

# MELHORIAS NO PROJETO DE FUNDIÇÃO DAS CAIXAS DE REFRIGERAÇÃO DO ALTO FORNO DA ARCELORMITTAL AÇOS PLANOS AMÉRICA DO SUL\*

Vander de Angeli<sup>1</sup>  
Wesley Teixeira de Oliveira<sup>2</sup>  
Lucio Salmo Módolo<sup>3</sup>

## Resumo

Em 2014 houve necessidade de substituição precoce de Caixas de refrigeração no Alto Forno devido a vazamentos provocados por defeitos de fundição ocasionando perda de produção. Após análise das falhas no componente, a oficina de fundição da ArcelorMittal Tubarão na busca contínua pela excelência na qualidade de seus produtos, propôs o desenvolvimento de um novo projeto de fundição visando atingimento de nível radiográfico  $\leq 3$  nas caixas de refrigeração conforme critério de aceitação estabelecido na Norma ASTM E272. Para atingir o objetivo proposto foram inseridos no novo projeto itens para melhorar o processo de alimentação e solidificação do metal. Como resultado o novo projeto apresentou melhora significativa na qualidade do componente do sistema de insuflação de ar do Alto Forno atingindo níveis radiográficos que atendam as exigências da Norma.

**Palavras-chave:** Caixa de refrigeração; Projeto de fundição; Níveis radiográficos.

## IMPROVEMENTS IN THE CASTING PROJECT OF THE BLAST FURNACE'S TUYERE PIPING OF ARCELORMITTAL FLAT STEEL SOUTH AMERICA

### Abstract

In 2014 there was a need to replace the blast furnace's tuyere piping untimely due to cooling water leakage caused by casting defects resulting operational shutting downs. After failures analysis accomplished in the component, the Foundry Workshop of the ArcelorMittal Tubarão plant proposed the development of a new casting project aiming to reach radiographic level  $\leq 3$  at the casted microstructure according to acceptance criteria established by ASTM E272. In order to get better the casting process was made improvements in the feeding process and metal solidification. As a result, the new project allowed a significant improvement in the quality of the tuyere piping reaching radiographic levels in line with ASTM E272 requirements.

**Keywords:** Tuyere piping; Casting project; Radiographic levels; Feding process.

<sup>1</sup> Engenharia de Materiais e Metalurgia, Engenheiro, Especialista de Fundição, IUOF- Gerência de Oficinas de Fabricação de Peças/IDU-Departamento de Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Administração de Empresas/Administrador, Supervisor de Oficina de Fundição e Modelagem, IUOF- Gerência de Oficinas de Fabricação de Peças/IDU-Departamento de Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Administração de Empresas/Administrador, Supervisor de Oficina de Fundição e Modelagem, IUOF- Gerência de Oficinas de Fabricação de Peças/IDU-Departamento de Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A Oficina de Fundição de Peças da ArcelorMittal Tubarão é responsável pela fabricação de diversos sobressalentes empregados na manutenção das principais plantas produtivas da usina, conseqüentemente, nos seus mais diversos processos. Dentro dessa ampla carteira de peças fabricadas, destacam-se pela sua qualidade e importância estratégica para a empresa as peças de cobre, como bico de lança, utilizado no sopro do convertedor, as ventaneiras e caixa de refrigeração utilizado nos Altos Fornos para refrigeração do sistema de injeção de ar quente e finos de carvão. Tais peças são de vital importância no desempenho operacional da Usina, demandando uma alta qualidade dos fundidos e excelente desempenho operacional. O processo de fundição de cobre foi desenvolvido no início de operação da Usina em parceria com os japoneses sendo posteriormente aperfeiçoado ao longo dos anos. O processo de fundição de cobre é de Know-How da ArcelorMittal Tubarão. O enfoque desse trabalho será sobre o desenvolvimento das Caixas de Refrigeração dos Altos Fornos, com auxílio do software de Simulação Numérica Computacional, visando atingir níveis radiográficos  $\leq 3$  conforme critério de aceitação da norma ASTM E272.

Para atingir tal objetivo foram incluídos itens no projeto de fundição para melhorar a eficiência dos alimentadores, o direcionamento e eficiência da solidificação do metal no molde, utilizando recursos como: Redimensionamento de resfriadores, adoção de luvas exotérmicas e filtros de escórias.

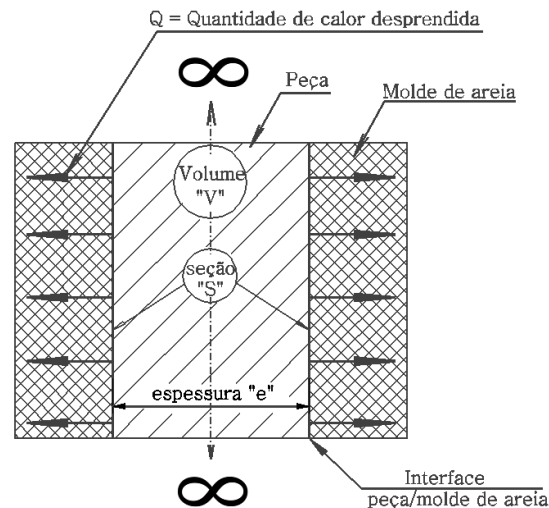
A Caixa de Refrigeração é fundida com Cobre Eletrolítico de 99,7% de pureza e possui condutividade térmica mínima de 60 IACS (International Annealed Copper Standard). Como o cobre possui uma excelente condutividade térmica permite também uma eficaz extração do calor através da troca térmica com água que circula no interior das câmaras caixa de refrigeração.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo matemático para se dimensionar os sistemas de alimentação e de enchimento do molde, bem como as variáveis a serem utilizadas pela empresa na produção do processo, tem como base os materiais técnicos didáticos utilizados em projetos de fundição e o desenho técnico mecânico fornecido para a fabricação da caixa de refrigeração. Com os dados obtidos nos estudos foi estabelecido um modelo 3D em um Sistema Numérico Computacional e realizado a simulação do processo de vazamento e solidificação do metal. Nos itens que segue estão listadas as principais relações matemáticas, gráficos e tabelas utilizadas no novo projeto da caixa de refrigeração.

### 2.1 Estudo do Módulo de Resfriamento

Considerando uma peça com duas dimensões infinitamente grandes apresentada na Figura 1, de espessura “e” e volume “V” em contato com as duas superfícies planas “S” de areia do molde pode-se definir o tempo de solidificação como sendo uma função do módulo da peça conforme equação 1.



**Figura 1.** Placa Infinita

Fonte: Formulário SENAI – 2007 [1]

Para uma placa infinita vazada com o mesmo metal, o mesmo sobreaquecimento e no mesmo molde pode-se afirmar que:

$$\text{Assim temos, } \sqrt{Ts} = K \frac{V}{S} \Rightarrow Ts = K^2 \cdot \left(\frac{V}{S}\right)^2 \Rightarrow Ts = K^2 \cdot M^2 \quad (1)$$

Onde:

Ts = Tempo de solidificação da liga

k = Constante do material

M = Módulo de resfriamento

V = Volume do metal líquido (cm<sup>3</sup>);

S = Secção em (Cm<sup>2</sup>)

Portanto o módulo é uma razão de proporcionalidade ao tempo de solidificação. O objetivo da análise do módulo de resfriamento é identificar os centros térmicos e ter então uma previsão da posição do rechupe, através dos valores dos módulos encontrados. Com estes resultados pode-se assim criar um sistema de alimentação e dimensioná-lo.

Para fazer a análise térmica procede-se da seguinte forma:

- Ler e interpreta o desenho da peça;
- Dividir a peça em elementos simples, sólidos geométricos conhecidos - mesmo módulos - e junções se houver;
- Calcular os módulos;
- Identificar os centros térmicos;
- Traçar as linhas térmicas - método intuitivo, para obter uma previsão do rechupe.

## 2.2 Estudo do Sistema de Alimentação

Como as peças de fundição nem sempre tem a forma simples a prevenção do rechupe não é tão elementar que somente a colocação de um massalote resolva, é necessário ter-se um sistema de alimentação. Sistema de alimentação é um conjunto de artifícios que garantam à eficiência dos massalotes, cujo objetivo é a obtenção de peças isentas de rechupes. Estes artifícios são principalmente:

- Obtenção de solidificação dirigida;
- Uso de resfriadores;
- Uso de produtos exotérmicos;

- Garantir a atuação da pressão atmosférica nos massalotes;

Para que os massalotes cumpram a sua função ele deve satisfazer 05 regras básicas, são elas:

1. O tempo de solidificação do massalote deve ser superior ao tempo de solidificação da parte de peça que ele tem de alimentar ( $Mm > Mp$ );
2. O massalote deve estar posicionado sobre o ponto quente da peça;
3. O massalote deve conter volume suficiente de metal líquido para compensar a contração volumétrica da peça;
4. O massalote deve estar constantemente sob o efeito da pressão atmosférica;
5. O massalote deve ter um peso mínimo relativo ao peso da peça sem perder a sua eficiência.

## 2.3 Resfriadores

Os resfriadores têm como função acelerar, localmente, o resfriamento e solidificação de peças. O principal objetivo de utilizá-lo no sistema de alimentação é dirigir a solidificação.

Entende-se por resfriador todo material que tem o coeficiente de difusividade térmica (b) maior que o do molde.

O coeficiente de difusividade é uma propriedade inerente do material e/ou consequente da sua forma. Os resfriadores são classificados nos seguintes tipos:

- Metálicos.
  - Internos;
  - Externos;
- Materiais granulados moldáveis;
- Aletas resfriadoras.

O poder resfriador de um material é diretamente proporcional ao coeficiente de difusividade térmica. A tabela 01 apresenta valores para coeficientes de difusividade de alguns materiais utilizados em moldagem e para materiais metálicos.

**Tabela 1.** Coeficiente de difusividade térmica “D” de materiais empregados na confecção do molde

Nº	MATERIAL	I	D
1	Areia Silico-Argilosa Sintética + 5% de pó de carvão mineral	70	0,94
2	Areia Silico-Argilosa Sintética + 10% de grafite	70	1,27
3	Areia de zirconita + 8% de argila	100	1,31
4	Areia de zirconita sintetizada		1,20
5	Areia de cromita + 3% de silicato de sódio	95	1,27
6	Molde em areia sílica com resfriadores internos		1,10
7	Resfriador moldado com carboneto de silício		1,75
8	Resfriador em Ferro fundido $e=1,33x$ módulo da peça		2,65
9	Resfriador em aço $e=1,33x$ módulo da peça		3,83
10	Resfriador em bronze $e=1,33x$ módulo da peça		3,79

I = Módulo de finura AFS, e=Espessura mínima do resfriador e D=Difusibilidade térmica comparada.

Assim um material com maior coeficiente de difusividade térmica “D” reduz o módulo no local onde foi aplicado.

## 2.4 Dimensionamento de Resfriadores

Para que um resfriador atue com segurança e eficiência é necessário que o mesmo tenha dimensões bem controladas, isto é, um volume que permita um regime de troca de calor contínuo e uma superfície de contato que promova uma troca de calor sem interferências. Estabelece-se que a espessura de um resfriador, que atenda

aquele valor de difusibilidade térmica, deve obedecer à relação: espessura do resfriador = 1,33 x Módulo da peça. A área de contato necessária para a atuação do resfriador pode ser dada pelas equações 2 e 3 a seguir:

$$A_{resfr.} = \frac{V_0 (M_0 - M_r)}{2 \cdot M_0 \cdot M_r} \Rightarrow \text{Sem espaço entre resfriadores} \quad (2)$$

$$A_{resf.} = \frac{V_0 (M_0 - M_r)}{M_0 \cdot M_r} \Rightarrow \text{Com espaço entre resfriadores} \quad (3)$$

Onde:

$V_0$  = Volume da peça ou parte da peça que está sendo resfriada;

$M_0$  = Módulo da peça ou parte da peça que está sendo resfriada;

$M_r$  = Módulo da peça ou parte da peça desejada após a atuação do resfriador.

O volume do resfriador é dado pela equação 4. O cálculo da Espessura do resfriador é uma relação entre o volume do resfriador e a área do mesmo, conforme apresentada na equação 5.

$$V_{resfr.} = V_0 \cdot \frac{M_0 - M_r}{M_0} \quad (4)$$

$$\text{Espessura do Resfriador} = \frac{\text{Volume do resfriador (cm}^3\text{)}}{\text{Área do resfriador (cm}^2\text{)}} \quad (5)$$

## 2.5 Sistema de Alimentação

Determinar sistema de alimentação é conceber um sistema que impeça a formação do defeito rechupe, previsto na análise térmica, e calcular as suas dimensões. Para concepção do sistema de alimentação leva-se em consideração o seguinte aspecto:

- Grau de qualidade exigido na peça;
- Modo de solidificação da liga;
- Grau de oxidabilidade no estado líquido;
- Posição dos centros térmicos;
- Uso de resfriadores;
- Modificação da forma da peça;
- Uso de produtos exotérmicos nos massalotes;
- Posição dos ataques;
- Tempo de enchimento.

Para dimensionar o sistema de alimentação aplicam-se as três seguintes regras:

- . Regra dos Módulos;
- . Regra da Zona de Ação ou Regra do Alcance;
- . Regra da Contração.

A aplicação da regra da zona de ação ou regra do alcance permite determinar a localização, o número de massalotes e dimensionar outros parâmetros do sistema que dirigem a solidificação, resfriadores, modificação de forma da peça, etc.

A aplicação das demais regras, dos módulos e da contração, permite calcular as dimensões dos massalotes. Prevista as possibilidades de formação de rechupe através da análise térmica e conhecendo-se o modo de solidificação da liga, o seu grau de oxidação no estado líquido e o grau de qualidade exigido pela peça, procede-se a ação de conceber o sistema de alimentação. Esta concepção é realizada escolhendo-se um dos sistemas básicos de alimentação recomendados no processo de fundição.

Para o novo projeto foi utilizado o sistema básico de massalote aberto com a adoção de luvas exotérmicas e enchimento por cima, conforme indicado na Figura 3.

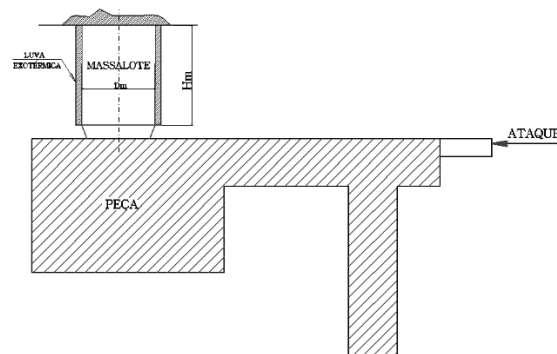


Figura 3. Sistema básico de massalote

## 2.6 Estudo do Dimensionamento do Sistema de Alimentação

Dimensionar o sistema de alimentação é calcular as dimensões dos massalotes, as dimensões dos resfriadores, os parâmetros referentes aos produtos exotérmicos. É regra geral que o massalote deve solidificar depois da parte da peça a qual vai alimentar. Pois só assim ele terá metal líquido para atender a contração da peça.

### 2.6.1 Estudo do módulo do massalote

Como o tempo de solidificação do massalote tem uma relação de dependência com o tempo de solidificação da peça, o seu módulo depende então do módulo da peça. A relação entre o módulo da peça e o módulo do massalote é dada pela equação 6 a seguir:

$$Mm = Mp * k \quad (6)$$

Onde:

Mm = módulo do massalote

Mp = módulo da peça

k = coeficiente de correção que depende do tipo de massalote e da liga utilizada.

### 2.6.2 Cálculo das dimensões dos massalotes (relações empíricas)

Com o valor do módulo do massalote obtém-se o valor do diâmetro do massalote em função do tipo de massalote e da utilização ou não de produtos exotérmicos. A Figura 4 apresenta o tipo de massalote utilizado no projeto da caixa de refrigeração e suas respectivas equações 7 e 8 para cálculo do seu diâmetro e volume.

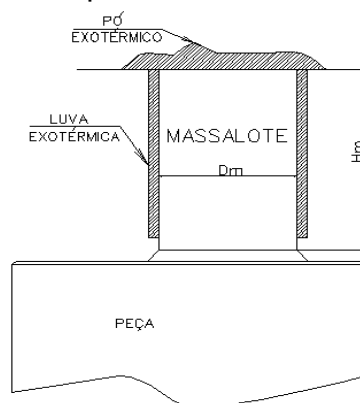


Figura 4. Massalote Direto aberto com pó e luva exotérmica

$$Dm = 4 * Mm \quad (7)$$

$$Vm = \frac{\pi}{4} * Dm^2 * Hm \quad (8)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta análise dos resultados teóricos e práticos e um comparativo entre o projeto de fundição anterior com o atual a partir dos cálculos e resultados das simulações computacionais, ensaios radiográficos e ensaios destrutivos para análise visual.

#### 3.1 Simulação Computacional

A partir dos estudos dos sistemas de alimentação e solidificação foi feito o modelamento 3D no sistema de simulação computacional a fim de observar o comportamento da solidificação da caixa de refrigeração.

Com os resultados obtidos com o novo projeto de fundição pode-se comparar com peças produzidas internamente do projeto anterior e com peças consideradas *Benchmark*.

A Figura 5A indica a disposição dos massalotes instalados no projeto de fundição anterior enquanto na Figura 5B pode-se observar um elevado nível de porosidade em toda a região da caixa de refrigeração utilizando este projeto apresentando baixa qualidade do fundido.

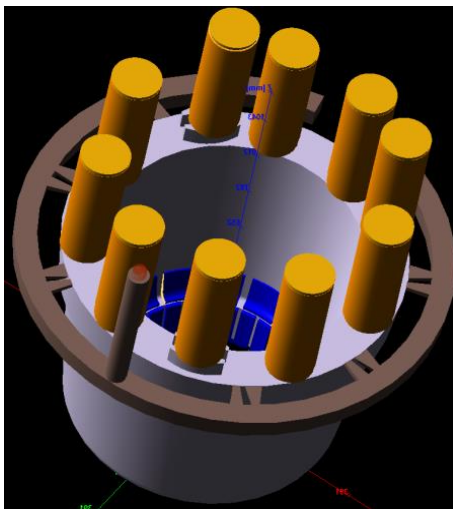


Figura 5A. Disposição dos massalotes

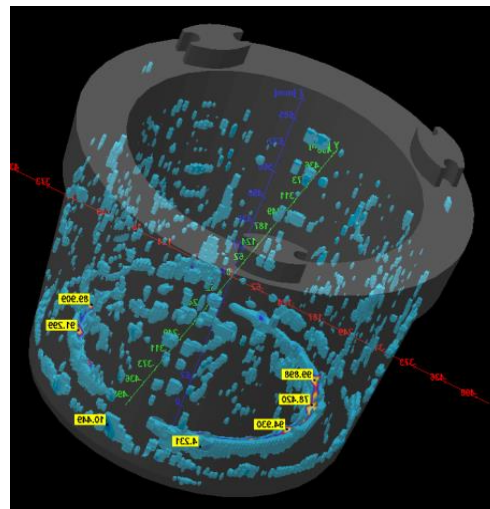


Figura 5B. Nível de porosidade do projeto anterior

A Figura 6A indica a nova disposição dos massalotes instalados no novo projeto de fundição onde pode-se observar também um novo formato em dois massalotes, inclusão de “Paddings” utilizados no direcionamento da solidificação do metal para os massalotes evitando massas líquidas isoladas, adoção de filtros de escória e novos resfriadores enquanto na Figura 6B observa-se uma redução no nível de porosidade da peça atestando melhoria significativa na qualidade do fundido a partir da adoção deste novo projeto.

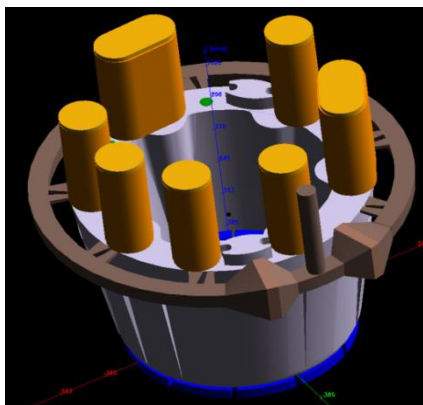


Figura 6A. Disposição dos massalotes

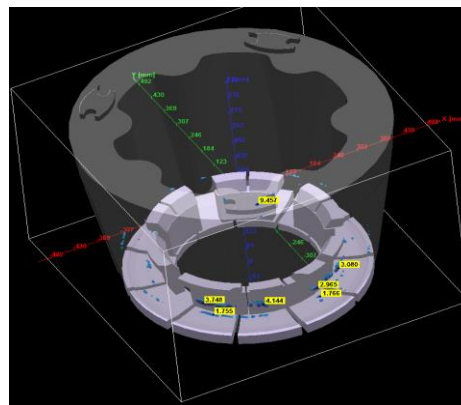


Figura 6B. Nível de porosidade do novo projeto

### 3.2 Fundição de Peça Teste

Após testes realizados em simulação numérica computacional foi iniciado o processo de fabricação de uma peça teste para comparar os resultados obtidos na simulação com a peça fundida. Na Figura 7 observa-se o modelo de fundição (a) e a peça vazada (b) no projeto de fundição anterior onde o número e a disposição dos massalotes não foram adequadamente dimensionados e não foram contemplados “Paddings” para direcionar a solidificação. A Figura 8 apresenta as alterações realizadas no modelo de fundição (a) e no molde (b) e na peça vazada (c).



Figura 7. Modelo projeto anterior (a)



Peça vazada projeto anterior (b)



Figura 8. Modelo novo (a)



Molde novo (b)



Peça vazada nova (c)

### 3.3 Resultados Radiográficos

A Radiografia Industrial é uma técnica de Ensaio Não Destrutivo para detecção de descontinuidades volumétricas em soldas, fundidos e peças em geral, que utilizam fontes radioativas ou aparelhos de raios-X. Tem como resultado o registro das



descontinuidades em filmes radiográficos e/ou imagens digitalizadas. Este ensaio é aplicável para uma grande quantidade de materiais com densidades diferentes. Os raios-X ou gama são transmitidos através de peças ou equipamentos e impressionam o filme radiográfico, o qual, uma vez revelado, proporciona uma imagem que permite distinguir as descontinuidades presentes. Com o filme processado (revelado) obtêm-se um registro permanente do ensaio quando armazenado de maneira adequada.

As análises radiográficas das caixas de refrigeração são realizadas dividindo-se a caixa em 3 regiões no sentido de seu comprimento e em 6 regiões no sentido do diâmetro indicada na Figura 9 totalizando 18 filmes por peça.



Figura 9. Preparação da caixa para ensaio

A figura 10 e 11 mostram respectivamente projetos antigo e novo com os resultados radiográficos realizados obedecendo aos critérios de aceitação da norma ASTM E272. Entende-se por projeto aprovado níveis de descontinuidades  $\leq 3$ .

RELATÓRIO DE RADIOGRAFIA - E 272												Relatório N. 1					
PO 0734 / F 07 16-REV 02 Interpretação de acordo com a norma: ASTM E 272												Data: 16/01/2014					
*Cliente: ARCELOMITTAL      *Obra: REFRIGERADOR      *Local Obra: BUNKER PLN *Contratante: CECAL      N. Proced./Instrução Técnica: END-050-RG - Rev.:03												Pág: 1 of 2					
*Material: COBRE      Imidador: 290      Fonte No: 6650      Atividade: 43,26      *Chapiro: Filme/Marca: AGFA      Ecran Ant: 0,005      Ecran Post: 0,010      Temperatura: 20      T Revelação: 5 Isótopo: IR 192      Dim Forje: 3,0      mm x 2,31      mm      Marca/Modelo RX:      Tipo RX:      KV Utilizado:      mA:												ANTÔNIO LISBOA RAMOS					
Nr.	Dim.	Identificação	Região	Posição	Diâm. pol.	Espessura Esp. 1	Esp. 2	DFO	DFD (mm)	IGI	Filme Classe	Técnica	Inspecção Visual da superfície	Descontinuidade	Laudo	Observações	OBS
1	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	0-1	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
2	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	1-2	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4, CD2	R		
3	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	2-3	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		CD2, BB4	R		
4	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	3-4	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4, CD4	R		
5	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	4-5	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
6	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	5-6	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
7	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	6-7	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BA2, CD3, BB4	R		
8	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-01	7-0	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB5, CD4	R		
9	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	0-1	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BA4, BB4	R		
10	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	1-2	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
11	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	2-3	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
12	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	3-4	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
13	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	4-5	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
14	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	5-6	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
15	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	6-7	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB5	R		
16	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-02	7-0	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
17	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-03	0-1	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
18	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-03	1-2	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB4	R		
19	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-03	2-3	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BA5, CD4	R		
20	E	RESFRIADOR DES.B3815MX00006 PEÇA: 12366110	RG-03	3-4	-	17,0	-	666	700	30-2T	II	PD-VD		BB5	R		

C O D I G O S	Técnica de Ensaio		Dimensões do Filme			Laudo		Resultados	
	PS-VS: ( Parede Simples Vista Simples )	A	3 1/2" x 8 1/2"	F	3 1/2" x 5 1/2"	Nível Cobre - E 272		A	Aprovado
	PD-VS: ( Parede Dupla Vista Simples )	B	3 1/2" x 17"	G	7" x 17"	A - BOLHA DE GÁS		R	Reprovado
	PD-VD: ( Parede Dupla Vista Dupla )	C	4 1/2" x 8 1/2"	H	8 1/2" x 14"	Bb - Inclusão de Área		NX	Reparar
	PS-VSP: ( Vista Panorâmica )	E	14" x 17"	I	Vide Observação	Bb - Inclusão de Escória		EC	Exame Complementar
						Ca - Reduções Lineares		NR	Reparo Parcial
						Cd - Espuma		NT	Corte Total
								AM	Aumento de Amostragem

EXAMINADOR	CLIENTE	ASSINATURAS	INSP. EXTERNO / FISCALIZAÇÃO	DATA
Genilton Lopes RIA-CNEN 1924/97 SNIQC-0200/RR-N2-S-IL Arcotest Serv. T.I.M. Ind. Ltda	ARCELOMITTAL			

Figura 10: Relatório do ensaio radiográfico da caixa do projeto antigo

RELATÓRIO DE RADIOGRAFIA - E 272										Relatório N. 16						
*Cliente: ARCELORMITTAL BRASIL SA *Contratante: ARCELORMITTAL BRASIL SA *Obra: CAIXA DE REFRIGERAÇÃO N. Proced./Instrução Técnica: END-050-RG - Rev. 03 Local Obra: BUNKER PLN										Data: 22/01/2015 Pág: 1 of 2						
*Material: COBRE Irradiador: 200 Forno No: 7354 Atividade: 0 ci Din Forno 3 mm x3 mm Densidade *Charão: Filamento: AGFA Ecran Ant: 0,005 Ecran Post: 0,010 Temperatura: 20 T Revisão: 5 Marca Modelo RX: Tipo RX: KV Utilizado: mA Resp. Equipe / Operator II: EDICASSIO LIMA DOS SANTOS Operador I: ANTONIO LISBOA RAMOS Operador Auxiliar: SÉRGIO FARIAS DA COSTA																
Nr. Filme	Dim. Filme	*Identificação Peça / Desenho / M. Série	*Região	*Posição	*Dim. Pol.	*Espessura Esp. 1 Esp. 2	DFO (mm)	DFF (mm)	ISO	Filme Classe	Técnica	Inspeção Visual de superfície Observações	Descontinuidade	Laudo	Observações	Obs
355	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	0-1	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		A1/BA1	A		
356	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	1-2	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF/BA1	R		
357	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	2-3	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF	R		
358	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	3-4	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
359	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	4-5	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA4	R		
360	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	5-6	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF/BA5	R		
361	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-01	6-0	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF/BA3	R		
362	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	0-1	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
363	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	1-2	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF/BA1	R		
364	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	2-3	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
365	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	3-4	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
366	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	4-5	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
367	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	5-6	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1	A		
368	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-02	6-0	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA3	A		
369	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	0-1	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1/CO1	A		
370	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	1-2	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		CO3	A		
371	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	2-3	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		FF/CO3	R		
372	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	3-4	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		CO3	A		
373	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	4-5	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		BA1/CO1	A		
374	E	CAIXA DE REFRIG. AF01 8346287 - D.83119MX0002 REV.6	RG-03	5-6	-	40,0 - 40,0	620	700	30-2T	II	PS-VS		CO1/BA2	A		

Figura 11: Ensaio radiográfico da caixa projeto novo

Os gráficos a seguir apresentam os resultados do ensaio radiográfico realizado na caixa de refrigeração com o novo projeto de fundição, fazem uma comparação com caixas fabricadas internamente com projeto de fundição antigo e com caixas fornecidas durante a instalação do Alto Forno I fabricadas em 1981 e 1982 de fabricação japonesa (benchmark).

A Figura 12 traça um comparativo do nível das descontinuidades apresentadas em caixas fabricadas internamente, caixas adquiridas na época da instalação do alto forno I e a caixa de refrigeração com o novo projeto de fundição. É conveniente lembrar que os níveis aceitáveis para aprovação de uma caixa de refrigeração deverão  $\leq 3$ . A Figura 13 apresenta o número de descontinuidades por região radiografada.

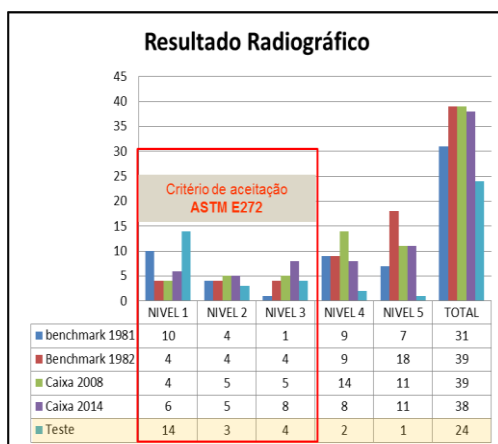


Figura 12. Descontinuidade/nível

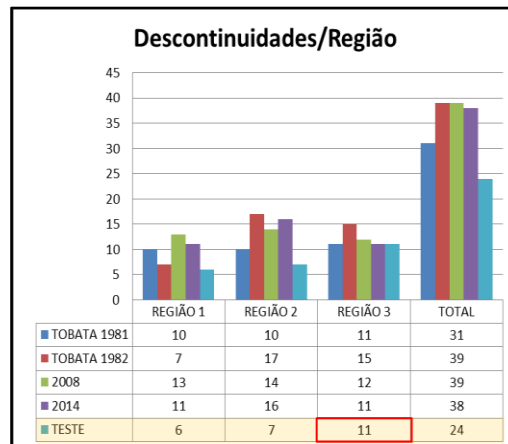


Figura 13. Descontinuidade/região

Na Figura 14 estão relacionados os defeitos apresentados nas caixas de refrigeração, desta forma observa-se que as descontinuidades apresentadas nas peças do novo projeto estão, em sua maioria, dentro dos critérios de aceitação da

norma ASTM E272. Neste caso apenas 3 descontinuidades do novo projeto estão fora dos padrões aceitáveis da norma.

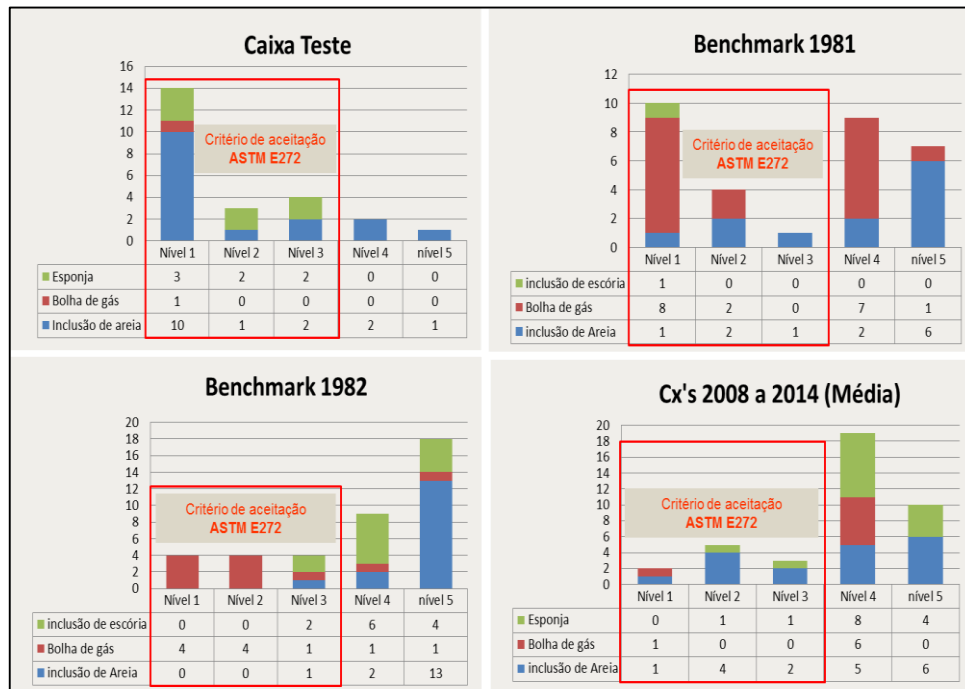


Figura 14. Gráfico comparativo por tipo de descontinuidades

Na Figura 15 as descontinuidades são apresentadas em percentual de aprovação por segmento analisado onde pode-se observar um ganho expressivo na qualidade do fundido da caixa de refrigeração do novo projeto de fundição.

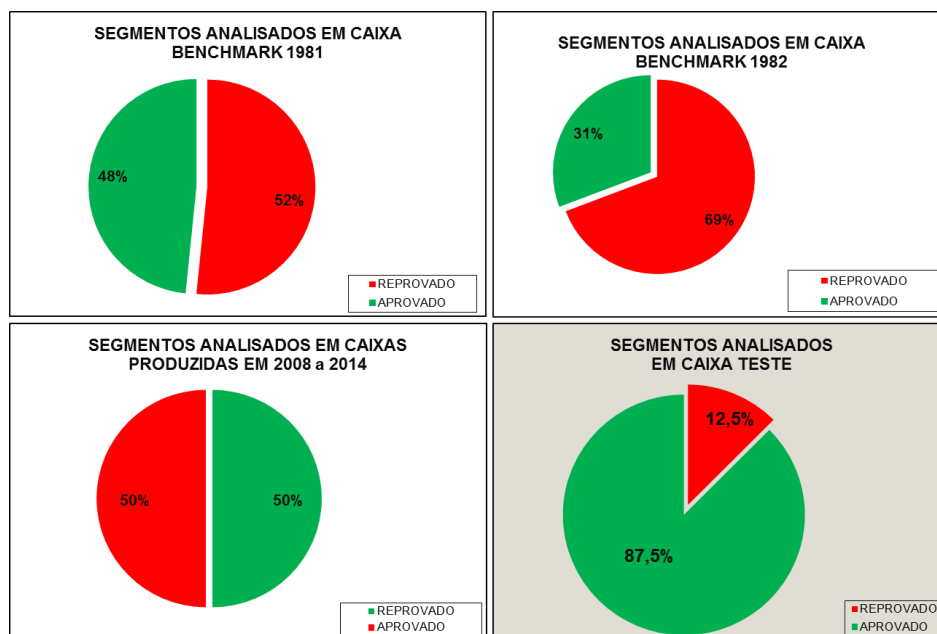


Figura 15. Comparativo percentual por segmento analisado

### 3.4 Análise Visual

As Figuras 16 e 17 mostram uma análise visual do resultado da porosidade apresentada entre os projetos anterior e o projeto atual. Observa-se que o projeto

atual apresenta um nível de porosidade mínimo que requer pouca ou nenhuma intervenção de recuperação com solda garantindo a condutividade do material dentro das especificações desejadas, uma vez o processo de soldagem prejudica a condutividade devido aos elementos existentes nos consumíveis (arame e eletrodos).

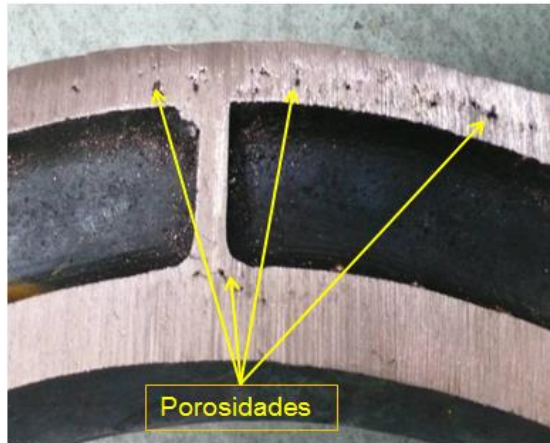


Figura 16. Segmento analisado projeto anterior



Figura 17. Segmento analisado projeto atual

### 3.5 Ganhos

Apesar de existir um aumento no consumo de cobre e no tempo de usinagem para a produção da caixa, haverá a eliminação da etapa de recuperação das descontinuidades provenientes do processo de fundição. Também pode-se afirmar que devido ao menor índice de descontinuidades haverá também um menor nível de sucateamento das caixas de refrigeração. A tabela 2 apresenta o ganho estimado para 2015 considerando a demanda de 14 peças/ano.

Tabela 2: Ganhos estimados para 2015

PREVISÃO DE GANHOS PARA 2015				
FASE	CUSTO ANTERIOR (2014)	CUSTO ATUAL (2015)	PEDIDO DE FABRICAÇÃO PARA 2015	ECONOMIA
Fundição	R\$ 18.174,00	R\$ 18.756,50	14	-R\$ 8.155,00
Usinagem	R\$ 3.078,00	R\$ 3.762,00		-R\$ 9.576,00
Caldeiraria (Recuperação com solda)	R\$ 2.192,00	R\$ 0,00		R\$ 30.688,00
Sucateamento	R\$ 157.026,00	R\$ 25.074,00		R\$ 131.952,00
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 144.909,00</b>

## 4 CONCLUSÃO

O Novo projeto de fundição das caixas de refrigeração do alto forno apresentou os seguintes resultados:

- Melhora significativa na qualidade do fundido da caixa de refrigeração (87,5% aprovada);
- Maior confiabilidade do componente do sistema de insuflação de ar do Alto Forno;

- Eliminação da recuperação das caixas com solda, melhorando também a condutividade da caixa de refrigeração.
- Em relação a ganhos financeiros está prevista para 2015 uma economia de R\$ 144.090,00 relacionados a custos evitados com sucateamento e/ou recuperação com solda.

### **Agradecimentos**

Este projeto é fruto de participação e apoio de várias pessoas, as quais eu gostaria de agradecer e parabenizar pela conquista, são eles:

- A Deus pela força;
- Ao grupo de apoio formado pelos funcionários da Oficina de Fundição da Arcelor Mittal Tubarão que aderiram à ideia, em especial aos operadores David Nascimento Garcia e Douglas Ceccon que abraçaram o projeto;
- Ao Gerente das Oficinas de Fabricação de Peças, Sr. Jeferson Iorio Tessari, pelo incentivo e apoio e ao Especialista Jose Renato.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 SENAI, Belo Horizonte. Departamento Regional de Minas Gerais. Centro Técnico de Fundição-Marcelino Conradi- CEFET. Determinação dos Sistemas de Massalotes e Canais: Formulário 2007.

### **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Torre, Jorge. Manual Prático de Fundição e Elementos de Prevenção da Corrosão. São Paulo: Hemus (Leopardo Editora)
- 2 Wlodawer, R. Directional Solidification of Steel Castings, Sulzer Brothers Ltd., Tranlated by L.D. Hewitt. (1996), English Translation Edited By R.V. Riley Chesterfild, England.
- 3 <http://www.pasa.com.br/ndtdobrasil/radio.asp>.