

# EVOLUÇÃO OPERACIONAL DO ALTO-FORNO 3 DA USIMINAS IPATINGA EM SUA 4ª CAMPANHA<sup>1</sup>

*José de Sousa Carvalho<sup>2</sup>  
Gustavo Alexandre da Costa Manso<sup>3</sup>  
Mauro Vivaldino Fernandes<sup>4</sup>  
Beatriz Fausta Gandra<sup>5</sup>*

## **Resumo**

O Alto-Forno 3 da Usiminas, na planta de Ipatinga, nesta sua 4ª campanha, foi projetado para 15 anos de operação, com uma produção estimada de 41 milhões de toneladas de gusa. Ao completar nove anos e oito meses de operação, a produção atingiu 27,26 milhões de toneladas de gusa, superando em 4,0% o valor previsto para o período. No presente trabalho são mostradas a evolução dos principais resultados operacionais, as melhorias introduzidas no processo e as perspectivas para preservação da vida útil do alto-forno.

**Palavras-chave:** Alto-forno; Melhorias operacionais.

## **USIMINAS BLAST FURNACE 3 OPERACIONAL EVOLUTION IN ITS 4<sup>th</sup> CAMPAIGN**

## **Abstract**

The Usiminas Blast Furnace 3 of Ipatinga plant's, in its 4<sup>th</sup> campaign were projected for 15-years with a production of 41 million tons. After 9 years and 8 months of operation, the production reached 27.26 million tons of hot metal, exceeding the fixed value in 4.0% for the period. This paper shows the furnace evolution, its main results, the improvements in the process and the prospects for preserving its life.

**Key-words:** Blast furnace; Operational improvements.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

<sup>2</sup> *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Superintendência de Engenharia de Processos Industriais da Usiminas; Ipatinga, MG. E-mail: jose.carvalho@usiminas.com*

<sup>3</sup> *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Superintendência de Engenharia de Processos Industriais da Usiminas; Ipatinga, MG. E-mail: gustavo.manso@usiminas.com*

<sup>4</sup> *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; Superintendência de Redução da Usiminas; Ipatinga, MG. E-mail: mauro.fernandes@usiminas.com*

<sup>5</sup> *Membro da ABM; Engenheira Metalurgista, M.Sc.; Superintendência de Pesquisas e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG. E-mail: beatriz.gandra@usiminas.com*

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando uma série de melhorias implementadas na mais recente reforma, em 1999, o Alto-Forno 3 (AF3) da planta de Ipatinga da Usiminas, nesta sua 4ª campanha, foi projetado para 15 anos de operação com uma produção estimada de 41 milhões de toneladas de gusa.

Ao se aproximar de seus dez anos de operação, ou seja, dois terços do tempo previsto para a campanha do AF3, a sua produção atingiu 27,26 milhões de toneladas de gusa, superando em 4% o valor previsto para o período.

No presente trabalho é mostrado o desgaste do revestimento interno do AF3, que tanto para os *staves* como para os blocos de carbono do cadinho, está dentro dos valores previstos para o período. Também são comentadas, de forma breve, algumas precauções necessárias para a preservação do AF3, visto que, com a instalação do novo soprador, em 2005, os níveis de produção foram elevados exigindo ainda mais deste reator.

## 2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO AF3 INCORPORADAS NA 4ª REFORMA

Com a mudança do sistema de refrigeração com placas, para refrigeração com *staves*, o perfil interno do forno foi totalmente modificado. No cadinho, uma das grandes melhorias implementada, além da adoção dos *staves*, foi a qualidade do material refratário utilizado, visando maior vida útil do equipamento. Além disso, o forno sofreu alterações em equipamentos auxiliares como perfuradores, canhões e granuladores de escória, proporcionando melhor controle operacional.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais alterações nas características do AF3, comparando a atual campanha com a anterior.

**Tabela 1.** Principais características do AF3

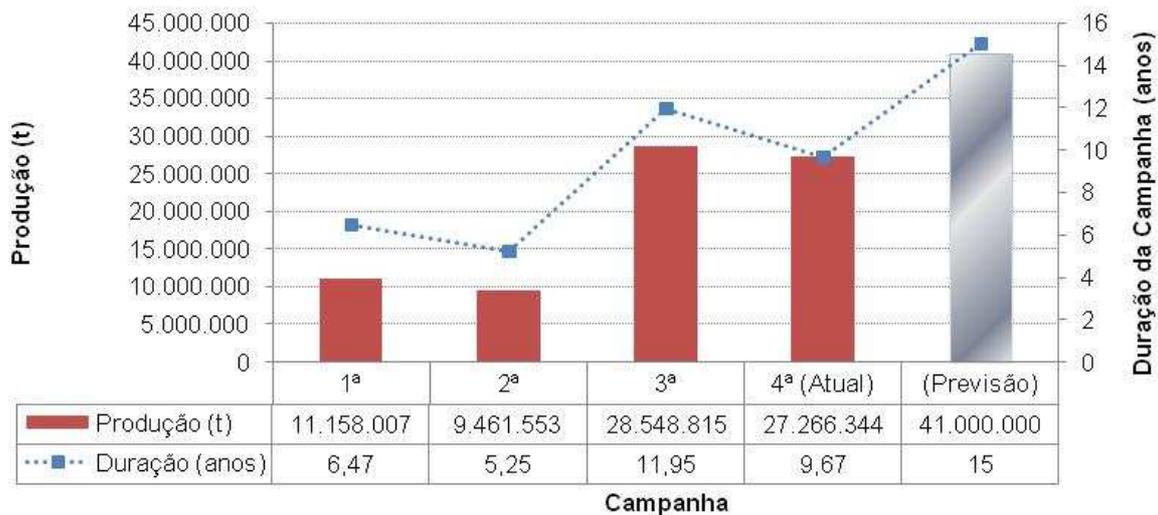
ITENS	CAMPANHA ANTERIOR	CAMPANHA ATUAL
Volume interno (m <sup>3</sup> )	2.700	3.163
Volume de trabalho (m <sup>3</sup> )	2.380	2.722
Número de ventaneiras	28	30
Pressão de topo (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,00	2,50
Diâmetro do cadinho (m)	11,50	12,20
Perfuradores	Pneumáticos	Hidráulicos
Granulador de escória	RASA	INBA
Revestimento do cadinho	Micro-poro	Ultra super micro-poro
Refrigeração	Placas	<i>Staves</i>
Canhões	IHI	PW
Blocos do furo de gusa	Alta alumina	Carbono
Lanças de injeção de carvão	Lanças simples	Dupla lança
Soprador	Turbo soprador (P <sub>máx</sub> = 3,2 kgf/cm <sup>2</sup> )	Turbo soprador (P <sub>máx</sub> = 4,2 kgf/cm <sup>2</sup> )
Geração de energia	Não	Turbina de topo

## 3 RESULTADOS OPERACIONAIS COMPARATIVOS DO AF3

### 3.1 Produção

A utilização de refratários de melhor qualidade, especialmente na região do cadinho, bem como o monitoramento e o controle do seu desgaste, vem permitindo

o prolongamento das campanhas do AF3 da planta de Ipatinga da Usiminas. Em função da alteração do tipo de refrigeração ao longo do corpo do forno (placas de refrigeração foram trocadas por *stave cooler*), na atual campanha o volume interno do AF3 teve aumento de 17,1% em relação à campanha anterior, refletindo diretamente na sua produção de gusa. Também contribuiu para este resultado, o controle das matérias-primas enforçadas, a qualidade do coque e do síter consumidos, o controle operacional do forno e as práticas de manutenção adotadas. Na Figura 1 é mostrado o resultado comparativo da produção de gusa nos primeiros dez anos da campanha atual com as anteriores.

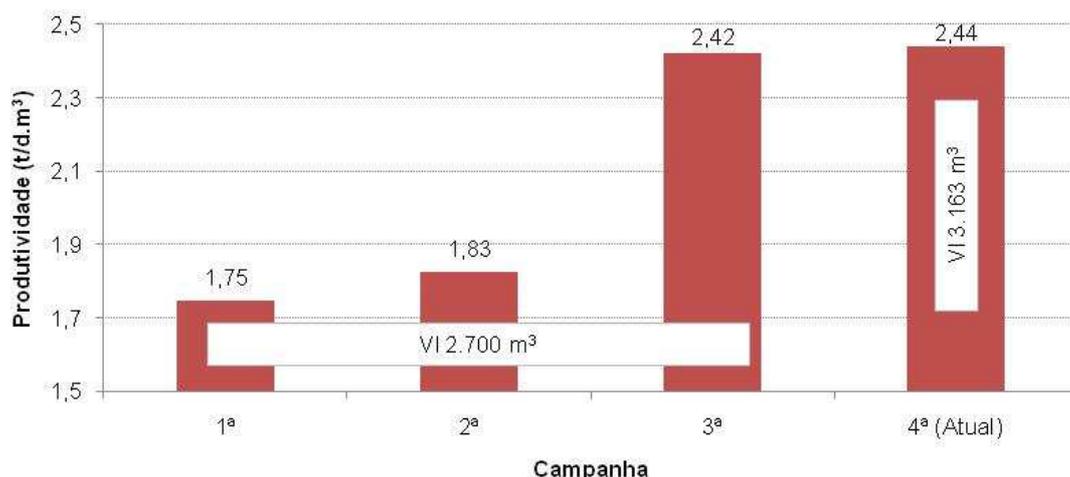


**Figura 1.** Comparação de produção entre as campanhas anteriores e a projeção para a campanha atual do AF3.

Pela Figura 1 pode-se observar a evolução da produção do AF3, que já chegou a 66,5% de toda a produção prevista para a campanha atual. Pode-se observar que a quantidade de gusa produzido nestes primeiros dez anos já foi consideravelmente superior à 1ª e 2ª campanhas, e está a quase 95% de toda a produção da 3ª campanha. Este valor supera em 4% o previsto para o período.

### 3.2 Produtividade

Na mais recente reforma, em 1999, optou-se por manter o mesmo soprador, sendo que o investimento em um soprador com maior capacidade foi feito posteriormente com o forno já em operação. Logo, os resultados de produtividade do período analisado poderiam ser melhores, visto que o volume de sopro ficou limitado, o que levou a necessidade de utilização de taxas de enriquecimento de oxigênio mais elevadas. Na Figura 2 é mostrado o resultado comparativo da produtividade (volume interno) nos primeiros dez anos de operação da campanha atual com as anteriores.



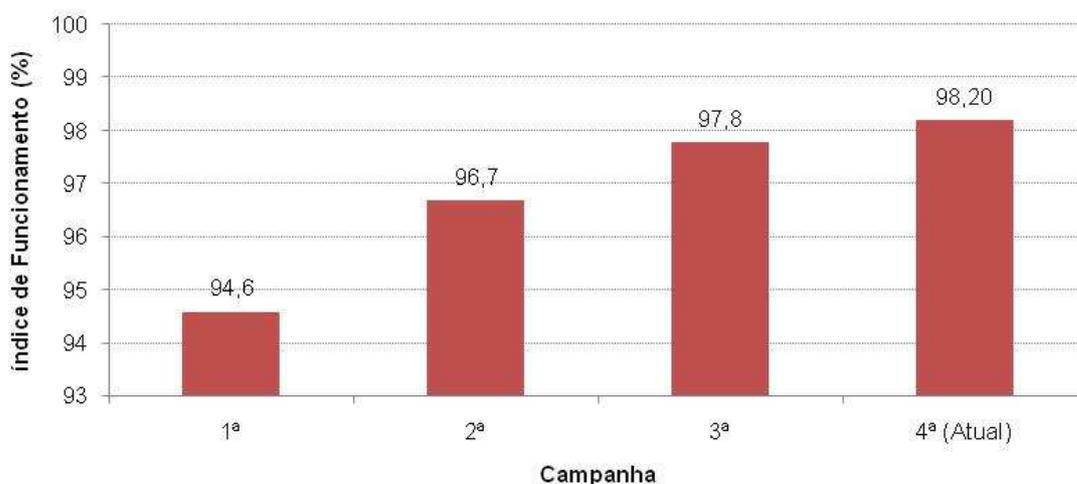
**Figura 2.** Comparação de produtividade entre as campanhas anteriores e a campanha atual do AF3.

Pela Figura 2 pode-se observar a evolução da produtividade do AF3.

A produtividade média obtida na 3ª campanha do AF3 (2,42 t/d.m<sup>3</sup>) constitui-se um dos melhores resultados da siderurgia mundial. Mesmo prevendo uma redução nos níveis de produção praticados com o final de campanha, o AF3 deve superar o recorde obtido na campanha anterior.

### 3.3 Índice de Funcionamento

O índice de funcionamento<sup>1</sup> nos primeiros dez anos da 4ª campanha é superior à da campanha anterior, refletindo não só o uso de melhores materiais, mas também a evolução e o desenvolvimento das técnicas de manutenção empregadas. Vale lembrar que este número foi afetado por vários atrasos em paradas programadas e paradas acidentais ocorridas, principalmente, nos anos de 2000 e 2003. Na Figura 3 é mostrado o resultado comparativo do índice de funcionamento nos primeiros dez anos de operação da campanha atual com os índices de funcionamento nas campanhas anteriores.

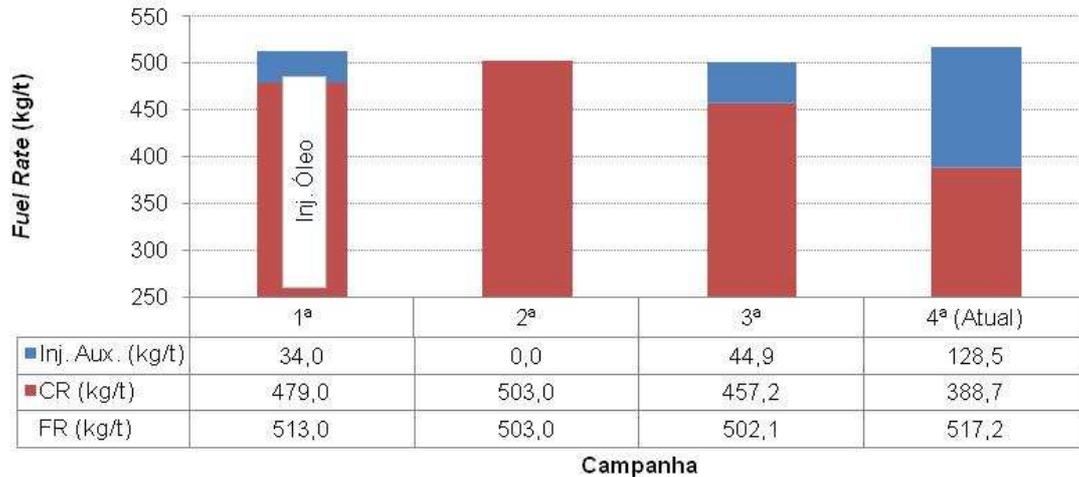


**Figura 3.** Comparação do índice de funcionamento dos primeiros 10 anos entre as campanhas anteriores e atual do AF3.

<sup>1</sup> Índice de funcionamento = horas trabalhadas \* 100 / horas calendário

### 3.4 Combustível

Na Figura 4 é mostrado o consumo de combustíveis nos primeiros dez anos de operação da campanha atual, comparando com aquele de campanhas anteriores.



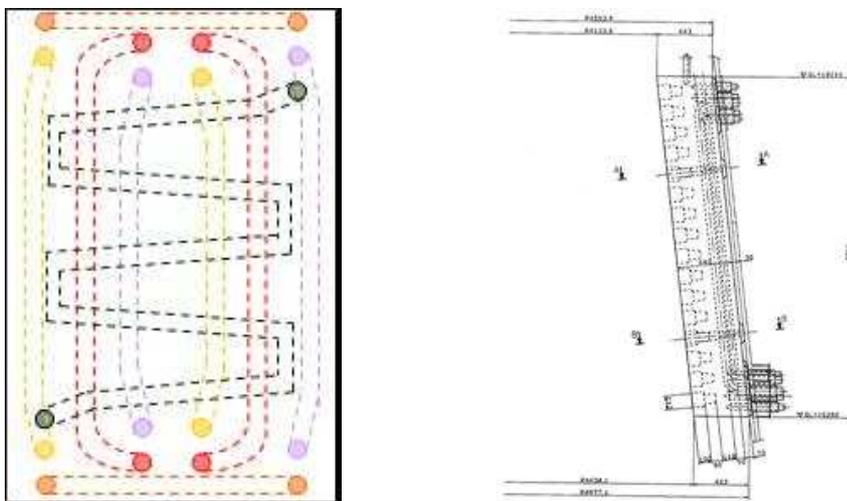
**Figura 4.** Comparação do consumo de coque nos primeiros 10 anos entre as campanhas anteriores e atual do AF3.

Na 1ª campanha, era utilizado óleo combustível como injeção auxiliar; já na 2ª, o AF3 operou *all coke*. Em 1993, 3ª campanha, foi iniciada a injeção de finos de carvão pulverizado na Usiminas, que levou à expressiva redução no consumo de coque, especialmente na campanha atual.

## 4 NOVAS TECNOLOGIAS E CONTROLES NO AF

### 4.1 Características do Sistema de Refrigeração do Corpo do AF3

O sistema de refrigeração do corpo do forno atual é do tipo *stave cooler*. Na Figura 5 é mostrado um *stave* instalado na cuba inferior, região de maior solicitação termoquímica. Estes *staves* possuem seis tubos na vertical para a refrigeração principal, dois tubos de canto e uma serpentina.



**Figura 5.** Stave de quarta geração instalado na cuba inferior do AF3.

Os *staves* do AF3 são de ferro fundido nodular, de quarta geração, projetados, fabricados e montados com supervisão da Nippon Steel Corporation (NSC). A utilização deste tipo de sistema permite um controle mais preciso da refrigeração, reduzindo a ocorrência de distúrbios na distribuição de carga, em função de maior planicidade na parede do reator.

## 4.2 Ações de preservação dos *Staves*

### 4.2.1 Acompanhamento do desgaste

A evolução do desgaste dos *staves* é acompanhada em relatório específico de diagnose desde o início de operação do forno, através de sondagens em furos próprios realizadas durante as paradas programadas. O resultado apresentado na Figura 6 evidencia que o desgaste está consideravelmente inferior ao valor previsto para dez anos de operação do AF3.

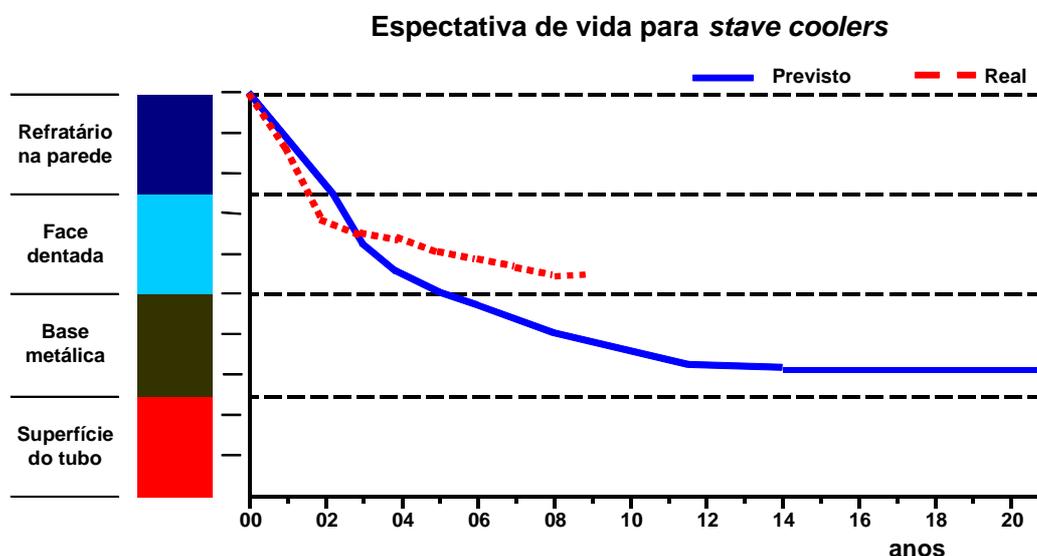


Figura 6. Previsão da evolução do desgaste refratário em altos-fornos.

Estes resultados revelam que o AF3 da Usiminas, apesar de sua elevada produtividade, está em perfeitas condições de preservação. Possui atualmente apenas três tubos de *stave* furados, sendo dois no ventre e um na região da cuba inferior.

### 4.2.2 Avaliação da distribuição de carga

Uma forma de se avaliar o comportamento da distribuição de carga é por meio da sonda de inserção, conhecida como “lança dango”. Este equipamento é inserido, três vezes ao dia, na cuba superior do AF3 e é capaz de coletar o gás e de medir sua temperatura em diferentes pontos. Desenvolvido pela pesquisa, um programa específico permite a visualização das informações pelos especialistas (Figura 7), e arquivamento destes dados para futuras consultas e avaliações. As linhas A, B e C representam a temperatura e o rendimento dos gases respectivamente nos turnos da manhã, da tarde e da noite.

A análise desta informação, adicionada ao perfil térmico da parede do AF3, permitem ações assertivas na distribuição de carga, possibilitando melhor estabilidade operacional do reator, contribuindo ainda, na preservação do seu revestimento.

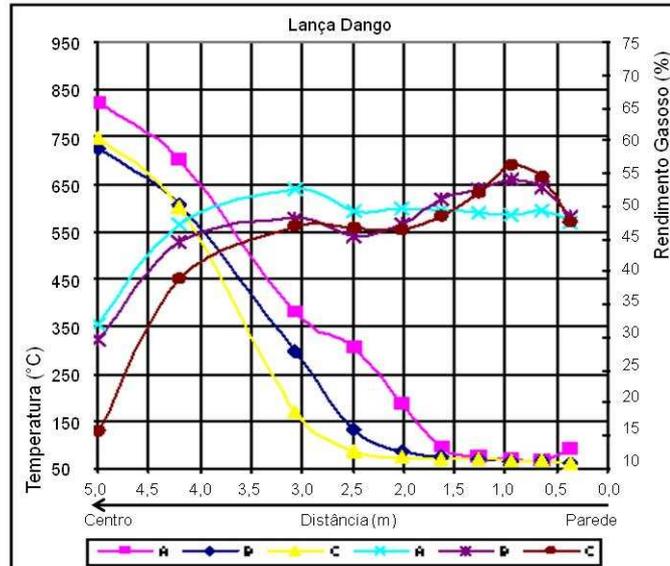


Figura 7. Acompanhamento do perfil de gases.

#### 4.2.3 Monitoramento das temperaturas do corpo do AF3

A variação de temperatura em todo o corpo do AF3 é monitorada, *online*, pela equipe técnica e de processo (Figura 8). Por meio de um controle desenvolvido pela equipe de automação da Usiminas, é possível visualizar como está a distribuição de temperatura na parede do reator.

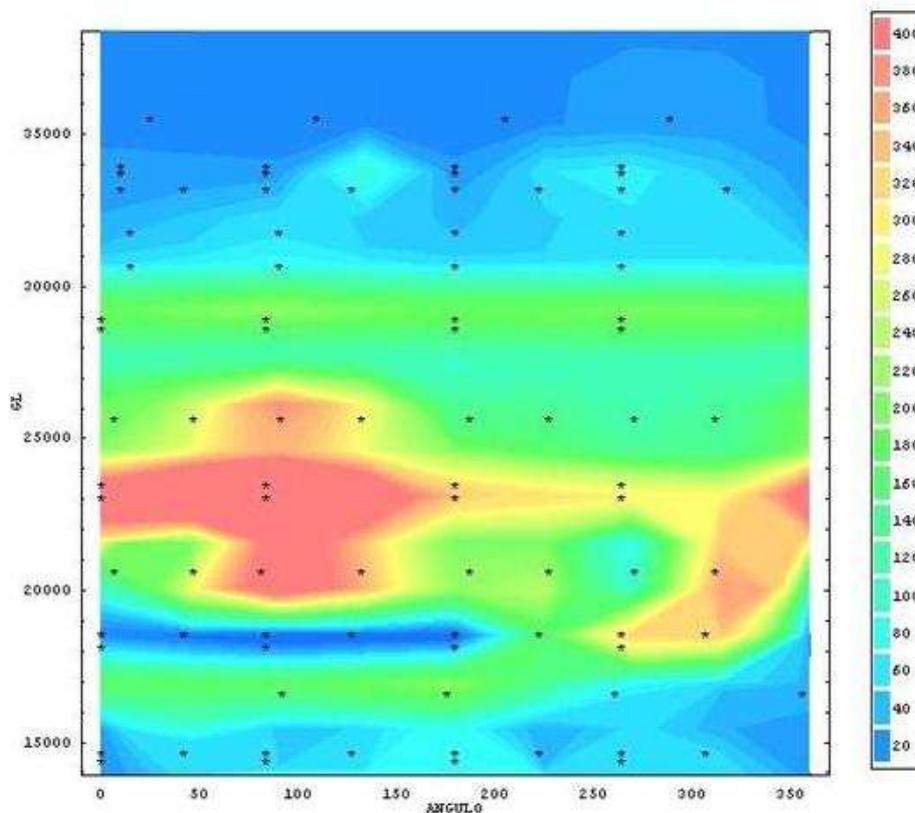


Figura 8. Monitoramento térmico do AF3.

Por meio deste monitoramento, é possível identificar a distribuição de gases em todo o corpo do AF3. Esta informação aliada àquela de composição e

temperatura dos gases (lança dango), possibilita estimar o formato da zona coesiva. Desta forma, o especialista pode atuar, de maneira precisa, nos parâmetros de operação, visando uma melhor distribuição do fluxo gasoso através, principalmente, de alteração na distribuição de carga.

### 4.3 Características do Cadinho do AF3

O atual cadinho do AF3 é constituído basicamente de carbono ultra super micro-poro. Na Figura 9 é mostrada a localização dos termopares em diferentes níveis, assim como os diferentes tipos de refratários que compõem o seu revestimento. Os furos de corrida são em blocos de carbono super micro-poro, com altura de fundo de cadinho em relação ao nível do furo de corrida dentro dos conceitos atuais de flutuação do homem morto, o que diminui a tendência de desgaste lateral.<sup>(1)</sup>

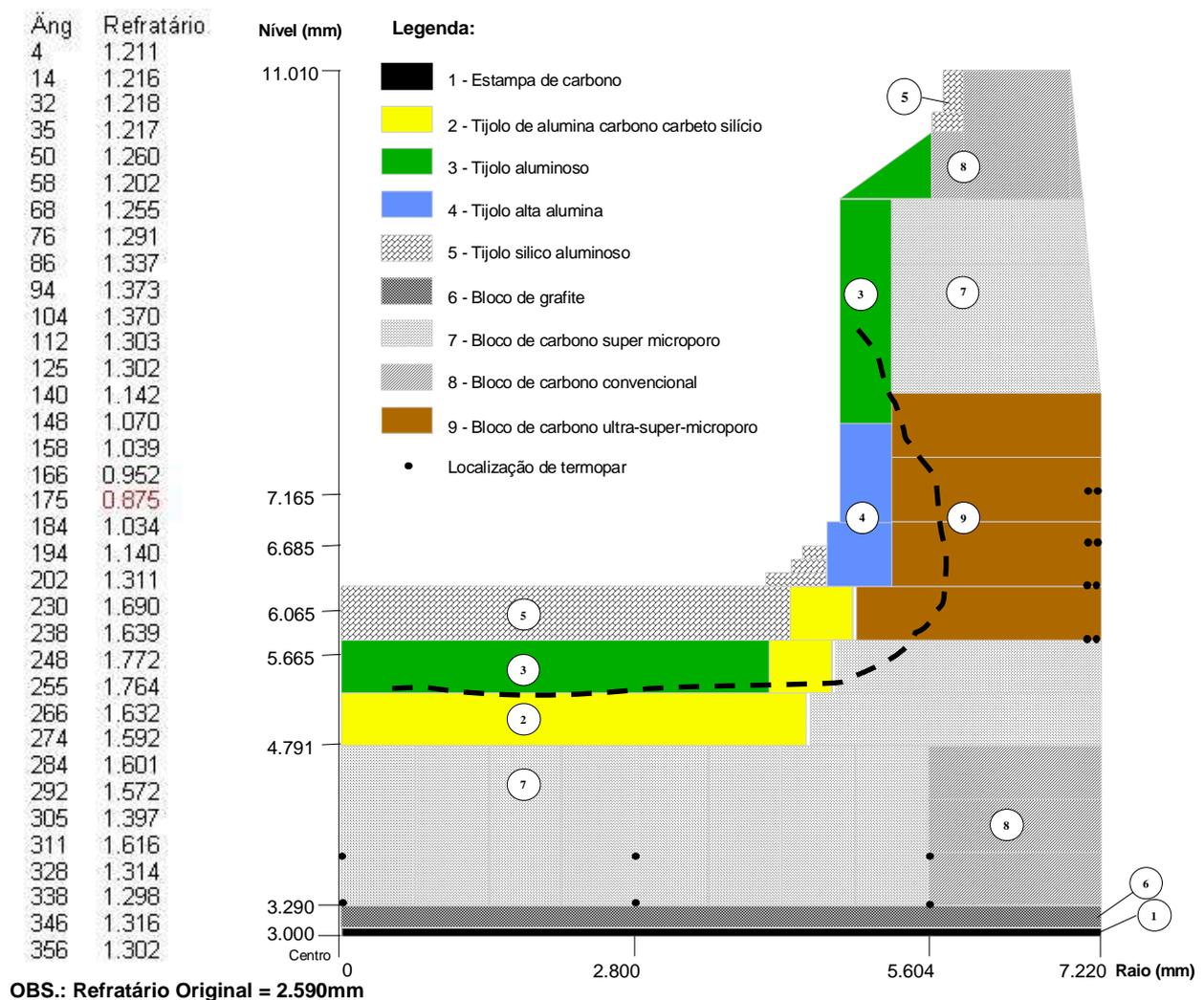
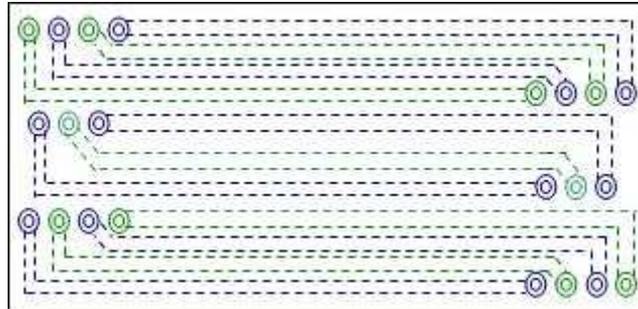


Figura 9. Perfil desgaste do cadinho na atual campanha.

O acompanhamento da espessura da parede do cadinho, linha tracejada na figura 9, é feito por meio de um modelo matemático, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa da Usiminas.<sup>(2)</sup> O programa utiliza as temperaturas registradas por termopares inseridos ao longo de toda parede do cadinho e em sua soleira, como pode ser visto na Figura 9. Na tabela ao lado do desenho esquemático do cadinho,

pode ser observado o refratário remanescente no nível de maior desgaste (GL +6685) na atual campanha, e mostra que o cadinho atualmente se encontra em boas condições, sendo a região do furo de gusa 2 (próximo ao ângulo 175°) a de menor espessura de bloco (875 mm). Na Figura 10 é mostrado um *stave* instalado na região do cadinho, onde o fluxo de água é horizontal.



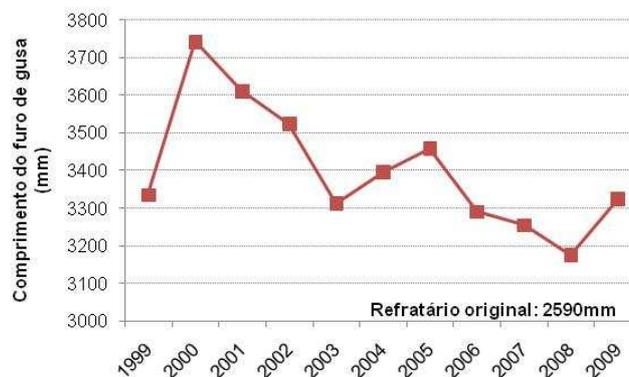
**Figura 10.** *Stave* instalado no cadinho do AF3.

Nesta região o fluxo de água é intenso, chegando a 800 m<sup>3</sup>/min, e é realizado em duas direções, para garantir a completa refrigeração do cadinho.

#### 4.4 Ações de Preservação do Cadinho

##### 4.4.1 Manutenção do comprimento do furo de gusa

Para evitar desgaste prematuro da parede do cadinho, diversas precauções foram tomadas, destacando-se os cuidados especiais com o furo de corrida, seu comprimento e com os equipamentos das áreas de corrida. Na Figura 11 é apresentada a evolução do comprimento de furo de gusa no AF3 da Usiminas.



**Figura 11.** Evolução do comprimento de furo de gusa do AF3.

O cuidado para manutenção do comprimento de furo de gusa é refletido no resultado obtido ao longo destes dez anos de operação da campanha atual do AF3. Pode-se observar que o comprimento de furo de gusa vem sendo mantido sempre acima do valor do refratário original para o cadinho, na região. Ou seja, com os cuidados na perfuração, refrigeração, qualidade e injeção de massa, dentre outros, é formado o “cogumelo” que protege a região.

##### 4.4.2 Injeção de massa carbonosa

A partir da entrada em operação do forno, periodicamente foi feita injeção de massa carbonosa. Foram injetadas 34,3 t de massa carbonosa entre o refratário de

carbono e os *staves* para preencher os vazios formados no primeiro aquecimento do forno, e para manter a condutividade térmica da parede do cadinho, preservando assim, a refrigeração dos blocos (Figura 12).

A refrigeração da soleira do cadinho é outro parâmetro operacional que deve exigir um maior controle, pois excesso de refrigeração pode levar a formação de desgaste sob a forma de “pata de elefante” na parede do cadinho, enquanto que refrigeração deficiente pode levar um desgaste excessivo da soleira. Assim o controle deve ser feito pela temperatura da água de refrigeração da soleira, que para o AF3 da Usiminas deve variar entre 110°C e 120°C.

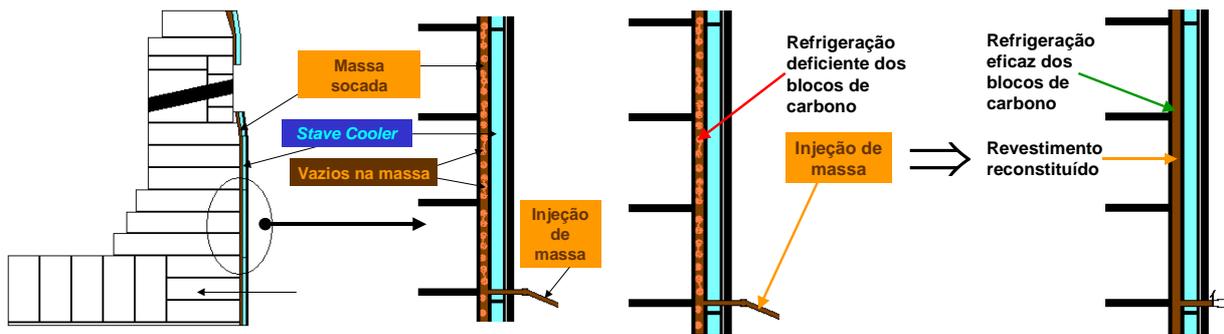


Figura 12. Injeção de massa entre os blocos de carbono e os *stave coolers* do AF3.

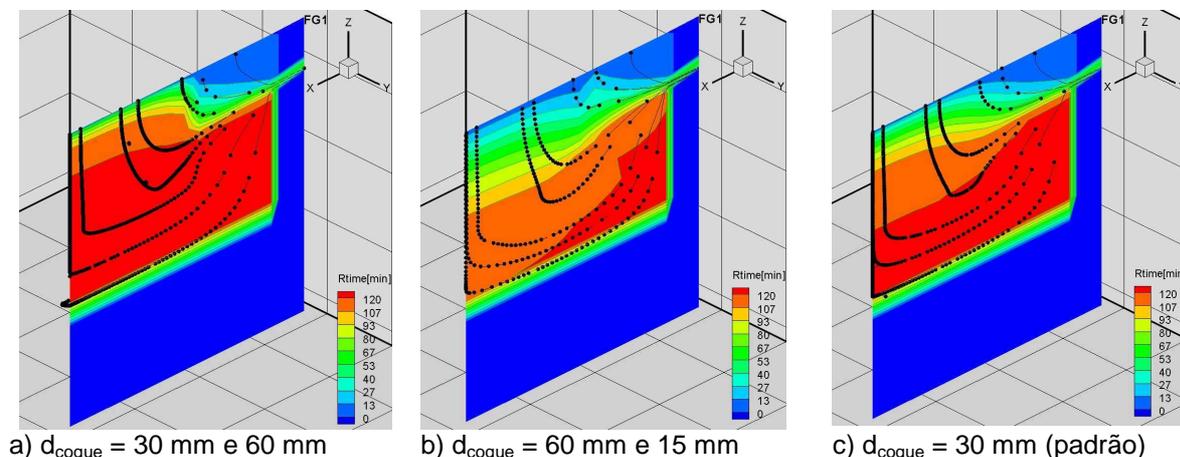
#### 4.4.3 Acompanhamento do desgaste

Conforme já mostrado na Figura 9, o acompanhamento do desgaste é feito por meio do modelo matemático, que utiliza as temperaturas registradas por termopares inseridos ao longo de toda parede do cadinho e em sua soleira.

Os resultados deste modelo, juntamente com o acompanhamento das tendências em temperatura do cadinho, são fundamentais para ações como, carregamento de titânio, alterações no diâmetro interno da ventaneira, variações na relação minério/coque, e, em último caso, minimização do ritmo de produção.

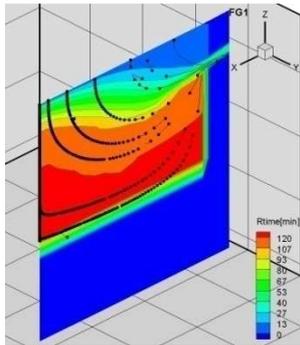
#### 4.4.4 Modelagem de fluido de líquidos no cadinho

Outro aspecto importante na preservação do cadinho é a movimentação de líquidos no seu interior. Desta forma, para se avaliar o comportamento do líquido (gusa/escória) no interior do cadinho, foi desenvolvido um modelo<sup>(1)</sup> capaz de simular a condição de esgotamento, baseado na qualidade do coque (Figura 13), e na posição do homem morto (Figura 14).

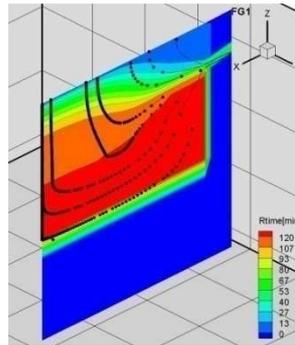


a)  $d_{\text{coque}} = 30 \text{ mm e } 60 \text{ mm}$       b)  $d_{\text{coque}} = 60 \text{ mm e } 15 \text{ mm}$       c)  $d_{\text{coque}} = 30 \text{ mm (padrão)}$

Figura 13. Linhas de fluxo, ao avaliar a distribuição do coque no cadinho.



a) homem morto assentado



b) homem morto flutuando

**Figura 14.** Linhas de fluxo, avaliando a alteração do homem morto.

Quando se considera a variação da granulometria do coque ao longo do raio, fica visível a influência desse combustível nas linhas de fluxo, e por conseqüência no tempo de residência do líquido. Também se pode observar uma grande influência da situação do homem morto na velocidade do material e no seu tempo de residência.

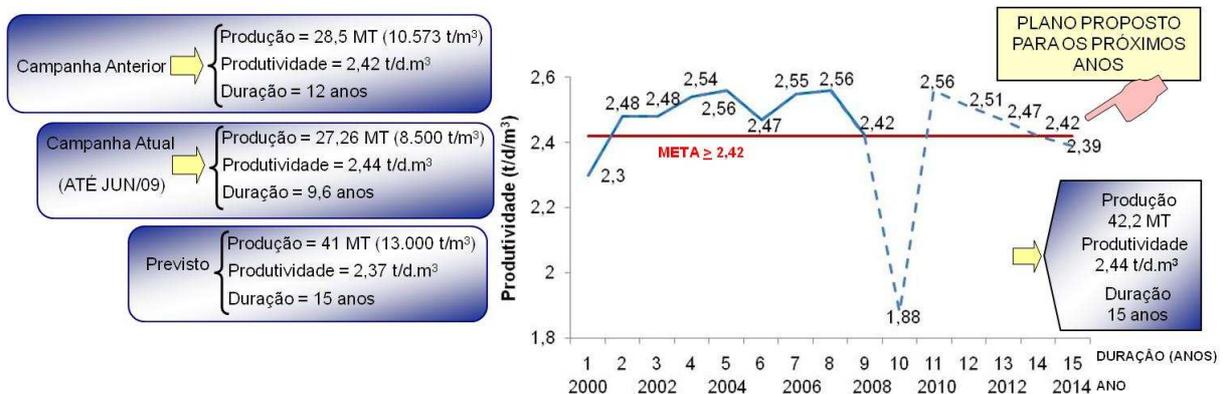
## 5 PERSPECTIVAS FUTURAS E AMEAÇAS

Com a entrada do novo soprador, em 2005, o ritmo de produção do AF3 foi aumentado em relação à última campanha, chegando a valores de  $2,70 \text{ t/d.m}^3$ , exigindo mais do reator e conseqüentemente mais cuidados com a preservação.

Sob o aspecto de condições operacionais, a qualidade do coque<sup>(1)</sup> entre outros fatores, é de grande importância para a preservação do cadinho e está intimamente ligada à permeabilidade para o gusa e escória no seu interior. Neste sentido, é de fundamental importância a manutenção de uma boa qualidade deste combustível em termos, principalmente, de DI, CRI, CSR e teor de cinzas, para garantir estabilidade operacional com elevada produtividade e eficiência.

Além disso, a comprovada piora dos minérios de ferro aliada à extinção de granulados exigirão uma nova forma de operação do forno, desafiando a equipe técnica a buscar alternativas para manutenção da elevada produtividade. Para tanto, será necessária a utilização de cargas metálicas mais elaboradas.

Na Figura 15 é mostrada a curva de produção proposta para o AF3, prevendo o final de campanha para 2014, com a expectativa de superar o resultado de produtividade média obtida na campanha anterior.



**Figura 15.** Evolução da produtividade ao longo da 4ª campanha do AF3.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mostrado neste trabalho, as ações tomadas na operação do AF3 têm-se mostrado eficazes, pois com quase dez anos de operação, o forno vem trabalhando com uma produtividade acumulada no período de  $2,44 \text{ t/d/m}^3$ , superando em 4% a produção média prevista, sem qualquer ponto quente ou grande desgaste da parede do cadinho.

A introdução do sistema de refrigeração por *staves* em substituição ao sistema de refrigeração por placas permitiu um aumento de 17,1% no volume interno, refletindo diretamente no aumento de produção e na maior estabilidade operacional. Em termos de desgaste do *stave*, sua condição atual supera a expectativa de vida útil do equipamento, tomando como referência os resultados de fornos na NSC.

As ações iniciadas na fase de projeto do forno, com um novo projeto para o cadinho, novo sistema de refrigeração e novos equipamentos de área de corrida, culminaram em uma nova filosofia operacional do forno, com maior atenção à preservação da refrigeração do cadinho, da parede refratária e dos *staves*, das bocas e das paredes falsas dos furos de corrida. Os resultados destas ações contribuem para a manutenção do comprimento dos furos de gusa e para a estabilidade do processo.

O sistema de monitoramento de desgaste do cadinho, mostra que ele se apresenta em boas condições de preservação. A menor espessura está estimada em 875 mm (ângulo  $175^\circ$ , GL +6685).

O cadinho é uma região vital para o funcionamento a plena carga de um forno, e alguns cuidados devem ser tomados para sua preservação e extensão da vida útil: (i) injeção periódica de massa carbonosa; (ii) preservação do comprimento do furo de gusa e utilização de massas de tamponamento de boa qualidade; (iii) controle da temperatura do fundo do cadinho por meio da água de refrigeração; (iv) utilização de coque de boa qualidade ( $DI_{15}^{150}$ ); (v) controle do esgotamento do alto-forno.

Atenção especial deverá ser dada também à efetividade da troca térmica dos *staves*, melhorando a eficiência dos resfriadores no circuito fechado e mantendo a qualidade da água abrandada.

O controle do fluxo gasoso através da distribuição de carga deve ser acompanhado diariamente, para evitar excesso de temperatura na face interna e sacrifício dos *staves*.

## REFERÊNCIAS

- 1 GANDRA, B.F. Desenvolvimento de modelo matemático do fluxo de líquidos no cadinho do alto-forno. 2007. 86 p. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas] – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- 2 FERREIRA, J.P. Dissertação de mestrado sobre “Avaliação do Desgaste de Cadinho de Altos-Fornos através de Modelo Matemático”; Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.