

MONITORAMENTO E CONTROLE DE DESGASTE DE CADINHO NOS ALTOS-FORNOS DA TERNIUM BRASIL*

*Pedro Lima de Sousa¹
Alexandre Patrício Vieira da Silva²
Eustáquio Vieira Junior³
Filipe da Costa Oliveira⁴
Sandro Larrubia⁵
Dalton Martins Neto⁶
Geovane Viturino⁷*

Resumo

As campanhas dos Altos-Fornos da Ternium Brasil foram projetadas para 15 anos. No decorrer da vida dos fornos, houveram variados problemas que têm como principal consequência a redução da vida útil. Neste trabalho, são apresentadas as ações que estão sendo tomadas em ambos Altos-Fornos da Ternium BR a fim de preservar e monitorar o cadinho. Inicialmente foi feito um estudo do histórico de temperaturas de todos os termopares, em conjunto com as principais ocorrências nos fornos. Foi detectada uma deficiência no projeto de termopares, e está em andamento um projeto visando uma melhora no sistema de monitoramento, principalmente nas regiões críticas no que se refere a desgaste. Um Modelo de Desgaste Unidimensional baseado nas temperaturas dos blocos de carbono foi criado e está em avaliação pela equipe de Preservação dos Altos-Fornos. Foram realizadas também medições utilizando técnica não-destrutiva, e os resultados de espessura remanescente dos blocos de carbono serão comparados com a saída do Modelo de Desgaste. Medidas de controle de temperatura e ações no sistema de refrigeração serão discutidas.

Palavras-chave: Cadinho; Desgaste de Cadinho; Espessura Remanescente; Controle de temperaturas; Modelo de Desgaste Unidimensional.

MONITORING AND CONTROL OF HEARTH WEAR OF THE BLAST FURNACES IN TERNIUM BRAZIL

Abstract

Ternium's Blast Furnaces #1 and #2 campaigns were designed for 15 years. During the life of the BFs, there were several problems that reduced the lifetime of the furnaces. In this work, we present the actions that are being taken in both Ternium BR Blast Furnaces in order to preserve and monitor their Hearths. Initially a study of the temperature history of all thermocouples was carried out, together with the main occurrences in the furnaces. A deficiency in the design of thermocouples has been detected, and a project is ongoing to improve the monitoring system, especially in critical areas. A One-Dimensional Wear Model based on the temperatures of the carbon blocks was created and is under evaluation by the Preservation team. Measurements were also made using a non-destructive technique (Acousto Ultrasonic-Echo Technology), and the results of the remaining thickness of the carbon blocks will be compared with the output of the Wear Model. Measures of temperature control and actions in the refrigeration system will be discussed.

Keywords: Blast Furnace Hearth; Wear; One-Dimensional Wear Model.

- ¹ *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Operação, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ² *Engenheiro Eletricista, Técnico Especialista de Operação, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ³ *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ⁴ *Técnico de Refrigeração, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro de Produção, Técnico Especialista de Operação, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro Mecânico, Coordenador de PVU, Operação Altos-Fornos, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.*
- ⁷ *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processos, Unidade Técnica, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos pontos críticos que determina a campanha dos Altos-Fornos da TERNIUM Brasil é a condição do Cadinho. Temperaturas elevadas na parede e baixas na soleira do cadinho indicam uma baixa permeabilidade do cadinho, levando a um fluxo preferencial de material líquido pela parede, e conseqüentemente o desgaste. Por outro lado, temperaturas baixas na soleira e parede são propícias para formação de uma camada estagnada que protege o cadinho, mas tem como consequência piora nas operações de casa de corrida devido a diminuição do volume útil do Alto-Forno. Por esses motivos, as temperaturas do cadinho devem ser acompanhadas e controladas diariamente, e medidas devem ser tomadas quando necessárias. O objetivo deste trabalho é apresentar as ações em andamento na TERNIUM Brasil relacionadas ao prolongamento da campanha do cadinho. As ações abrangem melhorias no monitoramento, modelo de acompanhamento de fluxos e desgaste dos blocos, analisar efeitos do sistema de refrigeração, comparação dos perfis de desgaste pelo modelo unidimensional e medições não-destrutivas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Para o prolongamento da campanha dos cadinhos foi utilizada a seguinte metodologia: análise dos dados históricos dos Altos-Fornos, criação de um modelo unidimensional de estimativa de desgaste, melhorias no sistema de monitoramento, realização de medições utilizando técnica não-destrutiva, planejamento e execução de ações de controle de temperaturas.

2.1.1 Dados Históricos Altos-Fornos

A Tabela 1 mostra os principais dados de projeto dos cadinhos dos Altos-Fornos.

Tabela 1. Principais dados de projeto dos Altos-Fornos

Dados Gerais	
Diâmetro do cadinho	12000 mm
Número de ventaneiras	32
Furos de Gusa	2
Refrigeração do Cadinho	Jaquetas
Produção Nominal	7500 t/d

Dados Históricos de temperatura dos dois Altos-Fornos foram tratados e analisados, visando identificar ações e ocorrências relacionadas ao cadinho. Na Figura 1, é visto um exemplo das temperaturas da parede do cadinho do Alto-Forno 2, região próxima ao furo de gusa 1.

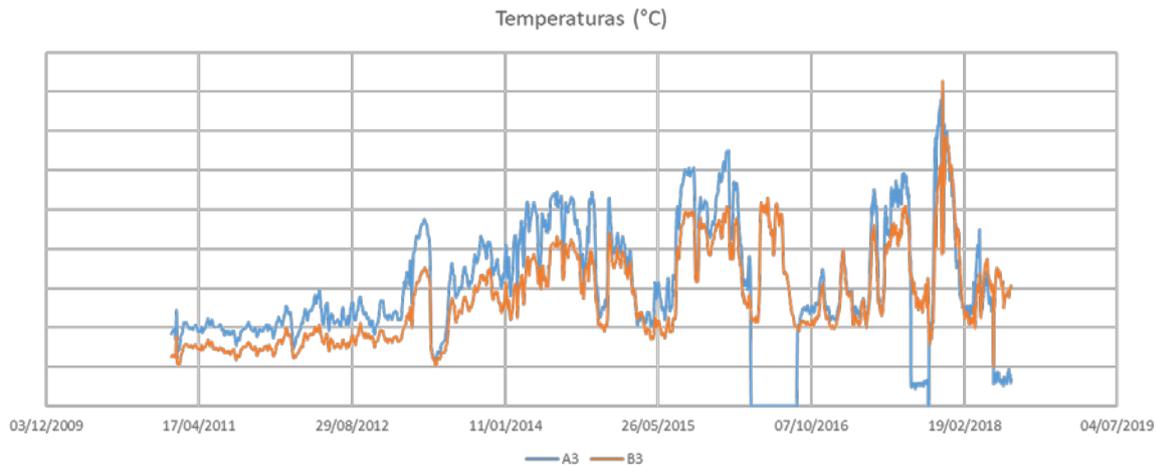


Figura 1. Temperatura dos termopares da parede AF2 Ternium Brasil.

2.1.2 Modelo de Desgaste

O acompanhamento diário do desgaste dos cadinhos é feito por um modelo matemático que considera fluxo de calor unidimensional, utilizando a Lei de Fourier (Equação 1):

$$q = k \cdot \Delta T / L \quad (1)$$

em que k é a condutividade térmica de cada material considerado em (W/mK), ΔT (K) é a diferença de temperaturas em uma direção considerada, L (m) é a distância entre dois pontos com temperatura conhecida numa certa direção.

Conforme pode-se observar na equação acima, duas medidas de temperatura são necessárias para o cálculo do fluxo térmico em cada direção considerada. Os Altos-Fornos da Ternium possuem termopares simples na parede do cadinho, com uma medição de temperatura por direção, em 5 níveis na parede. Dessa forma, a segunda temperatura considerada é a temperatura média carcaça do cadinho, entre as jaquetas. Na Figura 2, podemos ver um esquema com o corte da parede do cadinho.

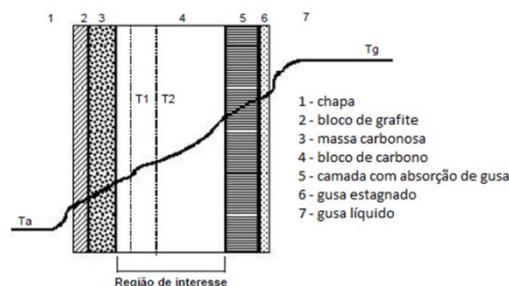


Figura 2. Corte da parede do Cadinho, indicando as camadas existentes.

Com o fluxo térmico em cada direção, pode-se calcular a espessura remanescente do bloco de carbono buscando a posição da Isoterma de 1150°C. Este modelo simplificado tem a vantagem do tempo de cálculo em relação a modelos multidimensionais, mas paralelo a isso, iniciou-se discussões para desenvolvimento de um modelo mais completo, multidimensional, para análises semestrais do estado dos cadinhos.

2.1.3 Sistema de Monitoramento

Para o desenvolvimento deste trabalho, todos os termopares dos cadinhos dos altos-fornos foram analisados e um acompanhamento diário está sendo realizado. Há, nos dois fornos, alguns elementos fora de operação, causando deficiências no monitoramento de certas áreas.

Neste sentido, um novo projeto de termopares está sendo feito de forma a recuperar a situação original de monitoramento da parede do cadinho, com 60 termopares. Os novos termopares instalados possuem poço (camisa) e medições de temperatura em dois pontos diferentes (separados em 100 mm). Este projeto está em andamento, com previsão de término em dezembro de 2018.

Paralelamente, iniciou-se estudos para instalação de 40 novos termopares tipo triplex nos locais mais próximos aos furos de gusa e regiões críticas de cada alto-forno, onde há desgaste mais crítico.

2.1.4 Medições utilizando Técnica Não-Destrutiva (AcoustoUltrasonic-Echo – AU-E)

A fim de se fazer comparações com os resultados provenientes do modelo de desgaste unidimensional aplicado, além de se ter uma visão global da situação de desgaste do cadinho, realizou-se aproximadamente 400 medições no cadinho de cada um dos Altos-Fornos, utilizando técnica conhecida como AU-E. Através da comparação entre os resultados das medições e do modelo, aumenta-se a precisão da diagnose do cadinho e tem-se uma tomada de decisão mais assertiva em relação a futuros reparos e atividades que visam o prolongamento de vida útil. A metodologia utilizada é apresentada na Figura 3. Ondas mecânicas geradas por um impactor na parede do cadinho propagam pelos diferentes materiais, refletindo nas mudanças de meio de propagação. Dessa forma, com os sinais medidos e sabendo as propriedades de cada material, estima-se a espessura de cada camada.

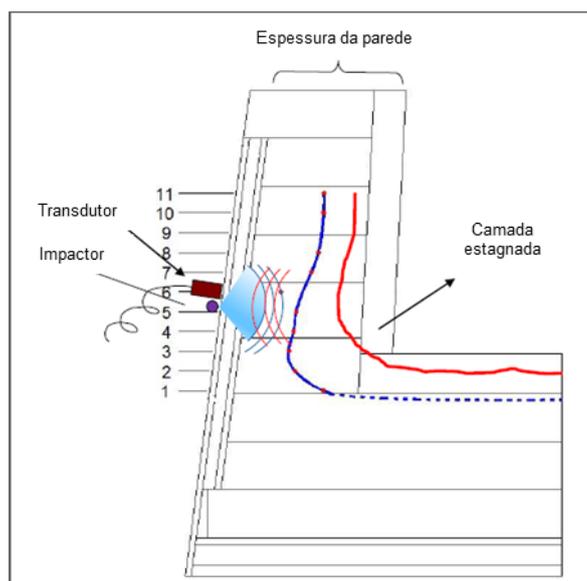


Figura 3. Esquema da Inspeção por AcoustoUltrasonic-Echo.

2.1.5 Ações para controle de Desgaste

Uso de coque de maior qualidade para melhorar a permeabilidade do homem morto, ações no sistema de refrigeração como aumento da vazão nas regiões críticas quando necessário, corridas consecutivas em um furo para recuperação da proteção do segundo furo de gusa e redução da produção foram medidas que já foram tomadas nos Altos-Fornos da Ternium para controle de desgaste. Carregamento de Titânio via topo ou injeção via ventaneiras, redução ou fechamento de ventaneiras ainda não foram usados.

2.2 Resultados e Discussões

Na Figura 4, vê-se o resultado do Modelo de Desgaste para a espessura remanescente da parede em um ponto próximo ao furo de gusa. Os resultados do modelo unidimensional se mostram satisfatórios para o acompanhamento do desgaste dos blocos, e são de extrema importância nas análises do cadinho.

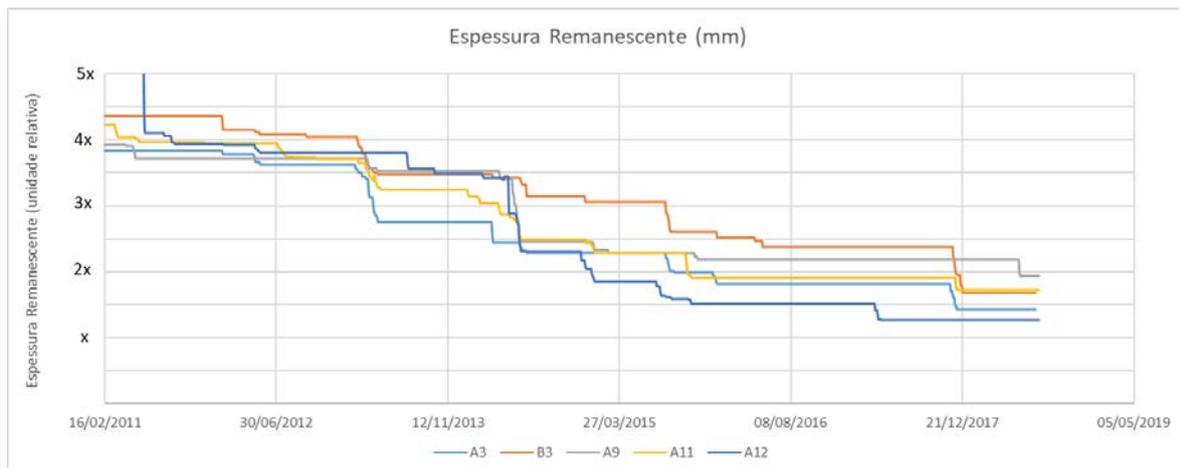


Figura 4. Desgaste da Parede do Cadinho AF2 Ternium Brasil

Foram realizadas entrevistas com diversas usinas, e esse tipo de modelo unidimensional é amplamente utilizado no Brasil e em outros países. Fraser (2003) questiona a precisão e confiabilidade do modelo unidimensional, porém é inegável a sua aplicabilidade nas usinas. No caso da Ternium Brasil, é feito um acompanhamento diário das temperaturas do cadinho, e as atualizações do sistema de análise de desgaste são realizadas mensalmente. Um relatório completo é emitido com informações relativas à expectativa de vida útil, espessura remanescente por região do cadinho, temperaturas máximas de cada termopar, o que permite tomar decisões e medidas para prolongamento de campanha, ou melhorias no sistema de monitoramento de desgaste. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de tabela que compõe o relatório mensal.

Nível 9 - 1250	Parâmetros	Ventaneira		FG1	7	9	12	15	17	20	22	25	27	FG2	31
		1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
	Temp. Atual	°C	210,2	208,4	231,9	298,4	187,9	174,4	166,2	178,1	Out	164,7	186,1		400,8
	Temp. Máx Histórica	°C	315,2	350,6	400,1	341,1	295,8	300,5	310,1	297,8	298,5	331,5	360,8		410,4
	Espessura Calculada	Skull (mm)	40,5	95,5	180,7	21,1	80,1	90,4	87,6	110,4	-	87,5	56,7		15,5
		Parede (mm)	736,5	704,5	698,4	712,9	760,4	756,5	741,5	757,4	755,6	720,4	702,4		620,7

Figura 5. Exemplo de Tabela Padrão do relatório mensal

Em Maio/18 foram realizadas medições utilizando técnica não-destrutiva. Os resultados das inspeções mostraram que os Altos-Fornos da Ternium têm refratário suficiente para continuar em operação normal. Foram identificados também anomalias na parte baixa da parede, em variados pontos na circunferência dos cadinhos. Um exemplo de resultado das inspeções é apresentado na Figura 6, em que é representado em azul o perfil de desgaste medido, pontos em verde representam a camada estagnada e em vermelho as anomalias encontradas.

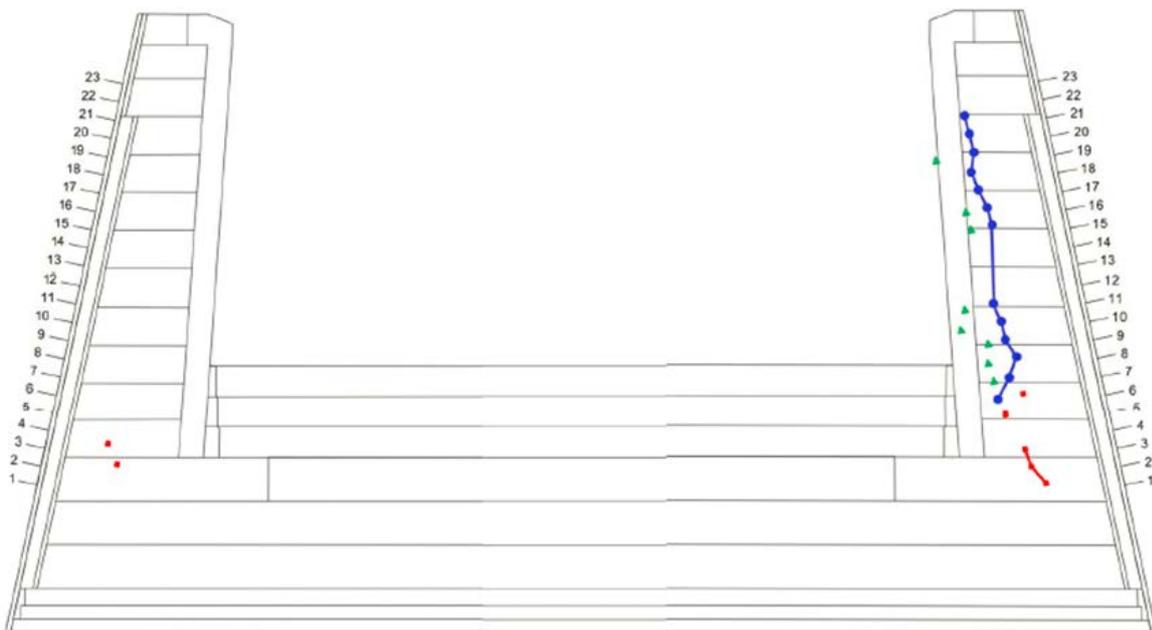


Figura 6. Corte do cadinho do Alto-Forno 1, resultados das inspeções.

Os resultados das inspeções não-destrutivas foram comparados com os resultados do modelo de desgaste calculado internamente pela Ternium, em pontos próximos entre si. A Figura 7 abaixo mostra os resultados da comparação ponto a ponto.

AF1	Ventaneira	Nível	Diferença (+/- mm)	Diferença (%) do AU-E	AF2	Ventaneira	Nível	Diferença (+/- mm)	Diferença (%) do AU-E
NV9 TE01	1	13	30	4%	NV9 TE01	32	14	58	7%
NV9 TE03	6	12	140	21%	NV9 TE03	6	12	70	11%
NV9 TE05	12	12	30	4%	NV9 TE09	22	13	68	8%
NV9 TE08	19	12	51	5%	NV9 TE11	27	12	471	41%
NV9 TE11	27	12	170	24%	NV8 TE03	6	11	30	5%
NV8 TE03	6	10	86	12%	NV8 TE05	12	10	74	9%
NV8 TE05	12	10	30	4%	NV8 TE09	22	10	2	0%
NV8 TE06	14	10	32	3%	NV8 TE10	25	10	10	1%
NV8 TE07	17	9	160	14%	NV8 TE11	27	10	274	30%
Média			81	9%	Média			133	16%

Figura 7. Comparação dos resultados medidos com o modelo de desgaste 1D.

As jaquetas que compõe o sistema de refrigeração da parede do cadinho têm controle individual de vazão, de forma que nas situações em que há uma variação térmica elevada em determinados pontos, a intensificação da refrigeração é feita localmente, e tem gerado bons resultados na estabilização térmica. Juntamente com manobras no sistema de refrigeração da soleira e jaquetas, trabalha-se com massas especiais para recuperação de furo de gusa, para proteger a parede do cadinho e afastar o fluxo de líquidos, reduzindo o desgaste do bloco de carbono. Nessas situações, um regime de corridas 2x1 (uma corrida no furo de gusa com temperaturas críticas a cada duas no outro furo de gusa) é adotado, também visando recuperação da região crítica. A redução da produtividade também foi feita em algumas ocasiões, sendo uma medida de controle bastante efetiva.

Medidas como injeção de titânio via ventaneiras, carregamento de Ilmenita via topo e diminuição de diâmetro ou fechamento de ventaneiras ainda não foram realizadas na Ternium Brasil.

3 CONCLUSÃO

O Modelo Unidimensional de desgaste de cadinho é amplamente utilizado nas usinas, e eficiente na estimativa de vida útil de cadinho. Os resultados do modelo foram comparados com medições utilizando técnica não-destrutiva, e a diferença média foi de 9% para o Alto-Forno 1 e 16% no Alto-Forno 2. Os resultados do modelo térmico unidimensional mostram um desgaste mais acentuado, com diferenças aceitáveis em relação às medições. Sondagens na parede do cadinho estão sendo planejadas, a fim de comparar com os resultados existentes e averiguar os pontos em que foram encontradas descontinuidades, segundo a empresa que realizou as inspeções.

As medidas para controle de temperaturas aplicadas na Ternium foram eficientes até o momento para impedir o desgaste dos cadinhos dos Altos-Fornos. Ações extremas como parada de Alto-Forno e fechamento de ventaneiras ainda não foram feitas.

O sistema de monitoramento térmico dos Cadinhos da Ternium é deficiente em algumas regiões críticas de desgaste, de forma que as melhorias na instrumentação são de extrema importância para uma análise mais precisa com o Modelo Unidimensional de desgaste.

REFERÊNCIAS

- 1 GONZALEZ, M. etalli. Thermal Penetration Model to Estimate Blast Furnace Hearth Conditions. In 4th IAS IRONMAKING CONFERENCE, 2003, San Nicolas. p.381-386.
- 2 FRASER, B, etalli. Monitoring the Blast Furnace Hearth Refractory with the 1.150°C Isotherm and Acoustic Wave Measurements. In: 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF IRONMAKING, 2003, Dusseldorf. p. 462-470.
- 3 FUJIHARA, F. K., etalli. Elongation of CST's No 1 Blast Furnace Life – Hearth Wear Control. In: LA REVENU DE MÉTALLURGIE – ATS – JSI 2003, p.8-9.
- 4 KUMAR, S. Heat Transfer Analysis and Estimation of Refractory Wear in Iron Blast Furnace Using Finite Element Method. ISIJ International, Vol 45(2005) n° 8, p. 1122-1128.
- 5 LIMA, I.T. Controle do desgaste do cadinho. In: XXXI SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DA ABM, 2000, Santos. p. 803-813