

EXPERIÊNCIA DA USIMINAS NA TROCA DE STAVES DO ALTO-FORNO 2 DA USINA DE CUBATÃO¹

Ivanir Torres de Lima²
Vinicius Martins Vilela²
José Geraldo P Martins²
Adelson Da Silva Ramos³
Helton Hostf⁴
Mario Vaz de Moraes⁵
Miguel Rume Neto⁶
Ivan de Oliveira Almeida⁷

Resumo

Após cinco anos de operação, o alto-forno 2 começou a apresentar queima de tubos dos staves de ferro fundido, sendo necessário estabelecer um plano de atividades, objetivando garantir a integridade e preservação da carcaça, que culminou com a troca de parte dos staves de ferro fundido por staves de cobre. Foram realizadas duas grandes paradas para a troca de 92 staves de ferro fundido por staves de cobre, localizados nos níveis B3 (36 peças), S1 (36 peças), S2 (15 peças) e S3 (5 peças). O presente trabalho relata as principais atividades desenvolvidas objetivando realizar a troca dos staves, sem presença humana no interior do forno, bem como as atividades de parada e retorno a operação do alto forno.

Palavras-chave: Alto-forno; *Stave cooler*; Troca de stave.

USIMINAS EXPERIENCE IN EXCHANGE STAVES OF BLAST FURNACE 2 OF CUBATÃO PLANT

Abstract

After 5 years in operation, Usiminas Cubatão Blast Furnace 2 had water leakage due to damage in pipes of stave cooler cooling system. A plan of activities has been developed involving operation and maintenance technical group to preserve the shell and keep operational stability. This paper presents several activities that have been adopted such as operational activities, castable grouting and exchange of damaged staves by copper ones. There were 2 shutdowns for staves exchange at levels B3, S1, S2 and S3 totalizing 93 staves that were replaced by copper staves.

Key words: Blast furnace; *Stave cooler*; Exchange.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Especialista de Processos de altos-fornos, Gerência Geral de Redução, Usiminas Cubatão, Cubatão, SP, Brasil.

³ Supervisor de Operação de altos-fornos, Gerência Geral de Redução, Usiminas Cubatão, Cubatão, SP, Brasil.

⁴ Gerente de Operação do AF 2, Gerência Geral de Redução, Usiminas Cubatão, SP, Brasil.

⁵ Analista de Manutenção, Gerência Geral de Redução, Usiminas Cubatão, SP, Brasil.

⁶ Gerente de Manutenção Altos-Fornos e Coqueria, Gerência Geral de Redução, Usiminas Cubatão, Cubatão, SP, Brasil.

⁷ Analista de Manutenção, Gerência Geral de Engenharia, Usiminas Cubatão, Cubatão, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O alto-forno 2 da Usina de Cubatão teve seu acendimento em 23 de Novembro de 2001, com as características da Tabela 1.

Tabela 1. Características do alto-forno 2 Usiminas Cubatão

	Unidade	AF 2
Data de Acendimento		23/11/2001
Volume útil	m ³	3.365
Volume de trabalho	m ³	2.865
Diâmetro do cadinho	m	12,4
Diâmetro do ventre	m	14,4
Diâmetro da goela	m	8,9
Equipamento do topo		
Sistema de carregamento	tipo	correia transportadora - duplo cone
Pressão do topo	kg/cm ²	1,90 - 2,50
Equipamentos da limpeza de gases		
Lavador de gás	tipo	Venturi (2)
Sistema de injeção de carvão pulverizado - PCI		
Projeto	tipo	NSC
Capacidade de injeção	t/h	59,6
Regeneradores		
Tipo de câmara	tipo	interna
Numero de regeneradores	Unidade	4
Tipo de combustível		COG e BFG
Área de troca de calor	m ²	60.000
Temperatura de sopro	°C	1.180
Número de furos de gusa	n.º	3
Numero de ventaneiras	n.º	33
Tipo de Perfurador de furo de gusa	tipo	hidráulico

A principal evolução do projeto em 2001 foi a implementação do sistema de refrigeração por staves de Ferro Fundido de 4ª geração.

1.1 Refrigeração com Staves

Staves são peças de ferro fundido com tubos de aço carbono fundidos internamente e com revestimento de refratário fundido e assentado. Os tubos são refrigerados com água. A peça é montada sobre a carcaça do alto forno para preservá-la do calor interno da carga.

A Figura 1 mostra os tipos de staves instalados no alto forno, destacando-se os staves da região das ventaneiras, da rampa e da goela.



Figura 1. Tipos de stave cooler de Ferro Fundido para proteção da carcaça.



Figura 2. Montagem de um alto forno com stave cooler para proteção da carcaça.

No alto-forno 2 estão montadas 402 peças ao longo do corpo do forno.

Tabela 2. Quantidade de staves por nível do alto forno

Região	Símbolo	Nº staves	Região	Símbolo	Nº staves
Goela	R3	36	Rampa	B3	36
	R2	36		B2	36
	R1	36		B1	36
Cuba	S4	36	Ventaneiras	T1	33
	S3	36	Furo de Gusa	TH	9
	S2	36			
	S1	36			
Total :					402

A partir de 2005 iniciou-se a incidência de queima de tubos de refrigeração, com maior frequência localizada nos níveis S-1 e B-3, na região norte/leste do alto-forno.

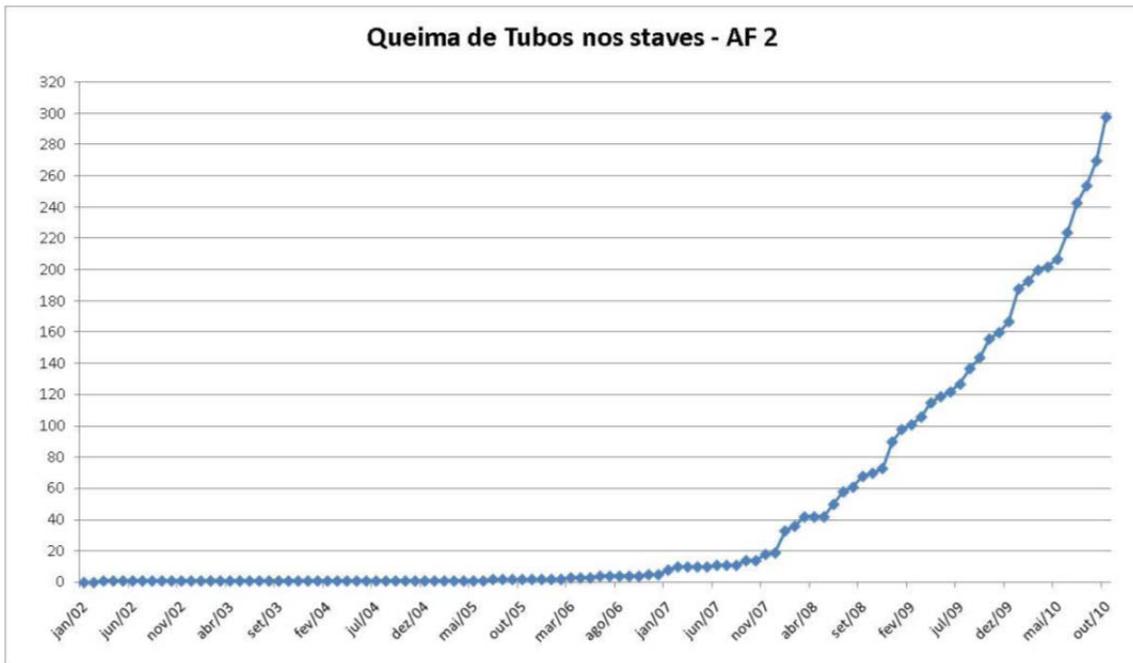


Figura 3. Curva de queima de tubos de staves ao longo da campanha.

O objetivo do trabalho é expor a seqüência de atividades realizadas, inclusive a troca dos staves danificados, visando a preservar a carcaça do alto forno e dar segurança e estabilidade operacional de forma a garantir o cumprimento dos planos de produção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Causas das Queimas de Tubos de Staves

A determinação do motivo do desgaste dos tubos é de elevada complexidade em função das inúmeras variáveis que fazem parte do processo do alto forno. As variáveis analisadas são enumeradas na Figura 3.

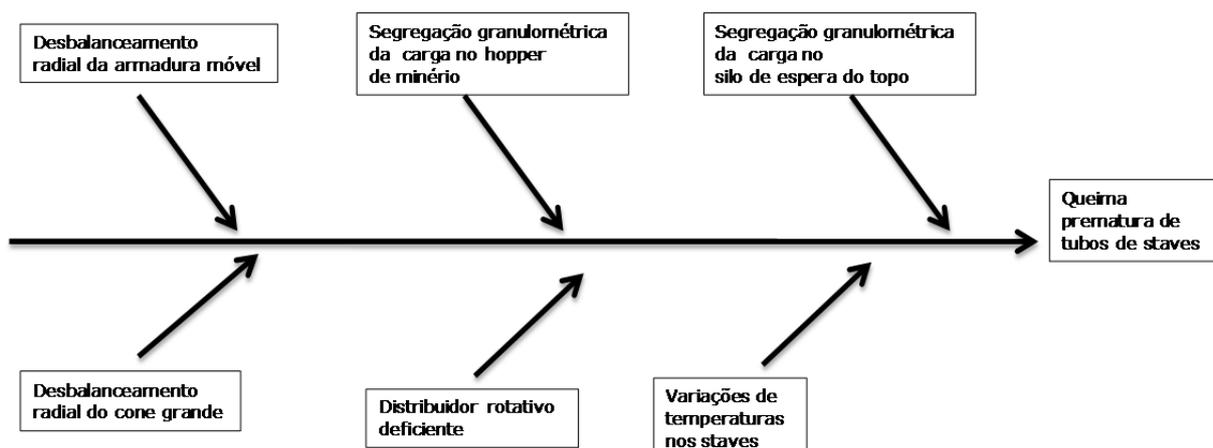


Figura 4. Espinha de peixe das principais causas do desgaste do stave.

2.1.1 Desbalanceamento da carga em sistema de duplo cone provocando fluxo de gás preferencial

Desde a partida do forno, foi detectado um fluxo preferencial de gases dentro do alto forno que poderia estar relacionado com detalhes da montagem, principalmente dos equipamentos do topo do forno (distribuidor rotativo, cone pequeno, cone grande, armadura móvel).

2.1.2 Variações no fluxo térmico causadas por variações na permeabilidade

Observa-se que no processo do alto forno, a permeabilidade da coluna de carga é fundamental para a estabilidade do fluxo de gás e minimização da carga térmica sobre os staves e, conseqüentemente, o desgaste dos staves .

Este fenômeno é observado nas ocorrências de variações excessivas do nível de carga (problemas em equipamentos do carregamento e topo) ou variações excessivas na qualidade das matérias primas, aumentando o volume de finos enfiados que geram um impacto na permeabilidade. Este aumento da perda de carga na coluna de carga provoca um desvio do fluxo dos gases para a periferia.

2.2 Relato das Principais Ações Adotadas

2.2.1 Contramedidas operacionais

- Ações foram tomadas no sentido de minimizar este fenômeno, com:
 - Instalação de chapas defletoras na tremonha do topo e hopper de minério;
 - Medições e amostragens especiais ao longo das correias durante paradas preventivas visando mapear a segregação granulométrica;
 - Monitoramento *on line* do funcionamento do distribuidor rotativo e adoção de medidas corretivas de forma a operar conforme projeto;
 - Monitoramento e ajustes no sistema de acionamento da armadura móvel.
- Armadura Móvel: objetivo de direcionamento de coque para o centro;
- $C_0 \downarrow C_3 \downarrow M_0 \downarrow M_0 \downarrow / C_0 \downarrow C_6 \downarrow M_0 \downarrow M_0 \downarrow / C_6 \downarrow C_8 \downarrow M_0 \downarrow M_0 \downarrow$;
- Carregamento simultâneo de coque e minério no cone grande (empurramento de coque);
- Base de coque: objetivo de aumento da espessura de coque no ventre;
- Nível de carregamento (sonda): objetivo de obter perfil da carga no topo tipo "V"; e
- Nível de Sonda: 0,9 m abaixo *do stockline*. Ponto de "V" máximo.

2.2.2 Uso do flexível interno ao tubo

Uma das primeiras medidas a serem adotadas para prolongar a operação do tubo danificado foi a instalação de flexível de menor diâmetro com a injeção de massa de alta capacidade condutora no espaço entre tubo e flexível.

Esta medida praticada resultou em uma sobrevida do tubo danificado em média de seis meses.

2.2.3 Controle de temperatura de carcaça

É fundamental o controle da temperatura externa da carcaça de forma a tomar as medidas adequadas para a sua proteção. Foram instalados termopares ao redor do alto forno nos níveis críticos, de forma a não trabalhar com a carcaça acima de 200°C. Para este fim, foram instalados sprays de água em pontos estratégicos para refrigeração externa em caso de necessidade.

2.2.4 Instalação de *cigar cooler*

Cigar cooler: São pelas fundidas de cobre com objetivo recuperar a capacidade de remover o calor onde os staves apresentarem danos e estiverem inoperantes. Para ser efetivo na instalação de cigar cooler , há necessidade de injetar massa refratária de boa qualidade periodicamente.

Para aumentar a eficiência desta injeção é fundamental que a massa tenha pontos de ancoragem junto à carcaça do forno. Uma das soluções seria a instalação de placas de refrigeração na região dos staves queimados. Em função de maior praticidade e rapidez de instalação, adotou-se a instalação de *cigar cooler* nos pontos onde não se havia mais tubos em operação.



Figura 5. Cigar cooler instalados em 2010 no nível S-1.

2.2.5 Injeção de massa

Fundamental para a preservação da carcaça, a injeção de massa passou a ser praticada de forma intensiva a partir de 2010. A prática adotada foi a injeção de massa à base de carbetto de silício com ligante de alcatrão e sem adição de água. A massa anidra favorece nestes casos, pois reduz drasticamente a interferência com demais serviços em andamento no alto forno pois a injeção de massa com alta % de água em sua estrutura leva à decomposição e geração de hidrogênio internamente, que pode provocar aumento de chamas e emanações no interior do alto forno, necessitando o isolamento do alto forno como um todo e paralisando todas as demais atividades em andamento, por segurança.

Tabela 3. Injeção de massa na cuba

Qtde Injetada							Stave	Totalizado Mai a Julho 2010
Stave	Quantidade injetada (Kg) 02.05.2010	Quantidade injetada (Kg) 10.05.2010	Quantidade injetada (Kg) 13.05.2010	Quantidade injetada (Kg) 23.05.2010	Quantidade injetada (Kg) 08.06.2010	Quantidade injetada (Kg) 22.07.2010		
2	0	0	0	0	1400	900	2	2.300
1	300	480	1200	0	800	600	1	3.380
36	0	0	0	0	700	630	36	1.330
35	0	0	1200	630	560	0	35	2.390
34	0	480	450	300	400	0	34	1.630
33	0	480	840	210	1200	900	33	3.630
32	0	0	0	0	740	0	32	740
31	0	0	0	0	0	0	31	-
30	150	270	0	0	300	300	30	1.020
29	450	360	400	540	800	300	29	2.850
28	0	0	0	0	0	150	28	150
	900	2070	4090	1680	6900	3780		19.420

2.3 Troca dos Staves – Alto-Forno 2 de Usiminas Cubatão

- 2001: Acendimento;
- 2006: Caracterização do problema de queima de tubos;
- 2008: Assistência técnica sobre troca de staves e contramedidas, conforme relatórios internos;
- 2009: Definição de estratégia de prolongamento até a troca dos staves - injeção de massa, *cigar cooler*, periodicidade de paradas, soldas em trincas, etc.; e
- 2010:
 - Abril a Set: fabricação de staves;
 - Set a Nov: embarque e transporte;
 - Nov: chegada ao Brasil e preparação no campo;
 - Dez: 1ª troca dos staves – 39 peças; e
 - Ago/11: 2ª Troca dos staves – 53 peças.

2.3.1 Execução da troca de staves

A estratégia adotada foi a troca de todos staves dos níveis B3 e S1 que apresentam maior carga térmica e nos demais níveis seriam trocados os staves com pelo menos 2 tubos queimados, totalizando 92 staves.

A troca de staves é composta de:

- atividades preparatórias de montagem de *by-pass* e aberturas de *man-holes* no topo para saída e entrada dos staves; e
- durante a obra : *by-pass* ar e refrigeração, corte dos tubos e descolamento do stave da carcaça, retirada do stave danificado, preparação da carcaça, instalação do stave novo, normalização da refrigeração e injeção de massa entre stave e carcaça.

1ª troca de staves

Parada para troca de 39 staves do AF 2

Início: 09h50 de 26/11/2010.

Final: 20h00 de 15/12/2010.

Tempo de parada: 490,17 h = 20 dias 10 horas e 10 minutos.

Descrição dos principais serviços executados:

Descida de carga ao nível das ventaneiras.

Substituição de 39 staves cooler e 3 trechos de carcaça.

Troca de 39 staves cooler: S1 (24 peças): 1 a 8 / 14 / 22 a 36; S2 (3 peças): 04 / 05 / 16; B3 (12 peças): 11 / 13 a 18 / 23 / 27 / 31 / 32 / 35.

Troca de 3 trechos de carcaça nível S1:

Trecho 1: staves 1, 2 e 36; Trecho 2: staves 28, 29 e 30; Trecho 3: staves 33, 34 e 35.

Uso da Lança de gás natural (aquecimento dos furos de gusa - retorno operacional).

Instalação de 78 termopares nos staves de cobre (monitoramento da temperatura).

Injeção de Massa.

2ª troca de staves

Início: 02h20 de 29/08/2011.

Final: 12h55 de 23/09/2011.

Tempo de parada: 610,58 h = 25 dias 10 horas e 35 minutos.

Substituição de 53 staves.

Substituição de 43 staves – fornecimento Nippon Steel.

Substituição de 10 staves – fornecimento nacional.

Substituição de um seguimento da carcaça do nível S1, stave 16.

Normalização da proteção térmica do cone grande.

Substituição do cone pequeno.

A Figura 5 se refere às atividades desenvolvidas durante a Obra.

Staves

USIMINAS 



Preparação da carcaça após retirada do STAVE



Descida do STAVE no manhole da plataforma 7

Conclusão da montagem do STAVE



Figura 6. Fotos da troca dos staves.

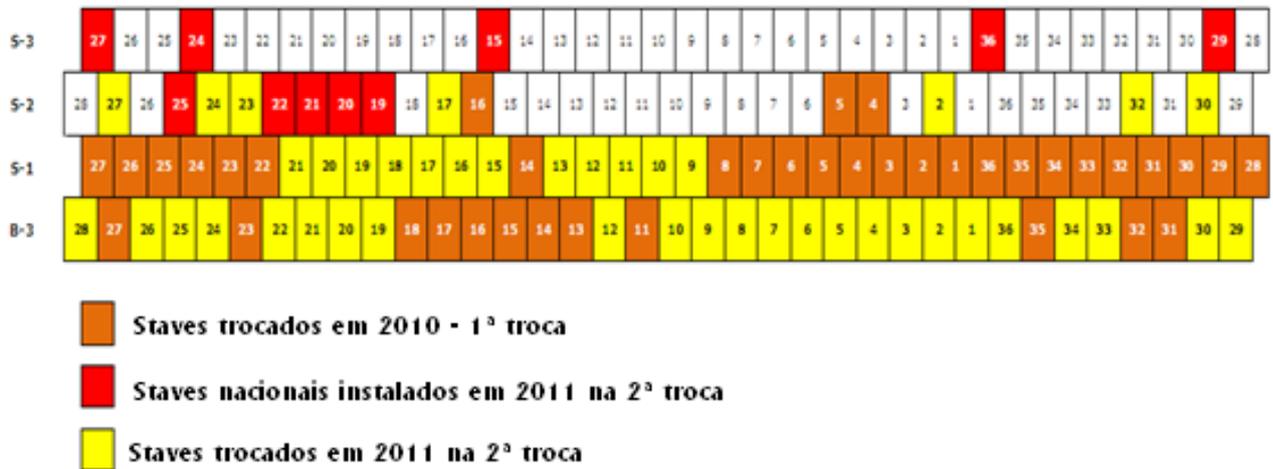


Figura 7. Mapa dos staves substituídos após as 2 paradas.

3 RESULTADOS OPERACIONAIS DO RETORNO DA PARADA

Após 25 dias e 10,5 horas de parada, o alto-forno 2 retornou à operação às 12h55min do dia 23/09/2011, operando com 12 das 33 ventaneiras.

A combustão nas lanças “oxi-gás” foi iniciada dia 21/09/2011 às 17h55min e prosseguiu após a partida do forno até às 23h57min do dia 23/09/2011, quando foram cortadas as lanças.

A primeira corrida foi iniciada na casa de corrida nº 3 às 01h38min do dia 24/09/2011, produzindo 417 t de gusa com temperatura máxima de 1341 °C.

A seqüência de abertura de ventaneiras foi realizada sem paradas do alto forno e completada às 13h37min do dia 25/09/2011, 48,7 horas após a partida do forno.

O primeiro carro torpedo com gusa dentro da especificação foi obtido no dia 26/9/2011 às 18h21min (Si = 0,49% e S = 0,029%).

4 CONCLUSÃO

A metodologia de troca de staves com o forno com carga e sem presença humana no interior do equipamento mostrou ser uma prática segura, com bons resultados em redução de tempos e maior segurança no retorno operacional, sendo que até o momento não havia sido praticada nos altos fornos do Brasil.

Agradecimentos

O autor agradece à Usiminas pela participação neste Seminário e a todos que se envolveram de alguma forma no desenvolvimento destas atividades.