

PRESERVAÇÃO DO CADINHO DO ALTO-FORNO 3 DA USIMINAS COM INJEÇÃO DE TITÂNIO SINTÉTICO¹

Gustavo Alexandre da Costa Manso²
Gustavo Serrano dos Santos³
Marco Aurelio Garcia de Oliveira⁴
Mauro Vivaldino Fernandes⁵
Djamschid Amirzadeh-Asf⁶
Dieter Fünders⁷

Resumo

Com a retomada da produção do Alto-Forno 3 da Usiminas - Usina de Ipatinga, após a crise econômica, em março de 2009, ocorreram elevações bruscas da temperatura da parede do cadinho, concentradas em duas regiões distintas. A aplicação das práticas usuais, entre as quais a utilização de carregamento de minério granulado de titânio, não evitou o agravamento da situação, ocorrendo perda parcial de bloco de carbono do cadinho. Para reconduzir a condição anterior a crise, a Usiminas decidiu testar a nova tecnologia de injeção de titânio sintético (Rutilit) pelas ventaneiras em conjunto com a *Sachtleben Chemie GmbH* (Alemanha). Após o domínio da técnica de injeção de Rutilit, tornou-se possível controlar as temperaturas da parede do bloco de carbono, promover a rápida reparação da área afetada na ocorrência de um ponto quente (*hot spot*), manter o dióxido de titânio na escória dentro da faixa desejável e preservar a espessura dos blocos de carbono.

Palavras-chave: Alto-forno; Titânio sintético; Preservação do cadinho; Rutilit.

HEARTH PROTECTION OF BLAST FURNACE # 3 OF USIMINAS BY INJECTION TITANIUM DIOXIDE PRODUKTS

Abstract

With the resumption of Usiminas' Ipatinga Blast Furnace 3 production, after the economic crisis in march 2009, there were sharp increases on wall temperature of the hearth, concentrated in two distinct regions. The application of usual practices, including the use of charging lump ore of titanium, has not prevented the worsening situation, occurring partial loss of carbon brick of the hearth. To restore the previous condition to crisis, led Usiminas to test the new injection technology of synthetic titanium (Rutilit) through the tuyeres, together with *Sachtleben Chemie GmbH* (Germany). After the knowledge gained of the Rutilit injection practice, it has been possible to control the temperature of the carbon brick wall, promoting the quick repair of the affected area, keeping the titanium dioxide in slag into desirable range and maintain the carbon bricks thickness.

Key words: Blast furnace; Synthetic titanium; Preservation of the crucible; Rutilit.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Gerência de Altos-Fornos 1 e 2; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Gerência de Alto-Forno 3; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

⁴ Membro da ABM, Engenheiro de Metalurgista, Gerência Técnica de Redução; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

⁵ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Gerência Técnica de Redução; Usiminas Ipatinga, MG. Brasil.

⁶ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, R&D of *Sachtleben Chemie*, Duisburg, Germany.

⁷ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, GSR, Moers, Germany.

1 INTRODUÇÃO

No setor siderúrgico, a Usiminas é líder nacional no mercado de aços planos. Possui duas usinas na região sudeste do Brasil (São Paulo e Minas Gerais). Tem capacidade de produção de 9,5 milhões de toneladas de aço por ano.

A Usina de Ipatinga possui 3 altos-fornos, sendo que os Altos-Fornos 1 e 2 possuem volume interno de 885 m³ e o Alto-Forno 3, que responde por aproximadamente 70% da produção de gusa, possui volume interno de 3.163 m³. A Tabela 1 descreve as principais características do Alto-Forno 3

Tabela 1. Principais características do Alto-Forno 3

Item	Unidade	Valor
Diâmetro do cadinho	m	12,2
Capacidade de produção	t/dia	8.200
Número de ventaneiras	-	30
Número de furos de gusa	-	3
Sistema de granulação de escória	-	INBA
Temperatura de sopro máxima	°C	1.200
Refrigeração rampa, ventre e cuba	-	<i>stave-cooler</i>
Refrigeração do cadinho	-	<i>stave-cooler</i>
Início da campanha atual	-	29/10/1999

O Alto-Forno 3 está com 11,6 anos de campanha para uma previsão de 15 anos de operação. Com isso, naturalmente ocorre desgaste do bloco de carbono do cadinho. Para minimizar o desgaste desta região é utilizado o carregamento de ilmenita e injeção de titânio sintético (Rutilit) pelas ventaneiras.

No presente trabalho são apresentados os benefícios alcançados com a utilização de Rutilit na preservação do cadinho do Alto-Forno 3 da Usiminas - Usina de Ipatinga.

2 MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS DO CADINHO

O Alto-Forno 3 está equipado com 226 termopares distribuídos em praticamente todo o cadinho. Para monitoramento e estimativa do desgaste dos blocos de carbono do cadinho (parede e soleira) utiliza-se de modelo matemático baseado nas temperaturas dos termopares.

Com a retomada da produtividade a partir de março de 2009, as temperaturas nos blocos de carbono da parede do cadinho, principalmente no GL+6685 mm (*ground level*), começaram a elevar-se. Primeiramente, próximo ao furo de gusa 2 (FG 2), ângulo 174° e, posteriormente, na região do furo de gusa 1 (FG1), ângulo 7°.

O desgaste dos blocos de carbono do cadinho está representado na Figura 1.

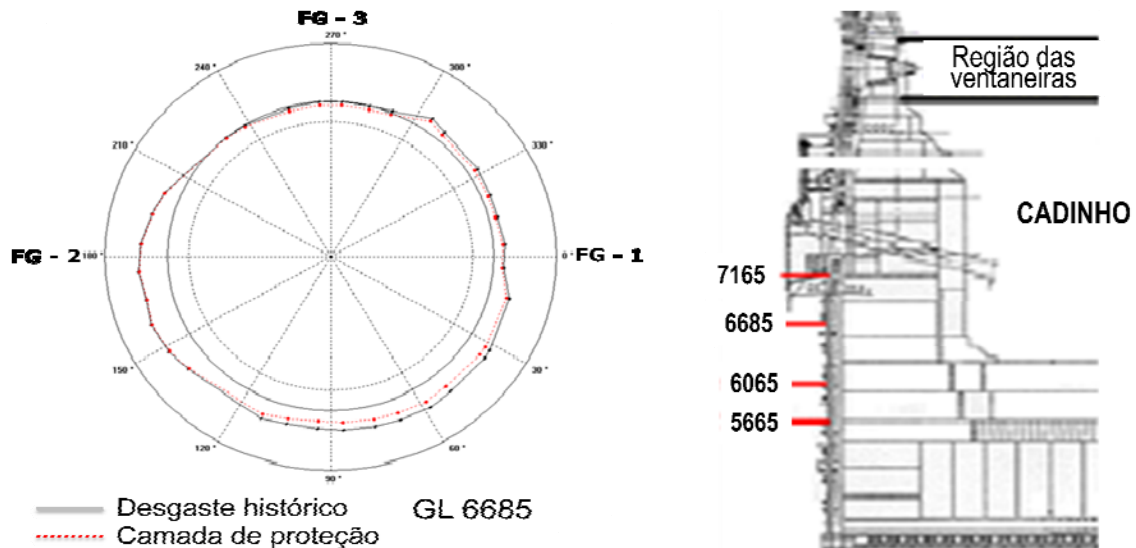


Figura 1. Desenho esquemático do desgaste do refratário do cadinho.

3 AÇÕES PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DO CADINHO

Para operar o alto-forno de forma adequada e para reduzir a temperatura nas zonas afetadas, é necessário preservar e formar a camada de proteção dos blocos de carbono do cadinho.

A camada de proteção fica à frente dos blocos de carbono, tendo na sua composição basicamente carbonitreto de titânio (Ti(C,N)). Tem como finalidade proteger o bloco de carbono das ações de desgaste e ataque químico.

A evolução da formação da camada de proteção do cadinho do Alto-Forno 3 desde maio/2009, é representada na Figura 2.

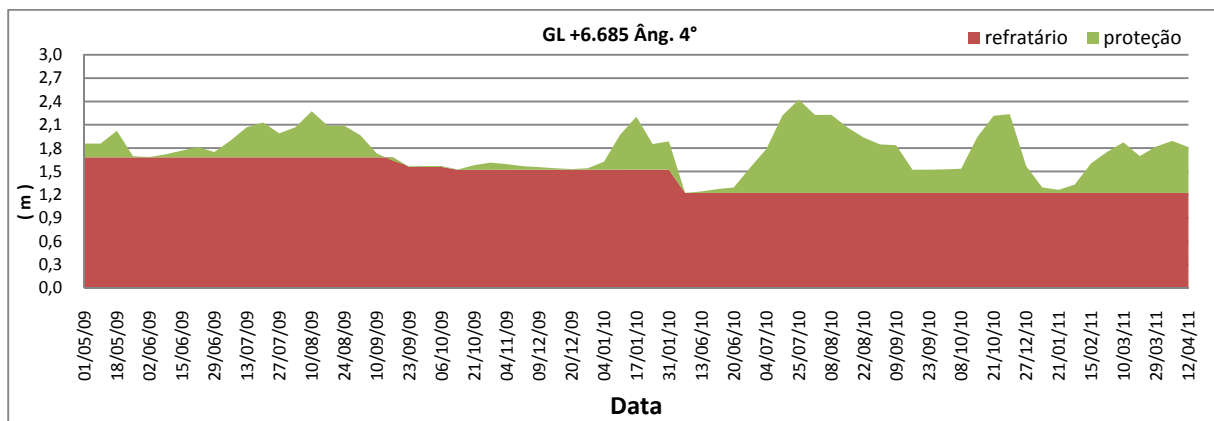


Figura 2. Evolução da formação da camada de proteção.

As principais ações utilizadas no Alto-Forno 3 para controlar o desgaste do bloco de carbono do cadinho são:

- redução do teor de manganês do gusa via sinter;
- prolongamento do comprimento do furo de gusa;
- melhoria na qualidade do coque enornado;
- interrupção no consumo de *small coke*;
- redução da refrigeração da soleira;
- redução do ritmo de produção;
- aumento do silício visado no gusa;
- instalação de novos termopares nos blocos de carbono do cadinho;
- injeção de massa carbonosa entre o bloco de carbono e a carcaça do cadinho;
- aumento da basicidade da escória;
- redução do tempo de operação das áreas de corrida;
- operação *all-coke*; e
- redução do diâmetro das ventaneiras.

Além destas ações, que são tradicionalmente utilizadas para contornar as elevações de temperatura do cadinho, o aumento do carregamento de titânio (TiO_2) é a principal contra medida.

Com este intuito, as seguintes práticas foram adotadas:

- carregamento de minério granulado de titânio (ilmenita) em conjunto com a carga metálica do alto-forno;
- co-injeção de titânio sintético pulverizado (Rutilit NF) e carvão através das ventaneiras; e
- injeção de titânio sintético pulverizado (Rutilit F50) diretamente por duas ventaneiras.

Para a injeção de titânio sintético diretamente nas ventaneiras é utilizado um equipamento específico, que consiste de um reservatório de armazenamento com um volume de $1,5\text{ m}^3$ e um vaso de injeção de $1,2\text{ m}^3$ de volume. A máquina de injeção possui duas saídas que podem ser controladas individualmente. Cada tomada é conectada com uma lança em uma ventaneira por uma linha de transporte de aproximadamente 40 m.

A definição de quais das ventaneiras serão conectadas é função do perfil de temperatura medida no cadinho.

A máquina de injeção Unidos da *Velco GmbH* (Figura 3) tem um sistema de pesagem para medir o consumo de materiais e um controle *PLC* para recarga automática da máquina com o material do reservatório.



Figura 3. Sistema de injeção de Rutilit F50.

4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE USO DE MATERIAIS CONTENDO TITÂNIO

A ilmenita granulada é alimentada através do topo do alto-forno, em conjunto com a carga metálica.⁽¹⁻⁴⁾

Com este método de carregamento, verifica-se a distribuição do material no interior do forno em toda extensão da cuba e, como consequência, ocorre atraso na efetividade da incorporação do oxido de titânio. As quantidades carregadas são mais elevadas do que a efetivamente necessária, podendo ainda haver o comprometimento da qualidade da escória e depósitos ocasionais na cuba (carga inativa).

O aumento do teor de titânio no gusa obtido pelo aumento do carregamento de ilmenita, resulta em elevação do teor de TiO_2 contido na escória, sendo que este pode ser um fator limitante na utilização de escória como matéria-prima na produção de cimento.

A injeção de Rutilit, em co-injeção com o carvão e/ou diretamente na ventaneira, é um método alternativo de importação de TiO_2 para o alto-forno.^(5,6)

As principais características desses materiais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Principais características das fontes de titânio

Material	TiO₂ (%)	Fe₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	CaO (%)	Al₂O₃ (%)	MgO (%)	H₂O (%)	Granulometria
Rutilit F50	45 a 55	< 40	< 28	< 8	< 6	< 5	< 2	20 µm
Rutilit NF	50 a 60	< 10	< 25	< 7	< 7	< 3	21 a 28	20 µm
Ilmenita	18 a 40	< 40	< 25	< 3	< 8	< 5	< 6	10 a 40 mm

A técnica de injeção de Rutilit pela ventaneira oferece uma série de vantagens:

- a injeção ocorre na vizinhança imediata da região afetada. Isto significa que os melhores resultados possíveis podem ser sistematicamente obtidos, com baixas quantidades injetadas;
- maior eficiência na incorporação do titânio no gusa;
- o tempo entre a ação reparadora e o resultado é menor, mesmo em caso de pontos quentes na parede do cadinho;
- não há acúmulo de materiais contendo TiO_2 na cuba do alto-forno;
- os materiais contendo TiO_2 são transportados diretamente aos locais da reação ao nível das ventaneiras e no cadinho, onde são capazes de influenciar diretamente as interações das fases do metal, gás e escória, independentemente das reações que ocorram na cuba e na zona coesiva;^(7,8)
- menor consumo e maior eficiência de conversão para compostos $Ti(C,N)$ resulta em melhoria na qualidade da escória, pelo menor teor de TiO_2 , melhorando desta forma, as condições de comercialização deste sub-produto.

A *Sachtleben Chemie GmbH, Duisburg* (Alemanha), desenvolveu uma gama de produtos Rutilit especificamente para uso industrial em larga escala.

A geometria da partícula e o baixo tamanho médio, em torno de $20\ \mu m$, destas fontes sintéticas de TiO_2 , tornam estes materiais particularmente adequados para a injeção contínua através das ventaneiras. Eles possuem boas propriedades reológicas (de fluxo), favorecendo o transporte pneumático, combinada com uma baixa ação abrasiva em sistemas de transporte e injeção.

Eles também possuem benefícios metalúrgicos específicos para o processo do alto-forno.^(9,10) Testes de laboratório realizados durante a preparação para aplicação industrial indicaram benefícios adicionais do produto:

- a reatividade dos produtos Rutilit é significativamente maior que a ilmenita, uma vez que os óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 e Fe_3O_4 estão presentes em compostos mineralogicamente primários e, portanto, em condições termodinamicamente mais favoráveis (Figura 4). Na ilmenita, por outro lado, o titanato de ferro ($FeTiO_3$) em primeiro lugar precisa ser quebrado no alto-forno em FeO e TiO_2 por meio do fornecimento de energia, antes que a geração de compostos $Ti(C, N)$ possam ocorrer;
- a taxa de formação dos compostos $Ti(C, N)$ é significativamente maior que a ilmenita e, portanto, mais eficiente, uma vez que as fontes de Ti e Fe estão presentes nos produtos Rutilit em forma muito finamente dispersa, oferecendo uma maior superfície específica para as reações;
- a reação dos óxidos de Fe também ocorre de forma simultânea e o ferro metálico, assim gerado, atua de forma catalítica na formação dos compostos $Ti(C, N)$ com alta eficiência, graças à sua grande superfície específica.

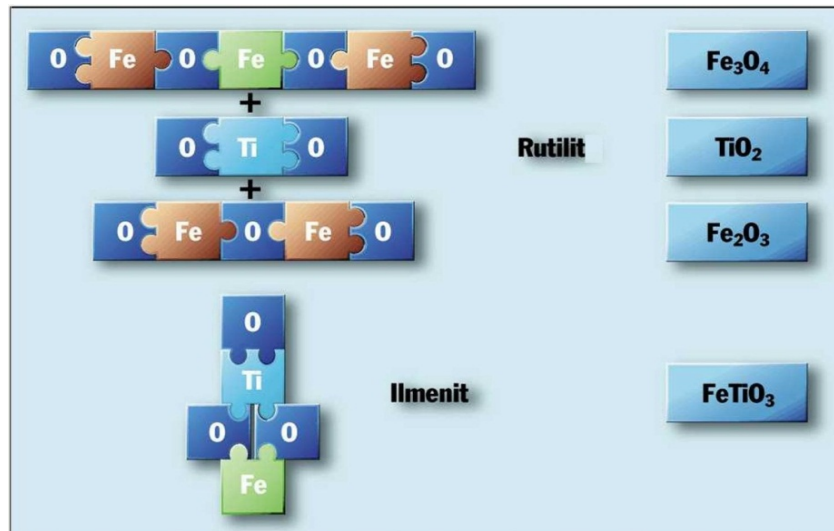


Figura 4. Composição do Rutilit e da ilmenita.⁽⁶⁾

5 RESULTADOS

5.1 Controle da Temperatura do Cadinho Utilizando Ilmenita

Em maio de 2009, ocorreu a elevação acentuada da temperatura da parede do cadinho, no GL+6685 mm, próximo ao furo de gusa 2.

Além das ações que são tradicionalmente utilizadas e que já foram descritas, ocorreu a elevação do carregamento de titânio, através do carregamento de ilmenita granulada.

A evolução da temperatura do cadinho do Alto-Forno 3 no período de março a outubro de 2009, pode ser observada na Figura 5.

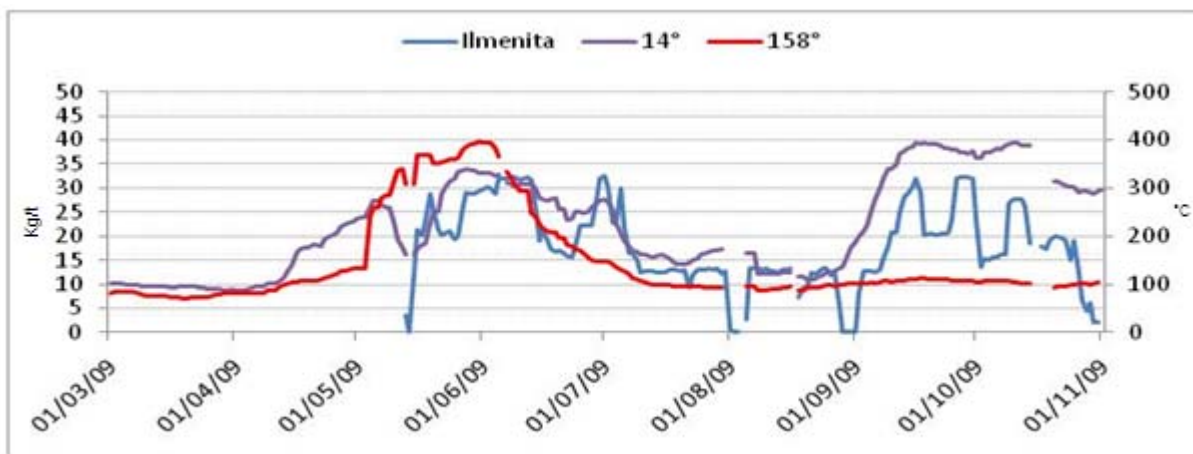


Figura 5. Elevação da temperatura da parede do cadinho.

Mesmo utilizando 15 kg/t a 30 kg/t de ilmenita ocorreu um aumento da temperatura de, aproximadamente, 100°C para 400°C e, conseqüentemente, perda de 21,6% do bloco de carbono, ou seja, redução da espessura de 1.332 mm para 1.044 mm.

Uma queda de temperatura no cadinho foi observada e este declínio estabilizou em torno de 130°C, em julho de 2009.

Depois de reduzir a adição de ilmenita até a taxa de aproximadamente 13 kg/t de gusa, a temperatura voltou a aumentar para, aproximadamente, 400°C em setembro

de 2009, desta vez na região do furo de gusa 1. A perda do bloco de carbono foi de 9,5%, reduzindo a espessura de 1.681 mm para 1.522 mm. Em seguida, mesmo aumentando-se a adição de ilmenita à taxa de 32 kg/t de gusa a temperatura permaneceu em patamares muito elevados, em torno de 350°C.

5.2 Controle da Temperatura do Cadinho Utilizando Rutilit

5.2.1 Implantação da nova tecnologia

Devido aos elevados patamares de temperatura da parede do cadinho, a Usiminas decidiu testar a nova tecnologia de injeção de titânio sintético pelas ventaneiras. O teste foi realizado a partir de novembro de 2009, com a co-injeção de Rutilit NF e carvão e, posteriormente, em janeiro de 2010, iniciou-se a injeção do Rutilit F50 diretamente em duas ventaneiras, nas proximidades das zonas danificadas. Observou-se então, a queda de temperatura da parede do cadinho e, ao final de janeiro de 2010, a temperatura havia estabilizado em aproximadamente 170°C. A evolução de temperatura do cadinho com a adição de titânio sintético (*Rutilit*) é verificada na Figura 6.

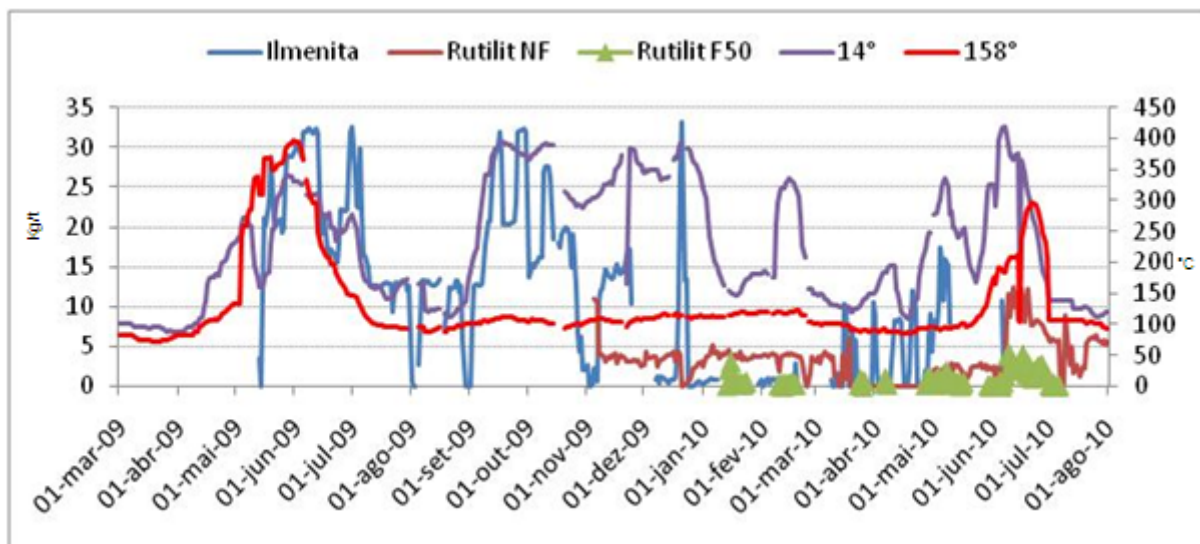


Figura 6. Elevação da temperatura da parede do cadinho.

Após a estabilização das temperaturas da parede do cadinho foi interrompida a injeção dos materiais Rutilit NF e F50 e iniciou-se o consumo da ilmenita granulada com o objetivo de eliminar o seu estoque remanescente.

Em maio de 2010, a temperatura voltou a subir na região do furo de gusa 1. Nesse período, a injeção do Rutilit NF e F50 foi retomada. As temperaturas chegaram a atingir 418°C, ocorrendo perda de 19,6% do bloco de carbono, reduzindo a espessura de 1.522 mm para 1.225 mm.

A partir de junho de 2010, devido à co-injeção de Rutilit NF, com taxa de até 9kg/t de gusa e injeção local, diretamente nas ventaneiras, de Rutilit F50, a temperatura da parede do cadinho diminuiu significativamente, de 418°C a 138°C. Após a estabilização da temperatura, a injeção local de Rutilit F50 foi interrompida e a taxa de Rutilit NF foi reduzida para 6 kg/t de gusa.

5.2.2 Consolidação da nova tecnologia

Com o aprendizado e os resultados da nova tecnologia de injeção de Rutilit, passou-se a utilizar exclusivamente este material no controle de temperatura do cadinho.

Embora ainda ocorram elevações de temperatura da parede do cadinho, os patamares máximos atingidos foram inferiores aos anteriores ($< 330^{\circ}\text{C}$). Desta forma, tem sido possível controlar as temperaturas, não ocorrendo mais perdas de bloco de carbono em nenhuma região.

Em setembro de 2010, houve novo episódio de elevação de temperatura da parede do cadinho, atingindo 306°C na região do furo de gusa 2. De acordo com a nova filosofia de controle adotada, nesta ocasião, a injeção local de Rutilit F50 foi retomada e a taxa de Rutilit NF, injetada em conjunto com o carvão, aumentou até 9 kg/t de gusa. Com isso, houve diminuição da temperatura, estabilizando-se em torno de 100°C . Assim, a injeção de Rutilit F50 foi interrompida e a de Rutilit NF, reduzida para 4 kg/t de gusa.

Como ainda não havia consenso quanto à necessidade de manter a injeção de Rutilit com baixas temperaturas, decidiu-se interromper o seu consumo em novembro de 2010.

Em dezembro de 2010, ocorreu nova elevação de temperatura da parede do cadinho, atingindo 329°C , novamente na região do furo de gusa 2.

Por esta razão, a injeção de Rutilit foi retomada. A temperatura reduziu para valores considerados normais de operação.

Com o domínio desta tecnologia, o Rutilit NF passou a ser injetado continuamente, com as taxas de injeção variando de acordo com as condições operacionais do alto-forno. O Rutilit F50 é injetado pontualmente, somente quando a temperatura ultrapassa 250°C .

A evolução de temperatura do cadinho no período de março/09 a abril/11 está representada na Figura 7.

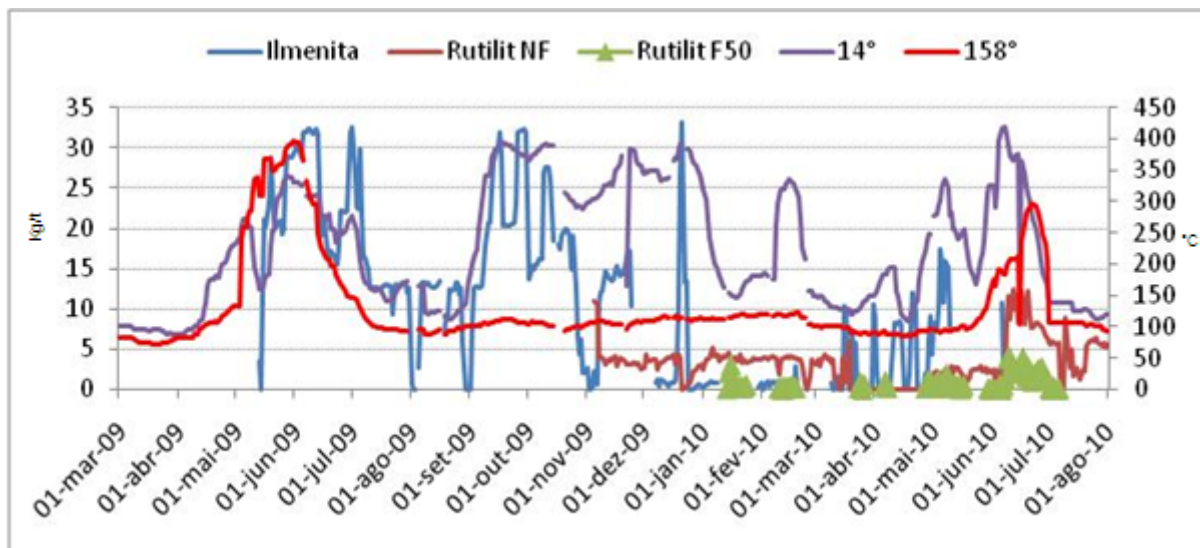


Figura 7. Elevação de temperatura da parede do cadinho.

5.3 Composição Química do Gusa e da Escória

Com a adição de ilmenita granulada, o teor de titânio no gusa aumentou cerca de 0,025% para um intervalo de adição de ilmenita entre 0,06% e 0,16%. O teor de TiO_2 na escória variou entre 0,5% a 2,7%.

Depois de ser interrompido o carregamento deste material, os percentuais de titânio (Ti) no gusa e de TiO_2 na escória retornaram aos níveis normais, aproximadamente, 0,025% e 0,5%, respectivamente.

A partir da co-injeção de Rutilit NF e carvão, incluindo a injeção localizada de Rutilit F50, a temperatura do gusa se manteve na faixa de 1.490°C a 1.540°C. A ligeira variação do teor de Ti no gusa, que se situou na faixa de 0,02% a 0,126%, foi causada tanto pelo estado térmico do forno quanto pela co-injeção de Rutilit NF e carvão. O teor de TiO_2 na escória ficou abaixo de 1,5%.

As evoluções dos teores de titânio no gusa e na escória no período de 2009 a 2011 está representada na Figura 8.

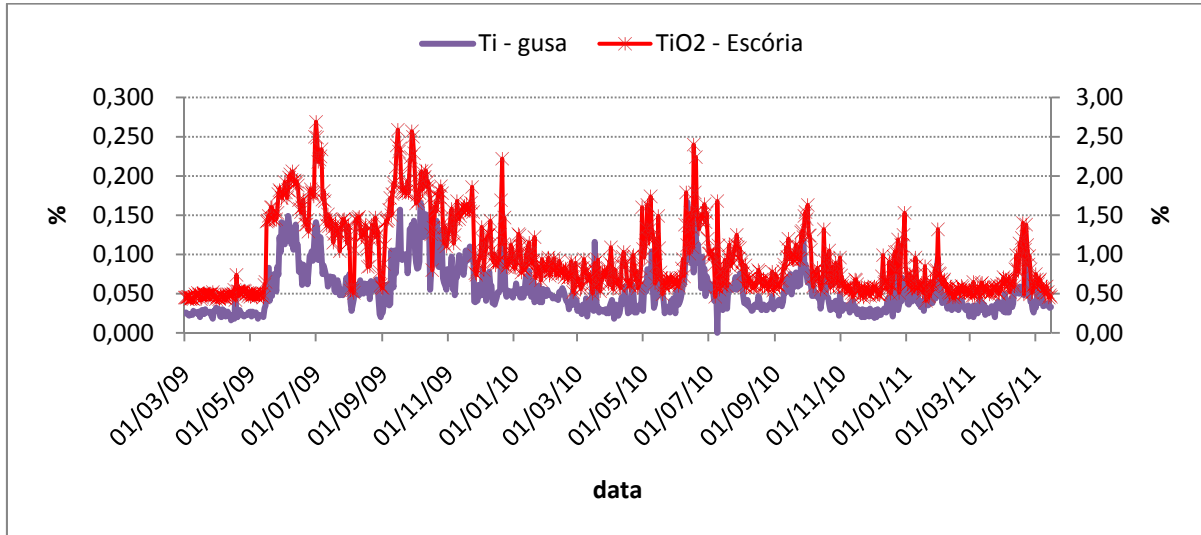


Figura 8. Teor de titânio no gusa e na escória.

Durante a injeção de Rutilit, a relação entre as percentagens de Ti no gusa e de TiO_2 na escória foi maior (0,059) do que durante o carregamento fixo de ilmenita (0,053), embora o *input* de TiO_2 tenha sido 45% menor.

As comparações das variações nos teores de Ti no gusa e TiO_2 na escória são verificadas na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação dos teores de titânio no gusa e na escória

Período	Adição	Método	Carregamento médio (kg/t)	TiO_2 (kg/t)	Ti gusa / TiO_2 escória (%)	Ti no gusa (%)	TiO_2 na escória (%)
mai/09 a mai/10	Ilmenita	Carga metálica	13,89	4,58	0,053	0,072	1,36
jun/10 a abr/11	Rutilit F50	Injeção direta	0,36	0,18	0,059	0,041	0,70
	Rutilit NF	Co-injeção	4,26	2,34			

6 CONCLUSÃO

A formação e manutenção da camada protetora do bloco de carbono do cadinho dos altos-fornos, através da co-injeção de Rutilit NF e carvão e da injeção direta de Rutilit F50 nas ventaneiras, mostrou-se um método mais eficaz em comparação ao carregamento de ilmenita granulada com a carga metálica.

A utilização de Rutilit, em conjunto com as ações usuais já praticadas, indicou uma redução significativa e controle mais eficiente das temperaturas das paredes nas zonas críticas do cadinho do Alto-Forno 3.

Após o aprendizado e domínio da nova tecnologia de injeção de Rutilit, foi possível controlar as temperaturas da parede do cadinho, não ocorrendo mais perdas de bloco de carbono.

Este novo método permite a rápida reparação da área afetada do cadinho quando ocorre um ponto quente (*hot spot*), possibilitando alcançar os 15 anos previstos para a campanha do Alto-Forno 3.

O uso contínuo da co-injeção de Rutilit NF e carvão mostrou-se necessário para a prevenção do desgaste da camada protetora do bloco de carbono do cadinho.

A utilização de Rutilit também permite manter o dióxido de titânio na escória dentro da faixa desejável, através do menor consumo específico e menor migração para a escória, comparado ao uso de ilmenita.

REFERÊNCIAS

- 1 Kowalski, W.; Lungen, H.B.; Stricker, K.P.: Stahl u. Eisen 119 (1999) No. 4, pp. 119/128.
- 2 Datta, K.; Sen, P.K.; Gupa, S.S.; Chatterjee, A.: Effect of titanium on the Characteristics for Blast furnace. Steel Research Vol. 64, (1993) p. 232/238.
- 3 Okada, T.; Kuwano, K.; Schimomura, K.; Hori, H.; Miyatani, H.; Ochiai, Y.; Uemura, K.: Protection of Blast furnace Hearth Refractories by TiO₂ Injection trough Tuyeres. 50th Ironmaking Conference Proceedings (1991), pp. 307/312.
- 4 Bergsma, D.; Fruehan, R.J.: Fundamentals of titanium-rich scaffold in the blast furnace hearth. 60th Ironmaking Conf. Proc. (2001) pp. 297/312, Baltimore, USA.
- 5 Dierich J.C.; Bauer W.; Amirzadeh-Asl D.; Fünders D.: Eigenschaften synthetischer titanhaltiger Materialien zur Verschleißminderung in Hochöfen. Stahl und Eisen 119 (1999) pp. 85/90.
- 6 Bürgler Th.; Brunnbauer G.; Ferstl A.; Zeirzer Ch.; Pillmair G.: Injection for TiO₂ components and ironmaking byproducts at VASL BF A. Paper, Paris 2000.
- 7 H.G. Grabietz, R. Altland, G. Schmucker, D.Amirzadeh-Asl, W. Bauer: „Injection tests of Rutilit AT as a TiO₂-containing material at blast furnace A at HKM Duisburg”; Stahl u. Eisen special (Sep 2002); p 56.
- 8 Amirzadeh-Asl D.; Restivo V.; Fünders D.: Properties of synthetic TiO₂-containing materials for the blast furnace: Enhanced BF availability; The Iron and Steel Technology Conference; Paper; Cleveland, USA 2006.
- 9 Hartig W.; Amirzadeh-Asl D.; Fünders D.: Used of synthetic titanium products for protection of the hearth of ROGESA blast furnaces; Technical contribution to XXXVII Ironmaking and Raw Materials Seminar, September 2007, p. 456/469; Salvador-BA, Brazil.
- 10 F. Liceage; G. Vidales; R. Mata: 30 Million Tons in the Hearth of Blast Furnace No. 5 at AHMSA Mexico; The Iron and Steel Technology Conference; Paper; Pittsburgh, USA 2010.