., Isnard *et al.* *Gestão da Qualidade*. Rio de Janeiro. FGV, 2006.
NORO, N. 2007, Processos de fabricação. Disponível em: <<http://www.norbertocefetsc.pro.br>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

ROTONDARO, Roberto G. *Seis Sigma – Estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.

SEBRAE, Manual da qualidade, 2005. Disponível em: <<http://www.eel.usp.br>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

VERAS, M., Gestão de Projetos. 2012, Disponível em: <<http://www.gestãodeprojetos10.blogspot.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2012.

VIANA, D., J., Aplicação do método de Taguchi para redução de porosidade de peças fundidas sob pressão. 2012. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Disponível em: <http://www.bdt.d.unitau.br/tesesimplificado/>. Acesso em: 05 nov. 2012.