

## SUBSTITUIÇÃO DOS STAVES DO ALTO-FORNO 2 DA TERNIUM BRASIL\*

*Eustáquio Vieira Júnior<sup>1</sup>  
Dalton Martins Neto<sup>2</sup>  
Filipe da Costa Oiveira<sup>3</sup>*

### Resumo

O Alto-Forno 2 da Ternium Brasil, no Rio de Janeiro, iniciou sua primeira campanha em 16 de dezembro de 2010. No decorrer de sua campanha, verificaram-se problemas de deslocamento de staves de ferro fundido e deformação dos staves de cobre chamado “efeito banana”, causando a perda da capacidade de refrigeração destes componentes do sistema de arrefecimento. Após a análise dos eventos foram executadas diversas ações para recuperação e preservação do Alto-Forno 2, sendo estendidas também ao Alto-Forno 1. Dentre as ações de preservação para o Alto-Forno 2 foi estabelecido que deveriam ser substituídos os staves danificados e alguns setores da carcaça que apresentavam trincas e deformações, e conseqüentemente a perda de suas propriedades mecânicas, visando eliminar as interrupções na operação do Alto-Forno 2 para reparos localizados e redução das instabilidades operacionais causadas pela não uniformidade das superfícies dos staves. O trabalho apresenta o detalhamento da técnica utilizada para substituição dos staves, a seleção dos materiais assim como os preparativos operacionais que garantiram o bom desempenho do Alto-Forno 2 nos momentos que antecederam a parada e após seu retorno à operação, mostrando a viabilidade técnica e econômica da atividade.

**Palavras-chave:** Alto-Forno; Staves; Preservação; “Efeito banana”.

### TERNIUM BRASIL BLAST FURNACE#2 STAVES REPLACEMENT

#### Abstract

The Ternium Brasil Blast Furnace#2, in Rio de Janeiro, started to operate in 16 of December, 2010. In this campaign happened, cast iron stave displacement and deformation in copper staves called “banana effect”, generating the lost capacity of refrigeration of these cooling system components. After the analyzes were executed several actions to recover and preservation the Blast Furnace#2, and they also were extended for Blast Furnace#1. Among the Blast Furnace#2 preservation actions was established that must be replaced the damaged staves and shell sectors that presented cracks and deformations, consequently the lost mechanical properties, directing to eliminate the Blast Furnace#2 operation interruptions to repair specific regions and decreased the operations instability caused per variation on hot staves surface. This paper presents the used technique details, the materials selection and the operational preparations that ensure the Blast Furnace#2 good performance before and after the staves replaced, and the results shows that this activity is viable of technical and economic point of view.

**Keywords:** Blast Furnace; Staves; Preservation; “Banana Effect”.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerência de Operação dos Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Coordenador de Preservação dos Altos-Fornos, Gerência de Operação dos Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>3</sup> Técnico de Processos, Gerência de Operação dos Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A usina siderúrgica da Ternium Brasil, no Rio de Janeiro-RJ, apresenta dois altos-fornos, estes Altos-Fornos têm mesma capacidade produtiva, o Alto-Forno 1 e o Alto-Forno 2 entraram em operação em junho e dezembro 2010, respectivamente. Os Altos-Fornos da Ternium Brasil apresentam sistema de refrigeração por *stave-coolers* no corpo e jaqueta no cadinho e os regeneradores são de câmara de combustão externa[1].

As ocorrências de início de operação dos Altos-Fornos e da planta da Ternium Brasil trouxeram diversas instabilidades operacionais agravadas pelo grande número de paradas sequenciais das unidades produtivas. Visto que estas situações acarretaram consequências nos Altos-Fornos, foi estabelecida nova diretriz para ações de preservação destes equipamentos, objetivando restabelecer as condições operacionais e estender a vida útil dos Altos-Fornos e seus equipamentos periféricos.

Os *staves* dos Altos-Fornos da Ternium Brasil são de cobre entre a primeira fileira da rampa até a quarta fileira que está na cuba inferior e são de ferro fundido da quinta fileira que está na cuba inferior até a oitava fileira que está na cuba superior.

No presente trabalho são apresentadas as etapas para execução, o planejamento, as características e os resultados obtidos após a substituição dos *staves* do Alto-Forno 2.

As principais características do Alto-Forno 2 da Ternium Brasil são mostradas na tabela 1 e os principais resultados operacionais da sua campanha são mostrados na tabela 2.

**Tabela 1.** Principais características do Alto-Forno 2 da Ternium Brasil

<b>Itens</b>	<b>Unidade</b>	<b>AF2</b>
Volume interno	m <sup>3</sup>	3284
Volume de trabalho	m <sup>3</sup>	2775
Diâmetro do cadinho	M	12,0
Capacidade de produção	t/dia	7500
Número de ventaneiras	-	32
Número de furo de gusa	-	2
Topo	-	Topo sem cone
Sistema de granulação	-	INBA
Temperatura máxima de sopro	°C	1250
Sistema de refrigeração cuba, ventre e rampa	-	<i>Stave-coolers</i>
Sistema de refrigeração do cadinho	-	Jaqueta
Início da campanha atual	-	16/12/2010

Tabela 2. Dados da Campanha do Alto-Forno 2 da Ternium Brasil

CAMP*	BLOW IN	BLOW OUT	PRODUTIVIDADE	Coke Rate	Taxa de Injeção de Carvão	Fuel Rate
	DATA		t/d/m <sup>3</sup>	kg/t		
<b>ALTO - FORNO 2</b>						
1ª	16/12/2010	-	1,80	409	121	530

\*Número da campanha

**Comentado [ABM1]:** Colocar o significado de cada termo abaixo da figura. Porque a figura 1 foi eliminada ?

**Comentado [EVJB2R1]:** A figura 1 era uma figura que poderia ser eliminada e foi critério dos autores retirá-la. Os termos da tabela que podem apresentar alguma dúvida de interpretação foram elucidados, os demais são termos e indicadores inerentes a área de Alto-Forno.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Deformação e Deslocamentos dos Staves do Alto-Forno 2

Em março de 2016, em decorrência das deformações, “efeito banana”, dos staves de cobre ocorreu um grande avermelhamento na região da cuba inferior do Alto-Forno 2. Em decorrência deste evento, a carcaça atingiu seu limite de resistência mecânica e deformou-se acentuadamente.

As ocorrências nesta região estão relacionadas aos seguintes fatores:

- Deformação dos staves de cobre devido excesso de carga térmica durante a operação;
- Cisalhamento dos parafusos de fixação dos staves de ferro fundido;
- Deslocamento dos staves de ferro fundido para o interior do Alto-Forno e ruptura das suas linhas de refrigeração.

**Comentado [ABM3]:** Atenção: toda figura mostrada no texto tem de ser mencionada antes de sua apresentação. Qual figura não foi mencionada antes no texto? Não encontrei esta situação.

### 2.2 Metodologia de Preservação

A seguir, na figura 1, é apresentado o diagrama esquemático da evolução dos danos em staves e quais são as medidas necessárias para contenção desse avanço. As etapas em destaque nesse diagrama, como avermelhamento da carcaça e algumas ações corretivas e preventivas foram praticadas na Ternium nestes últimos anos.

As ações em amarelo foram realizadas entre os anos de 2016 e 2018:

- Injetados 33 toneladas de massa refratária para proteção das regiões com staves danificados do Alto-Forno 2;
- Instaladas, no Alto-Forno 2, 6 placas de refrigeração na região dos staves 39 e 40 do Row 4 e 66 cigar coolers distribuídos nos Rows 3,4 e 5;
- Termografia da carcaça do forno realizada, mensalmente, nos dois altos-fornos.

\* Contribuição técnica ao 49º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 7º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

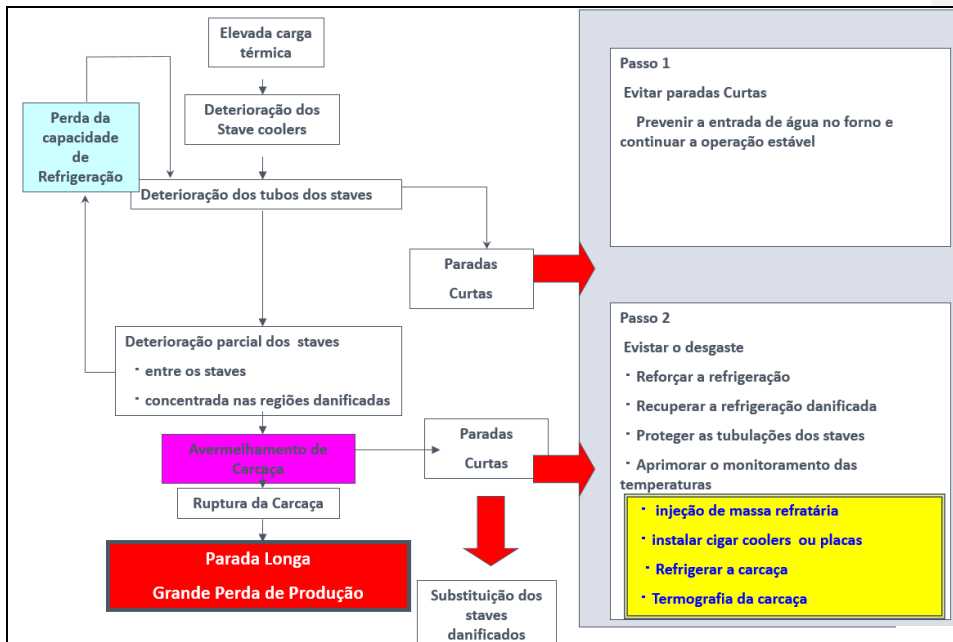


Figura 1. Estratégia de preservação dos staves da Ternium

O avanço na extensão dos danos nas regiões apresentadas a seguir, na figura 2, gerou a necessidade de se substituir todas as peças que apresentavam condições acima dos critérios estabelecidos para substituição a fim de garantir, hipoteticamente, menor turbulência no movimento ascendente dos gases:

Comentado [ABM4]: hipoteticamente

- Mais de uma linha de refrigeração inativa;
- staves com apenas uma linha inativa, mas com staves danificados nas regiões adjacentes.



a) Alto-Forno 2 em 03/2016



b) Alto-Forno 2 05/2018

Figura 2 Inspeção da cuba inferior (Row 4)

Desta forma os *staves* substituídos nas duas intervenções realizadas, foram distribuídos conforme tabela 2:

**Tabela 2.** Distribuição dos *staves* substituídos nas duas intervenções realizadas

Nível de Stave	Nov/2018	Mai/2019
Row 3	37-38-39-40-41	02-04-05-06-07-11-12
Row 4	33-37-38-39-40-41	03
Row 5	-	02-03-04-05-06-07-08-09-10-11

### 2.3 Materiais Aplicados

Os *staves* dos níveis escolhidos para substituição em novembro de 2018 (*Row 4* e *Row 3*) eram de cobre laminado conforme figura 3, e de acordo com o projeto. As características destes *staves* são mostradas na tabela 3. Na substituição realizada em maio de 2019 (*Row 3*, *Row 4* e *Row 5*), as especificações dos materiais também foram conforme projeto, no entanto no caso dos *staves* do *Row 5* o material de fabricação é ferro fundido e suas propriedades são mostradas na tabela 4.

**Tabela 3.** Propriedades dos *staves* de cobre laminado

Característica	Valor
Material	Corpo do <i>stave</i> : CU-HCP / CW021A
Percentual de Cobre	>99,9%
Concentração de Fósforo	50 a 140 ppm
Condutividade Elétrica	>95%IACS
Resistência a Tração	200 a 220 MPa
Alongamento	Min.45%
Tensão de Escoamento	Min 45MPa
Material do tubo	CU-OF / CW008A

As dimensões dos *staves* adquiridos foram reduzidas em 20mm em relação ao original, mantendo a espessura de projeto.

**Tabela 4.** Propriedades dos *staves* de ferro fundido

Característica	Valor
Material	EN-GJS-400 15U (GGG40) DIN EN 1563
Composição Química	3,00 %Si 3,70%C
Resistência a Tração	400 MPa
Alongamento	15%
Material do tubo	GB/T8163-1999 Grade 10 ou igual



Figura 3. Staves de cobre laminado

Por estratégia da Ternium foram adquiridos alguns staves de cobre fundido de fornecimento nacional conforme figura 4, diferentemente dos laminados que eram importados. Na tabela 5, seguem as informações técnicas dos materiais nacionais:

Tabela 5. Propriedades de cobre fundido

Característica	Valor
Material	Corpo do <i>stave</i> : DIN EN 1982 Grade A
Percentual de Cobre	>99,9%
Condutividade Elétrica	>80%IACS
Material do tubo	Monel 400



Figura 4. Stave de cobre fundido

O material refratário utilizado para preenchimento da região entre *stave* e carcaça foi o Brasilcast 560 de granulometria fina e normal. Na tabela 6, seguem características deste material:

Comentado [ABM5]: reduzir espaço entre figura e o seu título.



**Tabela 6.** Propriedades do refratário de preenchimento

Característica	Valor
Composição Química	%SiO <sub>2</sub> – 32,0 ; %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 63,0
Densidade Aparente (1000°C x 5h)	2,45 g/cm <sup>3</sup>
Resistência a Compressão	60 MPa

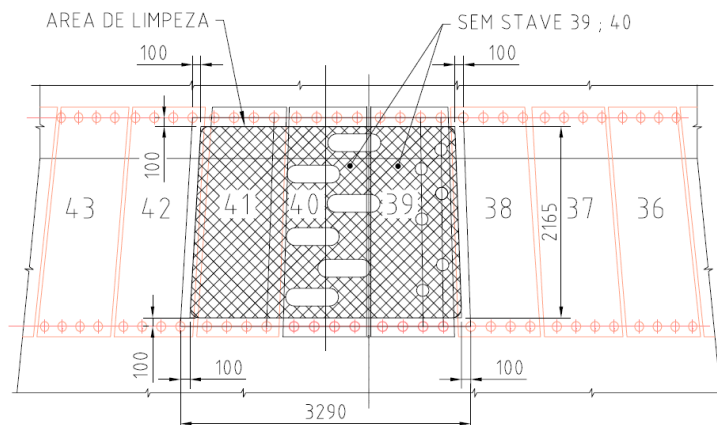
O material utilizado para substituir a seção da carcaça foi ASTM-516-10-70-N com propriedades asseguradas através do certificado do fabricante.

## 2.4 Primeira etapa de substituição dos staves

### 2.4.1 Atividades de preparação

Para primeira intervenção, foram selecionados os staves considerados mais críticos para a conservação da estabilidade operacional do Alto-Forno 2. Portanto, foram escolhidos os staves próximos a região na qual a carcaça do forno apresentava deformação e continha grande quantidade de trincas.

Em agosto de 2018, foram realizados os testes visuais e dimensionais, ensaio de dureza, inspeção por líquido penetrante, inspeção por ultrassom e medição de espessura por ultrassom. Os resultados dessas inspeções mostraram que a carcaça não apresentava quaisquer anormalidades que comprometessem a segurança operacional além da região de deformação já conhecida previamente. Portanto, a região de corte da carcaça para substituição, conforme figura 5, contemplou somente os staves 39 e 40 do Row 4, com área aproximada de 9m<sup>2</sup>.



**Figura 5.** Área de inspeção na região crítica para reparo no Row 4

Na parada de preparação do forno para abaixamento de carga foram realizadas a marcação da região de corte na carcaça, a instalação dos suportes e ancoragens e a remoção das interferências para substituição dos staves.

#### 2.4.2 Primeira Parada do Alto-Forno 2

O abaixamento de carga do Alto-Forno 2 foi concluído às 06 horas e 10 minutos do dia 11 de novembro de 2018 com duração de 17 horas e 10 minutos e carga alcançando altura de sonda de 21,18m. O procedimento de abaixamento de carga ocorreu de forma tranquila sem quaisquer eventos inesperados ou falhas operacionais. Após a parada do forno e liberação de acesso para início das atividades, foram iniciadas as seguintes atividades em sequência cronológica:

- Manobras do circuito de refrigeração para isolamento dos *staves* a serem substituídos;
- Aplicação de *burden cap* para isolamento térmico da carga no interior do forno;
- Instalação dos equipamentos para içamento;
- Retirada de quatro cornetas do sistema de medição da temperatura do gás de topo por mapeamento de ondas acústicas (SOMA) a fim de posicionar os equipamentos de içamento dos *staves*;
- Içamento dos equipamentos: mesa de rolos, carro de transporte, exaustores,

#### 2.4.3 Sequência de troca dos *staves*

A troca seguiu a seguinte ordem de atividades:

- Posicionamento do carrinho na plataforma elevação +27.000, conforme figura 6;
- Corte do trecho danificado da carcaça;
- Instalação da mesa de rolos;

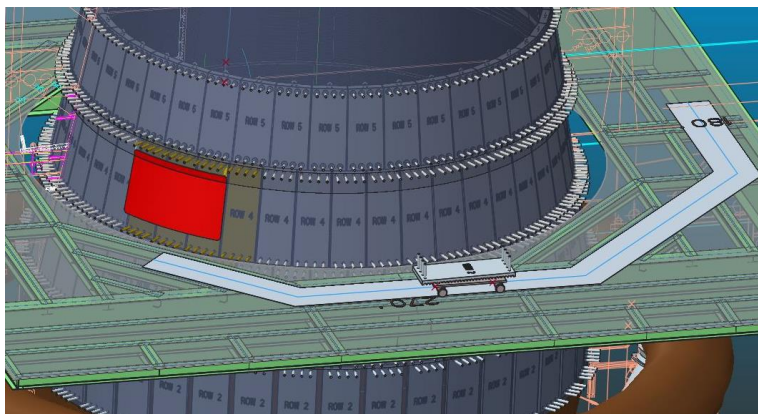


Figura 6. Posicionamento do carrinho na plataforma

- Remoção dos *staves* danificados: abertura das cornetas do SOMA, instalação dos guinchos de içamento, abertura de furos nos *staves* para içamento, pescar cabo de içamento através do furo aberto, fazer amarração do *staves*, posicionar na mesa de rolos (figura 7), retirada com auxílio de guincho tifor e retirada da plataforma através de guindaste.



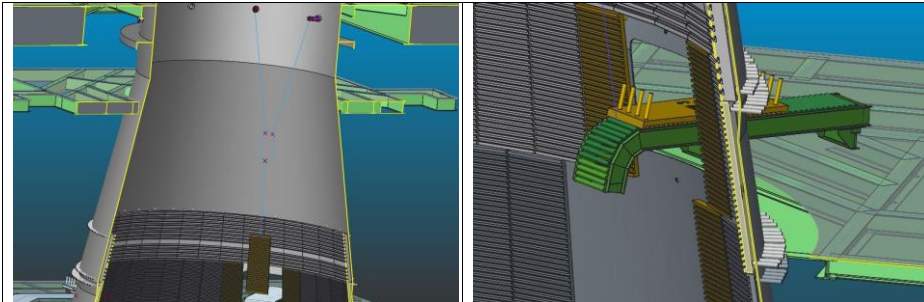


Figura 7. Etapas para a troca do staves

- Limpeza da face interna da carcaça, utilizando plataforma.
- Instalar os novos staves
- Soldar novo trecho da carcaça;
- Fazer injeção da massa de preenchimento da região entre stave e carcaça;
- Instalação dos compensadores e flexíveis

Após a conclusão das atividades a configuração interna desses novos staves instalados ficou como na evidenciado pela figura 8. E a região da carcaça substituída na figura 9.

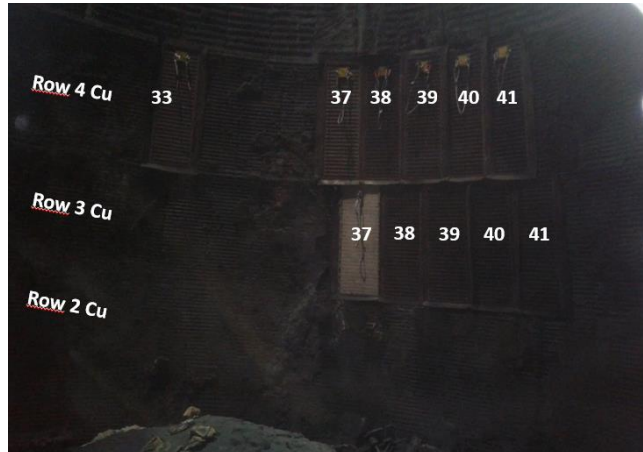


Figura 8. Posição dos novos staves após atividades concluídas

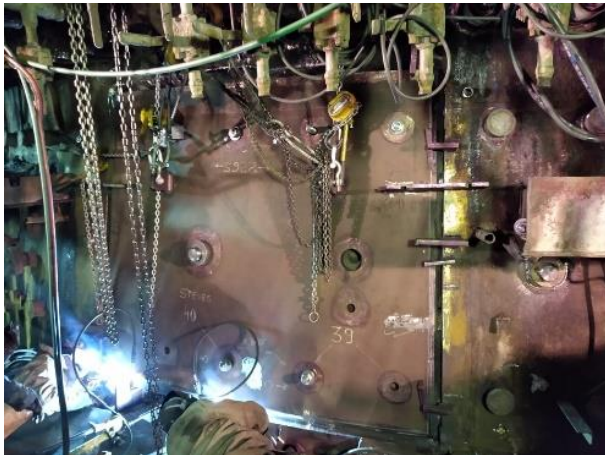


Figura 9. Nova carcaça instalada na região danificada

O tempo total de parada do Alto-Forno 2 para a troca foi de 145 horas, com retorno de operação sem anormalidades.

### 2.5 Segunda etapa de substituição dos staves

Para segunda intervenção, foram selecionados os demais staves que necessitavam ser trocados para a conservação da estabilidade operacional do Alto-Forno 2 de acordo com os critérios previamente estabelecidos e descrito no item 2.2.

As inspeções prévias das condições da carcaça não foram necessárias devido a região não apresentar nenhuma deformação e, conseqüentemente, perda de resistência mecânica. As regiões de corte da carcaça neste evento foram ambas no Row 5, a primeira próxima ao stove 10 e a outra abrangendo os staves 3 e 4 como mostrado na figura 10 totalizando 7m<sup>2</sup>.

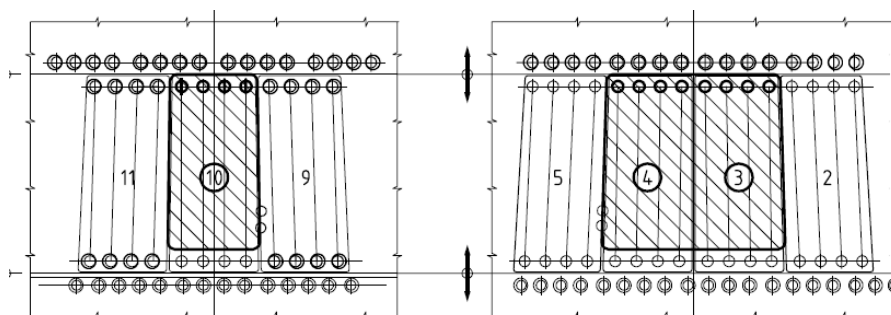


Figura 10. Regiões de corte da carcaça para instalação dos staves

Comentado [ABM6]: Não foi citada no texto anterior. Rever

Um stove foi substituído (Row 5 – Stave 23), utilizando a janela de manutenção da calha de distribuição de carga devido a sua posição abaixo dessa janela.

Na parada preparatória foram realizadas as atividades similares as da primeira atividade de troca de *staves*.

### 2.5.2 Segunda Parada do Alto-Forno 2

O abaixamento de carga do Alto-Forno 2 foi concluído às 02 horas e 14 minutos do dia 20 de maio de 2019 com duração de 16 horas e 14 minutos e carga alcançando altura de sonda de 21,31m. O procedimento de abaixamento de carga ocorreu de forma tranquila sem quaisquer eventos inesperados ou falhas operacionais.

Após a parada do forno e liberação de acesso para início das atividades, foram iniciadas as atividades em sequência cronológica conforme ocorrido na primeira etapa.

### 2.6 Resultados e Discussão

Após a execução das trocas dos *staves*, o Alto-Forno 2 apresentou elevação considerável na produção diária e também redução no consumo específico de coque, principalmente devido a melhora da estabilidade operacional do equipamento que favoreceu aos ganhos observados.

As evidencias destes ganhos do Alto-Forno 2 são apresentados nos testes de hipóteses, as amostras são de períodos próximos à troca, para diferença de duas médias com variâncias conhecidas, como mostrado nas tabelas 7 e 8:

H0:  $\mu_1 = \mu_2$                        $\mu_1$ : média da produção antes da troca dos *staves*  
H1:  $\mu_1 < \mu_2$                          $\mu_2$ : média da produção após a troca dos *staves*

**Tabela 7.** Teste de hipóteses para da produção antes e depois da troca de *staves*

	Produção Anterior à Troca de <i>Staves</i> (t/d)	Produção Posterior à Troca de <i>Staves</i> (t/d)
Média	6519,4	6835,6
Variância	324213,13	162405,80
Observações	53	53
Hipótese da diferença de média	0	
g	52	
Stat t	-3,367928067	
P(T<=t) uni-caudal	0,000716022	
t crítico uni-caudal	1,674689154	

**Comentado [ABM7]:** A Variância está correta ?

**Comentado [EVJTB8R7]:** Este Alto-Forno apresenta produção em torno de 310t/h. As falhas dos *staves* geravam reduções dos níveis de produção por longos períodos ou até paradas para sanar problemas, sendo assim um desvio padrão em torno da média de 600 t/d e 400t/d é um número que condiz com a realidade

**Comentado [ABM9]:** Verificar novamente o numero da variância. Vc diz que a variância podia ser de 600 a 400 t/d, mas apresenta um numero muitas vezes superior. Rever

**Comentado [EVJTB10R9]:** Variância é o quadrado do desvio padrão. E foi dito que o desvio padrão era nestes patamares

A hipótese nula foi rejeitada, pois o valor P (P=0,0007) é menor que o nível de significância ( $\alpha =0,05$ ) para o teste realizado. Portanto, pode-se verificar que a troca de *staves* contribuiu para o aumento dos níveis de produção do Alto-Forno 2.

\* Contribuição técnica ao 49º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 7º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

H0:  $\mu_1 = \mu_2$        $\mu_1$ : média do *coke rate* antes da troca dos staves  
H1:  $\mu_1 > \mu_2$        $\mu_2$ : média do *coke rate* após a troca dos staves

**Tabela 8.** Teste para comparação do *coke rate* antes e depois da troca de staves

	Coke Rate Anterior à Troca de Staves (kg/t)	Coke Rate Posterior à Troca de Staves (kg/t)
Média	353,8249057	344,746
Variância	844,7395639	182,8847
Observações	53	53
Hipótese da diferença de média	0	
gl	52	
Stat t	1,96457061	
P(T<=t) uni-caudal	0,02740905	
t crítico uni-caudal	1,674689154	

A hipótese nula foi rejeitada, pois o valor P ( $P=0,027$ ) é menor que o nível de significância ( $\alpha =0,05$ ) para o teste realizado. Portanto, pode-se verificar que a troca de staves contribuiu para a redução do *coke rate* do Alto-Forno 2.

### 3. CONCLUSÃO

A realização da troca de staves foi importante para a evolução do Alto-Forno 2, onde foi atribuído um aumento de eficiência operacional com redução de *coke rate* e elevação da produção, diminuindo os custos de produção de gusa. Este aumento de eficiência está alinhado com a hipótese de redução da turbulência, no movimento de ascensão dos gases gerados na zona de combustão, causada pelo nivelamento das paredes e gerando uma estabilização da marcha operacional do forno.

Os ganhos na extensão da vida útil do forno não foram considerados nesta estimativa, mesmo sabendo que as trocas realizadas reduzem as interrupções operacionais que tendem a contribuir para a diminuição da espessura dos blocos de carbono.

A verificação da necessidade de nova realização de troca de staves será realizada observando os critérios estabelecidos conforme descrito no trabalho.

### REFERÊNCIAS

- BABICH, A.; SENK, D.; GUDENAU, H.W.; MAVROMMATIS, K.TH. – Ironmaking Textbook – Aachen: RWTH; 2008.

**Comentado [ABM11]:** colocar unidade do coke rate.

**Comentado [EVJTB12R11]:** Este comentário não está pertinente, pois já existe unidade

**Comentado [ABM13]:** Está correto este valor ?

**Comentado [EVJTB14R13]:** No mesmo caso da produção diária, o CR era afetado bruscamente pela água dos staves no interior do forno, paradas devido as falhas dos staves e grandes períodos de instabilidade operacional por entrada de água no forno oriunda dos staves. Sendo assim as médias diárias de CR variavam muito devido estas interferências e geralmente as mudanças ocorrem de maneiras brusca ( em torno de 50 a 100kg/t) devido a estes problemas. E pela variância este desvio está em torno de 30kg/t.

**Comentado [ABM15]:** Rever a variância. Continuo não entendendo como a variância é superior a média, no primeiro caso e no segundo caso é menos, mas mesmo assim, muito elevado. Mais ainda: os dados mostrados não condizem com a sua explicação acima. Rever.

**Comentado [EVJTB16R15]:** Já foi explicado o porquê desta variância elevada. E os dados mostrados são condizentes com a explicação, pois foi a realidade vivenciada na empresa.

**Comentado [EVJTB17]:** Não entendi o questionamento. Este livro é um livro sobre processo de fabricação de gusa incluindo altos-fornos. É justamente na introdução se fala sobre alto-forno e componentes que fazem parte do equipamento. As demais informações são de caráter interno ou documentos não catalogados da Ternium ou da empresa contratada para execução dos serviços.

**Comentado [EVJTB18R17]:**

**Comentado [EVJTB19R17]:**

**Comentado [ABM20]:** Colocar o numero de páginas do livro ou a página que foi retirada a citação.

**Comentado [EVJTB21R20]:** Não é uma citação. O livro é um b'sico de siderurgia e todos assuntos que são de fundamentação teórica para o processo de AF são mostrados e explicados nele, por exemplo o que seria coke rate ou um stave.