

SUBSTITUIÇÃO DE 38 STAVE COOLERS DO ALTO FORNO 3 DA USIMINAS*

*Victor Dias Martins¹
Walter Gomes de Albuquerque²
Adriano Cesar Carvalhido³
Daniel Horta Fernandes⁴*

Resumo

O trabalho apresenta a experiência recente da troca de 38 *staves* contribuindo no prolongamento da campanha operacional do Alto-Forno 3. Durante 13 dias ocorreu a substituição dos *Staves* originais de FoFo instalados em 1999 por novos *Staves* de cobre fundido. Além da recuperação do sistema de refrigeração, a mudança no material dos *Staves* contribui para maior troca térmica favorecendo a formação carga inativa (*casão*) que protege os *Staves* e o corpo do Alto-Forno. Esta substituição foi fundamental para recuperar a estabilidade da temperatura da carcaça e prolongar a vida útil do equipamento até o final de sua campanha. Diversos aspectos do projeto serão apresentados: engenharia, metodologia, planejamento, segurança, qualidade técnica, cronograma e outros.

Palavras-chave: Alto-forno, *Stave cooler*, metodologia, substituição.

REPLACEMENT 38 STAVE COOLERS OF USIMINAS BLAST FURNACE 3

Abstract

The work presents the recent experience of the replacement of 38 staves contributing in the extension of the operational campaign of the Blast Furnace 3. During 13 days, the original FoFo Staves installed in 1999 were replaced by new cast copper Staves. In addition to reestablish the cooling system to the original conditions, the replacement of the material of the Staves contributes to greater thermal exchange favors the formation inactive load (scaffold) that protects the Staves and the body of the Blast Furnace. This replacement was essential to recover the shell temperature stability and extend the life of the equipment by the end of the campaign. Several aspects of the project will be presented: engineering, methodology, planning, security, technical quality, schedule and others.

Keywords: Blast Furnace, Stave Cooler, methodology, replacement.

- ¹ *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.*
- ² *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Projetos, Gerência Geral de Engenharia e Projetos, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.*
- ³ *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Produção, Gerência Geral de Redução, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro Mecânico, Engenheiro Manutenção, Gerência Geral de Engenharia de Manutenção, USIMINAS, Ipatinga, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O Alto forno é o equipamento de uma planta siderúrgica no qual ocorre a redução do minério de ferro em ferro gusa. O processo consiste nas seguintes etapas: carregamento da matéria prima (sínter, pelota, minério granulado, coque e outros), no topo do forno, vazamento periódico do ferro gusa e escoria na parte inferior, injeção de ar quente e finos de carvão nas ventaneiras e remoção de gás e poeira pelo topo.

As altas temperaturas e a presença de carbono dentro do equipamento, desencadeiam uma reação química no minério de ferro eliminando o oxigênio de suas moléculas e reduzindo-as na sequencia $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ que é a base do gusa propriamente dito [1].

Para que as altas temperaturas internas do Alto forno não atinjam a carcaça do equipamento, faz-se necessário a instalação de elementos trocadores de calor no interior do Alto Forno, estes elementos são chamados de *Stave Coolers*.

Basicamente um *Stave Cooler* é um bloco metálico que pode ser constituído de FoFo ou de cobre, e que possui tubos internos em formatos de serpentina. A água passa por esses tubos internos dos *staves* e troca calor com o mesmo.

A figura abaixo mostra a posição de montagem dos *staves* na carcaça do Alto-Forno, em vermelho está identificado os níveis dos *staves* B2,B3,S1 e S2 relativos à rampa, ventre e cuba inferior.

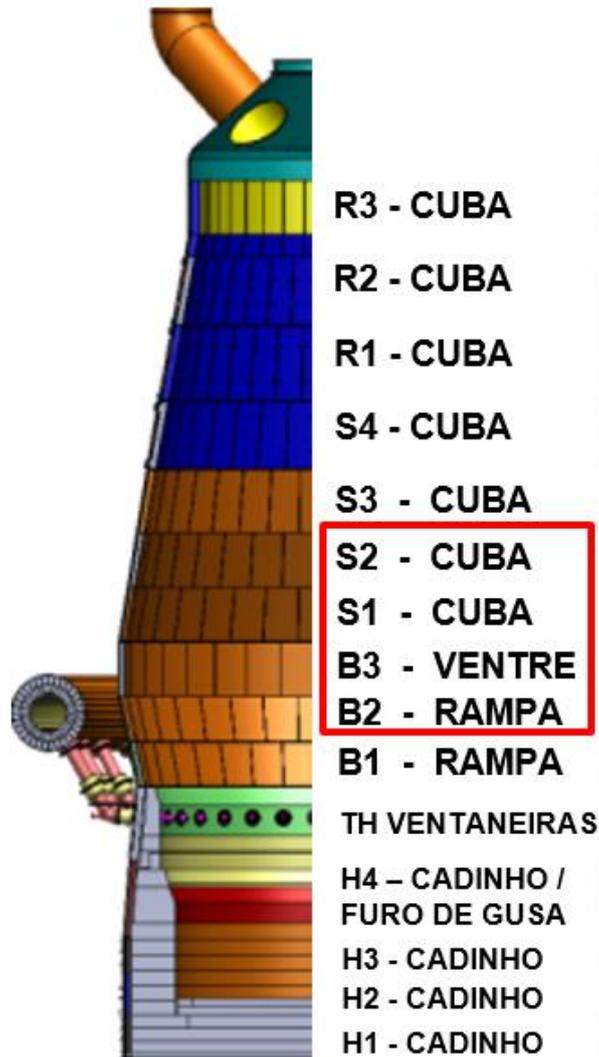


Figura 1. Perfil da carcaça do Alto-Forno 3.

O Alto Forno 3 passou por sua última reforma no ano de 1999. Durante 16 anos de operação os *staves* localizados entre a rampa e a cuba inferior sofreram um desgaste acentuado e começaram a furar seus tubos de circulação de água, tornando-se inoperantes. Com o objetivo de recuperar a refrigeração da carcaça do forno nesta região e melhorar a estabilidade operacional, em 2015 foi realizada uma substituição de 32 *staves* e em 2018 foi realizada uma segunda de 38. Estas 2 trocas permitiram o prolongamento da vida útil do Alto-Forno até o final de sua companhia, prevista para o ano de 2021. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta o método utilizado que permitiu o sucesso da segunda troca de *staves* que ocorreu em 2018.

2 DESENVOLVIMENTO

Para reduzir os riscos operacionais ao equipamento, optou-se por realizar a troca dos *staves* sem realizar o esgotamento completo de sua carga, portanto, o grande desafio deste projeto foi realizar a substituição dos *Staves Coolers* sem utilizar o acesso de pessoas dentro do Alto-Forno. Isto só foi possível utilizando a metodologia *fishing*, que consiste em retirar os *staves* danificados e montar os novos içando os mesmos através de *manholes* no topo do Alto-Forno.

O Alto-Forno 3 da Usiminas possui 4 *manholes* defasados em ângulos de 90° em seu topo (plataforma GL.43300). Cada um de seus *manholes* recebeu 2 talhas com capacidade 10 toneladas cada, isso permitiu que os *staves* pudessem ser movimentados em todo o perímetro dentro do Alto-Forno. A figura 2 representa o esquema de montagem de cada *stave* com suas respectivas talhas e *manholes* de acesso.

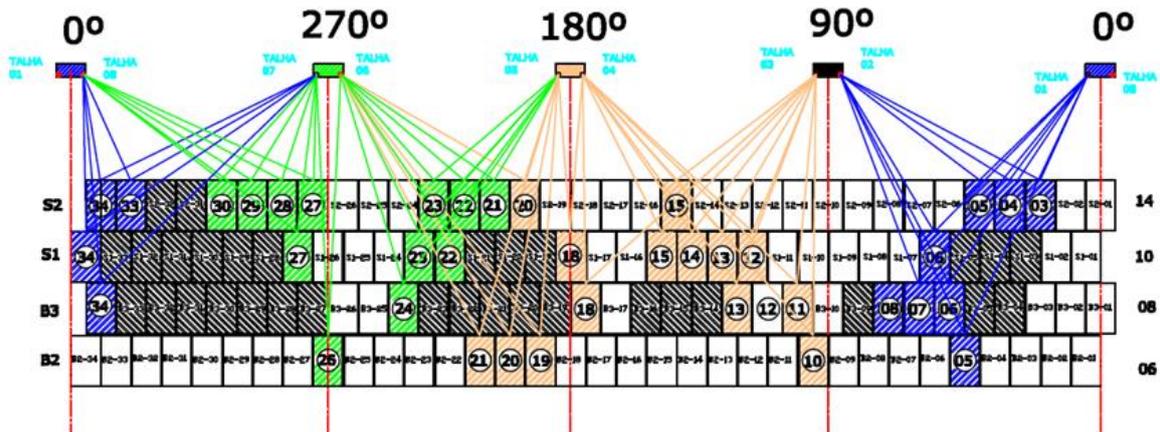


Figura 2. Esquema de montagem dos staves.

Para acesso dos *staves* no interior do Alto-forno, foi utilizado 3 *manholes* identificados como 0°, 180° e 270°. A cor de cada *stave* representado na figura 2 mostra o *manhole* de acesso que foi utilizado na montagem e desmontagem do mesmo. O *manhole* de 90° foi utilizado apenas como apoio aos demais pois suas talhas auxiliaram no direcionamento entre os ângulos 0° e 180°.

Esta distribuição dos *staves* permitiu a maximização da taxa de utilização das talhas tornando possível o paralelismo das atividades e consequentemente a realização da troca no menor prazo possível. O motivo pelo qual definimos não utilizar o *manhole* 90° foi a rota de distribuição de *staves* na plataforma do topo. Como pode ser observado na figura 3, o acesso de todos os *staves* ocorre justamente no quadrante 90° da plataforma.

Um guindaste com capacidade 220 toneladas posicionado na direção 90° içava os *staves* do nível zero até um pequeno carro localizado na plataforma no topo, este carro transporta os *staves* até o *manhole* de acesso. A rota de passagem deste carro está representada na figura 3.

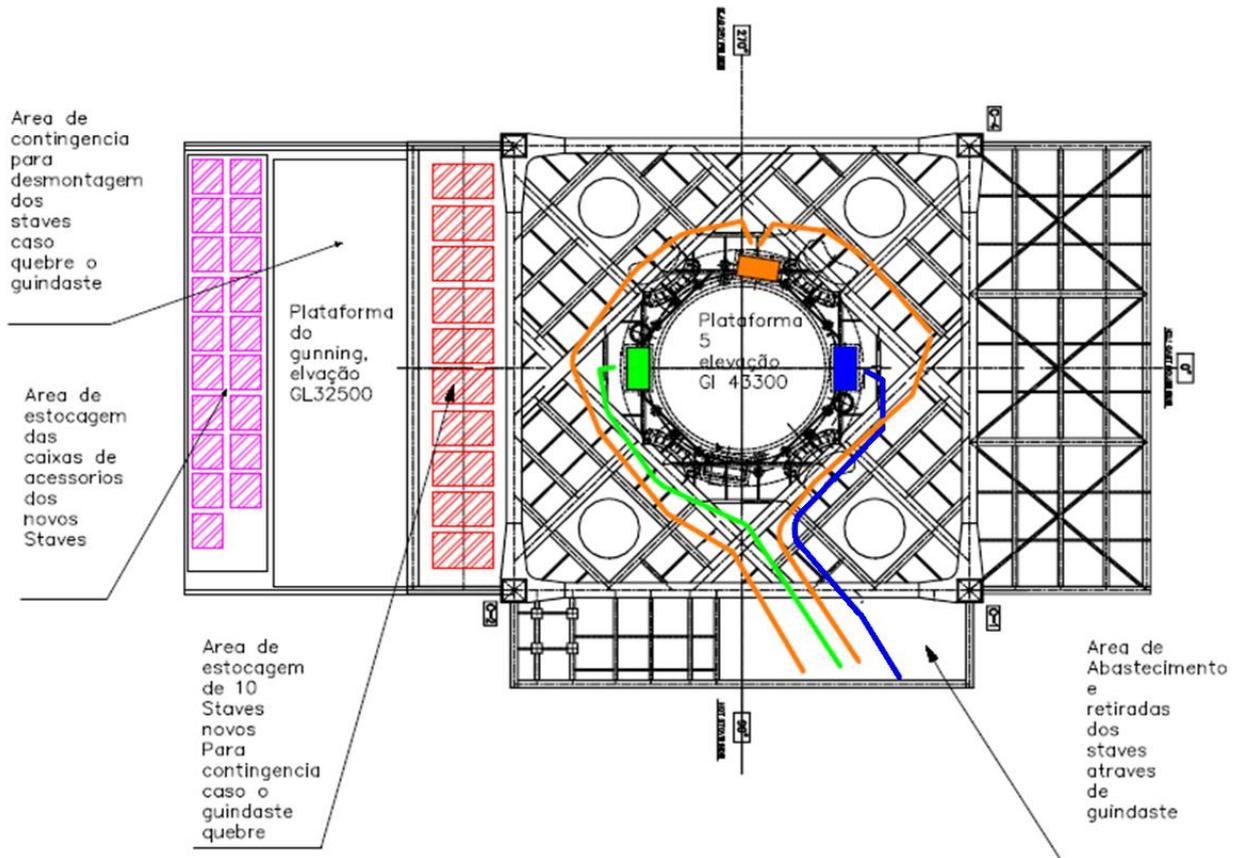


Figura 3. Logística de montagem e rota de acesso na plataforma do topo.

Como medida de contingência no caso de ocorrer algum problema no guindaste, utilizamos uma área para estocar 10 *staves* no ângulo 180º da plataforma do topo. Este estoque de segurança possui uma autonomia de aproximadamente 10 horas e permite reparo ou substituição do guindaste sem parar o serviço.

O método *fishing* permite a desmontagem e a montagem dos *staves* sem a necessidade de pessoas acessar o interior do forno. Para isso é necessário seguir os seguintes passos:

DESMONTAGEM

- Remover os tubos de alimentação de água do *stave* que será substituído e realizar um by-pass para a água continuar a circular nos *staves* vizinhos que não serão substituídos;
- Remover as caixas de selagem dos tubos de alimentação;
- Realizar um furo no *stave* através de uma das tubulações de alimentação superiores.
- Descer um cabo de aço do topo e com um gancho passando pelo furo do *stave* pescar e travar este cabo.
- Retirar os parafusos de fixação e empurrar o *stave* para dentro do Alto-forno com um macaco.
- Remover o *stave* pelo topo.

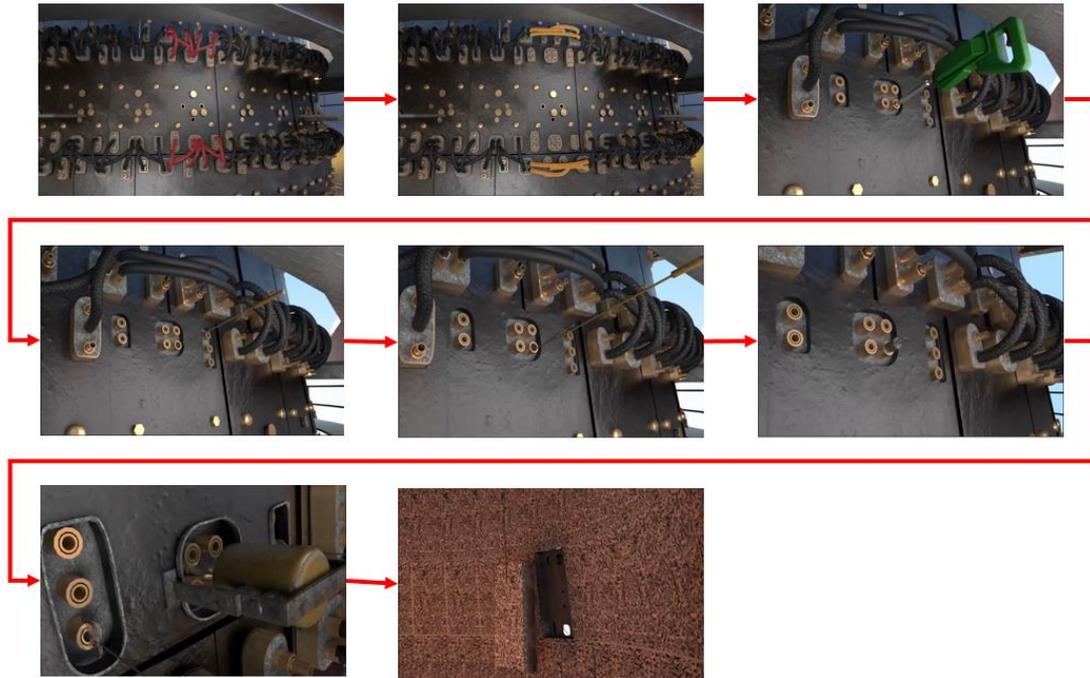


Figura 4. Sequência de desmontagem dos *staves* pelo método *fishing*.

MONTAGEM

- Posicionar o *stave* no manhole de entrada, inserir os olhais de içamento e os dispositivos para pesca nos furos dos parafusos de fixação;
- Verticalizar e descer o *stave* até a posição de montagem pelo manhole de entrada do topo;
- Utilizar ganchos para pescar o *stave* através dos 4 furos de fixação na carcaça.
- Puxar o *stave* contra a carcaça até a posição final e substituir os dispositivos pelos parafusos de fixação;
- Montar as caixas de selagem, caps dos parafusos de fixação, válvulas e engates rápidos e mangotes.
- Realizar injeção de massa entre os *staves* e a carcaça.

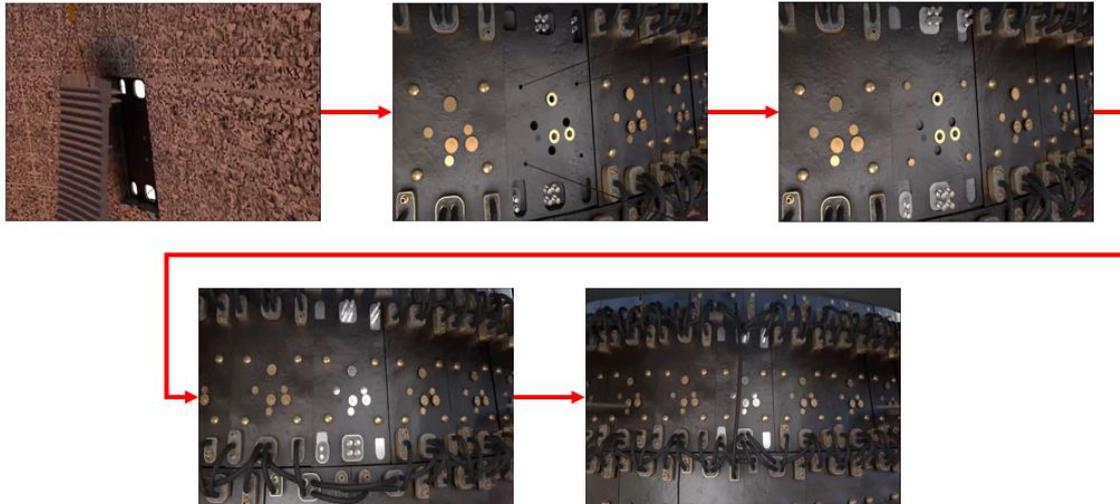


Figura 5. Sequência de montagem dos staves pelo método *fishing*.

O planejamento das atividades foi dividido em 2 etapas, uma etapa de atividades preparatórias e outra da parada do Alto-Forno para a substituição dos staves.

A etapa de atividades preparatórias durou aproximadamente 18 meses, nessa etapa as atividades eram executadas nas paradas mensais programadas para o Alto-Forno. O escopo das atividades preparatórias foi a substituição de todas as ponteiras dos staves vizinhos, instalação das tomadas dos medidores de espessura e termopares dos novos staves, instalação de tomadas para injeção de massa, montagem das talhas e suportes no topo, preparação e teste dos novos staves. Esta etapa consumiu 67,5% do homem hora previsto para o projeto.

A parada do Alto-Forno foi programada para ser executada em 271 horas entre os dias 03/12/2018 e 14/12/2018, esta etapa consiste no abaixamento da carga, expurgo, atividades para a troca dos staves, testes do sistema, injeção de massa, carregamento do forno, aquecimento do cadinho e canais de corrida e atividades operacionais para retorno do Alto-Forno.

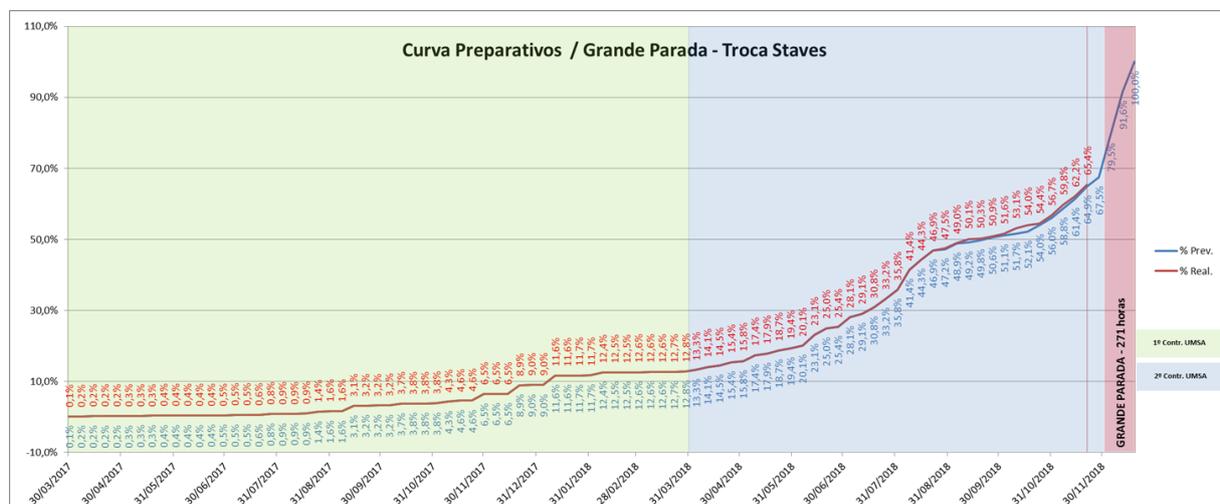


Figura 6. Curva de avanço das atividades preparatórias.



Figura 7. Cronograma macro da parada para troca dos Staves. [2]

Para a realização das atividades foi elaborado um plano de segurança robusto, com a identificação de todos os riscos envolvidos nas atividades bem como as ações para mitiga-los, tais como instalações de plataformas para rota de fuga, reforço e reparo das plataformas de acesso, instalação de guarda-corpos, instalação de iluminação adequada, etc.

De todas as atividades listadas no plano de segurança, a mais relevante foi a instalação de uma estação de treinamento que permitiu que todos os funcionários pudessem simular a montagem e desmontagem dos staves previamente no pipe-shop. Esta simulação permitiu a identificação dos riscos envolvidos em todas as etapas do trabalho além de melhorar o desempenho dos trabalhadores pois durante o serviço todos os trabalhadores já sabiam a sequência de todas as atividades.

Todos os trabalhadores tiveram treinamento em salas de aula, este treinamento envolvia tanto a parte técnica quanto a parte de segurança. Vídeos das trocas anteriores foram mostrados com o objetivo de nivelar o conhecimento e destacar as atividades críticas envolvidas na parada.

Devido a região da troca dos staves ser a de maior carga térmica dentro do Alto-Forno, a Usiminas decidiu substituir o material dos staves que originalmente eram de FoFo por cobre.

Por possuir um coeficiente de troca térmica mais elevado, o cobre retira mais calor do sistema, isso favorece a formação de carga inativa na face quente do *stave*. Esta carga protege o *stave* de desgaste prolongando sua vida útil. Outra vantagem que o *stave* de cobre possui é a sua espessura, que por ser menor do que a do *stave* de FoFo, reduz os possíveis ressaltos na face quente uma vez que os staves de FoFo remanescentes já possuem um estado avançado de desgaste apresentando espessuras reduzidas.

Maior estabilidade operacional foi adquirida após a substituição dos staves. As regiões críticas que possuíam maior concentração de staves danificados chegavam a picos de temperatura de 110~120°C, para controlar esses picos de temperaturas fazia-se necessário reduzir sopro de Ar e O₂ no Alto-Forno 3, conforme podemos observar nas figuras 8 e 9.

* 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.

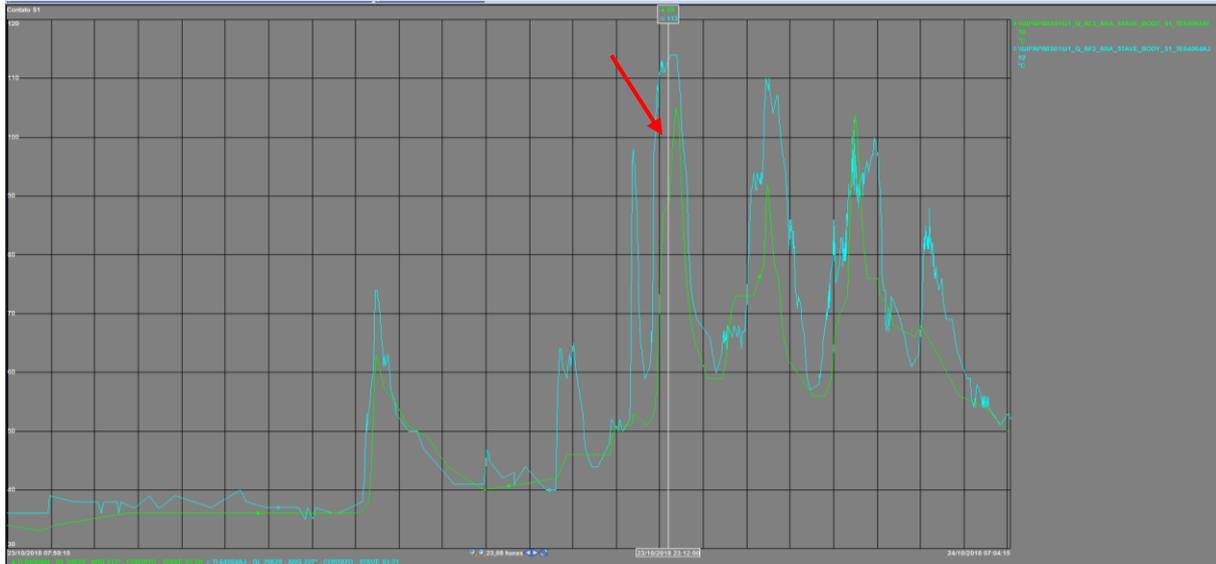


Figura 8. Acompanhamento de temperaturas na região crítica. [3]

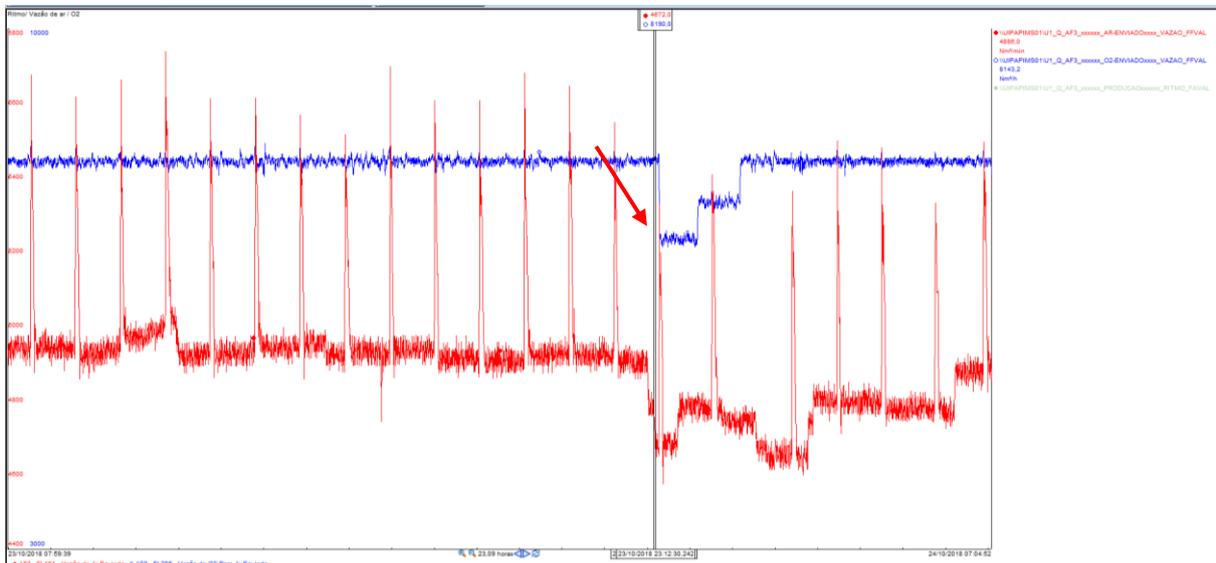


Figura 9. Gráfico de vazões de Ar e O₂ enviados. [3]

Os gráficos acima são referentes aos dados operacionais do Alto forno 3 antes da substituição dos *staves* 23/10/2018, a figura 8 mostra que o pico de temperatura de 113°C implicou na redução do envio de Ar e O₂ para o Alto Forno, ver figura 9. Esta instabilidade mostrada nos gráficos acima acontecia em media 45 vezes por mês, após a substituição dos 38 *staves*, este problema foi resolvido.

O aumento da troca térmica dos novos *staves* de cobre sobrecarrega o sistema de trocadores de calor que foi dimensionado para os *staves* de FoFo. Para resolver este problema, foi realizado um calculo do aumento da carga térmica e redimensionado os 3 trocadores de calor com o acréscimo de placas e mudança na sequência das mesmas.

3 CONCLUSÃO

A substituição dos 38 *stave coolers* recuperou de forma integral a refrigeração da rampa e ventre do Alto-Forno 3 e permitiu o prolongamento da sua vida útil até a sua próxima reforma que está prevista para o ano de 2021.

Para paradas de Altos-Fornos de curta duração a metodologia *fishing* para a troca dos staves se mostrou viável e eficaz uma vez que se elimina a necessidade de remover a carga remanescente do interior do Alto-Forno e permite seu retorno à operação em um curto intervalo de tempo.

Todas as atividades de preparação envolvidas neste projeto tais como estudos de engenharia, logística, planejamento, plano de segurança e treinamentos, foram fundamentais para o sucesso deste empreendimento. Após a substituição dos *staves*, o Alto-Forno está operando de forma estável com temperaturas de carcaça dentro dos parâmetros normais de operação.

Agradecimentos

Este projeto foi desenvolvido pela equipe de engenharia da Usiminas com o essencial apoio das áreas de operação e manutenção dos Altos Fornos, e da Usiminas Mecânica. Agradeço o envolvimento de todos que disponibilizaram recursos para alcançar com sucesso os objetivos estabelecidos por este projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Péricles Guimarães Oliveira Aguiar. Dissertação de Mestrado. Balanço de massa integrado do ferro-gusa entre altos-fornos e Aciaria da Aperam South América. 2016 [acesso em 30 junho. 2019]; página 21. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-AEAMWP/dissertacao_final.pdf?sequence=1.
- 2 Primavera P6 R8.3.2 Enterprise Project Portfolio Management
- 3 PI ProcessBook, OSisoft