

**RENATA GONZAGA GIARDINI**

**Estudo sobre não conformidades em uma indústria de fundição: uma abordagem da análise de falhas**

**São Paulo  
(2015)**

**RENATA GONZAGA GIARDINI**

**Estudo sobre não conformidades em uma indústria de fundição: uma abordagem da análise de falhas**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Especialista em  
Gestão e Engenharia da Qualidade**

**Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada  
Netto**

**São Paulo  
(2015)**

**RENATA GONZAGA GIARDINI**

**Estudo sobre não conformidades em uma indústria de fundição: uma abordagem da análise de falhas**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Especialista em  
Gestão e Engenharia da Qualidade**

**Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada  
Netto**

**São Paulo  
(2015)**

**A Deus, aos meus queridos pais Joana e Luiz e para Aderbal Giardini, pelo seu  
amor, apoio e por estarem sempre ao meu lado**

**Aprenda tudo o que puder, a qualquer momento que puder, de qualquer pessoa que puder; haverá sempre um momento em que você será grato por isso.**

**Sarah Caldwell**

## **RESUMO**

Através do estudo detalhado de todas as etapas que compõem o processo de fundição, com o presente trabalho foi possível relacionar estas etapas e propor uma sistemática para análise de falhas com base na teoria existente sobre defeitos em peças fundidas e relação de causa e efeito associada às variáveis do processo de produção e também um formato de registro do histórico destas análises com as ações definidas. Com o maior conhecimento das causas que levam às falhas, a equipe responsável pelas análises pode iniciar o plano requerido pela direção da empresa para a redução dos custos relacionados ao refugo e redução no número de reclamações de clientes.

**Palavras-Chave:** Processos de fundição. Defeitos de fundição. Análise de falhas.

## **ABSTRACT**

Through a detailed study of all the steps that structure the casting process, with the present paper was possible to relate these steps and propose a system for failure analysis based on existing theory of defects in castings and causes associated to variables effects of the production process and also a history plan of these analyzes with the defined actions. With greater knowledge of the causes that guide to failures, the team responsible for the analysis can start the plan required by company management to reduce costs related to waste and reduction of the number of customer complaints.

**Keywords:** Casting processes. Casting defects. Failure analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção Mundial de Fundidos em Mil Ton (Base 2013) .....	8
Figura 2 - Gráfico da Produção Brasileira de Fundidos .....	9
Figura 3 - Fluxograma das etapas de operação de uma fundição .....	12
Figura 4 - Modelo com sistema de alimentação e canais de vazamento .....	17
Figura 5 - Etapas Moldagem Mecanizada.....	18
Figura 6 - Pintura e secagem do molde .....	20
Figura 7 - Núcleos metálicos e grãos cristalinos originados durante a Solidificação	23
Figura 8 - Principais defeitos de solidificação .....	25
Figura 9 - Organograma da Empresa .....	30
Figura 10 - Gráfico de Percentual de Refugo 2014/2015 – Processo Fundição .....	31
Figura 11 - Gráfico de Reclamação de Clientes 2014/2015.....	31
Figura 12 - Gráfico de Performance de Entrega de 2014/2015 .....	32
Figura 13 – Planilha de Registro de Ações sobre Falhas .....	41
Figura 14 - Indicador diário de refugo .....	42



## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 3. 1 - Lista de Códigos de Defeitos .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3. 2 – Causas e registros Bolsa de Gás .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 3. 3 – Causas e registros Porosidade .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 3. 4 – Causas e registros Acabamento .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3. 5 – Causas e registros Rechupe .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3. 6 – Causas e registros Reoxidação .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3. 7 – Causas e registros Inclusão de Escória .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 3. 8 – Médias Boletim de Refugo .....</b>	<b>44</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	8
1.1. Justificativa	9
1.2. Objetivo	10
1.3. Escopo	10
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>	11
2.1. Processos de Fundição	11
2.2. Descrição da seqüência de operações	13
2.2.1. Projeto de Fundição	16
2.2.2. Modelagem ou confecção do Modelo	17
2.2.3. Moldagem, Macharia e Montagem do Molde	18
2.2.4. Fusão, Vazamento, Desmoldagem	20
2.2.5. Acabamento, Tratamento Térmico e Inspeção final	21
2.3. Defeitos em peças fundidas	22
2.3.1. Fundamentos Sobre a Teoria da Solidificação	22
2.3.2. Defeitos de Solidificação	24
2.3.3. Defeitos em Peças Fundidas	25
2.4. Ferramentas e técnicas para análise de falhas	27
2.4.1. Técnica do 5W2H	27
2.4.2. Estratificação	28
<b>3. APRESENTAÇÃO DO CASO</b>	29
3.1. Caracterização da empresa	29
3.1.1. Organograma	30
3.2. Estado inicial (Estatísticas das falhas, método de análise atual)	30
3.3. Resultados	33
3.3.1. Plano para análise de falhas	33
3.3.2. Codificação dos defeitos por tipo	34
3.3.3. Tabela padrão para análise de falhas	35
3.3.4. Plano de Controle e Registros	40
3.3.5. Monitoramento do Indicador de Refugo	41
<b>4. DISCUSSÃO E PERSPECTIVA</b>	43
<b>5. CONCLUSÕES</b>	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	47
<b>APÊNDICE A - Planilha Geral de Análise de falhas</b>	49
<b>APÊNDICE B - Formulário padrão para uso da técnica 5W2H</b>	56
<b>APÊNDICE C - Procedimento padrão da comissão de falha</b>	57

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de fundição no Brasil, conforme ABIFA (2015), atingiu uma produção de 3 milhões de toneladas de peças fundidas em ferro, aço e ligas não ferrosas com cerca de 65.000 trabalhadores e faturamento de 11,6 bilhões de dólares em 2013. Conforme indicado na figura 1, este resultado colocou o Brasil na sétima posição do ranking entre os maiores produtores globais.

Figura 1 - Produção Mundial de Fundidos em Mil Ton (Base 2013)

1º	CHINA / CHINA	44.500,0
2º	EUA / USA	12.250,0
3º	ÍNDIA / INDIA	9.810,0
4º	JAPÃO / JAPAN	5.538,0
5º	ALEMANHA / GERMANY	5.186,7
6º	RÚSSIA / RUSSIA	4.100,0
7º	BRASIL / BRAZIL	3.071,4
8º	CORÉIA / KOREA	2.562,0
9º	ITÁLIA / ITALY	1.971,0
10º	FRANÇA / FRANCE	1.748,2

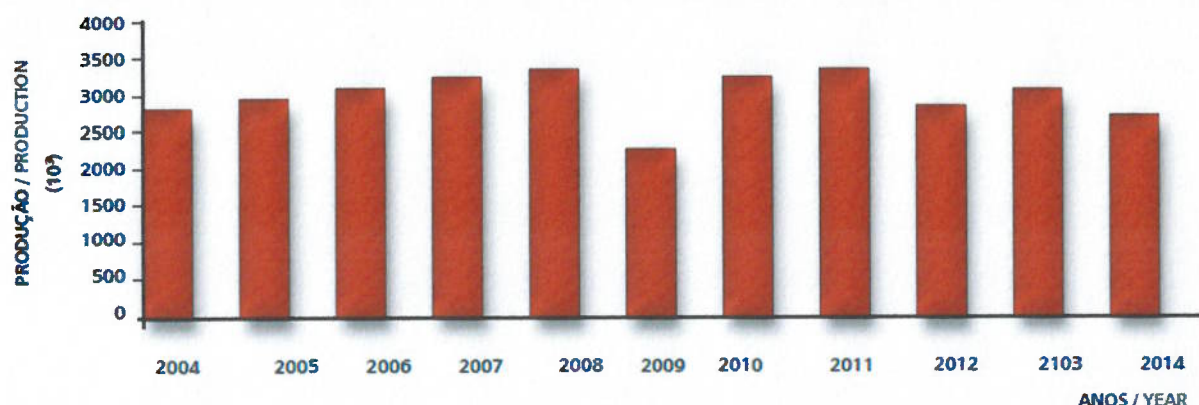
Fonte: Modern Casting / Dec 2014

O Brasil, apesar de possuir potencial para se tornar um dos maiores produtores mundiais, apresentou nível de produção em 2014 inferior ao ano de 2004 em função da crise interna que o país enfrenta desde o início do mesmo ano.

Ainda segundo ABIFA (2015), a perspectiva para o ano de 2015 é de desempenho econômico pior comparando o mercado brasileiro aos seus pares. Os resultados esperados para a indústria de fundição acompanham a expectativa geral do país. Com altas taxas de ociosidade, as fundições deixaram de utilizar pelo menos metade da sua capacidade em 2014 refletindo em queda de produção e resultados ainda piores nos primeiros meses de 2015.

A figura 2 a seguir mostra o histórico de produção de fundidos no Brasil desde o ano de 2004.

Figura 2 - Gráfico da Produção Brasileira de Fundidos



Fonte: Revista da ABIFA, edição 181, Jun. 2015

A indústria automotiva é a principal consumidora de fundidos no Brasil, como este setor vem acumulando resultados negativos, a indústria de fundição é afetada diretamente. Diante deste cenário, o futuro da indústria de fundição no Brasil depende de iniciativas e políticas econômicas do governo, plano de crescimento do mercado automotivo e, sobretudo, ações das próprias empresas para viabilizar a produção, reduzir custos e melhorar a qualidade.

### 1.1. Justificativa

Momentos de crise exigem ainda mais das empresas que todos os processos internos considerem o aspecto financeiro do negócio e passe a relacioná-lo às atividades do dia-a-dia com maior e mais efetivo controle dos processos, redução da variabilidade, das falhas e foco em melhorias, sendo este um meio para melhorar os resultados e garantir o nível de competitividade.

Para controlar e melhorar os processos é preciso conhecê-los, este trabalho apresenta um estudo sobre defeitos de peças fundidas com relação de causa e efeito associada às variáveis do processo de fabricação e propõe uma sistemática para análise de falhas que possibilite diagnosticar os defeitos corretamente, de modo a promover a prevenção e reincidência, padronização das análises, redução no tempo entre análise e definição da ação de contenção ou melhoria.

A empresa alvo do estudo é uma indústria de fundição de peças em ferro, aços e ligas especiais com produção mensal de aproximadamente 300

toneladas/mês localizada no interior do estado de São Paulo denominada neste trabalho de "ECOFUND". A implantação dessa sistemática facilitará o controle, acompanhamento das variáveis de processos e índices de falha de forma mais prática.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um estudo sobre processo de produção de fundição e propor uma sistemática para análise de falhas com base na teoria existente sobre defeitos em peças fundidas e relação de causa e efeito associada às variáveis do processo de produção e também um formato de registro do histórico destas análises com as ações definidas.

## **1.3. Escopo**

Desenvolvimento de um procedimento padrão para classificação e análise de falhas com base na relação de causa e efeito associada às variáveis do processo de produção contemplando:

- ✓ Definição da seqüência de análise e lista de registros necessários para cada modo de falha;
- ✓ Definição de um formato para o registro das análises realizadas, bem como as ações definidas que não são tratadas com Relatórios de Ações Corretivas a fim de manter histórico para análises futuras;
- ✓ Procedimentos escritos para análise de falhas e controle das variáveis de processo;
- ✓ Formulários e demais documentos pertinentes.

Este trabalho abrangerá apenas as análises de defeitos visuais em peças produzidas com ligas de aço.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesta etapa do trabalho serão apresentados conceitos sobre o processo de fundição, defeitos em peças fundidas, métodos de análise de falhas e as ferramentas da qualidade utilizadas no procedimento padrão proposto no objetivo principal deste trabalho.

### **2.1. Processos de Fundição**

De acordo com Chiaverini (1986), o metal líquido ou fundido é o ponto de partida de inúmeros processos para transformar metais e ligas metálicas em peças de uso industrial. O metal líquido é derramado em formas, o molde, cujas cavidades possuem a forma definitiva ou quase definitiva da peça que se deseja produzir.

A fundição em geral envolve várias etapas agrupadas em duas seqüências, que convergem ambas a uma terceira (TAYLOR, 1959):

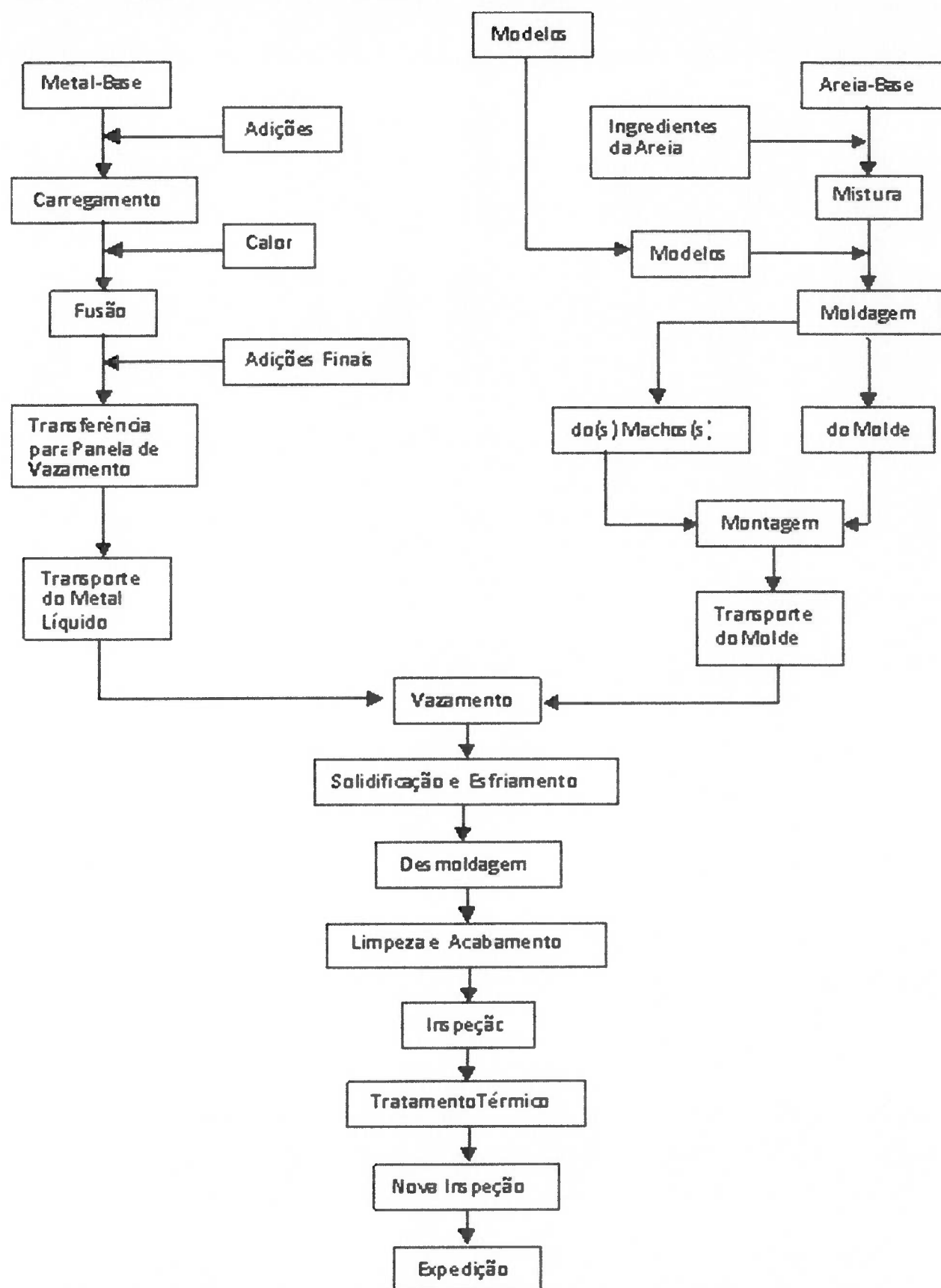
1. Seqüência: refere-se à fabricação do molde e envolve as etapas de confecção do modelo, moldagem, macharia e montagem do molde.
2. Seqüência: refere-se à elaboração do metal, envolvendo as etapas de fusão, refino e ligação, tratamento do banho.
3. Seqüência: refere-se ao vazamento e compreende as etapas de vazamento, desmoldagem, corte e rebarbação, tratamento térmico, inspeção e expedição.

A figura 3 a seguir mostra um fluxograma com estas seqüências.

Os processos de fundição podem ser classificados quanto ao tipo de molde produzido em quatro grupos básicos (CIMM, 2015):

- ✓ Processos de Areia: o molde é descartável
- ✓ Molde permanente: o molde é metálico, bipartido.
- ✓ Injeção: o molde é metálico, o metal líquido entra sob pressão.
- ✓ Cera perdida: tanto o molde quanto o modelo são descartáveis.

Figura 3 - Fluxograma das etapas de operação de uma fundição



Fonte: Adaptado de Taylor, 1959 (Fig. 1.10 Flow sheet of typical metal casting operations)

Após última inspeção, o fundido pode ser expedido ou seguir para o processo de usinagem dependendo a especificação.

Do ponto de vista da análise de falhas, essas etapas podem ser agrupadas em duas grandes linhas de estudo:

1. Engenharia: voltada para os problemas relacionados à geometria e dimensões da peça;
2. Metalurgia: voltada para os problemas relacionados à estrutura e propriedades / comportamento do material que compõe a peça.

## **2.2. Descrição da seqüência de operações**

Antes da descrição das etapas de moldagem, algumas considerações iniciais se fazem necessárias.

### **1. Macharia**

Macho é toda porção de areia aglomerada, que após moldagem se apresenta consistente quer por secagem ou, por conseqüência do próprio processo de fabricação. Esta porção de areia assim obtida poderá ser manipulada com certa facilidade e em geral é colocada no molde para compor as partes internas da peça. Em muitos casos, os machos são empregados para conformar as partes externas e reentrantes das peças, que no processo comum de moldagem não poderiam se produzidas. (ABM 1977)

Macho é uma parte do molde fabricada separadamente e colocada em sua cavidade após a extração do modelo para se obter de maneira mais econômica, formas internas ou externas de uma peça e facilitar a construção do modelo (SENAI, 1990).

Com relação à qualidade, algumas características são exigidas de um macho.

- ✓ Resistência mecânica: o macho deve resistir ao esforço de sua extração da caixa e aos esforços de manipulação, transporte e posicionamento na cavidade do molde. Após o fechamento do molde, o macho deve resistir a seu próprio peso e aos esforços estáticos e dinâmicos exercidos pelo metal líquido quando do enchimento da cavidade.



- ✓ Permeabilidade: quando o molde é vazado, o contato com o metal quente provoca liberação de gases que pode causar defeitos de bolhas nas peças. Sendo permeável, o macho facilita a saída dos gases pelas marcações, evitando que os mesmos passem ao metal.
- ✓ Refratariedade: esta propriedade traduz a resistência a temperaturas elevadas. Esta é uma qualidade importante, pois dependendo da sua posição na cavidade, o macho sofre os efeitos da elevada temperatura de metal líquido seja por radiação durante o enchimento, seja por contato direto.
- ✓ Compressibilidade: devido ao fenômeno de contração das ligas no estado sólido, as dimensões das peças fundidas diminuem durante o resfriamento. Em consequência disso, os machos internos sofrem esforços de compressão. Se eles forem muito resistentes e não cederem, as peças podem trincar ou romper. Assim, os machos devem ser compressíveis, ou seja, devem ceder aos esforços de compressão que ocorrem durante a contração do metal no estado sólido.
- ✓ Colapsibilidade: um macho tem boa colapsibilidade quando o mesmo perde a resistência mecânica após a solidificação da peça. Após a queima da resina e catalisador presente na mistura de areia, o macho deve entrar em colapso favorecendo a remoção da areia e limpeza das peças.

Estas características podem ser garantidas através dos ensaios: granulometria; perda ao fogo; resistência à compressão e cisalhamento; tempo de banca; tempo de cura; umidade; permeabilidade e evolução de gases.

## 2. Fabricação do Macho

As informações seguintes se referem a uma das macharias da empresa citada neste trabalho onde são utilizados os processos Cura à Frio (Fenólico Uretânico) e Cold Box (Fenólico Uretânico).

No processo Cura à Frio as receitas de areia são similares às areias para a confecção dos moldes. A principal diferença está nas porcentagens de resina P1 e

P2 e catalisador. Neste caso, trabalha-se com porcentagens maiores, pois o fluxo do processo é bem mais rápido e necessita de tempos de cura menores.

Define-se tempo de cura como o intervalo de tempo em que o molde (peça ou macho) deve permanecer após sua preparação, para que seja desmoldado sem risco de quebra do bolo.

O equipamento utilizado para homogeneização da mistura é um misturador do tipo contínuo com capacidade nominal de 3 toneladas / hora. Este equipamento é regulado diariamente para que a mistura seja preparada conforme especificação.

No processo Cold Box as receitas são compostas por areia de sílica ou areia de cromita nova + resina P1 + resina P2 + Catalisador + óxido de ferro.

O óxido de ferro aqui citado é utilizado como o objetivo de auxiliar a eliminação dos gases que se formam durante o vazamento quando usado com areia de cromita. Quando o mesmo é usado com areia de sílica, além de proporcionar uma melhor absorção de gases, auxilia também na compensação da dilatação térmica.

Um misturador do tipo contínuo com capacidade nominal de 2 toneladas / hora alimenta a máquina sopradora automática.

No processo de confecção manual, coloca-se no interior da caixa de macho a areia e com um socador, em geral um tarugo de madeira, ou mesmo com as mãos e os dedos, a areia é compactada. Em algumas situações são colocados armações metálicas no interior do macho para aumentar sua rigidez.

Pela abertura da caixa, consegue-se retirar a massa de areia socada que constitui o macho.

Dependo do processo de areia usado na confecção, logo após sua extração, o macho poderá ser pintado ou deverá aguardar o tempo indicado para a pintura.

### 3. Tintas Refratárias

As tintas de fundição, aplicadas nos moldes e machos, destinam-se a melhorar o acabamento superficial das peças. É comum a utilização da tinta visando o aumento da dureza superficial do molde, pois muitas vezes uma dureza superficial baixa, sujeita o molde à erosão durante o vazamento provocando o defeito conhecido como "lavagem" (ABM 1977).

As tintas refratárias requerem preparação criteriosa. Contém solvente, aglomerante, pó refratário e normalmente um espessador destinado a aumentar a densidade da polpa, favorecendo a suspensão do pó refratário.

Na preparação da tinta, é adicionado gradualmente a água ou o álcool até se obter a densidade desejada. Um agitador mecânico é usado como equipamento na preparação.

A aplicação pode ser feita com spray, pincel, imersão ou lavagem.

Para garantir a qualidade das tintas usadas no processo, alguns ensaios e controles são feitos periodicamente:

- ✓ Peso específico;
- ✓ Densidade aparente;
- ✓ Cobertura, fixação, queima e secagem de tintas;
- ✓ Escoamento de líquidos;
- ✓ Tempo de gel;

Os resultados destes testes e ensaios são dados importantes que podem ser utilizados durante as análises de falha.

### **2.2.1. Projeto de Fundição**

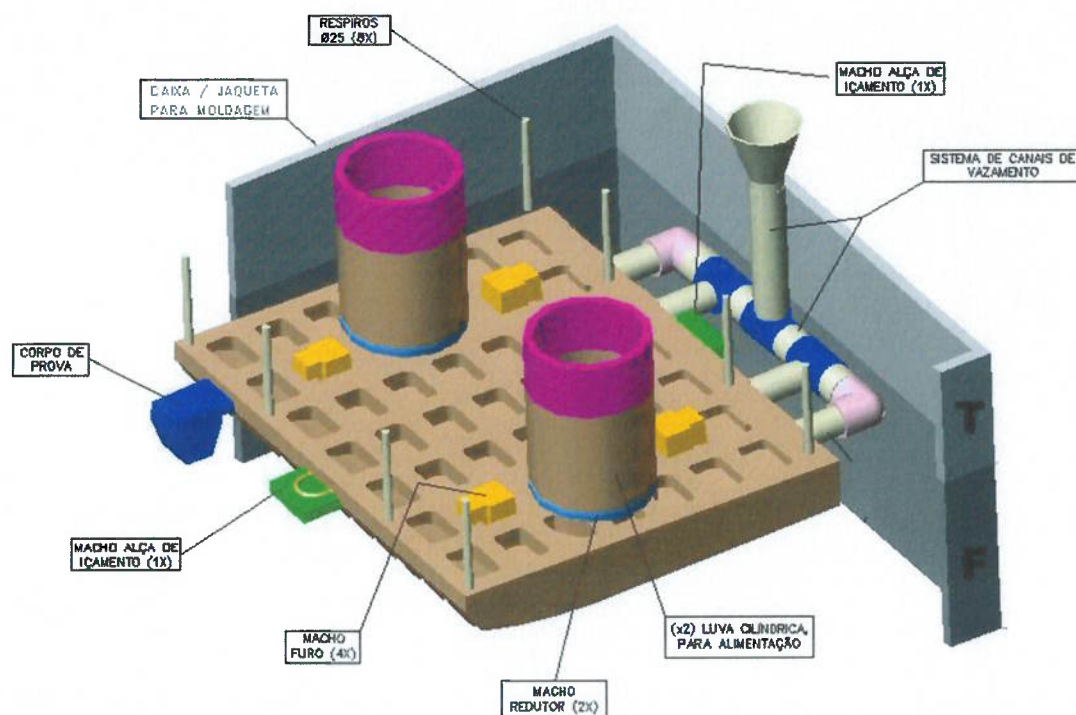
O início do processo de fabricação se dá com o projeto de produto fundido partindo do desenho da peça acabada. Um projeto de produto fundido padrão contém informações para confecção do ferramental (modelos e caixas de macho):

- ✓ Indicação da linha de divisão do modelo (Superior - tampa e Inferior - fundo), e número de cavidades
- ✓ Definição de machos e marcações;
- ✓ Especificação de sobremetal para rebarbação e usinagem;
- ✓ Valor da contração em função da liga especificada;
- ✓ Cálculo da alimentação e posicionamento;
- ✓ Cálculo do sistema de canais de vazamento;
- ✓ Cálculo do sistema de ventilação do molde;
- ✓ Dimensionamento de caixilhos ou caixas de moldagem e armação metálica do molde;

- ✓ Dimensionamento de alívios para diminuir a quantidade de areia usada nas caixas de moldagem;
- ✓ Cálculo e dimensionamento de travas para impedir deformação durante a solidificação e tratamento térmico;
- ✓ Cálculo e dimensionamento de olhais/orelhas de içamento pra movimentação interna e externa das peças.

Após todos os cálculos e definições sobre o produto fundido, são elaborados um desenho para a confecção do ferramental e um desenho esquemático com a montagem dos insumos no modelo conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Modelo com sistema de alimentação e canais de vazamento



Fonte: Material Interno, ECOFUND, 2007

### 2.2.2. Modelagem ou confecção do Modelo

A confecção do modelo é a primeira etapa para a obtenção da peça fundida. O modelo possui dimensões bem próximas às da peça final e tanto o modelo como as caixas de macho podem ser confeccionados em diversos materiais, entre eles, madeira, alumínio, resina, isopor, etc. Também durante o processo de modelação

podem ser confeccionados os dispositivos / gabaritos para controle dimensional final das peças.

### 2.2.3. Moldagem, Macharia e Montagem do Molde

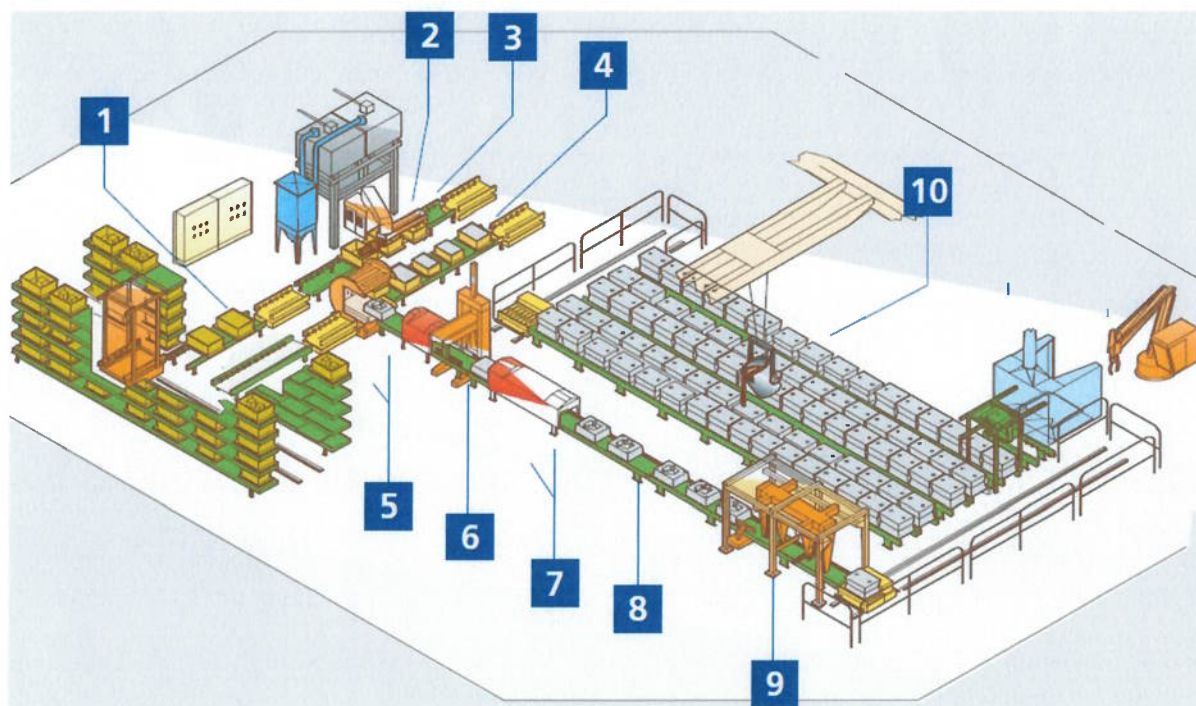
A empresa em estudo possui uma linha de moldagem mecanizada que utiliza o processo de cura a frio (Fenólico Uretânico) com areias de cromita e sílica (nova ou recuperada).

As receitas de mistura de areia são compostas por resina P1 + Resina P2 + Catalisador + Oxido de ferro. As porcentagens de resina e catalisador sobre a porcentagem de areia variam em função do tempo de cura (ou banca) desejado e do tipo de areia (nova ou recuperada).

O equipamento utilizado para homogeneização da mistura é um misturador do tipo contínuo com capacidade nominal de 40 toneladas. Este equipamento é regulado diariamente para que a mistura seja preparada conforme especificação.

A sequência de operações de um setor de moldagem mecanizada está ilustrada na figura 5 e detalhada nos itens de 1 a 9.

Figura 5 - Etapas Moldagem Mecanizada





1 -Troca de modelo: nesta área é feita a substituição do modelo que entrará na linha de moldagem. Em seguida é feita a preparação, na qual o operador posiciona todos os insumos previstos na caixa de moldagem.

2 - Preenchimento: Nesta etapa o operador posiciona o misturador contínuo sobre a caixa, seleciona a receita de mistura de areia a ser usada, efetua o enchimento, envolvendo o modelo com areia de faceamento e camadas sucessivas de areia de enchimento; aciona o sistema vibratório para compactação das camadas de areia na caixa

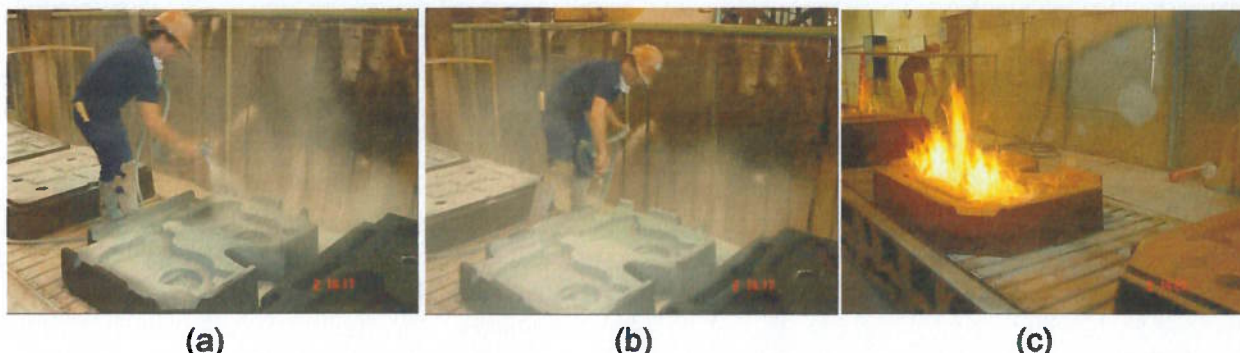
3 - Nivelamento: Nesta etapa o operador faz o nivelamento da superfície do fundo da caixa através de régua de alumínio e libera a placa.

4 - Cura: a partir deste ponto, a caixa passa para outra esteira onde fica aguardando o tempo para a extração do molde. Este tempo, chamado tempo de cura, definido anteriormente como o intervalo de tempo em que o molde, após sua preparação, deve aguardar para que possa ser desmoldado sem risco de quebra do bolo de areia, normalmente varia em função da porcentagem de catalisador usado na mistura (areia, resina, catalisador) e segue a relação: quanto maior a porcentagem, menor o tempo de cura.

5 - Desmoldagem: esta operação consiste em retirar os elementos do modelo salientes na superfície da caixa; levantar, virar e colocar a caixa sobre uma superfície plana; separar o molde da caixa de moldagem. Como se trata de uma moldagem mecanizada, toda a seqüência é feita através de uma máquina chamada Roll-Over. Após a extração do molde, o modelo retorna à linha para a confecção de outros moldes ou segue para a área de troca de modelos.

6 - Pintura: nesta etapa o operador aplica no molde a tinta especificada via pulverização ou pincel. As figuras 6 (a) e (b) ilustram a pintura via pulverização.

Figura 6 - Pintura e secagem do molde



Fonte: Material Interno, ECOFUND, 2007

7 – Secagem: as tintas utilizadas sobre moldes a base de álcool são secas pelo aquecimento superficial do molde com chama conforme ilustrado na figura 6 (c).

8 - Colocação de machos: esta operação consiste em posicionar e fixar os machos nas cavidades geradas pelas marcações do modelo.

9 – Fechamento: esta operação consiste em posicionar o molde inferior (fundo), centralizar o molde superior (tampa) sobre a mesma placa, rotacionar o molde da tampa (durante a extração do modelo ficou com a face superior virada para a esteira); posicionar em cima do molde do fundo, limpar e vedar os furos de respiros e efetuar o fechamento. Toda esta seqüência é feita através de uma máquina chamada Acoplador, mas pode ser feita manualmente ou com auxílio de pontes rolantes em moldagens manuais.

Após a etapa de fechamento, os moldes seguem para as linhas de vazamento onde serão travados e aguardarão a preparação do metal líquido e posterior vazamento.

#### **2.2.4. Fusão, Vazamento, Desmoldagem**

A Elaboração do Metal é composta pelas etapas de fusão, refino, ligação. Para a fusão podem ser usados ferros-liga, sucata comprada, resíduos provenientes do retorno dos massalotes, sistemas de canais e respiros em fornos elétricos de resistência, elétricos a arco ou elétricos de indução. A ECOFUND possui dois fornos de indução com capacidade de uma tonelada cada um.

O Vazamento é o processo de enchimento das cavidades dos moldes com metal líquido através de panelas de vazamento.

Após a total solidificação do metal dentro da cavidade do molde e resfriamento das peças até a temperatura adequada, ocorre a etapa de desmoldagem, que consiste na fragmentação do molde em areia por vibrações mecânicas para retirada da peça.

A temperatura de vazamento e o tempo de desmoldagem são variáveis importantes no processo de fundição. Sem definições ou controles adequados podem ser causas de alguns defeitos que ocorrem nos fundidos.

#### **2.2.5. Acabamento, Tratamento Térmico e Inspeção final**

A peça desmoldada apresenta partes salientes como canais de vazamento, massalotes, respiros e rebarbas formadas na superfície de separação das caixas. Estas partes salientes devem ser retiradas através das operações de quebra, corte e rebarbação. Nesta etapa podem ser usados martelos pneumáticos, maçaricos ou outras ferramentas manuais.

O processo de tratamento térmico refere-se ao aquecimento e resfriamento das peças em fornos para modificar as propriedades do material.

As etapas de acabamento e ajustagem das peças são realizadas conforme especificação do desenho de produto.

A etapa de controle de qualidade, inspeção final e liberação das peças podem ser realizadas por:

- ✓ Inspeção visual para detectar defeitos visíveis, resultantes das operações de moldagem, confecção e colocação dos machos, de vazamento e limpeza;
- ✓ Inspeção dimensional conforme especificação de Engenharia;
- ✓ Ensaios não destrutivos para liberação das peças (líquido penetrante, partículas magnéticas, ultrassom);

Em geral, as fundições possuem dois laboratórios para inspeção de materiais, o de areias para verificação dos insumos usados na moldagem (areia, tintas, resinas, etc) e o Laboratório metalúrgico onde são liberadas as corridas da Aciaria,



verificado a qualidade de todos os insumos usados no processo de fusão e liberação das corridas de tratamento térmico.

### **2.3. Defeitos em peças fundidas**

Considerando defeitos como todas as imperfeições geradas pelo processo de fundição, neste trabalho serão abordados apenas os defeitos externos e visuais, decorrentes das etapas descritas até aqui, pois os defeitos provenientes exclusivamente do processo de elaboração do metal merecem um estudo a parte.

#### **2.3.1. Fundamentos Sobre a Teoria da Solidificação**

Segundo Muller (2002) a solidificação é a descrição científico-tecnológica da transformação de um material da fase líquida para a fase sólida. Embora represente o estudo genérico dessa transformação em todo o campo dos materiais, ela está mais associada ao estudo dos metais e suas ligas, devido à importância que ela exerce sobre as estruturas e propriedades dos mesmos e, também, à escala pela qual são produzidos os metais na indústria moderna.

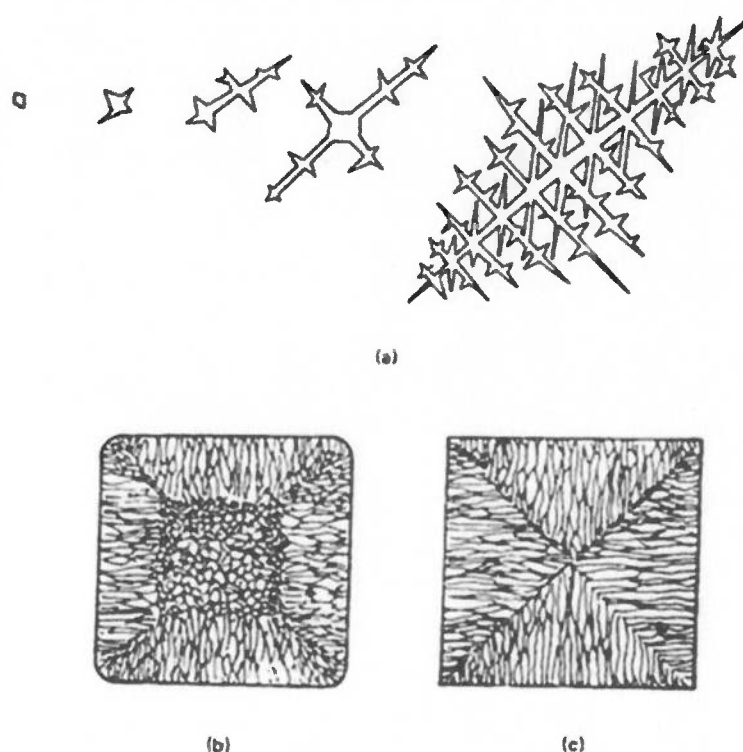
Segundo Kondic (1973), a solidificação de um líquido metálico é o foco de todo o processo de fundição. Sendo um processo de mais curta duração, porém de importância vital. O problema metalúrgico e subsequentemente de examinar e avaliar as propriedades das peças fundidas está relacionado com o objetivo e o sucesso do processo de solidificação. O controle metalúrgico da solidificação tem como principal objetivo a obtenção da estrutura metalográfica desejada na peça fundida.

A solidificação é composta dos processos de Nucleação e Crescimento de Cristais a partir de um líquido.

De acordo com Chiaverini (1986), durante a cristalização surgem as primeiras células cristalinas unitárias, que servem como “núcleos” para o posterior desenvolvimento ou “crescimento” dos cristais, dando finalmente, origem aos grãos definitivos e à estrutura granular típica dos metais. Esse crescimento dos cristais não

ocorre de maneira uniforme, a velocidade de crescimento não é a mesma em todas as direções e pode variar de acordo com os diferentes eixos cristalográficos; no interior dos moldes, o crescimento é limitado pelas paredes destes. Os núcleos metálicos e os grãos cristalinos originados adquirem os aspectos representados na figura 7.

Figura 7 - Núcleos metálicos e grãos cristalinos originados durante a Solidificação



Fonte: Chiaverini (1986)

A Figura 7(a) mostra o desenvolvimento e a expansão de cada núcleo de cristalização, originando um tipo de cristal que poderia ser assimilado a uma árvore com seus ramos; a esse tipo de cristal dá-se o nome de dendrita.

As dendritas formam-se em quantidade cada vez maiores até se encontrarem; o seu crescimento é então, impedido pelo encontro das dendritas vizinhas, originando-se os grãos e os contornos dos grãos, que delimitam cada grão cristalino, formando a massa sólida.

A figura 7(b) mostra o caso particular da solidificação de metal no interior de molde metálico, nesse caso, a solidificação tem início nas paredes com as quais o metal líquido entra imediatamente em contato; os cristais formados e em

crescimento sofrem a interferência das paredes do molde e dos cristais vizinhos, de modo que eles tendem a crescer mais rapidamente na direção perpendicular às paredes do molde.

A figura 7(c) mostra o efeito dos cantos na cristalização com o uso de molde metálico que, devido a grupos de cristais crescendo em paredes adjacentes, se encontram em planos diagonais.

Estes planos formados durante a solidificação podem resultar em efeitos indesejáveis pelo fato de constituírem regiões de maior fragilidade onde podem, durante as operações de conformações, surgir fissuras que inutilizam o material.

### **2.3.2. Defeitos de Solidificação**

Para Muller (2002), a maioria dos metais puros, com a exceção do Bismuto, a densidade do sólido é maior do que a do líquido, o que provoca, no momento da solidificação, uma variação de volume que é chamada de contração.

O déficit volumétrico se soma à contração linear tanto do líquido quanto do sólido, o que resulta numa variação total de dimensões entre o volume de líquido de uma cavidade no molde e o do sólido, à temperatura ambiente.

Consideram-se defeitos de solidificação, as imperfeições originadas exclusivamente pelo processo de solidificação, ou seja, estão excluídas aquelas provenientes de causas externas, como “queda do bolo”, “rabo de rato”, bolhas de gases, etc.

Os principais defeitos internos de solidificação são:

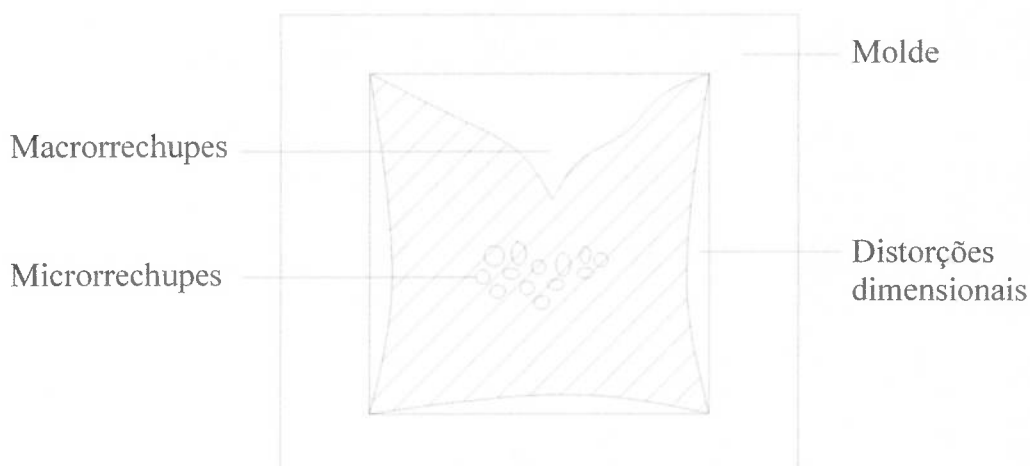
- ✓ **Macrorrechupes** (“pipes”) são vazios concentrados, situados normalmente nos centros geométricos de peças regulares, ou em vértices de ângulos e concordâncias.
- ✓ **Microrrechupes** ou porosidades são defeitos de pequeno tamanho, encontrados nas regiões dos pontos quentes ou disperso em toda peça. Tendem a ser confundidos com defeitos provenientes da evolução de gases que ocorrem, aparecem nos mesmos locais. São típicos de ligas com alto intervalo de solidificação.

Como defeito externo, as distorções podem ser citadas, que são desvios dimensionais provocados por diferenças de taxas de resfriamento que ocasiona

contração diferenciada nas paredes de uma peça com módulos diferentes (cantos, superfícies planas, seções grossas e finas, etc.).

A figura 8 traz a representação dos principais defeitos de solidificação.

Figura 8 - Principais defeitos de solidificação



Fonte: Muller (2002)

De acordo com Chiaverini (1986), além dos vazios ou chupagens – a contração verificada na solidificação pode ocasionar: aparecimento de trincas a quente e aparecimento de tensões residuais.

As tensões residuais podem ser controladas por adequado projeto da peça, e podem ser eliminadas pelo tratamento térmico de “alívio de tensões”.

Os vazios ou chupagens que constituem a consequência direta da contração podem também ser controlados ou eliminados, mediante recursos de projetos adequados.

### 2.3.3. Defeitos em Peças Fundidas

Defeitos de fundição geralmente não são acidentes; eles ocorrem porque alguma etapa no processo de fabricação não foi ou está devidamente controlada.

Fusão, fundição e solidificação de metais compreendem muitas operações complexas e o controle perfeito é impossível. Estudar estes defeitos é importante principalmente para reconhecer suas causas e definir controles apropriados (TAYLOR, 1959).

De acordo com a AFS (1974), os defeitos visuais em peças fundidas podem ser classificados em:

1 - Protuberância metálica (com ou sem mudança na forma geométrica da peça) - defeito como rebarba metálica ou em ângulo ocasionada por folgas entre machos e moldes, fechamento inadequado, qualidade da mistura de areia ou pela quebra de machos durante o fechamento e vazamento; veimento ocasionado por rachaduras ou fissuras no molde; rebarbas planas ocasionadas pelo levantamento do molde durante o vazamento (travamento inadequado); erosão de areia ocasionada pela qualidade da mistura de areia, compactação e projeto de sistema de canais.

2 – Cavidades – defeitos como porosidade de gases provenientes do metal ou provenientes dos materiais que constituem os machos e moldes; porosidades de rechupe (vazio ou chupagem) ocasionadas pela contração volumétrica como resultado da solidificação do metal, gases desprendidos pelo molde em combinação com a pressão atmosférica, deformação dos moldes por sua dilatação, devido a altas temperaturas de vazamento e da pressão metalostática, composição química e projeto de alimentação inadequado.

3 – Trincas –descontinuidades na peça cujo aspecto da fratura não é oxidado ocasionadas pelo manuseio durante a desmoldagem, quebra de canais ou transporte, esforço excessivo durante operações de acabamento ou usinagem; descontinuidades na peça cujo aspecto da fratura é oxidado ocasionadas pela movimentação ou desmoldagem prematuras, batidas no molde durante a solidificação.

4 – Defeitos superficiais – em função da ocorrência de reação metal-molde seja pela temperatura de vazamento, velocidade de preenchimento da cavidade, compactação inadequada ou até mesmo pela granulometria da areia usada na mistura pode levar a defeitos superficiais como sinterização de areia, penetração de metal ou entranhamento, erosão, rabo de rato, escamas ou crostas. Ainda nesta linha de defeitos, em função da compactação inadequada, qualidade da mistura de areia ou travamento do molde, podem ocorrer esmagamento (quando uma parte do molde se desprende).

5 – Peças incompletas – tipo de defeito ocasionado pela falta de fluidez do metal líquido, devido a baixa temperatura de vazamento, preenchimento da cavidade

lento em decorrência do projeto de sistema de canais, permeabilidade da areia baixa, respiros e canal de subida mal dimensionados, quantidade insuficiente de metal líquido na panela de vazamento, interrupção no vazamento; ou molde vazado ocasionado pela estanqueidade insuficiente do molde ou resistência inadequada das paredes de moldes e machos, vedação ou travamento inadequados.

6 – Dimensões ou forma incorreta –ocasionadas pela deformação devido à contração por obstáculos que impedem a contração como geometria da peça, massalote e/ou canais, partes do molde ou macho; alívios de molde inadequados.

7 – Inclusões – de escória ocasionadas por adições ao banho metálico não dissolvidas ou desprendimento dos materiais do forno, panela, bica de vazamento, etc;

Como já mencionado anteriormente, todos estes defeitos estão relacionados aos cuidados e controles durante o processo de fundição.

## **2.4.Ferramentas e técnicas para análise de falhas**

### **2.4.1. Técnica do 5W2H**

De acordo com Oliveira (2008), o objetivo da técnica 5W2h é facilitar a descrição de uma atividade, plano ou programa, que precisam estar bem definidos para sua correta execução.A técnica é constituído de sete perguntas, utilizadas para implementar soluções:

- 1) *What* - O quê? (deve ser feito) Qual o assunto? Qual a atividade? O que deve ser medido? Quais os resultados? Quais atividades? Quais os insumos necessários?
- 2) *Who*? Quem? (quem são os responsáveis pela execução) Quem conduz a operação? Qual a equipe responsável?
- 3) *Where*?Onde? (setor / local em que deve ser executado). Onde a operação será conduzida? Em que lugar?
- 4) *When*? Quando? (ocasião em que deve ser executado) Quando será feito? Quando será o início da atividade? Quando será o término?

- 5) *Why?* Por quê? (por que deve ser executado). Por que a operação é necessária?
- 6) *How?* Como? (de maneira deve ser executado). Como conduzir a operação?
- 7) *HowMuch?* (para executar) Quanto custa realizar a mudança? Quanto custa a operação atual? Qual é a relação custo / benefício?

#### **2.4.2. Estratificação**

Ainda de acordo com Oliveira (2008), o objetivo da técnica estratificação é facilitar a análise de um resultado ou característica subdividindo seus dados em grupos e subgrupos (estratos) com características comuns e comparar a influência de cada um no resultado.

A técnica é constituída pela seguinte seqüência de execução:

- ✓ Determinar a característica ou resultado a ser analisado.
- ✓ Coletar dados
- ✓ Agrupar os dados por tipo, local, turno, defeito, dia, disciplina, etc.
- ✓ Comparar os resultados.

Para facilitar a análise, a apresentação gráfica dos resultados é recomendada.

### **3. APRESENTAÇÃO DO CASO**

#### **3.1. Caracterização da empresa**

A ECOFUND foi fundada em 1982 e desde então vem conquistando expressivo crescimento. Instalada numa área de 6000 m<sup>2</sup>, está localizada no distrito industrial da cidade de Indaiatuba, região privilegiada com malha logística desenvolvida, próxima a vias de acesso rodoviário e hidroviário que a ligam aos grandes centros de consumo. Está a vinte quilômetros do Aeroporto Internacional de Viracopos na cidade de Campinas e a quarenta e três quilômetros do EADI (Estação Aduaneira Interior). Sua localização facilita o acesso às fontes de suprimentos, fornecedores de matéria-prima, mão-de-obra qualificada, universidades e centros de pesquisa.

A ECOFUND é uma empresa especializada em fundição de peças de pequeno e médio porte com capacidade instalada para 3600 toneladas anuais de peça acabada utilizando o processo de fundição por gravidade em molde de areia.

Em parceria constante com os clientes, a empresa está comprometida em fornecer materiais com alta confiabilidade e elevado padrão de desempenho para as áreas de gás, petróleo, automotiva, máquinas agrícolas, construção civil e ferroviária.

A empresa procurando manter seu nível de competitividade tem investido em inovação e tecnologias como meio para a melhoria da qualidade, redução de custos de produção, redução dos prazos de entrega e ampliação da produção.

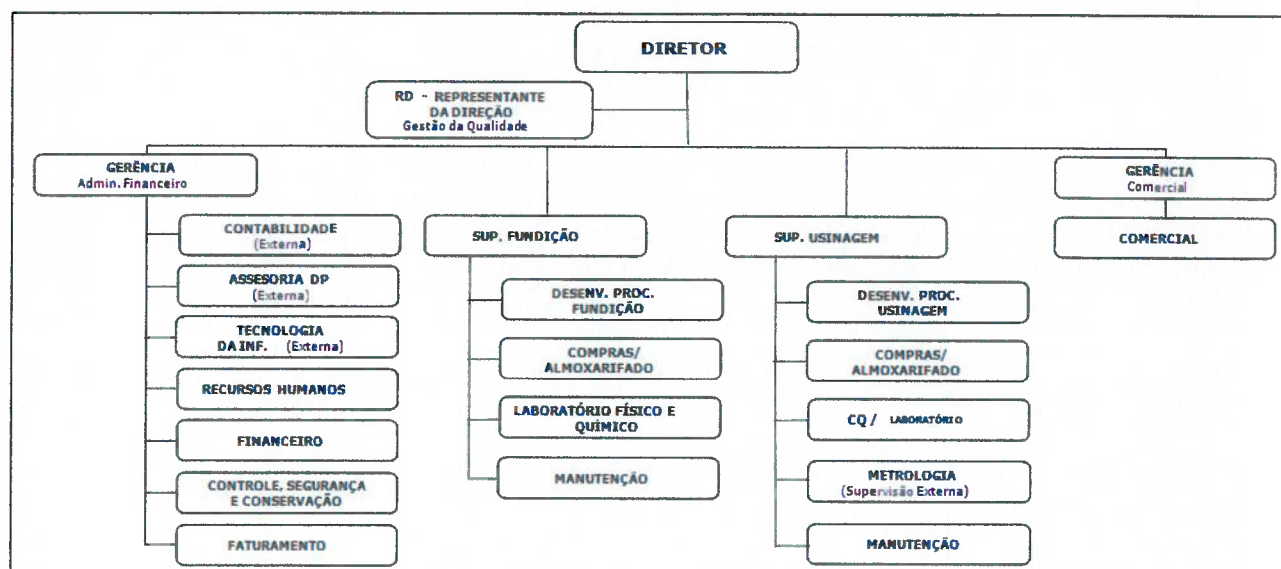
A ECOFUND garante a qualidade do metal que produz com dois fornos de indução com capacidade de uma tonelada cada, com o banho controlado por análise elementar através de espectrometria de emissão ótica. O acabamento superficial das peças é obtido com o controle periódico da mistura areia, resina e catalisador usada na confecção dos moldes e também a aplicação de tintas refratárias ao molde pronto. De acordo com a necessidade do cliente, as peças podem ser expedidas pintadas, granalhadas ou até mesmo usinadas.



### 3.1.1. Organograma

A estrutura organizacional da empresa é representada, de forma resumida, conforme a figura 9.

Figura 9 - Organograma da Empresa



Fonte: Material Interno, ECOFUND, 2015

A ECOFUND está organizada em departamentos e é dirigida pelo Diretor sócio que acompanha de perto todas as atividades a fim de garantir o cumprimento das estratégias para a continuidade do negócio.

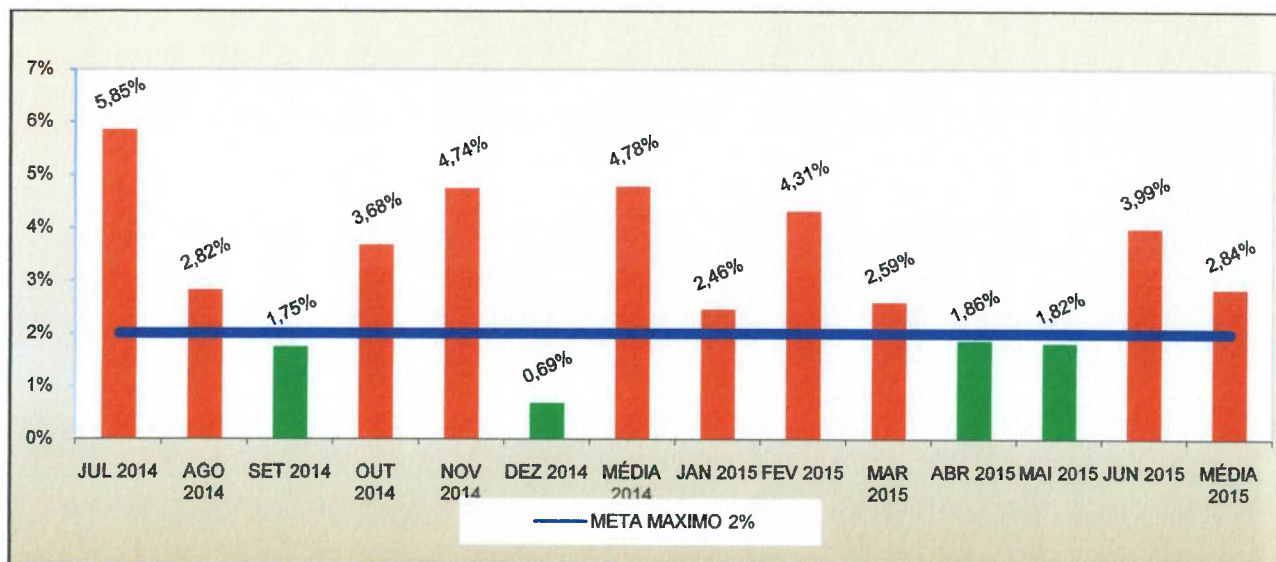
### 3.2. Estado inicial (Estatísticas das falhas, método de análise atual)

A ECOFUND está no mercado há mais de trinta anos. Durante todo este tempo o desenvolvimento dos processos de fabricação para a redução da variabilidade e das falhas decorrentes destas variações sempre foi um grande desafio.

O volume de produtos não conforme e o não cumprimento do prazo de entrega combinado com o cliente são os principais efeitos destas variações. As figuras 10, 11 e 12 ilustram a situação da empresa com relação aos índices de refugo, número de reclamações de clientes e atendimento nos últimos doze meses.

O resultado negativo para estes indicadores reforça a importância e necessidade do presente trabalho.

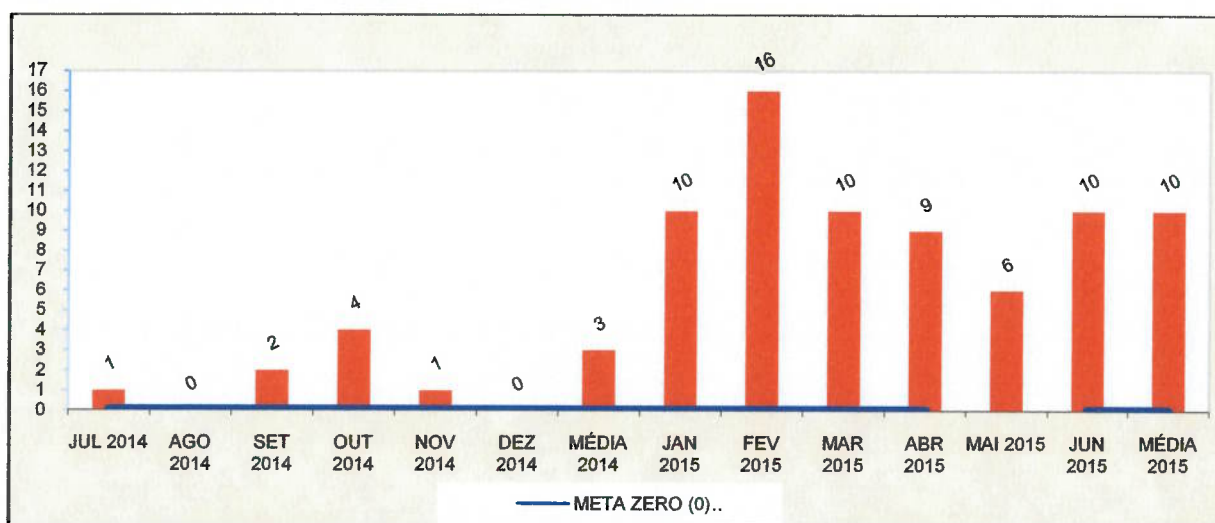
Figura 10 - Gráfico de Percentual de Refugo 2014/2015 – Processo Fundição



Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Apesar de ter fechado o ano de 2014 com o resultado de 0,69% no mês de Dezembro, a média do ano ficou bem acima da meta de 2% definida para o refugo, o mesmo resultado vem se repetindo no ano de 2015.

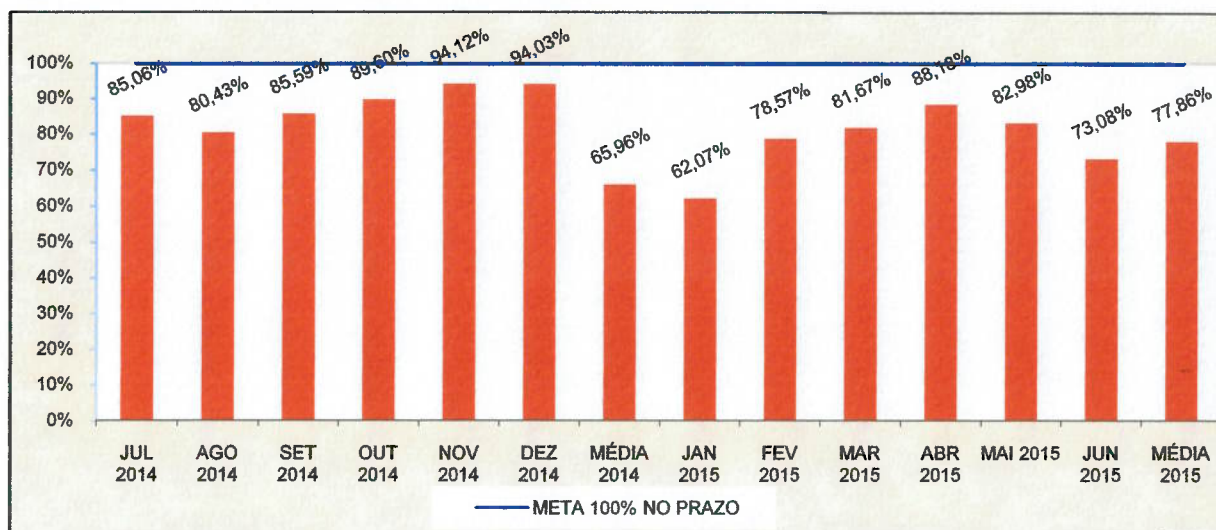
Figura 11 - Gráfico de Reclamação de Clientes 2014/2015



Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

O número de reclamações em 2015 disparou, evidenciando o tratamento inadequado das falhas e a falta de ações que realmente resolvam os problemas.

Figura 12 - Gráfico de Performance de Entrega de 2014/2015



Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Os produtos não conforme identificados durante o processo de fabricação ou inspeção são segregados e identificados para análise. A análise acontece diariamente através da reunião de falhas, onde, participam os supervisores dos processos Moldagem, Aciaria, Acabamento, Inspeção, Engenharia e Planejamento, os quais analisam as não conformidades, definem as ações de contenção / correção e decidem pela abertura ou não de um formulário RACAP (relatório de ação corretiva/ preventiva), tendo como base, a quantidade de peças refugadas em relação ao total produzido, criticidade do item, tamanho, peso, liga e reincidência.

Os supervisores são os responsáveis por implementar as ações nas áreas e todas as não conformidades são registradas em uma planilha eletrônica dentro do Sistema de Gestão da Qualidade. São mantidos apenas dados como data, item, material, descrição, defeito, quantidade do lote, quantidade com defeito, peso e cliente. Se a decisão do grupo que fez a análise for de não abrir o formulário RACAP, as ações não são registradas.

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Plano para análise de falhas

O início do trabalho para definição de um novo formato de registro das análises de falhas realizadas, bem como as ações propostas, começou com a realização de várias reuniões com a equipe que participa da reunião de falhas para diagnóstico da situação atual, na qual foi possível comparar os procedimentos atualmente utilizados com padrões de referência, realizar plano de ação para equacionar os problemas detectados no diagnóstico e estabelecer procedimentos de melhoria.

Os itens considerados na avaliação foram: procedimentos específicos, método de trabalho, equipamentos e materiais.

Algumas características específicas dos processos foram analisadas: produtos únicos e não produzidos em série; não é possível produzir com as peças passando por funcionários fixos; mão-de-obra pouco qualificada; com poucas possibilidades de promoção e baixa motivação para o trabalho; algumas etapas do processo são realizadas sob condições extremas (poeira, ruído, temperatura).

Especificações simplificadas com poucos detalhes, as responsabilidades não são definidas entre os operadores, operações manuais com baixo grau de precisão e alguns materiais são usados sem inspeção de recebimento foram os primeiros pontos de melhoria discutidos.

Dentre as necessidades mais urgentes foram listados:

- ✓ Definir autoridade e responsabilidades entre os membros das equipes.
- ✓ Formalizar processos administrativos com fluxo de informações na operação.
- ✓ Revisar método de análise de falhas atual, nivelar informações teóricas.
- ✓ Disponibilizar dados de controles formais existentes.
- ✓ Combater a não conformidade intencional (identificar, política de consequências).
- ✓ Garantir informações atuais sobre os resultados da Qualidade para as equipes operacionais.

Além da sequência de tarefas para implementar as ações que atacarão as necessidades mais urgente, a equipe definiu o novo padrão que as análises seguirão



incluindo o controle de ocorrências, registro de ações e procedimento específico para tratamento das falhas internas.

### 3.3.2. Codificação dos defeitos por tipo

A equipe criou uma lista com códigos para cada defeito a fim de facilitar os registros em planilhas e filtros para as análises. Os defeitos com os respectivos códigos estão indicados na tabela 3.1.

Tabela 3. 1 - Lista de Códigos de Defeitos

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO DEFEITO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO DEFEITO
41	RECHUPE	17	SINTERIZAÇÃO
39	SEGREGAÇÃO	5	MACHO QUEBRADO
24	FALTOU ENCHER	40	MACHO DESLOCADO
4	QUEBRA ALTA	23	FALTA DE MACHO
3	QUEBRA BAIXA	26	CX VAZADA/ ESTOURADA
10	TRINCA	42	FUNDO DE PANELA
11	DESENCONTRO	47	COMPOSIÇÃO QUÍMICA
46	EMPENAMENTO	20	DUREZA ALTA
25	FALTA/ EXCESSO DE MATERIAL P/ AJUSTE	27	DUREZA BAIXA
34	OVALIZAÇÃO	22	FALTA DE IDENTIFICAÇÃO (RASTREABILIDADE)
45	ENGROSSAMENTO	15	ACABAMENTO
14	REBARBA	13	DESLOCAMENTO
12	DIMENSIONAL BRUTO	31	REAÇÃO METAL MOLDE
28	DIMENSIONAL USINADO	7	DEFORMAÇÃO
38	INCLUSÃO DE AREIA	1	BOLO ESTOURADO
32	INCLUSÃO NÃO METÁLICA	21	IDENTIFICAÇÃO ENTRANHADA
43	INCLUSÃO DE ESCÓRIA	2	QUEBRA NO MANUSEIO
36	REOXIDAÇÃO	44	DEPRESSÃO
9	SOPRO DE MACHO	37	BATIMENTO
35	POROSIDADE	9999	OUTROS
19	MARTELADO	29	INCLUSÃO METÁLICA
18	BOLSA DE GÁS	2	QUEBRA NO MANUSEIO
8	JUNTA FRIA	44	DEPRESSÃO
30	ENTRANHAMENTO	37	BATIMENTO
16	VEIAMENTO	9999	OUTROS
6	MOLDE QUEBRADO	29	INCLUSÃO METÁLICA

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

### **3.3.3. Tabela padrão para análise de falhas.**

Durante as reuniões foi criada uma tabela para cada defeito listado na tabela 3.1. Estas tabelas serão utilizadas como ponto de partida para todas as análises de falhas da unidade.

Visando a padronização das análises de falha, cada tabela relaciona:

- ✓ Código do defeito
- ✓ Descrição do defeito
- ✓ Tipo de defeito
- ✓ Principais causas
- ✓ Registros a serem consultados durante a análise

As tabelas 3.2 a 3.7 exemplificam para os defeitos bolsa de gás, porosidade, acabamento, rechupe, reoxidação e inclusão de escória, como as análises serão direcionadas para as causas e quais registros deverão ser consultados. As tabelas referentes aos demais defeitos estão disponíveis para consulta no apêndice A.

Tabela 3. 2 – Causas e registros Bolsa de Gás

ITEM	DEFEITO	TIPOS	CAUSAS	REGISTROS
18	BOLSA DE GÁS	Ar aprisionado	obstrução de respiros	<p>Chegar abertura dos respiros (boa prática fechamento) - item de check list de fechamento</p> <p>Aplicação de estopa por dentro do molde - item de check list de fechamento</p> <p>Queimar a estopa antes do vazamento - item de check list de vazamento</p> <p>Verificação do ferramental no recebimento da moldagem - item de check list de moldagem (quem receber o ferramental deve verificar e assinar o check list). Respiros aplicados conforme prática de moldagem / projeto fundido - item de check list de moldagem</p> <p>Registros de controles de areia (confirmar frequência)</p> <p>Registro da receita de areia utilizada para moldar (uso de oxido de ferro) - item de check list de moldagem</p> <p>Avaliar dados do relatório de vazamento (cronometrar e marcar o tempo, peso, válvula (real p/ cada etiqueta)</p>
			Falta de respiros	
			Baixa permeabilidade da areia	
			Velocidade de vazamento (tempo de vazamento)	
			Geometria dos canais (pressurização / geometria / projeto)	<p>Avaliar projeto fundido / prática de moldagem</p> <p>Preparação e montagem de canais conforme prática de moldagem (informar qtd de manilhas usadas; relatar divergência) - item de check list de moldagem</p>
			Altura de vazamento	Relatório de vazamento
			Controle de abertura da válvula durante o vazamento	<p>Avaliar dados do relatório de vazamento (relatar afogamento e toda parada que for dado na válvula, cronometrar)</p>
			Excesso de resina	Registro de aferição de resina (carta de CEP)
			Temperatura da areia	<p>Registro do controle de temperatura da areia</p> <p>*Implementar medidor e registro de oscilação da temperatura da areia (atingiu a temperatura da faixa estabelecida, soar um alarme ou aviso) falar com a manutenção</p>
			Umidade da areia	<p>Registro de controle umidade (*implementar controle automático)</p> <p>Excesso de desmoldante (*definir procedimento de aplicação) - item de check list de moldagem</p> <p>Condições do modelo (molhado, úmido) - item de check list de moldagem (quem receber o ferramental deve verificar e assinar o check list) * implementar único documento para depósito de modelo e moldagem um assina o do outro</p>
			Baixa permeabilidade da areia do macho	Registros de controles de areia (confirmar frequência)
			Sistema de respiro do macho	Avaliar projeto fundido / prática de moldagem
			Excesso de cola / catalisador (macho / molde)	Relatar qualquer utilização de cola / catalisador no check list - item de check list de fechamento
			Sopro de escória	Gases causados por sopro de escória, gerado pela turbulência ou pela escoria protetora.

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Tabela 3. 3 – Causas e registros Porosidade

ITEM	DEFEITO	TIPOS	CAUSAS	REGISTROS
35	POROSIDADE	Nitrogênio	Nitrogênio (teor na areia recuperada)	Limite controle através da análise de nitrogênio na areia (feito em laboratório externo - definir frequência)
			Nitrogênio (teor no banho)	Durante o vazamento colocar FeSiZr (relatar o peso adicionado na panela)
			Contaminação em ferro liga (ferro liga nitrogenado, FeMn e outros)	Resultado da análise química do lote de material - Laboratório Metalúrgico
			Vazamento lento do forno para panela (absorção de ar)	Dados relatórios no boletim de fusão do forno
		Hidrogênio	Absorção de hidrogênio (umidade no forno - cal, ferro liga, sucata)	Medida de hidrogênio um aparelho hydric (programar lução Budget Aciaria)
			Vazamento lento do forno para panela	Dados relatórios no boletim de fusão do forno
			Aquecimento / Secagem da panela	Dados relatórios no check list de preparação da panela
			Escória ácida (reação neutralização escoria c/ tijolo do forno que é básico)	Dados relatórios no boletim de fusão do forno (amostra com composição química e basicidade da escoria - "definir critérios de teste") Avaliar desgaste do forno, coloração da amostra de escória.
			Umidade da areia	Dados do ensaio de umidade
			Presença de água na linha de ar comprimido (mistura de tinta)	Dados de inspeção de processos (implementar índice ou diário de bordo de inspeção com os códigos e sequências das peças observadas durante inspeção)
			Excesso de tinta (camada grossa)	Dados de inspeção de processos (implementar índice ou diário de bordo de inspeção com os códigos e sequências das peças observadas durante inspeção)
			Secagem da tinta no molde / mecho	Dados de inspeção de processos (implementar índice ou diário de bordo de inspeção com os códigos e sequências das peças observadas durante inspeção)
			Umidade do ar	Dados relatórios no controle dos misturadores
			Excesso de cola	Dados do check list de fechamento do molde (reparos, macho colado)
			Excesso de resina	Resultado do ensaio de perda ao fogo
			Água por sobre o molde	Relatos do relatório de revisão de obra (implementar)



Tabela 3. 3 – Causas e registros Porosidade

ITEM	DEFEITO	TIPOS	CAUSAS	REGISTROS
35	POROSIDADE	Oxigênio	Desoxidação no forno (parcial)	Dados relatados no boletim de fusão do forno, tempo entre bloqueio com FeSi e o vazamento do forno
			Desoxidação na panela	Dados relatados no boletim de fusão do forno, quantidade de Alumínio adicionada na panela. Medida de celox (estabelecer critério para uso do celox). Dados de composição química final da panela (teor de alumínio)
			Turbulência	Aspiração de ar durante o vazamento
		Ar aprisionado	Obstrução de respiros	Check abertura dos respiros (boa prática fechamento) - item de check list de fechamento
			Estopa	Aplicação de estopa por dentro do molde - item de check list de fechamento
			Falta de respiros	Queimar a estopa antes do vazamento - item de check list de vazamento
				Verificação do ferramental no recebimento da moldagem - item de check list de moldagem (quem receber o ferramental deve verificar e assinar o check list)
				Respiros aplicados conforme prática de moldagem / projeto fundido - item de check list de moldagem
			Baixa permeabilidade da areia	Registros de controles de areia (confirmar frequência)
				Registro da receita de areia utilizada para moldar (uso de oxido de ferro) - item de check list de moldagem
			Velocidade de vazamento (tempo de vazamento)	Avaliar dados do relatório de vazamento (cronometrar e marcar o tempo, peso, válvula (real p/ cada etiqueta)
				Avaliar projeto fundido / prática de moldagem
			Geometria dos canais (pressurização, geometria / projeto)	Preparação e montagem de canais conforme prática de moldagem (informar tipo de manilhas usadas; relatar divergência) - item de check list de moldagem
			Controle de abertura de válvula durante o vazamento	Avaliar dados do relatório de vazamento (relatar afogamento e toda a peça que for dada na válvula, cronometrar)
			Faltou encher completamente	

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Conclusão.

Tabela 3. 4 – Causas e registros Acabamento

ITEM	DEFEITO		CAUSAS
15	acabamento	Não cabe análise de registro.	falha operacional
			Tentativa de eliminação de algum problema, ocasionando em retirada excessiva de material

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Tabela 3. 5 – Causas e registros Rechupe

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
41	rechupe	Alimentação insuficiente ou mal posicionada	Projeto Fundido
		Temperatura de vazamento baixa (impedindo a alimentação da peça pelo massalote, devido ao metal estar solidificando)	Processos / vazamento
		Temperatura de vazamento alta (alto volume pela temperatura, durante solidificação o colume reduz)	
		Pontos quentes. (cromitar)	Projeto Fundido
		Mudanças muito bruscas nas dimensões da peça	Projeto Fundido
		desalinhamento de luvas	Moldagem
		ratio impróprio do pescoço do massalote à área da peça	Projeto Fundido
		Trocar luvas na moldagem	Check list da moldagem
		Aplicação de resfriadores	Check list da moldagem
		Falta de pó isotérmico	Registro do diário de bordo da quebra (segregar luvas ao identificar falha / massalote liso, maço)
		Vazar menos metal na peça	Registros do relatório de vazamento
		Inchamento (paredes do molde estufa)	Relacionado a resistência do molde (registros da areia), baixa relação areia/metal - avaliar projeto fundido
		Qualidade / especificação da luva	Avaliar certificado do fornecedor (tempo de ignição)
		Projeto fundido (termico e volumétrico)	Avaliar projeto fundido

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Tabela 3. 6 – Causas e registros Reoxidação

ITEM	DEFEITO	CAUSAS 1º NÍVEL	REGISTROS
36	Reoxidação	Inclusões de óxidos em peças de aços fundidos	
		turbulência no vazamento	relatório de vazamento (pedindo a marcação do diametro das valvulas utilizadas, tempo de vazamento, peso vazado) Matheus e Montini analisando implementação
		Teor de Si alto	análise química
		Idem ao 32 (Inclusão não metálica)	

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Tabela 3. 7 – Causas e registros Inclusão de Escória

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
43	Inclusão de escória	Inclusão do varão, se primeira peça a vazar; inclusão de cascão ou escória se última peça a vazar. (ver qtde de metal disponível para vazar, e sobra de cascão e escoria)	rel. de vazamento
		Avaliar relatório da corrida do forno, composição química, ver a relação volume alto de escoriaXtemperatura de vazamento para panelaXtempo de argônio	rel. de fusão
		Avaliar relatório de controle de varões, ver tipo de varão (manilha ou monolítico)	Relatório de varões (em andamento)
		Avaliar relatório com variação de peso programado x vazado	Relatório de vazamento, planejamento

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Durante as reuniões de falhas, a equipe passará a utilizar estas tabelas como guia para identificar os desvios e quais os registros necessários para completar a análise e através da técnica 5W2H, propor as ações de contenção.

Se durante as análises, a decisão for pela abertura do formulário RACAP (relatório de ação corretiva/ preventiva), a equipe passará a usar o formulário revisado prevendo uso de 5W2H. Um exemplo deste formulário pode ser consultado no apêndice B.

### 3.3.4. Plano de Controle e Registros

Ainda como ação resultante das reuniões com a equipe da comissão de falhas, foi criada uma planilha para registro e monitoramento das ações que não serão tratadas via formulário RACAP. Na planilha apresentada na figura 13 foram incluídas colunas para também utilizar a técnica 5W2H e manter o histórico das ações.



Figura 13–Planilha de Registro de Ações sobre Falhas

Nota	Material	Denominação	Grupo	Data da nota	Liga	Sequencia	Qtd.	Cod.	Defeito	Quant. Reincidencia	Quantidade produzida	FA	Peso	maquina	Mold	Participantes
47628	10140549000	REV INF ESPECIAL DA	Outros	1/8/2013	XT 610		1	22	FALTA DE IDENTIFICAÇÃO			FA00549	525	SG6089	503	Nilton, Andre
47636	N55208525	REV BOJO STD M@	Revestimento Bojo	1/8/2013		VIDE DESC	10	47	COMPOSIÇÃO QUÍMICA			FA80713	1387	HP400	501	#N/D
47645	03-156390	ME-VTMEL 1500WB	Hélice	1/8/2013	3F2	313	1	10	TRINCA			FA24544	3474	OMVERT	501	Nilton, Patric
47649	03-525695	ME-VTMWL 3000WB	Hélice	1/8/2013	3F2	163	1	9999	OUTROS			FA24882	4346	OMVERT	501	Nilton, Patric
47651	MM0235780	REV BOJO SPECIAL ST	Revestimento Bojo	1/8/2013	XT 610	163	1	35	POROSIDADE			FA82438	5582	MP800	501	Nilton, Patric
47652	17-502-015-006	MANTA INFERIOR ST	Manta	1/8/2013	XT 520	005	1	30	ENTRANHAMENTO			FA14560	14152	SG60110	501	Nilton, Patric
47661	2X11311187	REVESTIMENTO DO C	Revestimento do Co	1/8/2013	BCD	16/13/07/	5	27	DUREZA BAIXA			FA70165	2197	2233	501	Nilton, Patric
47664	N11948450	MANDÍBULA FIXA QI	Mandíbula	1/8/2013	XT 710	6152	1	24	FALTOU ENCHER			FA40345	1018	C96	503	Nilton, Patric
47668	2X11311187	REVESTIMENTO DO C	Revestimento do Co	1/8/2013	BCD	VIDE DESC	8	27	DUREZA BAIXA			FA70165	2197	2233	501	Nilton, Patric
47669	10130897003	REV BOJO .SPECIAL	Revestimento Bojo	1/8/2013	XT 510	05	1	18	BOLSA DE GÁS			FA30897	2716	HP700	501	Nilton, Patric
47669	10130897003	REV BOJO .SPECIAL	Revestimento Bojo	1/8/2013	XT 510	05	1	35	POROSIDADE			FA30897	2716	HP700	501	Nilton, Patric
47670	03-156390	ME-VTMEL 1500WB	Hélice	2/8/2013	3F2	321/322	2	30	ENTRANHAMENTO			FA24544	3474	OMVERT	501	Nilton, Patric
47676	03-156390	ME-VTMEL 1500WB	Hélice	2/8/2013	3F2	324	1	30	ENTRANHAMENTO			FA24544	3474	OMVERT	501	Nilton, Patric

Baixa	Disposição	Comentários Comissão de Falhas	What? O que? Etapas	Teve Ação?	Who? Quem? Responsabilidades	When? Quando? Tempo/ Prazo	Setor responsável pela falha	tempo retrabalho	How Much Custo	Analise
Alta		Grupo de porosidades e b		sim	Fantini		Processos			
		#N/D		não	Rafael		aciaria			
		Acompanhar produção (Pr		não	Aureo; Seabra		Processos			
		Solicitar maior tolerancia d		sim	Aureo/ Cossia		Produto			
		grupo de porosidades e b		sim	Aureo		Processos			
		Área deveria ser cromitada		não	Luiz Carvalho		Moldagem			
		Em desenvolvimento de p		não	Fantini		Processos			
		Solicitar ações do Nivaldo		não	Fantini		vazamento			
		Em desenvolvimento de p		não	Fantini		Processos			
		grupo de porosidade e bolsa de gás		sim	Fantini		Processos			
		grupo de porosidade e bolsa de gás		sim	Fantini		Processos			
		Cobrar ações do Luiz Carva		não	Fantini		Processos			
		Cobrar ações do Luiz Carva		não	Fantini		Processos			

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

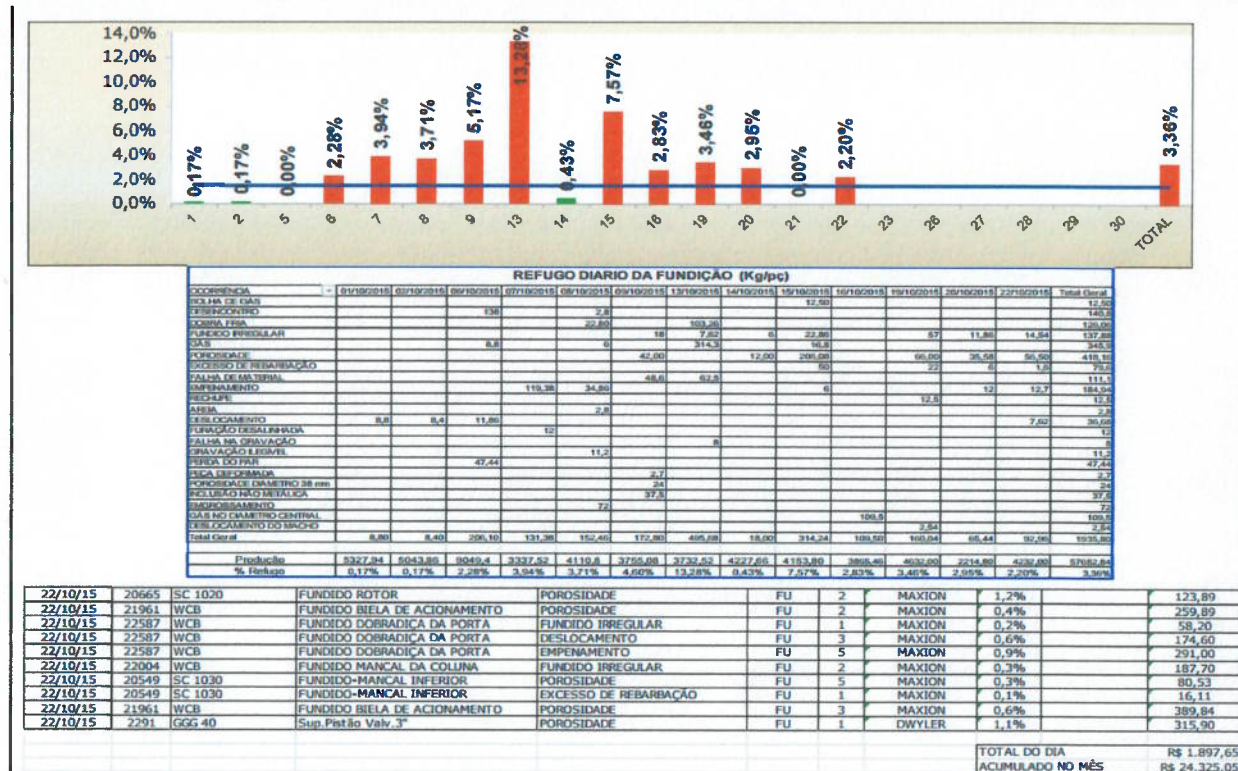
Para este novo formato de análise e registro a equipe formalizou a sistemática de trabalho para as tratativas de falhas internas na fundição através de um procedimento específico dentro do Sistema de Gestão da Qualidade da empresa. Cópia deste procedimento está disponível para consulta no apêndice C.

### 3.3.5. Monitoramento do Indicador de Refugo

Dentre as necessidades levantadas pela equipe durante o diagnóstico da situação atual, a comunicação das informações atualizadas sobre os resultados da qualidade foi apontada.

A fim de manter tanto as equipes operacionais como os gestores com informações atualizadas, foi criado um boletim diário com as ocorrências e valores do refugo. Este boletim é substituído diariamente nos quadros de aviso ficando disponível para a consulta de todos os funcionários. A criação deste boletim, representado na figura 14, facilitou o monitoramento do indicador de refugo.

Figura 14 - Indicador diário de refugo



Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Os resultados esperados com este trabalho são a redução do índice de falha e o seu impacto no número de reclamação e atrasos; aumento da participação da equipe operacional na resolução destas falhas.

#### 4. DISCUSSÃO E PERSPECTIVA

A análise da situação atual referente ao refugo mostrou que a forma como as não conformidades vêm sendo tratadas, bem como as ações de correção ou contenção estão sendo definidas, não estão refletindo positivamente nos indicadores de refugo, número de reclamações de clientes e performance de entrega da empresa estudada.

O resultado do indicador de refugo com o volume de produtos não conforme reflete no número de reclamações, pois como as falhas não estão sendo tratadas adequadamente, há reincidência e o cliente final acaba percebendo as mesmas, aumentando o número de reclamações. Estes fatores foram identificados como motivadores para a perda de pontos na classificação da empresa como fornecedor parceiro, perda de vendas e de clientes.

O indicador de refugo, cuja meta é 2%, fechou o ano de 2014 com 4,78% e a média de janeiro a junho deste ano está em 2,84%.

Para promover efetivamente a redução do refugo se faz necessária uma análise de falhas considerando as relações de causa e efeito associadas às variáveis do processo.

Com desafio de melhorar os resultados destes três indicadores, o grupo responsável pelas análises de falhas fez um levantamento da situação atual da empresa e propôs uma nova sistemática para análise de falhas com possibilidade diagnosticar os defeitos corretamente de modo a promover a prevenção de reincidências no futuro, padronização das análises, redução no tempo entre análise e definição da ação de contenção ou melhoria. Foram considerados os procedimentos específicos e métodos de trabalho das áreas operacionais e também recursos materiais e pessoais disponíveis para os processos na fundição.

Dentre as ações propostas e implantadas estão:

- ✓ A padronização para classificação e tratamento das não conformidades através de tabelas que relacionam as principais causas das falhas e os registros necessários para as análises. Com esta ação espera-se uma redução significativa no tempo de análise e também que as ações cubram os desvios envolvidos nas causas, pois para a definição destas tabelas foram consideradas todas as variáveis de processos apresentadas na

revisão da literatura deste trabalho. O grupo dedicou algumas horas ao estudo da teoria e assim foi possível relacionar os defeitos às causas diretas bem como, os registros necessários às análises sendo estes existentes ou não. Outra expectativa com esta ação é identificar os registros faltantes e gradativamente implementá-los na áreas.

- ✓ Criação de controle de registros através de planilhas. Com esta ação espera-se monitorar melhor os prazos para correção dos desvios, manter histórico de falhas e ações para consultas futuras e análises estatísticas.
- ✓ Criação do boletim diário de refugo. Esta foi uma necessidade identificada no início do levantamento. Com este boletim espera-se manter as informações sobre os resultados de refugo atualizadas facilitando a comunicação e envolvimento das equipes na solução dos desvios.

A tabela 3.8 indica os primeiros resultados das ações. As expectativa dos diretores da empresa é que ainda no primeiro semestre de 2016 o indicador de refugo seja estabilizado e que as equipes possam direcionar os esforços para ações de prevenção.

Tabela 3. 8 – Médias Boletim de Refugo

Boletim Diário de Refugo	
Outubro	3,26%
Novembro	3,00%
Dezembro (Parcial)	1,58%

Fonte: SGQ ECOFUND, 2015

Como sugestão para continuidade deste trabalho, está a análise das etapas do processo propondo plano de controle e registro para as variáveis ainda não controladas e também criação de sistemática para monitoramento do retrabalho que hoje não é controlado na empresa. Assim como o refugo, as operações para a recuperação de peças com falhas também impactam no custo operacional e prazo de entrega.

Com a revisão geral das etapas do processo e implementação de controles para as principais variáveis causadoras de falhas, o grupo responsável pelas análises de falhas pode avançar criando também uma sistemática de auditoria ou inspeção de processos com o objetivo de estar presente diariamente nas áreas

verificando a realização dos controles definidos para conter os desvios e atendimento aos parâmetros especificados pela engenharia nas linhas de produção.

A prática de auditoria de processos é uma ação de prevenção a falha, sendo possível identificar desvios durante o processo e atuar antes de concluir, por exemplo, um lote inteiro com falha.

Este novo padrão para análise de falhas também poderá servir como ponto de partida para a implantação de um sistema informatizado de gestão de falhas e ações através de database ou softwares existentes no mercado.



## 5. CONCLUSÕES

A indústria de fundição no Brasil alcançou patamares que a colocou entre as dez primeiras no mundo. A crise que o país enfrenta atualmente é uma oportunidade para as empresas em geral mudarem não só o formato de gestão, mas também a cultura interna para um maior foco em produtividade.

A empresa utilizada como referência para a elaboração deste trabalho, assim como a maioria do país, vive momentos de baixa demanda e os custos que antes eram tolerados, passam neste momento, a ser perseguidos com o desafio de redução urgente.

A redução dos custos relacionados ao refugo e retrabalho implica no maior controle de todas as etapas do processo e para tanto é necessário conhecer a dinâmica de formação destes defeitos causadores de falhas para iniciar medidas de contenção e prevenção realmente efetivas.

No processo de definição destas medidas de contenção estão as etapas de avaliação da situação atual e diagnóstico com estudo detalhado de cada item do processo considerando os pontos de controle necessários e suas variáveis, principais causas de falhas.

Com as ações definidas e já implementadas foi possível atingir os objetivos propostos neste trabalho, com a estruturação de um sistema de análise de falha com base na teoria existente e relação de causa e efeito associada às variáveis do processo de produção com dados registrados e disponíveis para análise e definição das ações. Permitindo o controle e acompanhamento das variáveis e índices de falha de forma mais prática.

Com esta nova sistemática foi possível envolver todas as equipes nas soluções e também se alcançou o nivelamento do conhecimento entre os participantes da reunião de falhas da empresa. Desta forma, a equipe conseguirá de maneira organizada propor e implantar as tão necessárias ações para redução dos índices de falha da empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA/APEX. **Relatório final – Prospecção do mercado internacional de fundidos ferrosos e não ferrosos**. Abifa/Apex, Dez. 2006 a.

ABIFA. **Revista da Abifa**, edição 181, Jun. 2015 a.

Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração **ABM**, Congresso Anual, 32 São Paulo/SP-BR ABM 1977

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT ISO 9000**: Sistema de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT ISO 9001**: Sistema de Gestão da Qualidade. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT ISO 9004**: Gestão para o sucesso sustentado de uma organização – Uma abordagem da gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2010.

AFS.**Analysis of Casting Defects**.American Foundry Society Publication. Schaumburg, IL 60173. 1974.

BRIGGS, C.W. **Fundamentals of Core Sands and Binders** – Steel Founders Society – USA: 1961

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA **CIMM**: Fundição – Processos Típicos. Disponível em: <[http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/3677-processos-tpicos#.Vjh3QvNViko](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3677-processos-tpicos#.Vjh3QvNViko)>. Acesso em: 24 Set. 2015.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 4ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1979, p.19.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986

JURAN, J. **Juran's Quality Handbook**. 5 th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, TS156.Q3618 1998

KONDIC, V. **Princípios Metalúrgicos de Fundição**. São Paulo: Polígono, 1973.

MÜLLER, Arno. **Solidificação e Análise Térmica dos Metais**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

OLIVEIRA, D. P. **Introdução à Qualidade Total**. São Paulo: Epusp, 2008. 93 p. Apostila para disciplina de pós graduação GEQ-021 PECE USP

SENAI. DR. MG. **Iniciação à Fundição**. 3ª Ed. Belo Horizonte, SFP-EMC, 1990. 73p, il. (Publicação Técnica – Fundição 1)

SOARES, G. A. **Fundição: mercado, processos e metalurgia**. 1. ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. v. 1. 121p

TAYLOR, H.F.; FLEMINGS, M.C.; WULFF, J. **Foundry Engineering**. First Edition, John Wiley and Sons, New York, 1959. (Massachusetts Institute of Technology).

THOMAS PYZDEK: **Dossiê: Uma ferramenta em busca do defeito zero: Como funciona o Seis Sigma?**, HSM Management 38 Maio-junho 2003

## APÊNDICE A - Planilha Geral de Análise de falhas

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
34	ovalização	Se verificado deformação antes do toto, olhar item 14	
		Informações do relatório de tratamento térmico com mapeamento da carga (posição da grade em relação ao queimador) Revisar o formulário do relatório	Relatório toto
		Verificar os dispositivos usados na montagem da grade	Relatório toto
		peças retratadas	Relatório toto
		Análise dimensional do ferramental	Modelação
		Verificar a montagem da carga	Relatório toto
		Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento(501 e 503). Incluir etapa de checar planicidade do molde no check list (ver empenamento do molde).	Relatório de fechamento
		Informações sobre o tempo de estripagem (para possível deformação do molde, registro do horário final da moldagem e início da estripagem)	relatório da moldagem
		Relatório de desmoldagem para registro da temperatura	relatório de desmoldagem

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
45	engrossamento	Relatos do check list de revisão de obra (implementar) - travamento (501 - 503), condição e posicionamento das travas	check list de revisão de obra
		Analisar projeto fundido e prática de moldagem, para checar uso da caixa de moldagem conforme definido em projeto, quantidade de modelos na placa, para espessura de parede de areia e dificuldade de travamento.	PM, PF, verificar check list de revisão de obra (travamento)
		Condições da armação do molde (Definição)	Vazamento
		deslizamento da caixa no molde	Moldagem
		Registros da areia no dia da moldagem	CEP's de areia

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
46	empenamento	Se verificado deformação antes do toto, olhar item 14	
		Informações do relatório de tratamento térmico com mapeamento da carga (posição da grade em relação ao queimador) Revisar o formulário do relatório	Relatório toto
		Verificar os dispositivos usados na montagem da grade	Relatório toto
		peças retratadas	Relatório toto
		Análise dimensional do ferramental	Modelação
		Verificar a montagem da carga	Relatório toto
		Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento(501 e 503). Incluir etapa de checar planicidade do molde no check list (ver empenamento do molde).	Relatório de fechamento
		Informações sobre o tempo de estripagem (para possível deformação do molde, registro do horário final da moldagem e início da estripagem)	relatório da moldagem
		Relatório de desmoldagem para registro da temperatura	relatório de desmoldagem
		Confirmar influência da armação metálica	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
14	Rebarba	problemas no fechamento	Relatos do check list de revisão de obra (implementar) - travamento (501 - 503), condição e posicionamento das travas
		folga entre machos	check-list de moldagem, acrescentar informação de folga no macho ou fechamento
		resistência baixa da areia	CEP's de areia
		placa do modelo empenado	Análise dimensional do ferramental
		conserto do molde mal executado	Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento(501 e 503). Incluir etapa de checar planicidade do molde no check list (ver empenamento do molde).
		estripagem pré-matura	Informações sobre o tempo de estripagem (para possível deformação do molde, registro do horário final da moldagem e início da estripagem)

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
26	CX VAZADA/ ESTOURADA	Relatos do check list de revisão de obra (implementar) - travamento, alinhamento dos canais	check list de revisão de obra
		Em caso de soldar as caixas, solda mal feita	quando a cx for soldada, informar no check-list
		Posição do canal em relação a lateral da caixa	check list de revisão de obra
		Registros da areia no dia da moldagem	CEP's da areia
		Horário de moldagem	Falta documento com data de moldagem
		Horário de vazamento	Relatório de Vazamento
		Checar atendimento do IMM - espessura da parede do do bolo, uso da caixa de moldagem conforme definido em projeto	IMM
		Relatório de ocorrências com o molde no fechamento	Relatório de fechamento

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
27	DUREZA BAIXA	Temperabilidade da liga (austenita retida)	Olhar composição química
		Tratamento térmico (temperatura da entrada da peça novamente ao forno após tempera muito alto [300°] acarretando austenita retida)	
		Controle da temperatura na espessura menor* da peça	toto
		Registros da temperatura e agitação da água / óleo (ocorrências com o sistema de agitação do poço). Tempo de sopro, temperatura da peça no final do sopro (qtd de ventiladores, distâncias dos ventiladores, posicionamento dos ventiladores, potência dos ventiladores, calibração dos equipamentos de medição de dureza) (definir padrão de layout para registros do resfriamento das cargas). Condição da superfície para análise de dureza (meio de controle)	relatório toto
		Parâmetros gerais de revenimento	Registros do relatório de tratamento térmico (curva de toto, layout no carro do forno, foto da carga ver montagem nos dispositivos, distância entre peças). Verificar dados gerais do ciclo anterior (normalização, recozimento)
		Vazamento com Mn fora do especificado	Pode gerar austenita retida

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
13	Deslocamento	desencontro de cx fundo e tampa	desregulagem 503
		folga excessiva no macho	Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento e vazamento (501 e 503). Informações do check list (criar por família de peças / liberar na prática de moldagem)
		quebra do macho/molde	Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento e vazamento (501 e 503). Informações do check list (criar por família de peças / liberar na prática de moldagem)
		lixamento do macho	Relatório de ocorrências com o molde / macho no fechamento e vazamento (501 e 503). Informações do check list (criar por família de peças / liberar na prática de moldagem)
		Modificações no projeto sem modificação no modelo	PF e informações do modelo
		Analisar projeto fundido e prática de moldagem, marcações de macho adequadas para a complexidade da geometria da peça	PF e PM

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
11	desencontro	Má regulagem da máquina (503)	Check list e regulagem da máquina (503)
		Má colocação do pino guia	Relatório de ocorrências com o molde no fechamento e vazamento (501 e 503). Informações do check list (criar por família de peças / liberar na prática de moldagem)
		Analisar projeto fundido e prática de moldagem, previsão de guias, bolo macho fêmea adequado para a complexidade da geometria da peça	PF e PM

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
24	faltou encher	Problema no vazamento como problema na válvula, estouro de canal, entupimento de canal	Relatório de vazamento
		Tempo de fogo - panela	Relatório de vazamento
		Corrida da panela no dia	Relatório de vazamento
		Cálculo de material x peças errado	Relatório de vazamento
		Volume de escória e cascão na panela (conversar c/ Rafael V Lima e Matheus)	
		pressão interna muito alta impedindo preenchimento da peça	Projeto (falta de respiros / Moldagem)
		Falta de respiros	Projeto
		temperatura baixa do metal (má fluidez e preenchimento)	Vazamento ou processos

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
8	JUNTA FRIA	Interrupções no vazamento (escória, sujeira ou refratário da panela podem interromper também)	Relatório de vazamento
		canal entupir e vazar pela luva	Relatório de vazamento
		Canal desalinhado	Check list de revisão de obra
		Falta de areia gerando troca de calor com o meio externo	moldagem
		caixa frágil ou reforço próximo a cavidade	
		distribuição ou balanço impróprio da rede de alimentação	Projeto
		falta ou uso inadequado de resfriador	Projeto
		Alta transferência de calor entre molde/aço	Projeto
		reforços de barras muito próximas dos machos (gerando troca de calor)	moldagem
		baixa temperatura de vazamento	Vazamento / Processos
		Melhorar a comunicação sobre as ocorrências durante o vazamento.	
		Avisar Eng <sup>a</sup> de Processos imediatamente após ocorrência	
		Excessiva pressão de gás no molde: verificar relatórios no lab de areia, perda ao fogo, permeabilidade	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
40	macho deslocado	macho lixado demais, ocorre deslocamento	Check list de machos
		marcação do macho	PM e relatos moldagem
		Relatos de ocorrências com o macho no fechamento	relatos moldagem
		Relatos de ocorrências durante a movimentação do molde	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
7	falta de macho	falha operacional, operário esqueceu de colocar o macho na região	Relatório de moldagem (Data da moldagem, turno, responsável pela colocação do macho)

ITEM	DEFEITO	CAUSAS 1º NÍVEL	REGISTROS
5	molde quebrado	Relatório de ocorrências com o molde no fechamento e movimentação	Relatos moldagem
		estado da areia no dia da moldagem	CEP's de areia
		molde pode quebrar pela armação ruim	Relatos do check list de revisão de obra (implementar)
		reparos excessivos	Relatos do check list de revisão de obra (implementar)

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
5	macho quebrado	Utilização de macho quebrado	relatos moldagem
		Quebra de macho durante processo e sem reposição do macho	relatos moldagem
		Macho pode estar quebrando durante tombamento	relatos moldagem
		Relatos de ocorrências com o macho no fechamento	relatos moldagem
		Relatos de ocorrências durante a movimentação do molde	relatos moldagem

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
2	quebra no manuseio	Operário deixa bater uma peça	Verificar em que estágio do processo ocorreu a falha
		quebra durante alocação da peça em algum lugar	relatar em documento da área
		Condições de trabalho ou movimentação da peça	Verificar condições de operação
		Falta de pontos de içamento	Verificar a existência e condições dos pontos de içamento

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
32	Inclusão não-metálica	Inclusão de partes de luvas, varões	Relatório de vazamento (se foi vazado pela luva)
		pó exotermico (já ocorreu anteriormente)	Relatório de vazamento (se precisou encher mais o molde após jogar pó exotermico nas luvas)
		Adições ao banho metálico não dissolvidas (inclusao nao metalica)	Relatório de fusão
		Alta temperatura de vazamento	Característica de aço baixa liga. Registros do relatório de vazamento (solubilidade de gás a alta temperatura)
		Condição do varão	Definir relatório de controle do varão (principalmente qtde de corridas)
		Número de corridas da panela	Relatório da panela
		Tempo e condição de sopro de argônio	verificar a pressão do sopro (definir controle, implementar manômetro)
		Tempo de enchimento do molde (velocidade)	Registros do relatório de vazamento (diâmetro da válvula)
		Lavagem da luva (vazamento direto mantas e revestimentos)	Avaliar projeto fundido. Anotações de ocorrências com o massalote no diário de bordo (treinar equipe da quebra / inspetores)
		Teor de oxigênio	Medida de celox; projeto de canais
			Apontamentos (notas) do relatório de vazamento sobre a altura da panela durante o vazamento dos moldes. Temperatura do metal na saída do forno e tempo de vazamento forno / panela.
		Aspiração de ar durante vazamento	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
1	bolo estourado	Horário de moldagem	Falta documento com data de moldagem
		Horário de vazamento	Relatório de vazamento
		Checar atendimento do IMM - espessura da parede do bolo, uso da caixa (jaqueta) conforme definido em projeto	IMM
		Relatório de ocorrências com o molde no fechamento	Relatório fechamento (recuperação do molde, tamanho, posição)
		Registros da temperatura da areia	CEP'S de areia
		Registros de finos na areia	CEP'S de areia

ITEM	DEFEITO	CAUSAS 1º NÍVEL	REGISTROS
7	Deformação	Se verificado deformação antes do toto, olhar item 14	
		Deformação por incidência de chama direta na peça e/ou grade	Toto
		tempo excedido no tratamento térmico	Toto
		utilização de grades deformadas	Toto
		Verificar os dispositivos usados na montagem da grade	Toto
		Verificar a montagem da carga	Toto

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
47	Composição Química	Cálculo de carga fria incorreto ou com divergências nos valores	Rel. de Fusão
		Sucata/materiais com composição química fora do exigido	
		Cálculo para corrigir a composição da liga incorreto	Rel. de Fusão
		Adições incorretas no forno	Rel. de Fusão

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
28	Dimensional usinado	Peça com ovalização, empenamento e/ou batimento não verificado e usinado	
		Mal posicionamento da peça no torno	
		Cálculos de usinagem incorretos	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
42	Fundo de panela	Má limpeza da panela	Relatar informações da limpeza da panela
		Aquecimento excessivo da panela	Rel. de Fusão

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
25	Falta/excesso de material p/ ajuste	Dimensional do modelo fora do projeto	
		Cálculo de sobremetal não conforme	Projeto Fundido
		Falta de travas ou travamento ineficaz	Rel. de Vazamento
		tempo excedido no tratamento térmico	Rel. de Tratamento Térmico
		Parede de areia entre peça/caixa muito pequena	Projeto Fundido
		remoção de canal, respiros	Diário de Bordo quebra

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
30	entranhamento	não socar/compactar corretamente a areia em lugares estreitos	Moldagem (check list) (tipo de socador)
		tipo de areia utilizada	
		Registros da areia no dia da moldagem (molde / macho) % de resina e catalisador da mistura, Temperatura da areia, temperatura ambiente, resultado de teste do laboratório do dia. Humidade da areia (definir forma de medir)	CEP's de areia
		Qualidade da pintura e secagem do molde / macho - definir critério de inspeção	Moldagem (check list)
		Dificuldade de pintura ou socamento	Moldagem (check list)
		Registro de controle de densidade da tinta (macho)	CEP's de tinta
		Registro de identificação do macho, validade (hélice)	Rastreabilidade de machos (implementar)
		Verificar data do fechamento e data do vazamento	Relatório Molda e Vazamento
		Registro de excesso de desmoldante no molde apontado no check list	Check list Moldagem
		Avaliar projeto fundido, identificar possíveis pontos quentes.	PF
		Relatos de ocorrência com o molde após fechamento e durante posicionamento na área de vazamento (hélice)	Relatos Moldagem
		machos vencidos, quebrados	Moldagem (check list)
		Dados do relatório de vazamento (checar a temperatura de vazamento, teor de oxigênio do aço - metal oxidado provoca a penetração na areia), verificar registro de posicionamento alto da panela durante vazamento	Relatório de Vazamento

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
38	Inclusão de areia	Quebra na hora de tombar	Moldagem (check list)
		quebra durante movimentação	Relatos em documentos da área
		Macho quebrado e utilizado da mesma maneira	Moldagem (check list)
		Higienização do molde (areia entre manilhas, aplicação de complemento de luva na área, vedação do molde, tombo do molde após fechamento).	Anotação em relatório de fechamento ou revisão de obra.
		também pode estar relacionado a quebra do molde	Moldagem (check list)
		limpeza da bica de vazamento	rel. Vazam
		socamento mal feito (Tipo de socador usado para compactar)	
		massalotes e outros insumos em espera na área sem proteção	
		Compactação do molde / macho	Registros do relatório de vazamento
		Vazamento pela luva	Avaliar projeto fundido
		Baixo teor de resina (friabilidade)	Avaliar CEP do misturador
		Granulometria da areia	Registros da areia no dia da moldagem



ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
12	DIMENSIONAL BRUTO	IDEM AO 14.	
		Modelo revisado errado	
		Ferramental	Inspeção visual ferramental (caixa de macho aberta, presilhas)
		Modelo fabricado com medidas erradas	Desenho do projeto e modelo
		Mal posicionamento do bolo	Relatos moldagem
		falta de folga entre marcação e macho gerando a necessidade de lixar os machos manualmente perdendo a referência de aplicação dos mesmos no molde	Relatos moldagem
		Macho deslocado	Relatos moldagem
		Dados do relatório de tratamento térmico (tempo e temperatura de patamar), histórico de notificação com disposição retratar. Definir disposição de processos para todas as corridas abortadas, ou falha de equipamento que pode comprometer o tempo das peças em forno.	Relatório toto
		Relatos do check list de revisão de obra (implementar) - travamento (501 - 503), condição e posicionamento das travas	check list de revisão de obra
		Relatório de ocorrências com o molde no fechamento e vazamento (501 e 503). Informações do check list (criar por família de peças / liberar na prática de moldagem)	Relatório de fechamento e vazamento
		Registro de controle de densidade da tinta (macho)	CEP's de tinta
		Registros da areia no dia da moldagem	Cep's de areia

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
20	DUREZA ALTA	Regiões finas que são tratadas sem proteção podem gerar dureza alta	
		Temperabilidade da liga	Olhar composição química
		severidade do meio de resfriamento	Registros da temperatura e agitação da água / óleo (ocorrências com o sistema de agitação do poço). Tempo de sopro, temperatura da peça no final do sopro (qtde de ventiladores, distâncias dos ventiladores, posicionamento dos ventiladores, potência dos ventiladores, calibração dos equipamentos de medição de dureza) (definir padrão de layout para registros do resfriamento das cargas). Condição da superfície para análise de dureza (meio de controle)
		Parâmetros gerais de revenimento	Registros do relatório de tratamento térmico (curva de toto, layout no carro do forno, foto da carga ver montagem nos dispositivos, distância entre peças). Verificar dados gerais do ciclo anterior (normalização, recozimento)

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
16	VEIAMENTO	Alimentação mal feita	PF, PM
		Socamento inadequado (muito) (ressalto devido expansão da areia (transformação de fase da areia pela alta temperatura), relacionado ao socamento)	Check list moldagem
		Expansão da areia devida a baixa permeabilidade, excesso de umidade, grafite insuficiente	CEP's de areia
		Machos com alta resistência a seco (estufado)	CEP's de areia
		Temperatura de vazamento muito alta	Rel. de vazamento

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
22	FALTA DE IDENTIFICAÇÃO	Funcionário erra a identificação	Falha operacional
		Usinado a parte da identificação	Relatos Usinagem
		Envio de identificação errada	
		Na quebra: falta número na identificação; identificação errada	
		No Térmico: perda pelo tempo de exposição	Relatório toto (Avaliar dados do relatório de tratamento térmico (*notas no procedimento de montagem de grade e posicionamento da grade no
		Liberção do ferramental no depósito de modelo.	Sugestão: Check list
		Verificação do ferramental antes e durante a moldagem.	Lista de verificação ou check apontando ok e não ok com o relato de ocorrência
		Para os casos de identificação ilegível, avaliar relatório de vazamento (metal subiu morto, temperatura, vazamento lento)	Rel. de Vazamento
		* Procedimento para batizar peças	

ITEM	DEFEITO	CAUSAS	REGISTROS
3 e 4	QUEBRA BAIXA E ALTA	Durante a extração de canais e massalotes por quebra, a fratura deve estar acompanhando o vinco de quebra. Quando a fratura não acompanha o vinco e gera um arrancamento de material da peça, caracteriza-se como quebra baixa ou alta.	Vinco de quebra inadequado ou danificado; Método de quebra de massalote/canal inadequado.
		Rastreabilidade do macho, data de fabricação	Rastreabilidade de machos
		Inspeção visual do macho (Moldagem)	Check list moldagem
		Número de golpes para quebrar	Relatos quebra
		Ferramenta usada para quebrar	Relatos quebra
		Diário de bordo da Quebra com relatos de ocorrências:	Diário de bordo quebra
		estado do massalote / respiro (oco, baixo, ...)	Visual quebra
		estado do macho redutor (se existente, entranhamento)	Relatos quebra
		direção do golpe	Relatos quebra
		Já ocorreu de ocasionar quebra baixa ou alta por causa do shakeout	Relatos desmoldagem

# APENDICE B - Formulário padrão para uso da técnica 5W2H

RACAP - RELATÓRIO DE AÇÃO CORRETIVA/PREVENTIVA				ECOFUND		Nº RELATÓRIO 151014-12	
[ X ] AÇÃO CORRETIVA [ ] AÇÃO PREVENTIVA				FUNDIÇÃO		DATA 14/10/15	
PEÇAS DA OF: 21961 - FUNDIDO BIELA DE AÇONAMENTO (12 PEÇAS) APRESENTARAM PROBLEMA DE ENGROSSAMENTO. TOTAL DE 62 PEÇAS PRODUZIDAS.				ORIGEM DA OCORRÊNCIA		TIPO DE NÃO CONFORMIDADE [ X ] REAL [ ] POTENCIAL	
<b>RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE</b> Engº Roginei L. Santos; Andrei; Renata Giardini; Neves e Denis							
<b>ANÁLISE INICIAL DA OCORRÊNCIA</b> [ X ] PROCEDE, continuar com o preenchimento. [ ] NÃO PROCEDE, considerar ocorrência como encerrado (Justificar):							
<b>ANÁLISE DA ABRANGÊNCIA</b> Não Aplicável							
<b>HÁ NECESSIDADE DE AÇÃO DE CORREÇÃO / AÇÃO IMEDIATA / AÇÃO CONTENÇÃO?</b> [ ] NÃO [ X ] SIM - Necessário tomar ações imediatas para que a ocorrência não afete os serviços (descreva abaixo):							
AÇÃO				RESPONSÁVEL		PRAZO	
FOLLOW-UP				FOLLOW-UP		FOLLOW-UP	
5W2H				5W2H		5W2H	
CAUSA RAIZ (Identificação da origem da ocorrência)		What o que será feito (objetivo)	Why por que será feito (justificativa)	Where onde será feito (local)	When quando será feito (etapas e prazo)	Who por quem será feito	How como será feito (método)
Idéia							How much quanto custará fazer (custo)
MÁQUINA / FERRAMENTA / DISPOSITIVO							
MÉTODO							
MÃO-DE-OBRA							
Não Aplicável							
MEIO DE CONTROLE							
MEIO AMBIENTE							
Não Aplicável							
MATERIAL / MATERIA-PRIMA							
Não Aplicável							
VERIFICAÇÃO DA EFICÁCIA							
[ ] EFICAZ [ ] PARCIALMENTE EFICAZ, NOVO RACAP Nº: [ ] INEFICAZ, NOVO RACAP Nº: [ ]							
EVIDÊNCIAS DAS AÇÕES TOMADAS							
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO							
DATA							
PRAZO PARA A VERIFICAÇÃO DA EFICÁCIA							

**APENDICE C - Procedimento padrão da comissão de falha**

## **ÍNDICE**

1 – OBJETIVOS .....	1
2 – APLICAÇÃO .....	1
3 – DEFINIÇÕES .....	1
4 – DESCRIÇÃO .....	2
5 – CONTROLE DE REGISTROS .....	3
6 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	3
7 – ANEXOS .....	3
8 – FORMULÁRIOS.....	3

### **1 – OBJETIVOS**

Definir uma sistemática de trabalho para as tratativas de falhas internas da fundição.

### **2 – APLICAÇÃO**

Este procedimento aplica-se aos setores envolvidos na definição das ações, bem como a todos os responsáveis pela identificação, registro e contenção das ações.

### **3 – DEFINIÇÕES**

Comissão de Falhas: É um grupo formado por profissionais de diversas áreas, que trabalham com o objetivo de avaliar as falhas relevantes e tomar ações Corretivas. São profissionais das áreas técnicas, administrativas e da produção (ex: controle de qualidade, planejamento, projetos e experiência, entre outros);

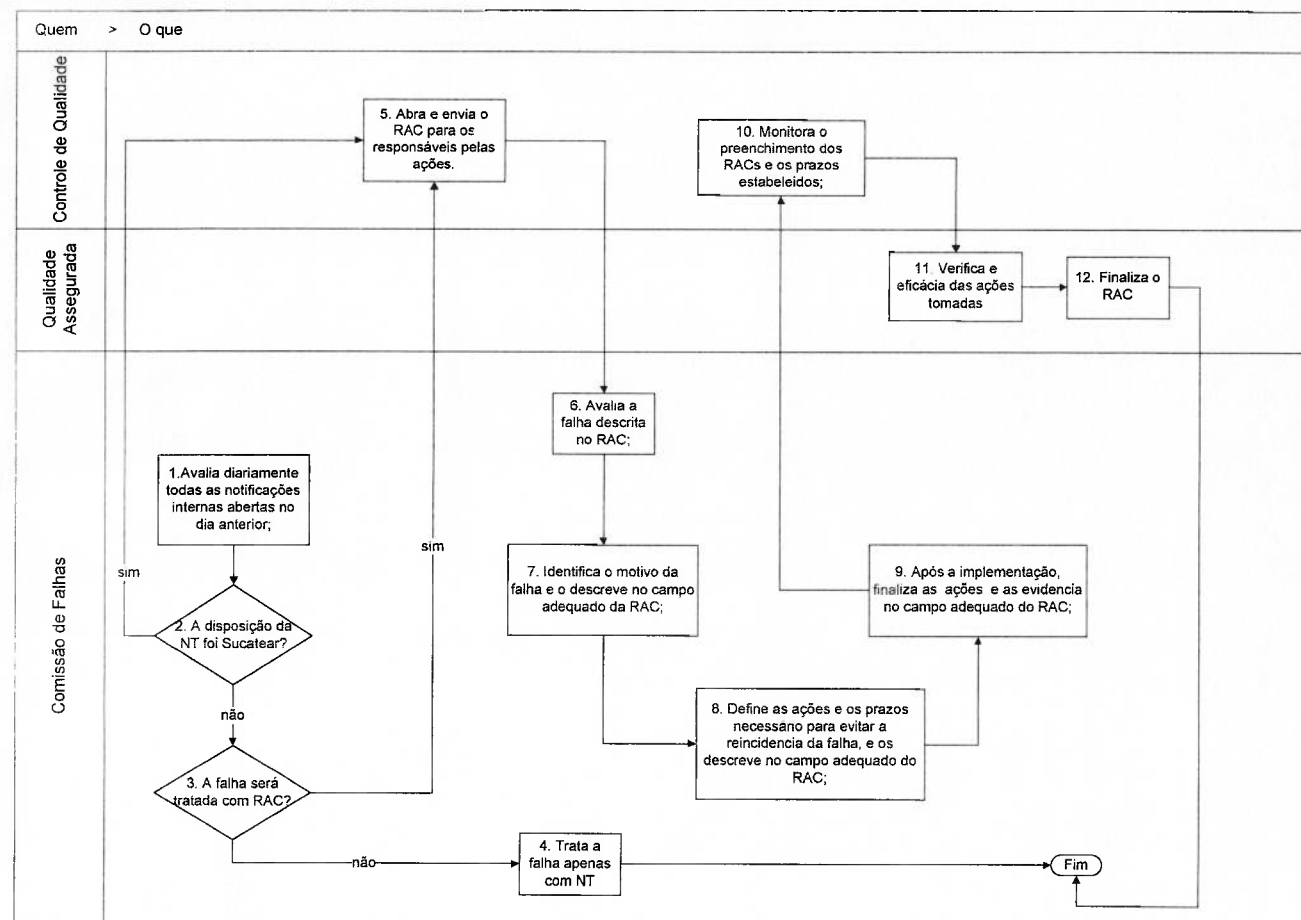
Falha: Toda não conformida de produto;

RAF: Relatório de Ações sobre Falhas, documento que deixou de ser aberto apartir de 01/09/2012, sendo substituído pelo RAC, mas que continua sendo armazenado conforme definido no controle de registro;

RAC: Relatório de Ações Corretivas;

NT: Notificação de não qualidade, documento aberto via sistema SAP para registrar a não conformidade e as disposições dadas pelas engenharias responsáveis;

#### 4 – DESCRIÇÃO



#### Notas:

As falhas são identificadas, registradas e as ações de disposição são tomadas conforme PE038.

1. Nesta etapa são avaliadas as notificações abertas no dia anterior.

3. A definição de abertura da RAC é feita pela avaliação do grupo multi funcional que forma a comissão de falhas, esta determinação é feita levando em consideração o peso da peça, o modo de falha, a reincidência da falha, o impacto no prazo de entrega ao DC e o tempo de retrabalho (abre-se RAC de acordo com o Form 0327 – Relatório de Ações Corretivas)

04. Conforme PE038 – Controle da Qualidade.

6/7/8 e 9. Estas etapas devem ser feitas pelo responsável pelo RAC;

10. Sempre que necessário, a etapa de cobrança pode ser feita pela qualidade assegurada.

**IMPORTANTE:** Após o recebimento do RAC, deve ser respeitado o prazo de 10 dias úteis para o preenchimento das causas ( passo 7).

**Sistema Integrado de Gestão  
Procedimentos Específicos**

3 de 3

Número e Título do Documento

**PE 050 – Falhas Internas Fundação**

**5 – CONTROLE DE REGISTROS**

Recuperação			Armazenamento		Proteção	Tempo de Retenção	Descarte
Identificação do Registro	Arq.	Indexação	Meio	Local			
R.A.C (a partir de setembro de 2012)	A	Nº de Notificação	Eletronico	Database	Back up	Permanente	N.A
R.A.F (até agosto de 2012)	A	Nº de ordem	Eletronico	Database	Back up	Permanente	N.A

Legenda/alternativas de preenchimento:

**Arquivo (Arq.):**

A = arquivo ativo

M = arquivo morto

**Meio:**

Físico

Eletrônico

**Proteção:**

Pasta

Caixa

Back up

Senha

**Descarte:**

Destruir/Deletar

Morto

N.A. (não aplicável)

**6 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

PE038 – Controle da Qualidade

**7 – ANEXOS**

Não Aplicável

**8 – FORMULÁRIOS**

FORM 0327 - Ação Corretiva e Preventiva Fundação