

# 1ª CAMPANHA DO ALTO FORNO 1 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO: HISTÓRICO, REFORMA, NOVAS TECNOLOGIAS, PRIMEIROS RESULTADOS DA 2ª CAMPANHA E PERSPECTIVAS FUTURAS\*

*Claudio Cesar da Costa<sup>1</sup>*

*Douglas Ruy<sup>2</sup>*

*Ernandes de Souza Belonia Filho<sup>3</sup>*

*Franklin Alexandre da Silva<sup>4</sup>*

*José Antônio Pereira Novaes<sup>5</sup>*

*Leonardo Passos Perdigão<sup>6</sup>*

*Luiz Augusto Wasem<sup>1</sup>*

## Resumo

O Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão, operou entre 30 de novembro de 1983 e 18 de abril de 2012, produzindo 93.915 Mt. Durante esta campanha, inúmeras melhorias foram implementadas para aumentar sua longevidade mantendo o volume e custo de produção. O Alto Forno 1 da AMT é reconhecido como recordista tanto em volume de produção quanto em tempo de operação para uma única campanha. Durante sua reforma, foram empregadas as técnicas de reforma em grandes blocos, as quais foram trocados todo o cadinho, corpo e topo do Alto Forno, trazendo recursos tecnológicos possibilitando obter melhores resultados durante a segunda campanha. Após a reforma, o Alto Forno 1 continua apresentando bons resultados em termos de produtividade, consumo de combustíveis e índices de trabalho, colocando-o entre um dos Altos Fornos com melhores resultados do grupo ArcelorMittal.

**Palavras-chave:** Alto forno; Desgaste de cadinho; Reforma de alto forno; Distribuição de carga.

## ARCELORMITTAL TUBARÃO BLAST FURNACE#1 1<sup>ST</sup> CAMPAIGN: HISTORICAL RESULTS, RELINE ACTIVITIES, TECHNOLOGICAL UPDATES, 2<sup>ND</sup> CAMPAIGN RESULTS & PERSPECTIVES

### Abstract

The Blast Furnace 1 ArcelorMittal Tubarão, began the first campaign in November 30th, 1983 stopped to reline in April 17th, 2012 with 93.915 Mt accumulated production. During the first campaign, numerous improvements were implemented to increase their longevity but keeping the volume and cost of production. Blast Furnace 1 ArcelorMittal Tubarão is recognized as record holder both in production volume and time of operation for a single campaign for large size blast furnace. During the reline, techniques were used in large blocks reline, which were exchanged all the hearth, shell and top, bringing more technological resources enabling better results during the second campaign. After reline, Blast Furnace 1 keep good results of productivity, Fuel consumption and work index, keeping among the best results of the ArcelorMittal group.

**Keywords:** Blast Furnace; Hearth Wear, Revamp; Burden Distribution.

<sup>1</sup> Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil

<sup>2</sup> Engenharia Elétrica, Gerente de Manutenção e operação de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Mecânica, Gerente de área de Manutenção Mecânica de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Engenharia Mecânica, Especialista de manutenção de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>5</sup> Administração, Gerente de área de operação de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Metalúrgica, Gerente de Área de Altos Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

ArcelorMittal Tubarão, estabelecida em 1976 como Estatal, com as ações minoritárias pertencentes ao grupo Kawasaki, do Japão, grupo Ilva da Itália. Somente em novembro de 1983 o Alto Forno 1 iniciou sua primeira campanha. Devido aos esforços integrados da manutenção, operação e engenharia, o Alto Forno 1 atingiu a marca relevante de 28, 4 anos de operação ininterrupta com a marca de aproximadamente 94 milhões de tonelada de gusa em uma única campanha. Sendo considerado referência mundial em produção de gusa, com alta performance operacional, alta produtividade e baixo consumo de combustível. A segunda campanha teve início em 4 de setembro de 2012 com nova tecnologia no carregamento do Alto Forno e outras melhorias tornaram o Alto Forno 1 de Tubarão um dos melhores Fornos do grupo ArcelorMittal.

## 2 MÉTODOS

Inicialmente foi apresentado o histórico do projeto do Alto Forno 01. As ações de manutenção e de operação foram discutidas, seguidas do procedimento de blowdown do forno e reforma.

Após análise dos resultados foi possível destacar as perspectivas para o futuro.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Histórico

ArcelorMittal Tubarão é uma planta integrada projetada para a produção de 3,0 Mt/ano:

- 1 Planta de Coque com 3 baterias de 49 fornos;
- 1 máquina de Sínter com 440 m<sup>2</sup>;
- 1 Alto Forno com 4,415 m<sup>3</sup>;
- 1 Aciaria com 2 convertedores tipo LD;
- 1 lingotamento convencional;
- Sistema de injeção de carvão pulverizado – PCI;
- Turbina de topo (TRT);
- Carregamento de coque central (CCF).

O fluxo de produção é mostrado na Figura 1.

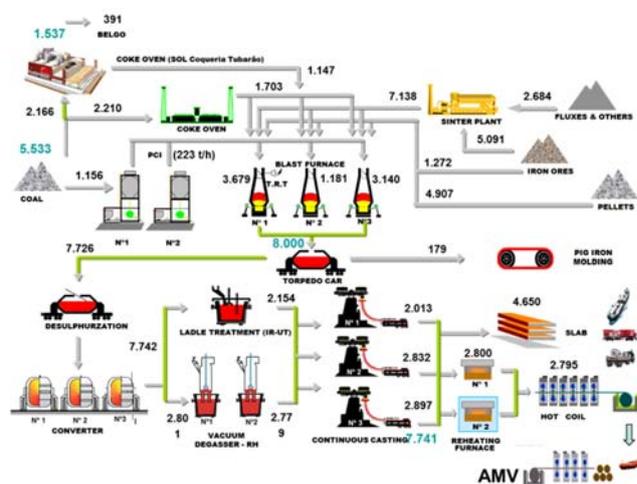


Figura 1. Fluxo de produção

### 3.2 Histórico do Projeto de Prolongamento de Vida do Alto Forno

A vida útil estimada do Alto Forno era de 6 anos. Em maio de 1987 foi criada a equipe de Prolongamento de vida útil, incluindo manutenção, projeto, operação e a assistência técnica da Kawasaki Steel Corporation.

Durante a primeira campanha, ações foram tomadas no intuito de aumentar o tempo de vida do Alto Forno. A Figura 2, abaixo, resume essas ações dentre elas:

- Matérias-primas e controle de distribuição da carga;
- Projeção do Refratário na cuba superior e injeção no corpo do forno;
- Rotina de manutenção dos cones, distribuidor rotativo e placas móveis do topo;
- Manutenção preditiva: ultrassom, endoscopia e inspeções térmicos e diagnósticos especializados.

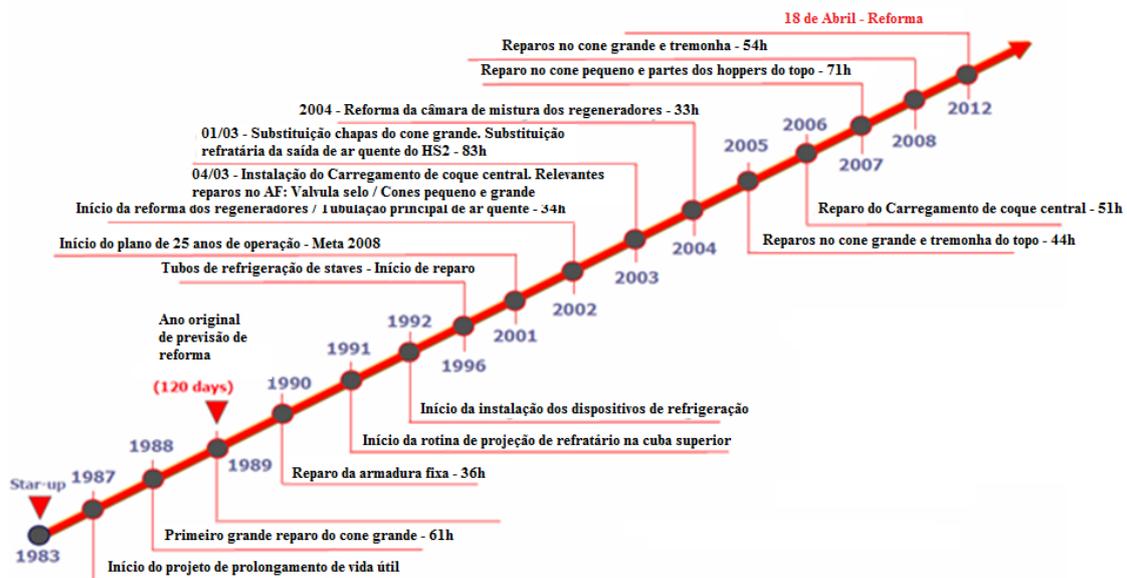


Figura 2. Ações para aumento da vida útil.

### 4 AÇÕES DE MANUTENÇÃO

A estratégia básica da Manutenção para o prolongamento de vida útil é mostrado na Figura 3. Um plano de manutenção específica para estender o tempo de vida foi preparado e novos métodos e soluções foram desenvolvidos.

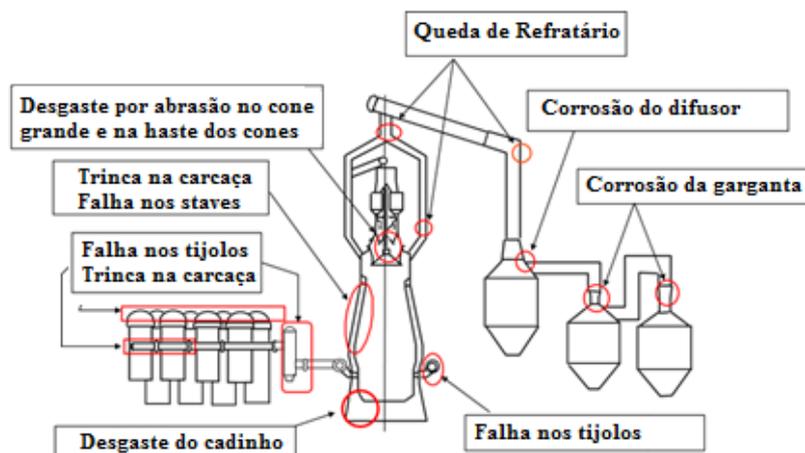


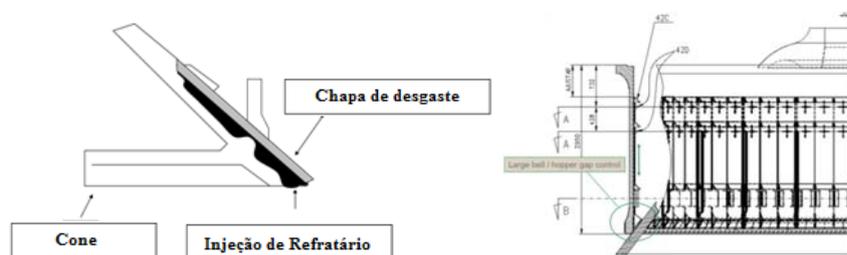
Figura 3. Pontos críticos da vida do Forno.

Os principais fatores que afetam a vida do forno:

- Cone Pequeno e grande:
  - Desgaste por abrasão e impacto.
- Cuba:
  - Desgaste do refratário;
  - Colapso dos tijolos refratários;
  - Modificação térmica na carcaça, trincas e vazamento de gás.
- Cadinho:
  - Danos nos tijolos causados por variações térmicas;
  - Erosão no bloco de carbono causado por aumento da temperatura;
  - Rachaduras na carcaça;
  - Vazamento de gás.

As principais atividades de manutenção durante a primeira campanha do AF1:

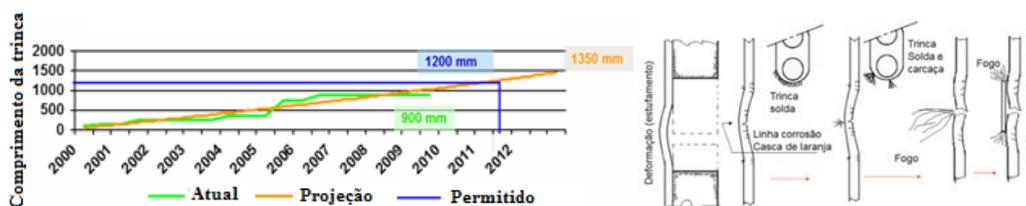
- Cone Pequeno:
  - Substituição da saia do cone pequeno: o conjunto é dividido em 2 partes;
  - Desgaste das chapas dos Hopper: substituição das chapas que sofreram abrasão.
- Cone Grande:
  - Substituição das chapas de desgaste: linhas superiores e inferiores com enchimento refratário (Figura 4a);
  - Desgaste do revestimento do Hopper: montagem das chapas inferiores com ajuste vertical para controle de gap (Figura 4b);
  - Diagnóstico da haste de suspensão do cone;
  - Parte inferior do cone grande: inspeção visual (câmera) em cada parada programada (90 dias).



**Figura 4.** (a) desgaste do Grande Cone e enchimento de refratário; (b) Placas do hopper do cone grande

- Carcaça/ Sistema de refrigeração:

- Resfriamento externo (água);
- Melhoria no sistema que monitora a temperatura (260 termopares novos);
- Controle de trincas e contramedidas;
- KPI: com base na evolução da rachadura da carcaça, Figura 5;
- Evolução do vazamento na carcaça (cuba), Figura 5.



**Figure 5.** KPI: Evolução da rachadura e vazamento na carcaça.

- Injeção de Refratário (Figura 6a);
- Instalação de dispositivos de refrigeração (Figura 6b);
- Abertura de furos para alívio de tensões (Figura 7);
- Proteção da carcaça na cuba superior através de projeção (Figura 8).

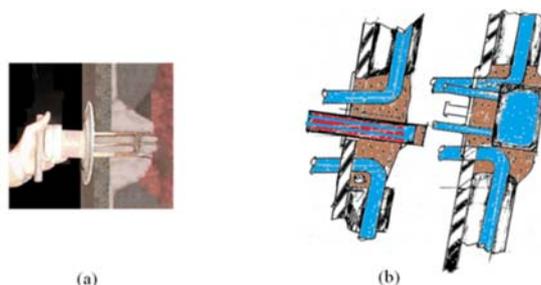


Figura 6. (a) Enchimento de refratário (b) Instalação de dispositivo de refrigeração

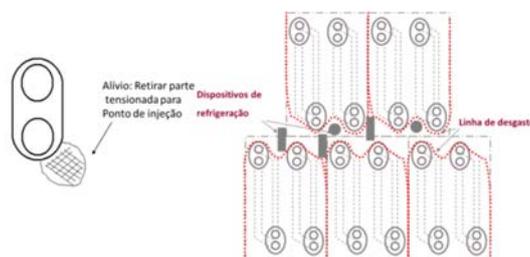


Figura 7. Abertura de furos para alívio de tensão da carcaça.

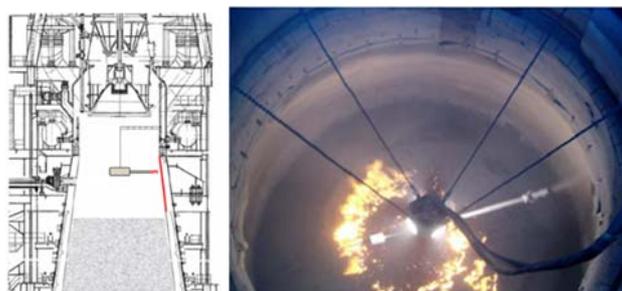


Figura 8. Gunning na cuba superior

- Soleira: Diagnósticos da soleira foram feitos para apoiar o plano de aumento de vida útil (Figura 9).

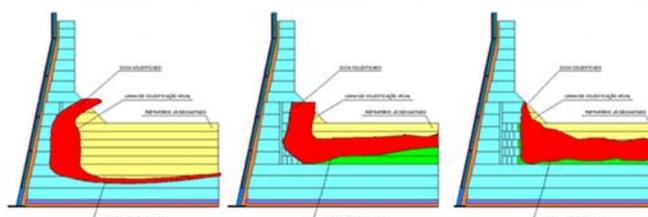


Figura 9. Diagnóstico da soleira em 2001, 2005 e 2008

- Regeneradores (HS):

- Substituição completa com um novo projeto do Domo de refratário na câmara de combustão do HS 3;
- Substituição do tijolo do queimador de cerâmica dos HS's 3 e 4;

- Aplicação de material para prevenção de corrosão sob tensão (**SCC**) na superfície interna dos Domos, dutos de conexão e nos tubos (branchpipe) do HS 4;
- Substituição da conexão T nos HS's 1, 2 e 3;
- Domos dos regeneradores:
  - Rotina de inspeção termográfica;
  - Inspeção por endoscopia;
  - Instalação de 91 termopares novos.

#### 4.1 Controle de Qualidade das Matérias-Primas

Controle rigoroso na sua matéria-prima, uma vez que a estabilidade das matérias-primas está diretamente ligada ao desempenho do Alto Forno e a vida do cadinho. Na Figura 10 são mostrados os principais itens de controle das matérias-primas.

Índice de Qualidade do Coque		Índice de qualidade do Sinter		Índice de qualidade do gusa	
Item de Controle	Meta	Item de Controle	Meta	Item de Controle	Meta
ASH	10,70%	Basicity	0,107	Temperatura	1490°C
[S]	0,70%	SiO <sub>2</sub>	0,007	[Si]	0,12 - 0,40%
DI 150/15	85,50%	[Mn]	0,855	[S]	≤ 0,060
		[P]	± 5%	[Mn]	0,25 - 0,50%
		> 50 mm	9,00%	[P]	≤ 0,107
		< 5 mm	6%		
		Shatter Index	92%		

Figura 10. Principais itens de controle das matérias-primas no Departamento de Produção de Gusa

### 5 AÇÕES DE OPERAÇÃO

No início, depois do start-up, o rating up foi feito de maneira lenta e gradual (Figura 11), com um aumento lento de produtividade e diminuição do Fuel Rate. O principal objetivo foi ajustar a distribuição de carga onde foi observado alta perda de carga (DPV) e relação CO/CO<sub>2</sub>.

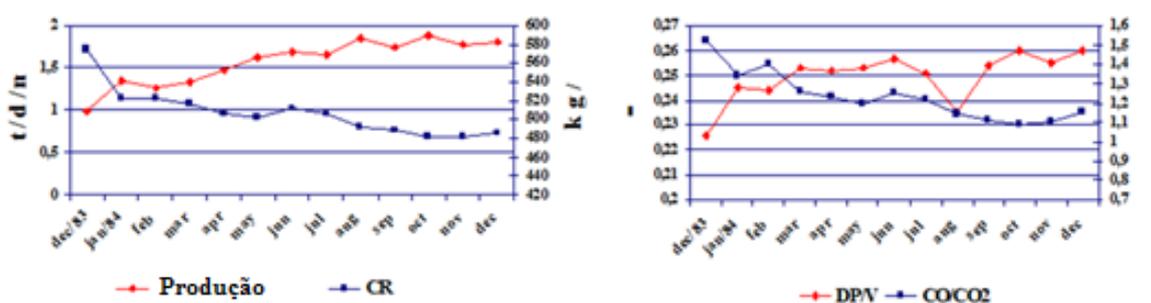


Figura 11. Rating up do Alto Forno

Para reduzir a pressão de sopro e melhorar o rendimento de gás de topo, uma redução no fluxo de gás central e aumento do fluxo periférico foram necessários. Então, mudando a sequência de carregamento de C↓ O↓ para C↓ C↓ O↓ como mostra a Figura 12, permitiu o controle independente do fluxo central e periférico melhorando o desempenho operacional atingindo 2,0 t/d/m<sup>3</sup> com 480 Kg/t de Fuel Rate.

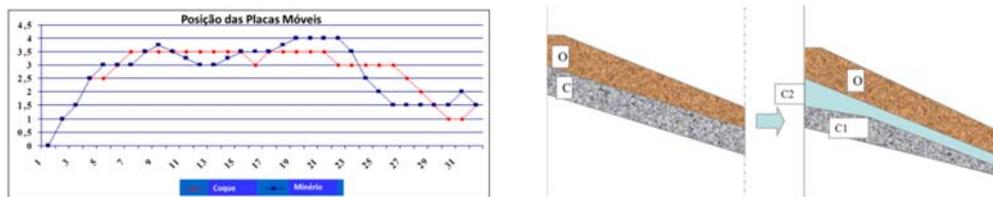


Figura 12. Alterações de posição das placas móveis e sequência de carregamento

Os principais trabalhos desenvolvidos estavam relacionados com o controle de distribuição de carga. Controlando todos os agentes que poderiam interferir no fluxo de gás, seria possível garantir a integridade da carcaça do Alto Forno assim como o desgaste do cadinho, como mostrado na Figura 13.



Figura 13. Relação entre perfil interno e a vida do Forno

Dividindo o carregamento de coque em duas partes, o ângulo de empilhamento foi aumentado e o fluxo da parede pôde ser controlado e, como resultado, a produtividade pode ser aumentado para 2,1 t/d/m<sup>3</sup> com 465Kg/t de Fuel Rate.

No entanto, em 1996 iniciou-se o sistema de Injeção de Carvão Pulverizado (PCI) e novas variáveis, e necessidades apareceram, afetando o controle de distribuição do gás e o desgaste do cadinho.

Com a entrada do carvão, ocorreu a redução do Coque Rate, aumentando a relação minério/coque (M/C), resultando num maior angulo de empilhamento de coque na parede e minério indo para o centro, resultando em forte fluxo de gás na parede (Figura 14).

Assim, a sequência padrão de carregamento foi alterada para C↓ O↓. Carregando coque em apenas um batch ele rola para o centro do forno. Deste modo, a carga térmica dos staves reduziu e a taxa de injeção de carvão pode ser aumentada (Figura 15).

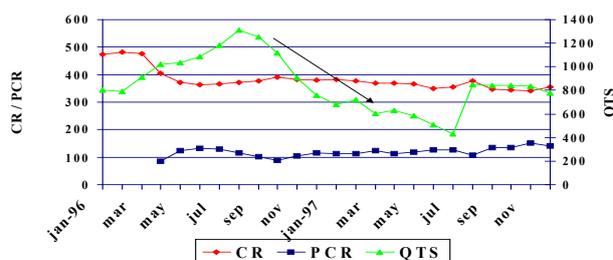


Figura 14. Efeito da injeção de carvão na carga térmica dos staves

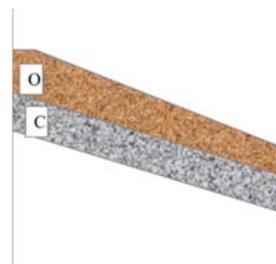


Figura 15. Efeito do aumento M/C na distribuição de carga.

Além disso, como na Figura 9, é muito importante manter o perfil interno, especialmente na parte superior. Para recuperação do perfil na parte superior a ArcelorMittal Tubarão optou por projeção feitas em paradas programadas. Por outro lado, a cuba inferior, ventre e rampa são extremamente afetados pelo fluxo de gás e seu desgaste não pode ser controlado por gunning devido a dificuldades de um longo período de parada. Então, para reduzir o desgaste dos staves, queima ou até mesmo trincas na carcaça, dispositivos de refrigeração foram especialmente desenvolvidos e instalados (Figura 8).

No caso da carcaça, parece suficiente evitar o fluxo de gás periférico, a falta de gás na parede levaria a formação de zonas inativas que poderiam deixar instável o Alto Forno, provocar queima de ventaneiras ou até mesmo um resfriamento ou interferir no desgaste do cadinho.

Com o topo tipo cone e placas móveis é difícil obter um bom fluxo de gás central com baixo volume de coque. Então em 2003, foi instalado o alimentador de coque central (CCF), na Figura 16a. Depois do CCF foi possível aumentar a relação M/C, melhorar o gás na parede e diminuir a temperatura da Soleira (Figuras 16b e 17).

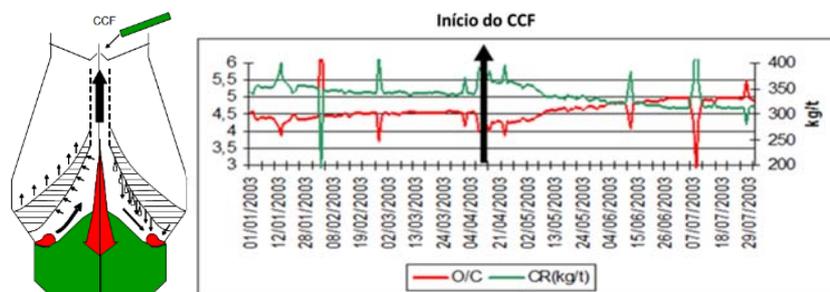


Figura 16.(a) CCF; (b) M/C e CR após o CCF.

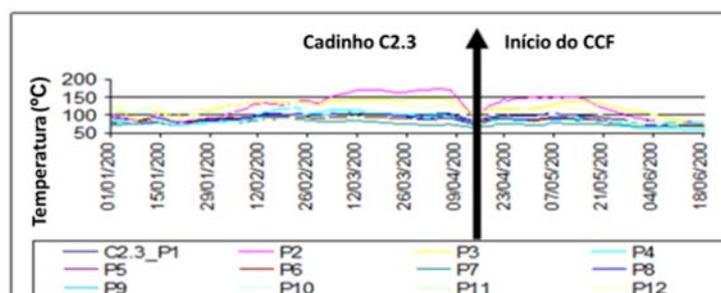


Figura 17. Temperatura do Cadinho depois do CCF

Outra função do CCF é possibilitar a chegada de coque fresco no cadinho, permitindo melhor controle de temperatura. Quando este coque chega na soleira melhora a resistência mecânica, aumentando a permeabilidade (Figura 18).

Apesar de todos os esforços, as trincas na carcaça e vazamento de gás aumentaram ao longo da vida do Alto Forno, levando a mais parada para manutenção e aumento do Coque Rate (Figura 19). A parada para reforma (blowdown) foi planejada para 18 de abril de 2012, quando a produção acumulada chegou a 93,915 Milhões de toneladas.



Figura 18. Relação entre permeabilidade do cadinho e vida do forno.



Figura 19. CR, FR e SCR depois CCF

## 6 PROCEDIMENTO DE BLOWDOWN

O procedimento de Blowdown teve início no dia 16 de abril e terminou as 15:35h de 18 de abril de 2012.

Após o quenching, o Alto Forno foi aberto, onde foi possível verificar as condições dos staves (Figura 20) bem como os blocos de carbono residuais (220mm) e a salamandra.



Figura 20. Condições da cuba e da Salamandra

## 7 REFORMA

O escopo de reforma estava concentrado no forno próprio, topo e Sistema de ar, substituição de parte metálica do equipamento, substituição do sistema de distribuição elétrica e sistema de controle digital. Os principais itens estão a seguir:

- Substituição da carcaça exceto no cadinho e na zona das ventaneiras;
- Substituição dos blocos de carbono e refratários cerâmicos;
- Substituição dos staves de ferro fundido;
- Substituição do sistema de controle (nível 1) e computador de processo (nível 2);
- Substituição parcial dos painéis de 13,8kV, 3,45kV e 460V;
- Substituição do topo do forno por um novo projeto (bell less top) mantendo a alimentação de coque central (CCF);
- Substituição da tubulação principal de ar quente, câmara de mistura, anel de vento e conexões.

O escopo principal da área foi:

### 7.1 Topo do Forno

O sistema de carregamento do topo com o duplo cone foi removido e foi feita uma mudança completa do topo por Bell Less System. O sistema CCF foi mantido a fim de melhorar a condição operacional. Para acomodar o novo topo, Bell Less System (BLT), foi necessária uma adaptação na instalação da nova plataforma, bem como o

prolongamento da estrutura principal da correia transportadora em aproximadamente 5 metros.

## 7.2 Carcaça e Torre de Sustentação

Foram necessárias modificações nas plataformas da torre e também reforços estruturais para permitir a reforma com a metodologia de grandes blocos. Anteriormente o topo tipo cone era suportado por uma torre com uma junta de expansão. Na concepção atual, o topo é suportado pela carcaça (Figura 21).

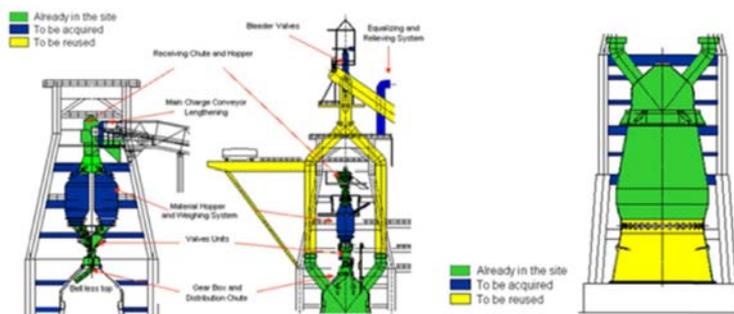


Figura 21. Topo do forno e carcaça

## 7.3 Cadinho

A parte metálica da Soleira não foi substituída, somente o refratário. O novo projeto feito pela Kawasaki com uma nova disposição do refratário mostrado na Figura 22.

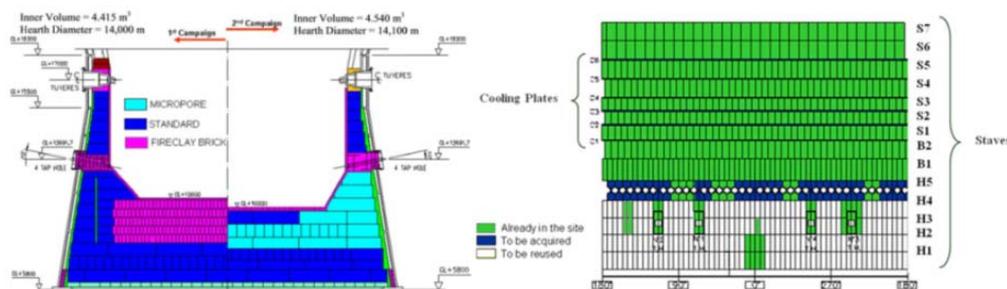


Figura 22. Cadinho e Staves.

## 7.4 Sistema de Limpeza de Gás

No sistema de limpeza de gás o difusor do coletor de pó foi substituído, assim como a tubulação entre o Coletor de pó e o venturi (Figura 23). Esse procedimento foi necessário devido a redução da espessura da parte metálica e das rachaduras.

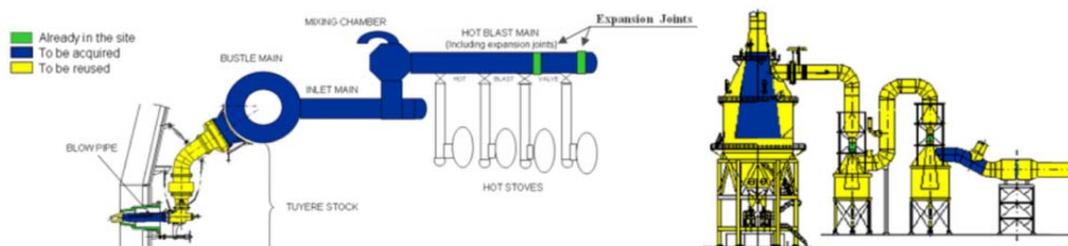


Figura 23. Sistema de ar e de Limpeza de Gás

## 8 BLOW IN

O Alto Forno reiniciu a operação às 12:11h do dia 04 de setembro de 2012. Na partida tinham 4 ventaneiras conforme a Figura 24.

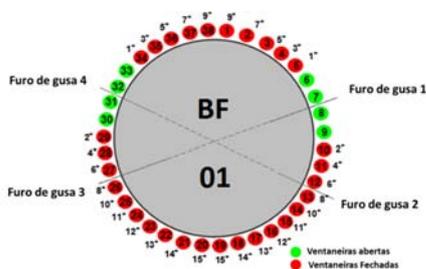


Figura 24. Ventaneiras abertas



Figura 25. Problemas durante o Blow In

Após 4 dias de operação, o Alto Forno apresentou instabilidades levando a um resfriamento do cadinho. As principais causas do resfriamento (Figura 25) do cadinho estão listadas abaixo:

- Comissionamento inadequado. Esta foi a principal causa.
- Inversão dos pontos de medição (parede – centro). A distribuição de carga foi baseada neste erro de medição do perfil de temperatura.
- Atrasos de carregamento. Baixo nível de carga com arriamentos.
- Os sprays de água do topo eram tubos abertos e não tinham bicos adequados.

Após 17 dias, O Alto Forno estava com o volume de sopros normal (Figura 26).



Figura 26. Problemas durante o Reinício.

## 9 RESULTADOS ATUAIS

Após a recuperação do resfriamento do cadinho e curva de elevação de produção, o Alto Forno tem obtido excelentes resultados, que são mostrados na Figura 27.

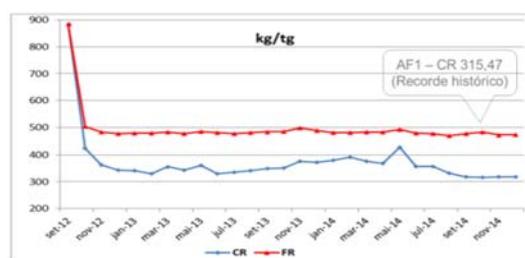


Figure 27. CR e FR após reforma.

## 10 PERSPECTIVAS

As principais perspectivas são:

- Trabalhar com altas taxas de injeção de carvão (baixo Coke Rate);
- Lança dupla com controle individual da taxa de injeção por lança;
- Melhorar o mix de carvão de PCI: Alta taxa de correlação, baixa cinza e umidade.
- Qualidade de material prima: Previsão de alta sílica no sinter;
- Implantação do RCM em todos os equipamentos críticos do Alto Forno.

Novos equipamentos, software e hardware foram desenvolvidos para ter a possibilidade de alcançar estas perspectivas.

A câmera infravermelha foi desenvolvida selecionando a câmera com uma lente e caixa de proteção especial (Figura 28).

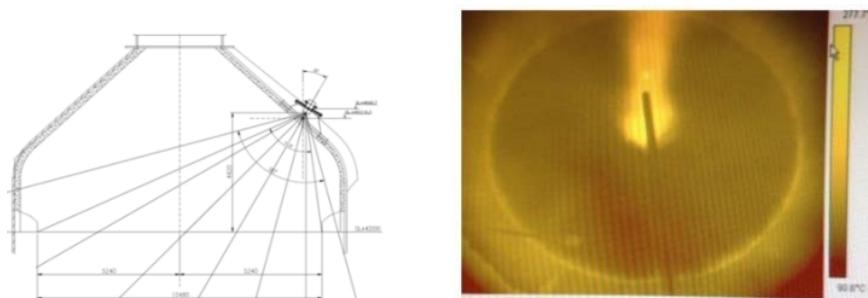


Figura 28. Câmera infravermelha do topo

Outro equipamento auxiliar importante foi o perfilômetro. A solução foi desenvolvida usando radares fixos instalados na carcaça do Alto Forno para medir o perfil de carga dentro do Alto Forno (Figura 29).

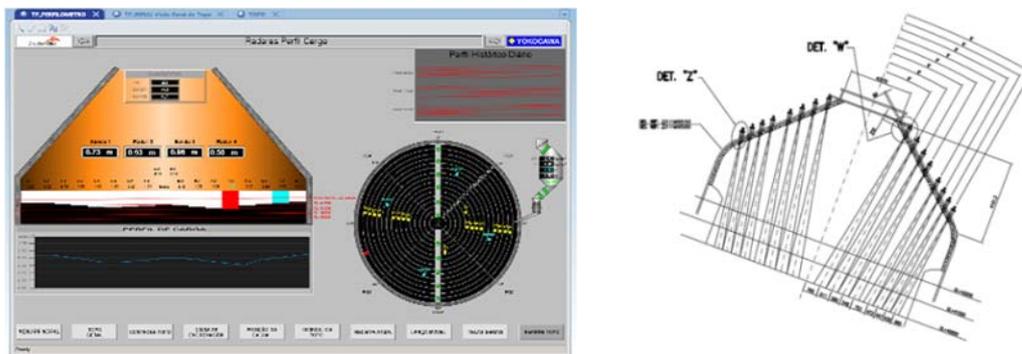


Figura 29. Radares instalados dentro da carcaça do Alto Forno

## 11 CONCLUSÃO

Na primeira campanha, a estabilidade do processo foi obtida através do plano de prolongamento de vida útil, controle rígido das matérias prima, controle de distribuição de carga e excelência de nas práticas de manutenção assim como postergação da reforma de maneira segura. O sucesso no programa de prolongamento da vida útil do Alto Forno 1 contribuiu para alcançar a relevante marca de 28,4 anos ininterrupta de operação com mais de 94 milhões de toneladas de gusa produzido. É um resultado único.

ArcelorMittal Tubarão mantém o mesmo desafio na segunda campanha: Aumentar a produtividade, reduzir o custo de produção, produzindo com segurança e

sustentabilidade. A reforma junto com as novas tecnologias, controle das matérias primas, estabilidade dos equipamentos através da implantação do RCM (Reability Centered Maintenance) e pessoal treinado, são os pilares para alcançar nossa meta principal, que é ter os melhores resultados no mundo de maneira segura e sustentável.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Novaes, José Antônio P; Cruz Junior, Roberto da; Mauro Correa da Silva; Jorge Issamu Gushiken, et al. Actions and Control of CST's Blast Furnace II Hearth. 2004.
- 2 Klein, Cristiano A; Rezende, Roney G; Fernando Kaoru Fujihara; Jorge Issamu Gushiken, et al. Long Campaign Life of CST No1 Blast Furnace. 2004.