

# AUMENTO DO TEMPO LÍQUIDO PARA PRODUZIR, COM AÇÕES DE MELHORIAS NAS CAPELAS DOS FUROS DE GUSA DO ALTO-FORNO 3 CSN<sup>1</sup>

Flávio Lopes Machado da Silva<sup>2</sup>  
 Francisco Nóbrega de Aguiar<sup>3</sup>  
 Ezedequias Gomes Fernandes<sup>4</sup>  
 Jose Benedito Oliveira Magalhães<sup>5</sup>

## Resumo

Nos Altos-Fornos o único ponto de ligação do cadinho com meio externo é feito pela região das capelas onde existe um furo chamado de "furo de gusa" toda produção de ferro gusa e escória acumulado no cadinho saem por esta região em bateladas "corridas", O Alto-Forno 3 da CSN opera com 10 corridas /dia o que leva a uma maior exigência dos materiais e equipamentos usados nesta região em que momentos tem gusa mais escória passando a 1.500°C durante a corrida e quando fechado reduz a temperatura para 300°C, exigindo materiais de maior flexibilidade e resistência mecânica. O presente trabalho pretende mostrar através da metodologia do Lean Seis Sigmas, os problemas que levaram a redução da vida útil dos materiais refratários aplicados nesta região (capelas) como também os efeitos negativos gerado no processo de fabricação de ferro-gusa, pela baixa eficiência deste em todo processo de fechamento e vazamento das corridas, como também as soluções adotadas para aumentar o desempenho destas capelas.

**Palavras-chave:** Alto forno; Cadinho; Furo de gusa; Capela .

## NET INCREASE IN TIME TO PRODUCE, WITH ACTIONS FOR IMPROVEMENT IN THE TAP HOLE SPOOL BLAST FURNACE 3 CSN

### Abstract

Blast Furnaces the single connection point of the hearth with the external environment is done by spool region where there is a hole called a "pig iron" all production of pig iron and slag accumulated in the hearth out of this region in what is called "tap", the Blast Furnace 3 CSN operates 10 Taps / day leads to greater demand for materials and equipment used in this region in that time has iron more slag running at 1500 ° C. During the running and when is closed reduces to 300 ° C requiring materials for greater flexibility and mechanical strength. This study aims to show through the methodology of Lean Six Sigma, the problems that led to the reduction of life refractory's applied in this region (spool) and also the negative effects generated in the manufacturing process of pig iron by the low efficiency in this entire closing process and leakage of the running, as well as the solutions adopted to increase the performance of these spools.

**Key words:** Blast Furnace, Hearth, Tap hole, Spool.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Especialista da Gerência de Altos Fornos CSN.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, Especialista em Siderurgia da Gerência de Altos Fornos CSN.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Manutenção Sênior da Gerência de Refratários CSN

<sup>5</sup> Técnico em Mecânica, Supervisor de hidráulica da Gerência de Manutenção de Altos Fornos CSN.

## 1 INTRODUÇÃO

No alto-forno, minério de ferro e combustíveis/redutores (coque, carvão) são transformados em gusa, escória e gás. O ferro-gusa e a escória não se misturam, ficando separados um do outro no cadinho do forno. A escória flutua sobre o ferro-gusa, mais denso dentro do cadinho antes de serem ambos escoados na operação chamada “corrida”, uma das mais importantes do processo. Nesse sentido, as práticas de casa de corridas têm influência significativa, pois está interligado com o processo de forma a garantir um bom escoamento e drenagem dos líquidos do cadinho do alto-forno, o que confere estabilidade operacional ao alto-forno. Isso se deve ao fato de que, o acúmulo de líquidos no cadinho reduz o espaço livre para o gás produzido pelo processo, gerando um aumento da pressão interna do forno afetando assim a descida de carga, daí a necessidade do cadinho estar sempre bem escoado.

O Alto Forno nº3 da CSN está em sua 3ª campanha, sendo reformado e modernizado em maio de 2001, opera com 38 ventaneiras, possui volume interno útil de 4.237 m<sup>3</sup>, e quatro furos de gusa, dois em operação e dois em manutenção conforme Figura 1.

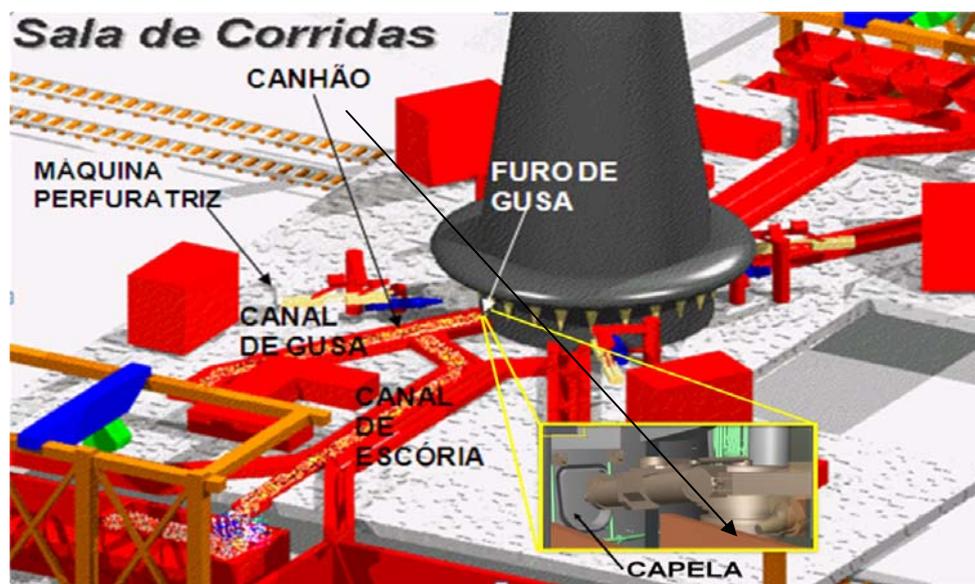


Figura 1. Layout sala de corridas do Alto Forno 3 CSN.

### 1.1 Definições Do Problema

O processo de fechamento de uma corrida acontece no momento em que o canhão de lama toca na superfície externa da capela conforme detalhe da Figura 1, e fecha o furo de gusa injetando massa refratária, porém para garantir uma boa vedação entre canhão e capela é necessária uma superfície perfeita, ou seja sem ondulações, trincas ou vazios evitando assim o vazamento de massa para fora do furo. Quando este vazamento é em grandes proporções durante o fechamento do furo, ou parte do concreto da capela próximo ao furo quebra, a parada do alto-forno em emergência é inevitável.

## 1.2 Perdas

Em 2007 as ocorrências de trincas e quebra do concreto das capelas veio aumentando sendo necessário interrupções no processo produtivo com paradas de emergência de até 585 minutos para reparo nestas. O tempo e a frequência destas paradas vieram aumentando totalizando 3.750 minutos em 2008 conforme Figura 2. Totalizando as perdas por paradas e reduções de produção, até primeiro semestre de 2009 de 55 mil toneladas. Além das perdas de encomenda por falta de gusa, existem outros impactos como desvios de qualidade e emissões fugitivas devido o aumento de projeções no conversor pela elevação do Silício acima 0,60 % no ferro-gusa.

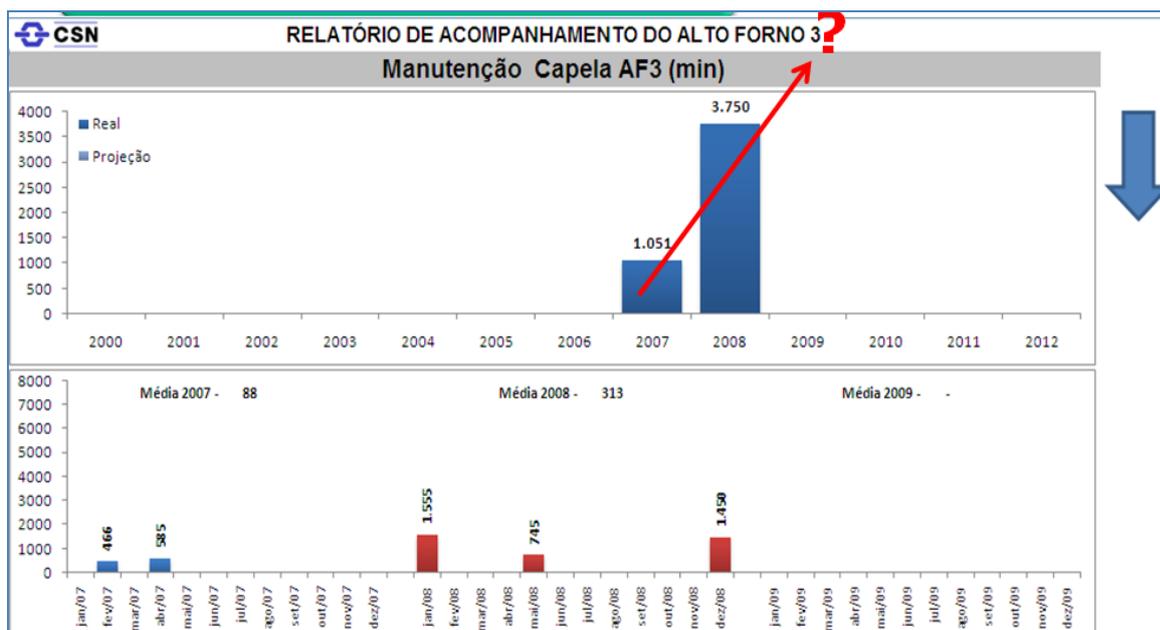


Figura 2. Perdas devidas parada do alto-forno 3 para reparo das capelas.

## 1.3 Cronograma e Meta

A meta inicial foi de aumentar em 80% o TLP (Tempo Líquido para Produzir) reduzindo as paradas de emergência do alto-forno 3 por reparo de capelas até o segundo semestre 2009, e eliminar estas paradas até o segundo semestre de 2010, ou seja, efetuando o reparo das capelas somente nas manutenções preventivas programadas. O tempo entre um reparo e outro das capelas é chamado de “campanha”, para conhecer as melhores práticas de reparo de capela e a duração das campanhas, o grupo buscou informações de benchmarking de altos-fornos a coque das Siderúrgicas instaladas no Brasil e com volume interno próximos ao alto-forno 3 não encontrando campanha de capelas maior que seis meses, como meta desafio foi definido 12 meses.

Foi elaborado um cronograma macro buscando a implantação em 6 meses das principais fases, conforme Figura 3.

Item	O Que	Farol	Resp.	Prog./Real.	Prazo		% Execução	Condição	Cronograma													
					Início	Fim			2009					2010								
									J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
1	DEFINIR	●	MACHADO	P	15/5/2009	14/6/2009	100%	Concluído														
					R	11/5/2009			16/6/2009													
2	MEDIR	●	MACHADO	P	15/6/2009	14/7/2009	100%	Concluído														
					R	15/6/2009			14/7/2009													
3	ANALISAR	●	MACHADO	P	15/7/2009	14/11/2009	100%	Concluído														
					R	15/7/2009			15/11/2009													
4	IMPLANTAR -REPARAR AS CAPELAS CONFORME NOVO PROJETO	●	EZEDEQUIAS	P	15/8/2009	30/8/2009	100%	Concluído														
					R	15/8/2009			30/8/2009													
5	IMPLANATAR -DEFINIR METODOLOGIA DE REPARO	●	EZEDEQUIAS	P	15/11/2009	28/4/2010	100%	Concluído														
					R	15/11/2009			28/4/2010													
6	CONTROLE- ACOMPANHAR RESULTADOS	●	MACHADO	P	1/9/2009	1/9/2010	100%	Concluído														
					R	1/9/2009			1/9/2010													

Figura 3 - Cronograma de trabalho.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 Fluxo dos Processos (SIPOC)

Na Figura 4 é apresentando o SIPOC,<sup>(1)</sup> resultado de brainstorm feito pelo grupo onde foi listados os principais processos envolvidos, que buscou determinar claramente o que o cliente quer e se preocupa. Compreender esses princípios também ajudou a melhorar a comunicação para garantir a coerência em suas respostas quando as perguntas aparecem.

SIPOC					
Fornecedores Suppliers	Insumos Inputs	PROCESSO Process	Produtos Outputs	Consumidores Customers	
Ibar GFO Reframom Saint Gobain Ternojet Sankyu	Projeto Concreto refratário Estrutura Mão de Obra Cura Aquecimento controlado	REPARO DA CAPELA	Vida útil de 12 meses Sem queda de pedaços Baixo vazamento de gás Sem vazamento líquidos fora da boca Sem afundamento da boca	GAC	
DMV / MR Bardella/Esfil GGCE Air Service GMG GAF 3 GGCE GGCE GGCE	Brocas Vergalhão Oxigênio Perfuratriz Mão de obra Nitrogênio refrigeração do sopro Água de refrigeração sopro Ar comprimido	VAZAMENTO DO FURO DE GUSA	Comprimento > 3,2m Sem trincas Vazado no centro do FG Tempo de corrida dentro do padrão	GAC	
Magnesita GMG Padrão fechamento FG Padrão Fechamento FG GAF 3 GAF 3 Padrão Fechamento FG	Massa de tamponamento Canhão de lama Bico falso com gaxeta Boca limpa Boca nivelada com bico Luva de fibra Mão de obra Massa na temperatura adequada	FECHAMENTO DO FURO DE GUSA	Sem volta de massa Na quantidade pedida Sem arrombamento Recomposição do cogumelo Tempo de corrida dentro do padrão	GAC	
Reframom GAF3 GMG GMG DMV/MR DMV Magnesita/Ibar	Retro-escavadeira Mão de obra Iluminação Perfuratriz Broca Lixa Massa aluminosa	LIMPEZA E PREPARAÇÃO DA CAPELA	Capela sem cascão Boca com profundidade entre 0 e 100mm	GAC	

Figura 4 – Fluxo dos principais processos de sala de corridas SIPOC.

### 2.2 Medida

Nas principais estratificações selecionadas conforme Figura 5 ,foi confirmado que os problemas de baixo desempenho das capelas não eram exclusivos a apenas um furo de gusa, e que a meta de 1 ano de campanha era factível devido já ter

conseguido nas capelas dos furos de gusa 2 e 4 , uma observação que estas capelas sofreram um reparo parcial durante esta campanha.

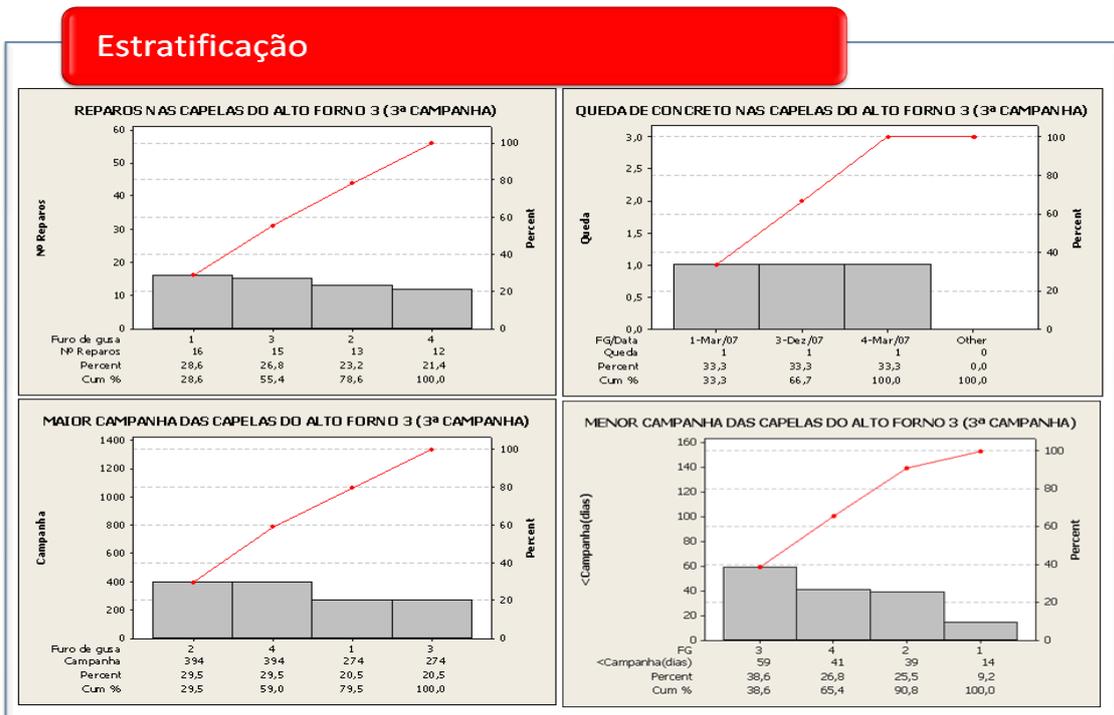


Figura 5 – Estratificação das ocorrências de falha nas capelas dos furos de gusa.

### 2.3 Análise

Usando a experiência do grupo e as informações coletadas sobre as falhas das capelas foram possíveis levantar as causas e organizar-las usando o diagrama de relações conforme Figura 6, seguindo com testes de hipóteses e matriz de priorização resultou na Figura 7 onde mostra as causas do problema prioritário.

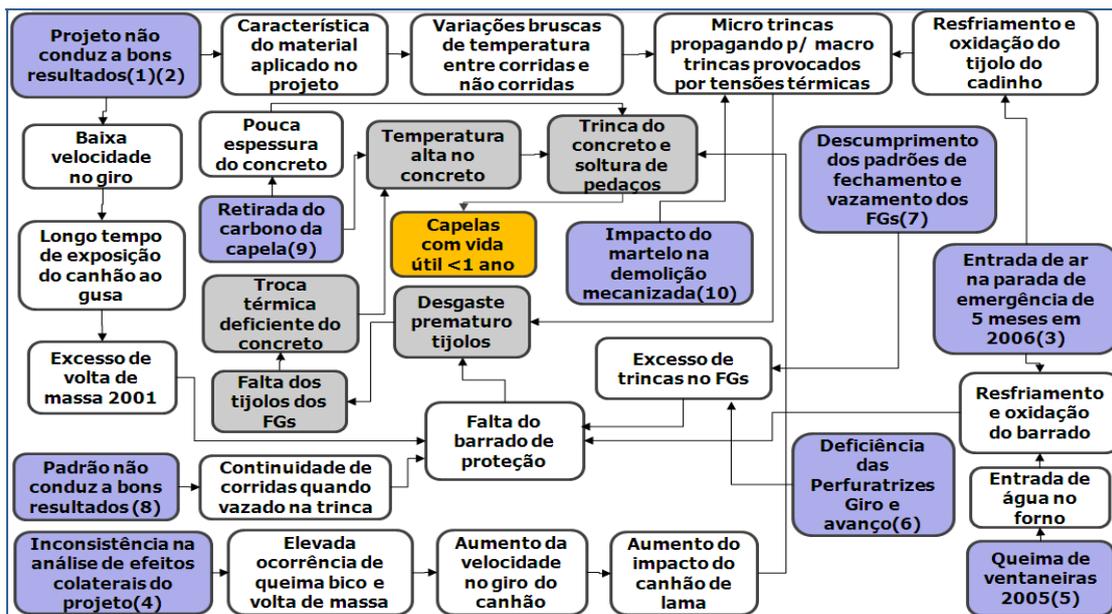


Figura 6. Diagrama de relações das causas levantadas.

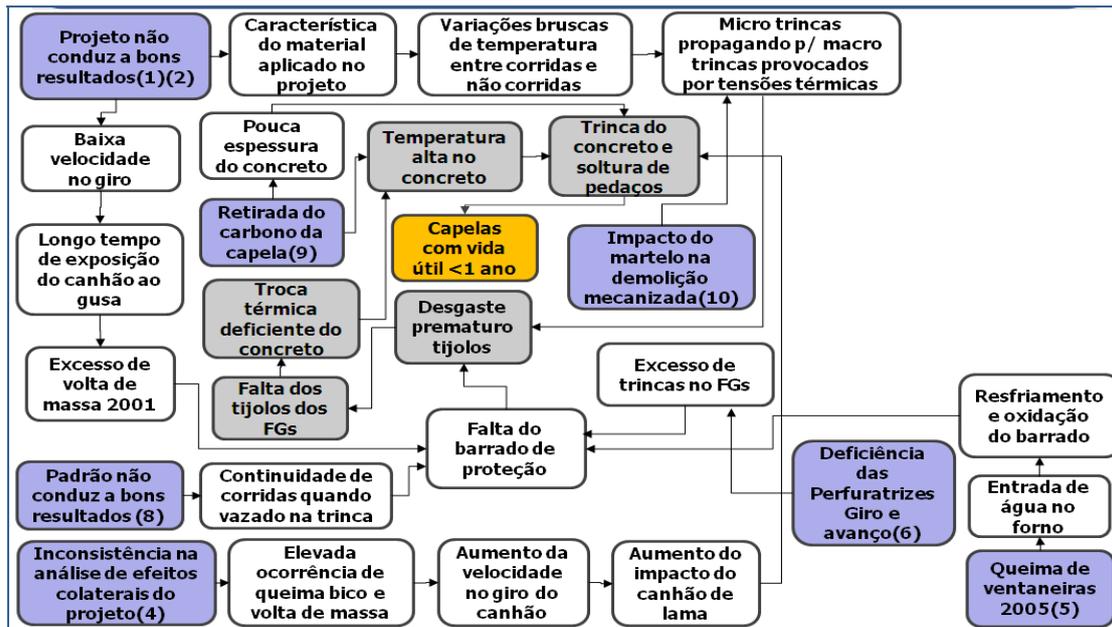


Figura 7 – Diagrama de relações das causas priorizadas.

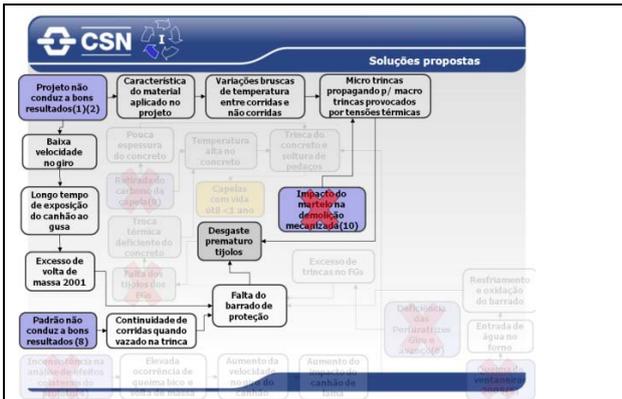
### 3 RESULTADOS

Abaixo, conforme Tabela 1, é apresentada todas as ações compulsórias que vinham sendo implantadas e as de melhoria buscando aumentar a campanha das capelas e melhorar a confiabilidade dos equipamentos de casa de corridas.

Tabela 1 - Implementação das ações nas causas priorizadas

CAUSAS	AÇÕES
	<p>a) Substituição pelo processo core plug (TALAAT , ABRIL 2010);</p>
<p>a) Falta dos tijolos de carbono; b) Efeitos colaterais do canhão c) Retirada do carbono da capela d) Quebra do concreto da capela</p>	<p>b) Instalação da estrutura de inox; c) Instalação de uma fiada de tijolos de grafite dentro das capelas</p>

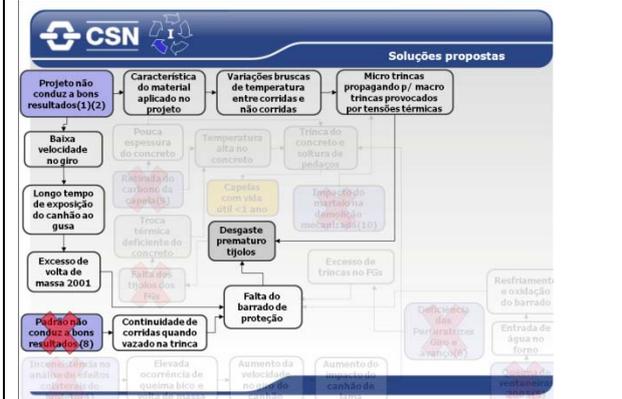




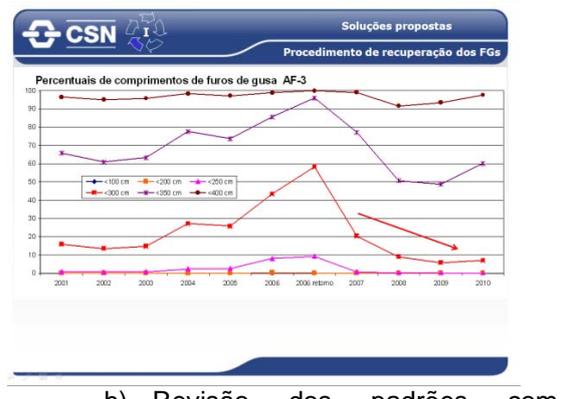
g) Impacto do martelo na demolição mecanizada das capelas;



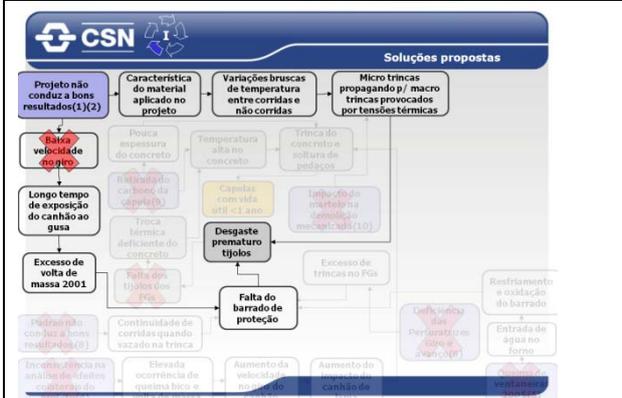
g) Alteração no procedimento de reparo para corte com serra copo;



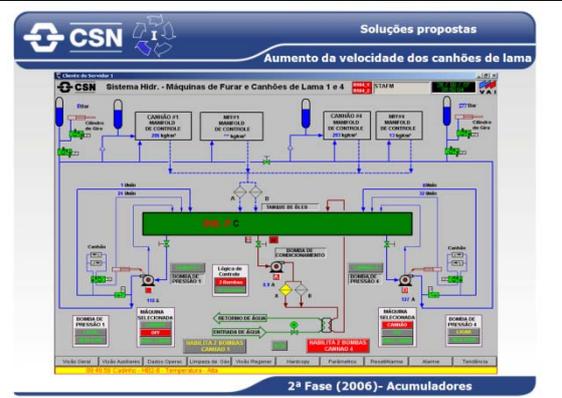
h) Padrão de vazamento e fechamento dos furos de gusa não conduz a bons resultados;



h) Revisão dos padrões com melhoria significativa dos comprimentos dos furos de gusa



i) Projeto do tempo de giro do canhão de lama não conduz a bons resultados;



i) Redução no tempo de giro dos canhões para fechamento dos furos de gusa.

**Soluções propostas**

Projeto não conduziu a bons resultados (1)(2)

Característica do material aplicado no projeto

Variações bruscas de temperatura entre corridas e não corridas

Micro trincas propagando / macro trincas provocados por tensões térmicas

Baixa velocidade de despejo

Longo tempo de expansão do cadinho ao gusa

Excesso de volta de massa 2001

Refratários com defeitos

Trinca de concreto e vólvura de pastacos

Temperatura alta no concreto

Capelas com vista útil < 1 ano

Tijolo-fundo moído na instalação e maciço (10)

Desgaste prematuro tijolos

Excesso de trincas no FGs

Falta de barrado de proteção

Deficiência das Parafusadas sobre a expansão

Restrição e oxidação do barrado

Entrada de água no forno

Continuidade de corridas quando vazado na trinca

Elevada ocorrência de queima laca e quebra de tijolos

Aumento da velocidade moída do cadinho de gusa

Aumento da velocidade moída do cadinho de gusa

**Projetos**

**Soluções propostas**

J) Efetuar estudo para revisão do projeto do cadinho para próxima reforma 2021.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Entrega e Qualidade

Após a revisão do projeto das capelas e instalação nos furos de gusa 2 e 4 em dezembro de 2008 não tivemos mais quebra e soltura dos concretos das capelas ,porém, foi necessário fazer ajustes e melhorias visando facilitar a instalação da estrutura metálica e os refratários de grafite, sendo implantado o projeto definitivo em agosto de 2009. Foram definidos pelo grupo dois tipos de reparos para as capelas :

- i) Reparo geral: Substituição da estrutura, concreto e tijolos de grafite da capela com previsão de campanha para dois anos;
  - ii) Reparo do miolo da capela: Substituição apenas do refratário da região 450 mm de diâmetro próximo ao furo de gusa com previsão de campanha de um ano.
- Os resultados atuais são mostrados na Figura 8, no furo de gusa 4 o reparo do miolo foi feito com 245 dias propositalmente para coincidir com a data do próximo reparo do furo de gusa 2.

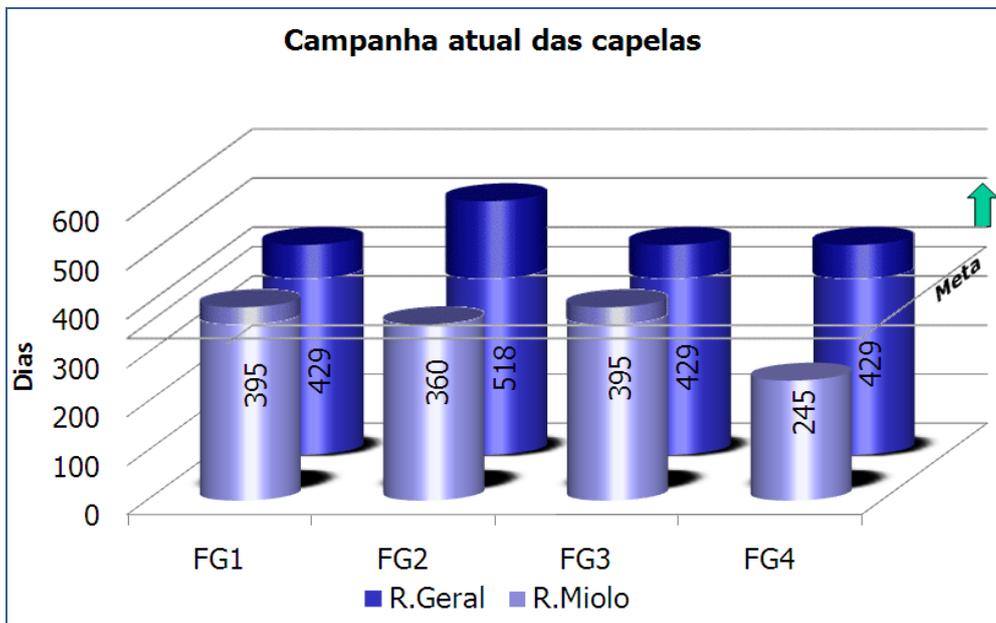


Figura 8 – Campanha atual das capelas do alto-forno 3.

Conseqüentemente o (TLP) tempo líquido para produzir aumentou de 80% para 100% em 2009, não ocorrendo mais paradas de emergência nem reduções de produção devida quebra do concreto da capela, conforme figura 9, na metodologia Lean Seis Sigmas uma métrica muito usada é o nível Sigma ( $\sigma$ ). Quanto maior o nível sigma, melhor é o desempenho do processo, o nível sigma no início da implantação do projeto era de  $\sigma = 3,89$  para nível sigma proposto como alvo de  $\sigma = 4,43$ , e o resultado atual está em  $\sigma = 6$ , nível considerado de classe mundial.<sup>(3)</sup>

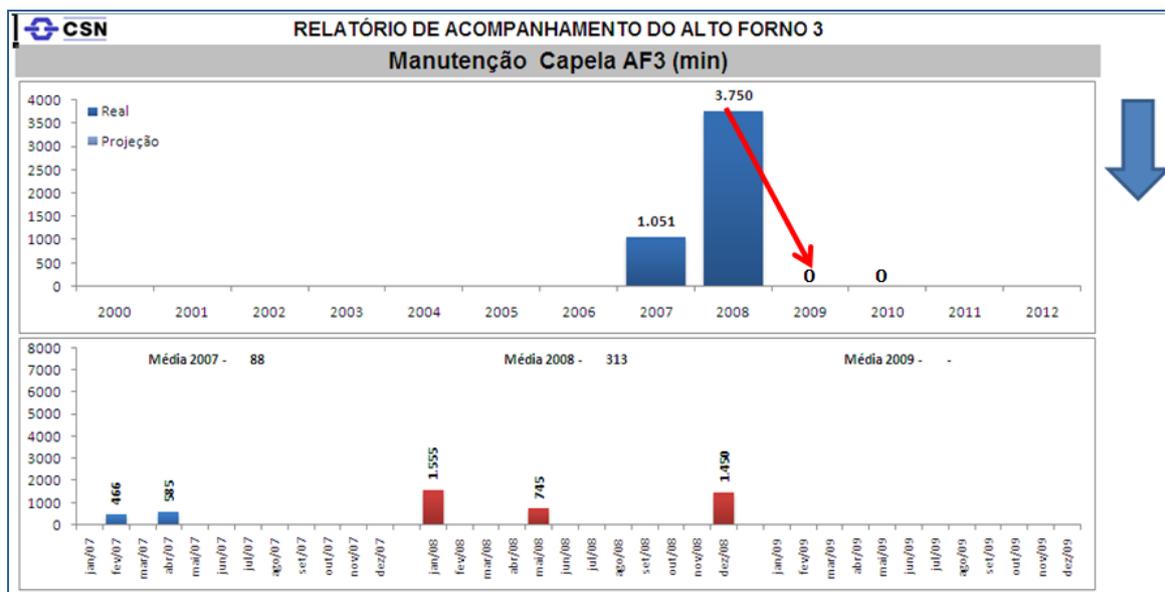


Figura 9 – Resultados atuais para reparo de capelas.

## 4.2 Custos, Meio Ambiente e Segurança

Conforme mostrado na Tabela 2 o ganho total somando economia de combustível, silício e margem de contribuição foram significativos. Como benefícios indiretos obtiveram ganhos em segurança e principalmente em meio ambiente (Figura 10) com a redução de emissões fugitivas a partir de 2005, e sem ocorrências de redução de sopro e paradas em emergência.

Tabela 2- Ganho financeiro

Métrica Financeira			
16. Ítem de impacto	17. Custo da Má qualidade	18. Redução estimada %	19. Benefício Anual
<b>Ganhos que podem ser reconhecidos no resultado:</b>			
13.000.000	\$ 13.000.000	100%	13.000.000,00
Total	\$ 13.000.000		
<b>Ganhos que não se mostram direto no resultado:</b>			
Coque rate	\$ 160.000	100%	190.000,00
Silício	\$ 30.000		
Total	\$ 190.000		
20. Benefícios indiretos Melhorias de ergonomia, meio ambiente, segurança.....	Menor exposição dos colaboradores ao risco em reparo a quente de capela ; Menor impacto ambiental por reduções de sopro em emergência;		

Fonte: Assa, CSN.

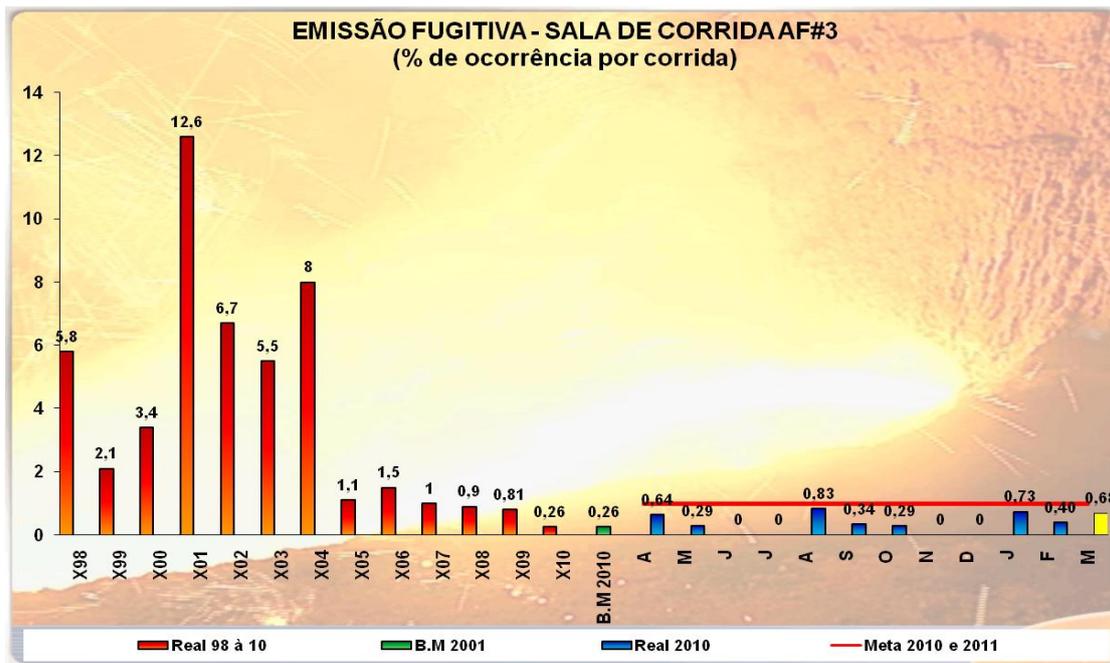


Figura 10. Ocorrência de emissão fugitiva alto-forno 3.

### 4.3 Padronização

Todos os procedimentos de reparo das capelas foram fotografados, filmados e anexados ao relatório final, as alterações em equipamentos e instalações foram revisadas conforme procedimento PP 17366 REV..-5, SI 502628 REV.4, PP 500425 REV. 0, e nos procedimentos operacionais revisados seguindo o padrão PP 170370 REV.5.

## 5 CONCLUSÃO

A abordagem metodológica do Lean Seis Sigmas aplicada neste trabalho se mostrou adequada para atender os objetivos propostos, que pretendeu aumentar o TLP (tempo líquido para produzir), eliminando as paradas de emergências para reparo das capelas, elevando o tempo de campanha das capelas para um resultado de benchmarking na América Latina. Além disso, em função da consistência dos resultados alcançados, as melhorias implementadas no alto-forno 3 estão sendo estendidas para o alto-forno 2. Sendo assim, pode-se concluir que as metas propostas foram atendidas plenamente, e hoje estão sendo superadas. Para o futuro, novos projetos e materiais estão sendo estudados para implantação na reforma do cadinho do alto-forno 3 da CSN em 2021.

## REFERÊNCIAS

1. LOSSO, JOSILENE, **Lean Seis Sigmas**, Curso Green Belt, Gerando Valor para CSN. (2008)
2. TALAAT, TALEB, **Relatório de assistência técnica T.R.E. Services** Abril 2010.
3. SIQUEIRA CAMPOS ASSOCIADOS, acesso em março 2009, **Cálculo do sigma**. Disponível em: <http://www.siqueiracampos.com.br>