

# DESENVOLVIMENTO DE NOVA ENGENHARIA PARA O CANAL DA CASA DE CORRIDA<sup>1</sup>

Rafael Motta Neiva<sup>2</sup>  
Filipe Soares Pontes<sup>3</sup>  
Nestor Deola Junior<sup>4</sup>  
Luiz José Gonçalves<sup>5</sup>  
Paulo César Gonçalves<sup>6</sup>  
Mauro Peri Rezende<sup>7</sup>

## Resumo

Com a conversão do termoredutor, de coque para carvão vegetal, no Alto-Forno 2 da Aperam South America, foi necessário se reavaliar a engenharia dos refratários do canal da casa de corrida, uma vez que no processo a carvão vegetal trabalha-se com temperatura mais baixa, e menor teor de enxofre do ferro-gusa. As escórias são mais ácidas, o que, entre outros fatores, altera a viscosidade e o potencial de ataque químico. Para atender as necessidades da Aperam de um canal flexível, ou seja, que pudesse operar tanto com coque como com carvão vegetal priorizando a segurança do canal, a Vesuvius Refratários aplicou o conceito ERIS (Engineered Refractories and Installation Services), que consiste em se tornar um "Parceiro em Performance" com soluções e ofertas que combinam Engenharia de Refratários e Serviços de Instalação. Esse conceito tem como foco aplicações específicas, máxima diferenciação e demonstração de valor. Dessa forma, desenvolveu-se um novo projeto de refratário para a casa de corrida, com o objetivo de atingir campanhas superiores a 200.000 t de ferro-gusa passante com segurança e mínimo de manutenções.

**Palavras-chave:** Canal; Casa de corrida; Refratários; Coque; Carvão vegetal.

## DEVELOPMENT OF A NEW ENGINEERING FOR TROUGHS OF THE CAST HOUSE

### Abstract

With the conversion of thermo-reducer of coke for charcoal, in Blast Furnace 2 of Aperam South America, it was necessary to reevaluate the trough refractory engineering, since the process charcoal works with lower temperature and lower sulfur content in the hotmetal. The slags are more acidic, which, among other factors, changes viscosity and the potential for chemical attack. To meet the needs of Aperam of a flexible trough, ie, it could operate with either coke or charcoal prioritizing the safety of the trough, the Vesuvius Refratários applied the concept ERIS (Engineered Refractories and Installation Services), which is to become a 'Partner in Performance "and offers solutions that combine Refractory Engineering and Installation Services. This concept focuses on specific applications, maximum differentiation and value demonstration. Thus, we developed a new refractory project to cast house, with the goal of reaching campaigns over 200,000 t of hotmetal thru safely and minimum maintenance.

**Key words:** Troughs; Cast house; Refractory; Coke; Charcoal.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Engenheiro Químico, Gerente de Contas do mercado de Altos-Fornos, Vesuvius Refratários, SP, Brasil; rafaél.neiva@br.vesuvius.com.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos Sênior do Alto-Forno 2, Aperam South América, MG, Brasil; filipe.pontes@aperam.com.

<sup>4</sup> Engenheiro de Materiais, Gerente Técnico, Vesuvius Refratários, SP, Brasil; nestor.deola@br.vesuvius.com.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Consultor de Processos do Alto-Forno 2, Aperam South América, MG, Brasil; luiz-jose.goncalves@aperam.com.

<sup>6</sup> Analista Assistente de Produção, Aperam South América, MG, Brasil; paulo-cesar.goncalves@aperam.com.

<sup>7</sup> Analista Técnico de Refratários, Aperam South América, MG, Brasil; mauro.rezende@aperam.com.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A Mudança do Termoredutor da Aperam para Carvão Vegetal

Até 1996, os dois altos-fornos da Aperam usavam carvão vegetal como termoredutor, e esse combustível era fornecido por florestas próprias (70%) e de mercado (30%). Durante a década de 90, o mercado de coque se tornou atraente em termos de preços internacionais e disponibilidade do produto, ou seja, o combustível fóssil se tornou uma matéria-prima competitiva e bem interessante para os altos-fornos da Aperam. Dessa forma, decidiu-se converter a Alto-Forno 2 (AF2) para operação com coque, fornecido 100% pelo mercado. Já o Alto-Forno 1 (AF1) permaneceu sendo carregado com o carvão vegetal proveniente de florestas próprias (100%) da Aperam.<sup>(1)</sup>

Apesar do uso de coque como principal termoredutor do AF2, as suas características de design foram mantidos como uma alto-forno a carvão vegetal e a Injeção de Carvão Pulverizado (ICP) continuou operando com finos de carvão vegetal. Todo o coque utilizado pela Aperam no AF2 tem origem no mercado externo (Japão e China). Contudo, depois de 2003, o coque do mercado externo tornou-se muito instável em relação aos preços, o que tornou muito difícil atingir os resultados do planejamento de custos.<sup>(1)</sup>

Enquanto isso, a Aperam Bioenergia (produtora de carvão vegetal) modernizou a silvicultura e o processo de carbonização, obtendo a expertise para produzir madeira e carvão vegetal de forma ambientalmente sustentável.

A dependência de fornecedores externos colocou a Aperam sob uma ameaça estratégica. Em 2004, foi tomada uma decisão de retornar o AF2 para a operação com 100% de carvão vegetal próprio. Além dos benefícios ambientais, carvão vegetal apresenta diversas vantagens como:

- é uma fonte segura de matéria-prima estratégica para a produção de ferro-gusa (ou gusa);
- o uso desse insumo reduz o custo de ferro-gusa;
- o uso de um combustível renovável e uma fonte favorável ao meio ambiente permite a produção de um produto com um selo de aço verde, ajudando assim a reduzir o efeito estufa e o aquecimento global;
- aproveita a oportunidade de usar a grande competência da Aperam Bioenergia na silvicultura, colheita e produção de carvão; e
- promove o desenvolvimento econômico e social do Vale do Jequitinhonha (local onde a Aperam Bioenergia está instalada), considerada uma das regiões mais pobres de Minas Gerais.

## 1.2 O Efeito da Mudança do Termoredutor no Ferro-Gusa e Escória

Com a substituição do coque por carvão vegetal, algumas alterações nos produtos do AF2 ocorreram.

- o primeiro ponto a observar é a ausência de enxofre (presente apenas no coque), o que permitiu um ferro-gusa livre desse elemento e, dessa forma, a uma escória mais ácida;
- com a escória mais ácida, pode-se trabalhar com a temperatura do ferro-gusa mais baixa (próxima de 1300°C, ou seja, 100°C abaixo do nível térmico usual quando se opera com coque), com isso, tem-se uma economia de energia. Contudo, aumenta-se a quantidade de silício presente no sistema; e

- a ausência de enxofre elimina a necessidade de desulfurização, ou seja, reduz a necessidade de escória e a quantidade desse produto é reduzida, reduzindo também o consumo de energia.

Todas essas alterações tem impacto direto no refratário do canal de corrida e, dessa forma, para garantir uma performance adequada, sem que exista o risco de solidificação de ferro-gusa ou um desgaste anormal desse revestimento refratário, faz-se necessário uma nova engenharia para o canal de corrida do AF2 da Aperam.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma nova engenharia de canal de corrida para o Alto-Forno 2 da Aperam considerando a mudança de termoreductor de coque para carvão vegetal, para garantir que não ocorra solidificação de material no canal.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 O Projeto do Novo Canal**

A alteração do agente termoreductor de coque para carvão vegetal resultaria em uma série de mudanças nas características do ferro-gusa e escória que necessariamente deveriam ser contempladas no novo projeto dos canais de corrida, entre eles uma menor temperatura de operação, acidez da escória, relação escória/gusa, composição da escória, entre outras. Além disso, havia uma solicitação da engenharia da Aperam que o canal fosse "flex", isto é, que pudesse operar tanto com carvão vegetal quanto com coque. Para atender essa necessidade e também priorizando a segurança do canal, a Vesuvius Refratários aplicou o conceito ERIS (Engineered Refractories and Installation Services), que consiste em se tornar um "Parceiro em Performance" com soluções e ofertas que combinam Engenharia de Refratários e Serviços de Instalação. Esse conceito tem como foco aplicações específicas, máxima diferenciação e demonstração de valor.

Com base nestas informações, o novo projeto resultou nas seguintes mudanças no canal principal:

- isolamento térmico: não foi feita alteração no projeto de isolamento térmico, pois os perfis térmicos calculados mostraram que, mesmo com as alterações de material nos revestimentos permanentes e de trabalho, o isolamento térmico continuava eficaz, garantindo a temperatura da carcaça dentro dos limites acordados;
- revestimento permanente: O projeto original trazia um revestimento permanente de concreto baixo cimento da classe de 60% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com blocos de carbono para solidificação do ferro-gusa caso houvesse infiltração. O novo projeto substituiu este revestimento por blocos pré-moldados contendo carbetto de silício, eliminando a necessidade de uma forma para o revestimento permanente, reduzindo o tempo total de secagem pois os blocos pré-moldados já estão secos e mantendo a segurança do canal, pois a alta condutividade do carbetto de silício também faz com que o ferro-gusa solidifique, caso haja alguma infiltração;
- revestimento de trabalho: Como a temperatura do ferro-gusa produzido com carvão vegetal é menor que a temperatura utilizando coque, foi necessário um cuidado na definição do material de trabalho, a fim de evitar o solidificação do ferro-gusa no canal. Sendo assim, foi escolhido um material com teor de

carbeto de silício menor que o utilizado anteriormente, reduzindo a condutividade térmica do concreto. Além disso, a diferente composição da escória e a possibilidade de operação com coque levaram à introdução de um pacote de aditivos anti oxidantes garantindo a integridade e performance do material durante toda a campanha do canal, mesmo operando em temperaturas mais altas (caso voltasse a utilizar coque como agente redutor).

Para garantir o alinhamento dos blocos pré-moldados e agilizar a montagem do canal, foi preparado um gabarito de montagem para posicionar os blocos. A concretagem do revestimento de trabalho foi feita por vertimento, utilizando formas removíveis. A secagem do canal foi feita por empresa especializada, seguindo ciclo indicado pela Vesuvius.

### **3.2 A Instalação do Novo Canal**

A instalação foi realizada em várias etapas, iniciando pelo reparo da carcaça metálica, seguido da instalação dos blocos pré-moldados. Após feito, instalou-se as formas metálicas para a concretagem do canal principal. Após a conclusão do canal principal, instalaram-se os blocos do canal de escória e o canal de gusa foi concretado.

#### **3.2.1 Reparo da carcaça metálica**

A parte final da carcaça, incluindo o pocinho, a saída do canal de escória e o canal secundário de gusa foram cortados e substituídos por carcaça nova. Além disso, fizeram-se reparos no restante da carcaça, eliminando trincas e pontos de desgaste.



**Figura 1.** Atividades de caldeiraria na carcaça metálica. <sup>(2)</sup>

#### **3.2.2 Instalação dos blocos pré-moldados (permanente)**

Esta atividade foi iniciada com os blocos assentados a partir do furo de gusa no sentido do dreno do canal. O primeiro bloco foi posicionado na parede lado do canhão, em seguida a parede do lado oposto e o fundo, travando os blocos. Essa

fase de instalação foi executada em 38 horas. Nessa etapa foram instalados 28 termopares para acompanhamento da pirometria do canal principal.



**Figura 2.** Instalação dos primeiros blocos pré-moldados.<sup>(2)</sup>

### **3.2.3 Instalação das formas para concretagem do canal principal**

Nesta etapa as formas metálicas foram posicionadas (Figura 3) e entre elas, foi instalado fibra cerâmica para evitar a penetração do concreto entre as formas, como pode ser visto na Figura 4.



**Figura 3.** instalação da primeira forma metálica.<sup>(2)</sup>





**Figura 4.** Colocação de fibra cerâmica entre as formas.<sup>(2)</sup>

### **3.2.4 Concretagem do canal principal**

Após a montagem das formas metálicas do canal principal, iniciou-se a concretagem. Foram utilizados dois misturadores de 500 kg cada, posicionados em uma plataforma sobre o canal. Foram aplicados 64.000 kg de material.



**Figura 5.** concretagem do canal principal.<sup>(2)</sup>

### **3.2.5 Secagem e aquecimento**

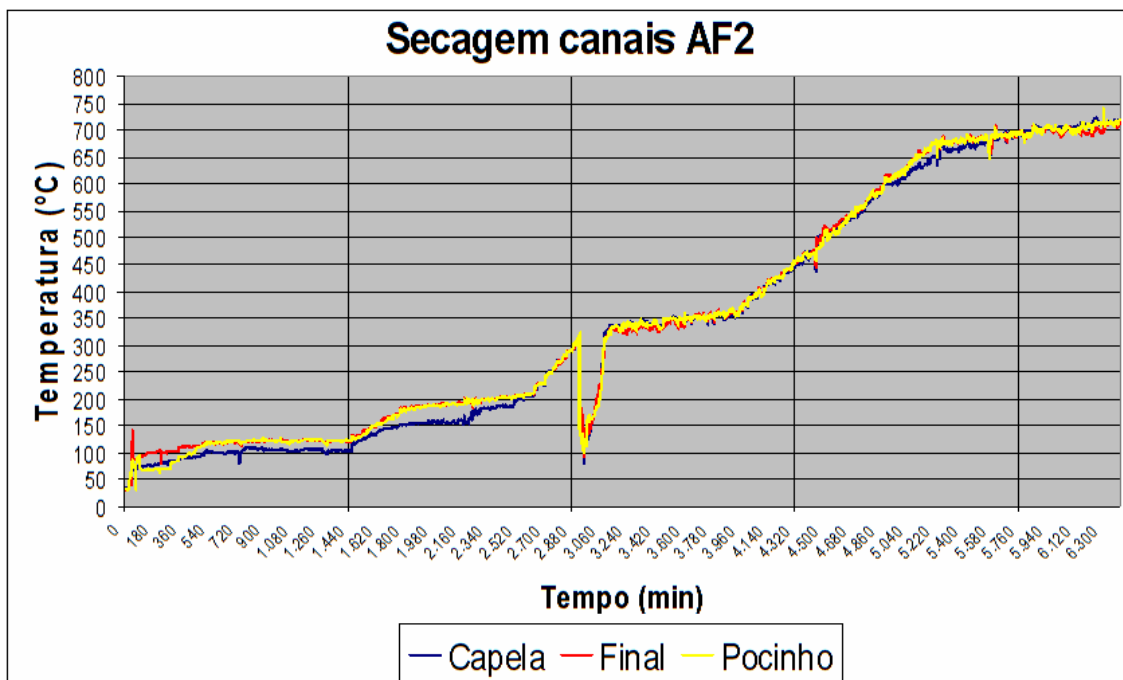
Após o concreto instalado reagir, as formas foram retiradas para o aquecimento do canal principal. A carcaça foi furada pelo lado externo após a concretagem, com a

finalidade de facilitar a saída de vapor e umidade durante o período de aquecimento do revestimento refratário.



**Figura 6.** Equipamentos para a secagem e aquecimento do canal principal. <sup>(2)</sup>

No início do segundo dia de secagem houve um congelamento da linha de gás, provocando uma queda da temperatura do canal. Após normalização do abastecimento, o ciclo foi retomado, sem prejuízo para a secagem do concreto. O gráfico com o ciclo de secagem é mostrado a seguir na Figura 7.



**Figura 7.** Curva de secagem do canal principal. <sup>(2)</sup>

### 3.2.6 Canal de escória

O primeiro bloco instalado foi o entroncamento (Figura 8).



**Figura 8.** Instalação do bloco de entroncamento.<sup>(2)</sup>

Após a instalação do entroncamento, instalaram-se quatro blocos retos. Em seguida, instalou-se um bloco curvo, para a granulação, seguido de mais um bloco reto. Para concluir o canal secundário de escória, foi instalada massa de socar em toda sua extensão.



**Figura 9.** Instalação do bloco reto.<sup>(2)</sup>





Figura 10. Instalação da massa de socar.<sup>(2)</sup>

#### 4 RESULTADOS

Após a instalação da nova engenharia para o canal da casa de corrida do AF2 da Aperam em junho de 2011, o reator ainda operou com o coque como termoredutor por aproximadamente um mês. Em seguida, iniciou-se a operação do alto-forno com carvão vegetal. A seguir são mostradas na Figura 11 as campanhas do refratário de trabalho antes e após a implantação da nova engenharia.

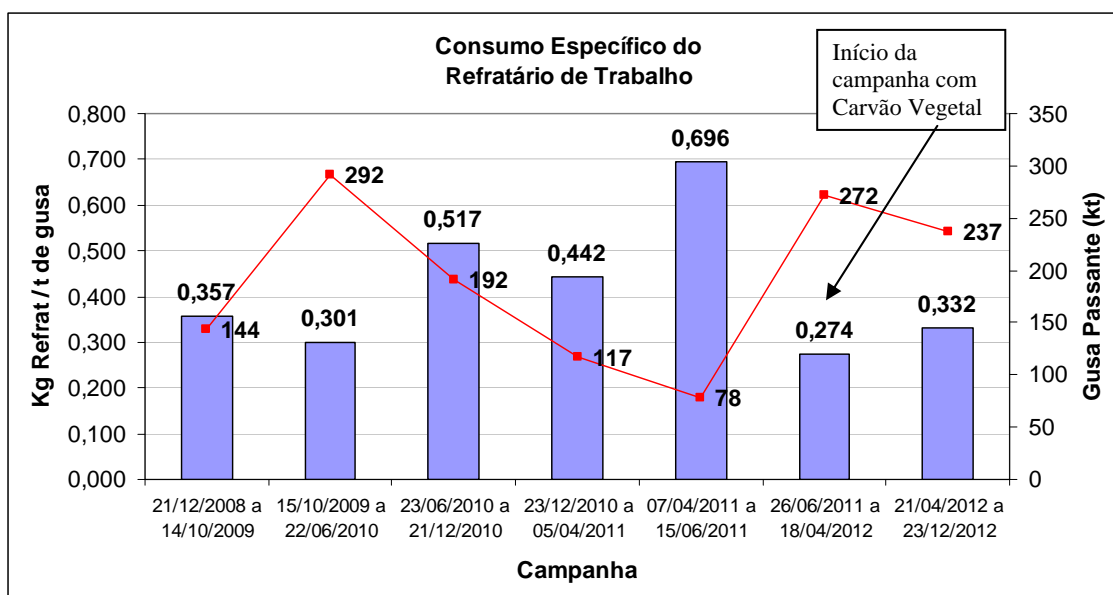


Figura 11. Consumo específico do refratário de trabalho nas campanhas com coque e carvão vegetal.

É possível notar um desempenho melhor com a nova engenharia quando comparada à engenharia usada no canal de corrida com operação a coque, o que valida o novo canal. Na tabela 1 a seguir é possível notar campanhas mais extensas

e, ao mesmo tempo, um menor consumo específico de refratário de trabalho. Além disso, é importante ressaltar que desde a sua instalação, nenhuma ocorrência de segurança relacionada ao canal foi relatada, atingindo o objetivo de atingir campanhas superiores a 200.000 t de ferro-gusa passante com segurança e mínimo de manutenções. Outro ponto importante é a redução do consumo específico de refratário de trabalho, o que significa menos intervenções, menos material aplicado e uma redução de custo.

**Tabela 1.** Valores para gusa passante, quantidade de refratário instalado e consumo específico para campanhas do canal de corrida com operação a coque e a carvão vegetal

	Gusa Passante (kt)	Refratário Instalado (kg)	Cons. Específico kg refrat./t gusa
Coque	186	72.575	0,404
Carvão Vegetal	254	76500	0,303

## 5 CONCLUSÃO

Através do conceito ERIS aplicado pela Vesuvius Refratários, tornando-se um "Parceiro em Performance" com soluções e ofertas que combinam Engenharia de Refratários e Serviços de Instalação, foi possível atender a solicitação da Aperam de uma nova engenharia de canal de corrida para o Alto-Forno 2 utilizando carvão vegetal como termoreductor.

A nova engenharia de canal para carvão vegetal se mostrou eficiente, com campanhas superiores a 200.000 t de gusa passante e com um consumo específico de refratário de trabalho inferior à engenharia usada anteriormente para coque.

Dessa forma, essa engenharia permitiu o uso de um termoreductor ecologicamente e socialmente correto, ou seja, o uso do carvão vegetal em substituição ao coque traz muitos benefícios a Aperam, como a redução do custo do ferro-gusa; é uma matéria-prima estratégica e a produção desse pela Aperam Bioenergia torna a Aperam independente do mercado externo; é um combustível renovável permitindo a produção de um produto com um selo de aço verde, ajudando assim a reduzir o efeito estufa e o aquecimento global; e promove o desenvolvimento econômico e social do Vale do Jequitinhonha, uma das regiões mais pobres de Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS

- 1 GONÇALVES, L.J. The use of coke and charcoal in Aperam South America. Painel apresentado no 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI, 42nd International Meeting on Ironmaking and 13th International Symposium on Iron Ore, October 14th to 18th, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brazil
- 2 DEOLA JUNIOR, N. Relatório da reforma da casa de corrida do Alto-Forno 2 da Aperam - Projeto carvão vegetal, Vesuvius Refratários, São Paulo, junho, 2011