

USO DE MASSAS DE INJEÇÃO PARA PROLONGAMENTO DA CAMPANHA DE ALTOS-FORNOS¹

Alamar Kasan Duarte²
Vitor Guarnier Domiciano³

Resumo

Uma produção eficiente e econômica de ferro-gusa depende, entre outros fatores, do tempo de campanha do Alto-Forno. Como as reformas demandam enorme investimento de capital, é desejável se prolongar ao máximo a campanha dos Altos-Fornos. Além disto, uma reforma implica uma parada em sua produção por alguns meses, decisão normalmente considerada quando nenhuma alternativa é viável. À medida que a campanha do Alto-Forno aumenta, o revestimento refratário original pode atingir um grau de deterioração tal que pontos quentes se desenvolvem na carcaça metálica. Quando isto acontece, o operador dispõe de várias alternativas para amenizar esta condição e estender sua campanha. Opções podem envolver a mudança operacional e/ou prática de carregamento, a aplicação de borrifamento de água na carcaça, assim como reparos parciais do revestimento refratário, reparos por projeção a quente ou a frio, ou ainda manutenção por injeção de massas refratárias. Cada método tem vantagens e desvantagens. O presente trabalho apresenta a evolução de um plano de manutenção refratária para prolongamento da campanha de um Alto-Forno fazendo uso de massas de injeção, destacando-se a alteração do tipo de produto, a técnica de injeção e os ganhos operacionais do Alto-Forno que permitiram alterar a frequência média de injeções de 35 para 60 dias de operação.

Palavras-chave: Alto-forno; Refratário; Massas de injeção.

USE OF REFRACTORY INJECTION MIXES TO EXTEND THE BLAST-FURNACE CAMPAIGN

Abstract

An efficient and economical production of hot metal depends, among other factors, on the time of the Blast Furnace campaign. Because reforms require huge capital investment, it is desirable to extend the most the Blast Furnace campaign. Moreover, a reform implies in a production stop for a few months, a decision usually considered when no alternative is feasible. As the Blast Furnace campaign progress, the original refractory lining reaches a degree of deterioration that hot spots can develop in the metal shell. When this happens, the Blast Furnace operator has several alternatives to ease this condition and extend the campaign. Options may involve changing the Blast Furnace operating conditions and/or loading practices, the use of water spray on the metal shell, partial repairs of the refractory lining by shotcrete or maintenance by using refractory injection mixes. Each method has advantages and disadvantages. This paper presents the development of a refractory maintenance plan to extend the Blast Furnace campaign by using refractory injection mixes, highlighting the change of the product type, the injection technique used and the Blast Furnace operating earnings that allowed the change in the injection average frequency from 35 to 60 days of operation.

Key-words: Blast furnace; Refractory; Injection mixes.

¹ *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.*

² *Engenheiro Metalúrgico, Mestre. Membro da ABM, Engenharia Cerâmica, Dr. Engenharia Metalúrgica, Yamagata Consultoria.*

³ *Engenheiro de Materiais, Pesquisador, Magnesita Refratários S.A., Contagem, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Campanhas entre 10 a 20 anos são alcançadas nos Altos-Fornos brasileiros a coque, que possuem capacidade de produção de gusa entre 2000 a 11.000 ton/dia. Campanhas entre 5 a 7 anos são alcançadas nos Altos-Fornos brasileiros a carvão vegetal, que possuem capacidade de produção de gusa entre 200 a 1200ton/dia.

Vários fatores influenciam a campanha: o projeto do Alto-Forno, o projeto refratário, a qualidade do refratário, a montagem do refratário, o sistema de refrigeração, a operação do Alto-Forno e periféricos, a qualidade do minério e do agente redutor, os teores de zinco e álcalis na carga, a estabilidade operacional, a baixa frequência de paradas, o nível de automação e sistemas de controle, a distribuição da carga, a permeabilidade dos gases, o fluxo do banho no cadinho, as boas condições de drenagem do cadinho e os métodos de reparação e preservação ao longo da campanha.

Uma produção eficiente e econômica de gusa depende, entre outros fatores, do tempo de campanha do Alto-Forno. Como as reformas demandam enorme investimento de capital, é desejável se prolongar ao máximo a campanha dos Altos-Fornos. Além disto, uma reforma do Alto-Forno significa uma parada em sua produção por cerca de três meses, decisão normalmente considerada quando nenhuma alternativa é viável.

À medida que a campanha do Alto-Forno aumenta, o revestimento refratário original pode atingir um grau de deterioração tal que pontos quentes se desenvolvem na carcaça metálica. Quando isto acontece, o operador encontra várias alternativas para amenizar esta condição e estender a campanha. Opções podem incluir a mudança operacional e/ou prática de carregamento, a aplicação de borrifamento de água na carcaça, assim como reparos parciais do revestimento refratário, reparos por projeção a quente ou a frio, ou ainda manutenção por injeção de massas refratárias. Cada método tem vantagens e desvantagens.

O método de reparo objeto deste trabalho é o de injeção de massas refratárias. Este método envolve a aplicação de uma massa refratária por bombeamento, injetada no Alto-Forno através de bocais e válvulas presentes em sua carcaça. A massa injetada interage com a carga do Alto-Forno formando um bloco monolítico que recupera parcialmente a espessura do revestimento interno protegendo, assim, a carcaça. Este método tem se mostrado efetivo nas últimas décadas, reduzindo os pontos quentes localizados na carcaça, quando aplicada em programa regular de manutenção.

A injeção de massas refratárias em Altos-Fornos oferece as seguintes vantagens como método de reparação do revestimento:

- a reparação pode ser feita com segurança do lado externo do forno durante as paradas programadas do Forno para manutenção;
- quase todas as áreas do Forno podem usar esta técnica de reparo;
- necessita apenas de pequenas válvulas distribuídas em posições da carcaça, evitando a abertura de grandes áreas na carcaça;
- uma pequena equipe de trabalho é necessária para a aplicação da massa de injeção, sendo que o equipamento utilizado (bomba) é colocado em posições convenientes da casa de corrida ou da plataforma das ventaneiras.

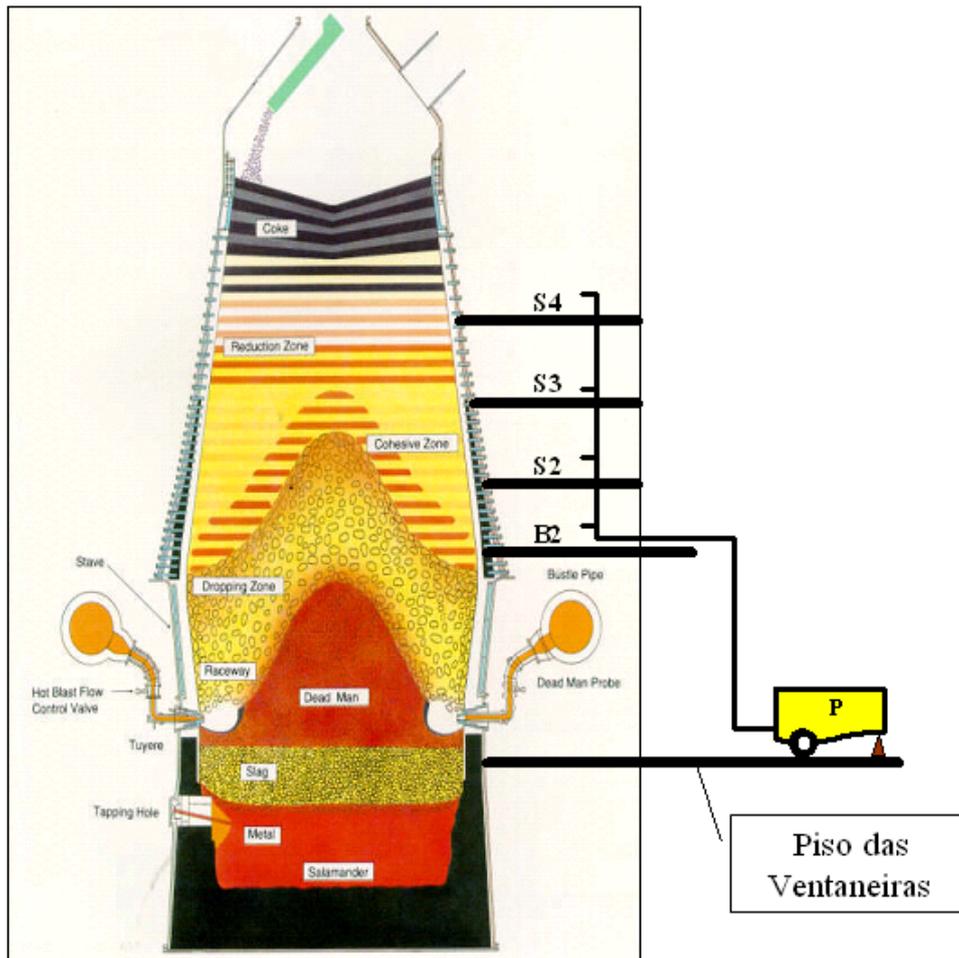


Figura 1. Técnica de reparo do revestimento do Alto-Forno através de injeção de massa refratária.

2 HISTÓRICO DO ALTO-FORNO

O Alto-Forno objeto deste trabalho passou por uma reforma para substituição do sistema de placas de refrigeração pelo sistema de *stave cooler*. O novo sistema contempla 11 níveis de *staves*, sendo 5 níveis de cobre e 6 níveis de ferro fundido (Figura 2). Após 17 meses do retorno à operação, o revestimento interno do Alto-Forno apresentou sinais de deterioração precoce do primeiro nível de *staves* (rampa) de ferro fundido, sendo observadas temperaturas elevadas nesta região. A produtividade acumulada até aquele momento era de 1.150 t/m³. Dois meses depois, algumas linhas de refrigeração dos *staves* dos níveis B1 e B2 (rampa) começaram a queimar, sendo verificados os primeiros pontos quentes na carcaça.

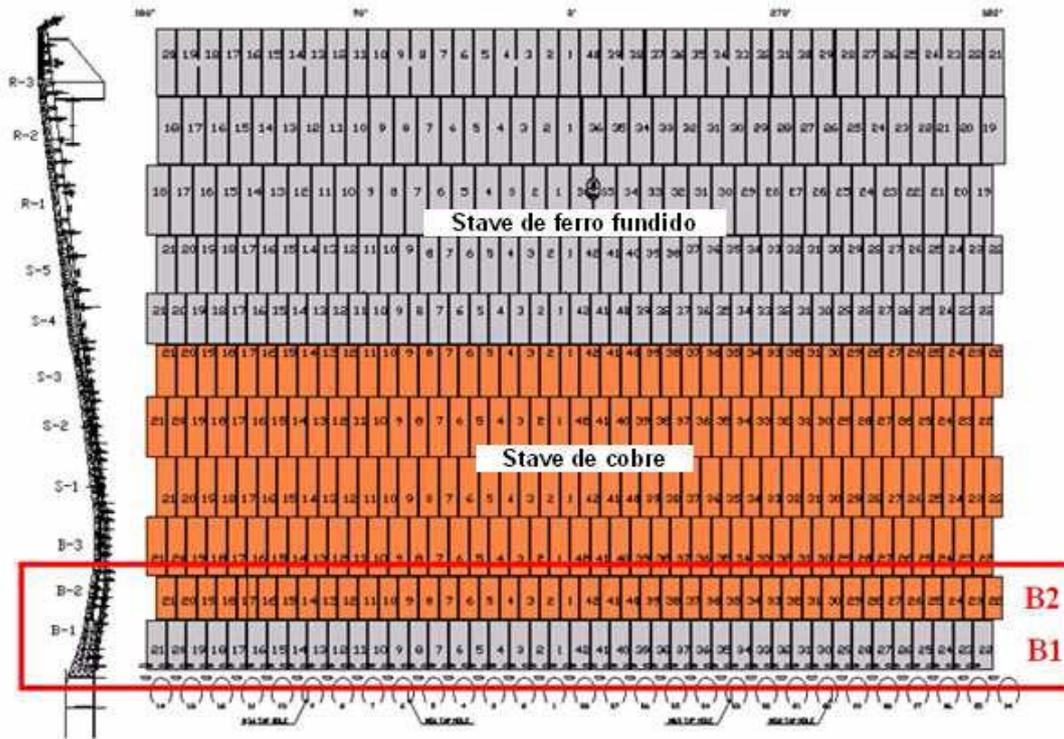


Figura 2. Novo sistema de refrigeração com “staves” de cobre e ferro fundido.

A Figura 3 apresenta o desgaste do *stave* de ferro fundido localizado no primeiro nível da rampa.



Figura 3. Detecção de desgaste dos staves de ferro fundido na primeira fiada acima das ventaneiras.

Ao longo dos últimos anos a condição de desgaste vinha aumentando gradativamente, sendo que em algumas posições o corpo do *stave* foi completamente desgastado. Como medida para recomposição do revestimento interno para proteção da carcaça, placas de refrigeração e *cigar coolers* foram instaladas (Figura 4) e massa de injeção refratária passou a ser aplicada periodicamente. Apesar da instalação das placas de refrigeração, ainda foi necessário manter a frequência de paradas do Alto-Forno para injeção de massa. No início do problema, utilizou-se uma massa refratária aluminosa a base de cimento hidráulico, semelhante à massa injetada no costado dos *staves*. O resultado era insatisfatório, ou seja, em apenas 15 dias era necessário fazer uma nova

injeção. Diante disso, propôs-se a mudança da massa ligada a cimento para uma massa refratária à base de silicato, que tinha sido a massa padrão usada quando o Alto-Forno operava com refrigeração por placas antes de sua reforma. Esta mudança proporcionou um maior tempo de vida na proteção da carcaça. A Figura 5 apresenta a evolução da perda de produção do Alto-Forno no ano anterior ao desenvolvimento da nova massa de injeção.

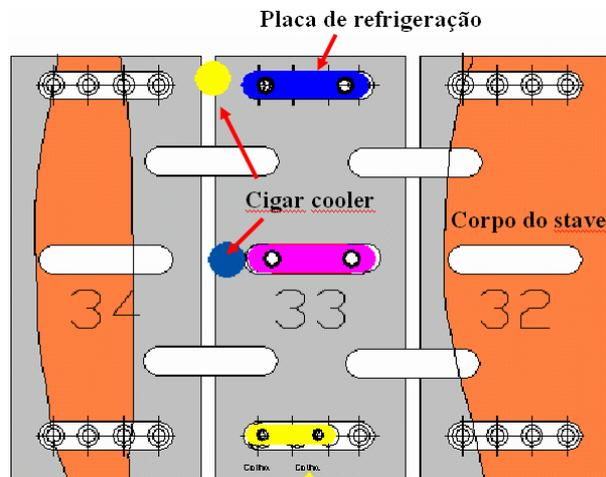


Figura 4. Recolocação de placas de refrigeração em posições de desgaste dos staves.

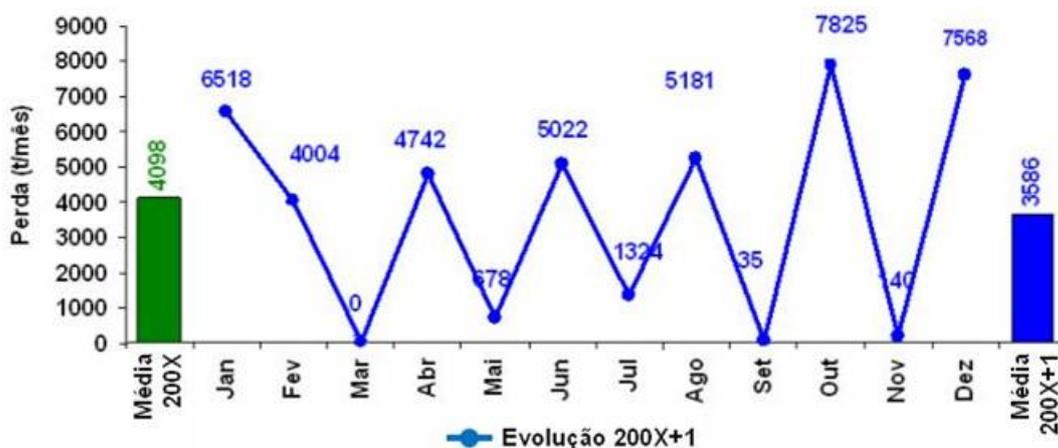


Figura 5. Evolução da perda de produção do Alto-Forno no ano anterior ao desenvolvimento da nova massa de injeção.

3 MASSAS DE INJEÇÃO PARA ALTOS-FORNOS

Três critérios principais são importantes para o programa de injeção de massas: equipamento de injeção adequado; qualidade da massa de injeção e técnica apropriada de instalação.⁽¹⁻³⁾

A durabilidade ou efetividade do reparo por injeção depende da capacidade do equipamento de bombear um material relativamente viscoso. Isto exige uma bomba que possa mandar a massa de injeção a uma distância considerável, tanto horizontal como verticalmente em pressões de até 28bar (Figuras 7 e 8). Bombas do tipo pistão são as mais adequadas. Elas podem bombear a uma pressão de até 60bar, conduzindo o material a uma distância na vertical de até 45m e horizontalmente até 90m. A bomba consiste de um misturador de pás, uma unidade de potência, uma tremonha com agitador e uma unidade de recirculação. Isto

permite que para pequenas injeções, se dispense misturadores adicionais. Quando a unidade está cheia com a massa e em *stand-by*, pode-se fazer a recirculação para a tremonha, eliminando segregação. Para injeção de grandes volumes, a bomba é carregada diretamente com a massa pré-misturada.



Figura 7. Bomba típica utilizada na aplicação de massas de injeção em Altos-Fornos.

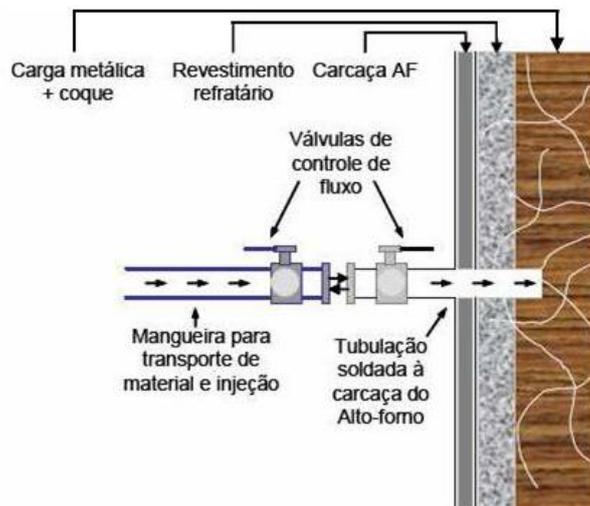


Figura 8. Sistema de acoplamento da mangueira para injeção de massa refratária no Alto-Forno.

A massa de injeção deve ter as seguintes características:

- excelente propriedade de preenchimento dos vazios ao redor dos *staves* e refratários;
- adequado tempo de pega para as condições térmicas na região de injeção;
- excelente resistência à abrasão, ao ataque de álcalis e CO para aplicação junto aos *staves* na região da cuba.
- alta condutividade térmica, quando aplicada na região do cadinho.

Massas de injeção típicas para Altos-Fornos são mostradas na Tabela 1. No caso do Alto-Forno objeto deste trabalho, o objetivo era proteger os *staves* e placas de refrigeração na região da rampa logo acima das ventaneiras, evitando pontos quentes na carcaça. As condições nesta região são de elevada temperatura durante a injeção e de grande solicitação por abrasão durante a operação. Neste caso a massa deve apresentar elevada fluidez na temperatura da região onde está sendo injetada e excelente capacidade de preenchimento junto à carga descendente.

Tabela 1. Características de massas de injeção usadas em Altos-Fornos

	Tipo Não Aquoso					Tipo Aquoso		
	NA1	NA2	NA3	NA4	NA5	A1	A2	A3
Análise Química, %								
<i>Al₂O₃</i>				36	36	93	62	36
<i>SiO₂</i>				4	4	2	26	15
<i>SiC</i>				18	18			42
<i>Carbono Fixo</i>	49	59	47	10	10			
Tamanho Máximo, mm	0,3	0,1	0,3	1	1	3	3	3
Tipo de Ligante								
<i>Cimento</i>						0	0	0
<i>Piche</i>	0	0		0				
<i>Resina</i>		0	0	0	0			
Viscosidade, Mpa.s								
<i>a 30°C</i>	38.000	34.000	5.300	5.300	7.000			
<i>a 70°C</i>	960	2.200	1.400	2.800	1.750			
Após 500°C								
<i>MEA, g/cm³</i>	1,19	1,26	1,24	1,53	1,68	2,65	2,08	2,41
<i>RCTA, MPa</i>	11,8	9,9	8,1	2,1	5,9	19,0	13,6	41,7
Instalação	Cadinho 70 a 90°C	Cadinho 70 a 90°C	Cadinho 25°C			Costa do "stave"	Costa do "stave"	Costa do "stave"

Uma nova massa de injeção alumina – carbeto de silício – carbono, não-aquosa, à base de resina e piche foi desenvolvida para o reparo (tipo NA4 – Tabela 1). São características importantes para este tipo de produto o tempo de endurecimento (Figura 9), a sua capacidade de preenchimento na carga (Figura 10), e o prazo de estocagem, que neste caso é de 120 dias (Figura 11).

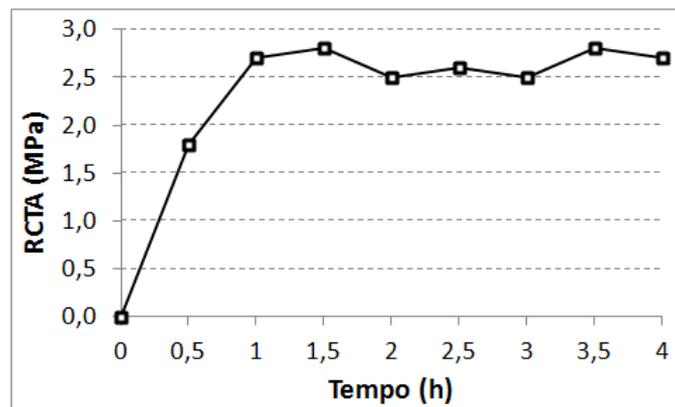


Figura 9. Teste de velocidade de endurecimento de massa de injeção a 200°C - desenvolvimento de resistência mecânica em função da temperatura e tempo.

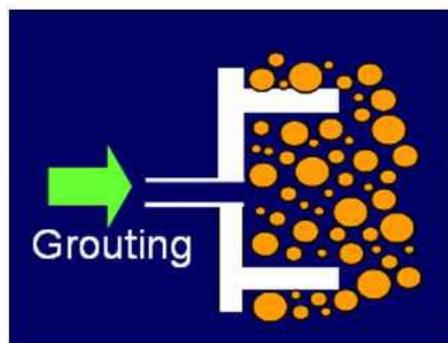


Figura 10. Teste de injeção da massa em uma câmara com coque incandescente.

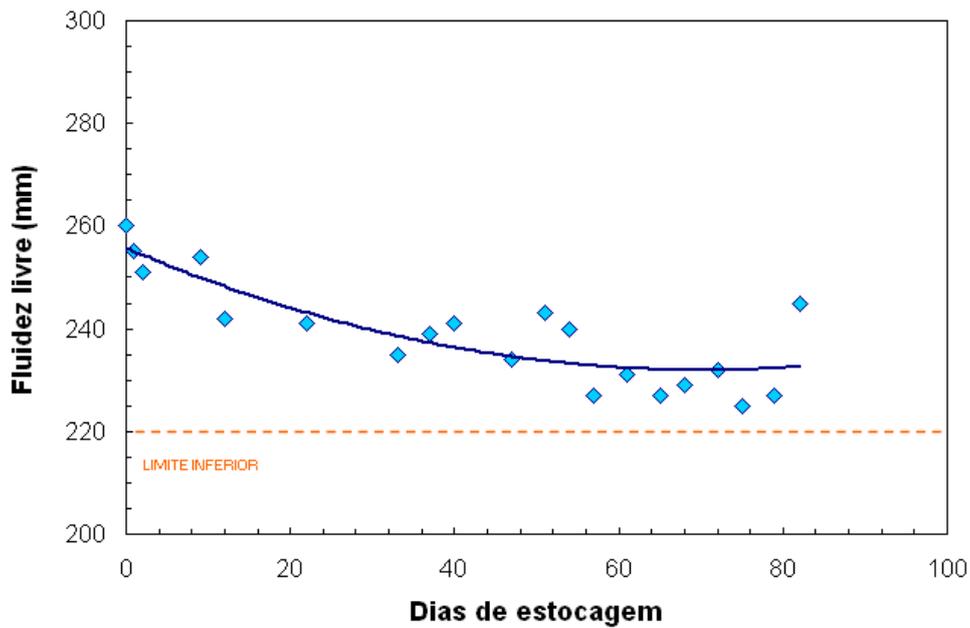


Figura 11. Teste de estocagem da massa de injeção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o efeito da proteção da carcaça, utilizamos a informação dos termopares instalados na mesma. O sistema de monitoramento da carcaça está dividido em quatro quadrantes. A Figura 12a apresenta o resultado das temperaturas antes do desenvolvimento da nova massa. Pode-se observar que após a injeção de massa, as temperaturas permaneciam baixas e estáveis, mas a partir do 15º dia iniciava-se a oscilação das temperaturas. Esta variação indicava uma perda de proteção da carcaça e que qualquer variação do fluxo de gás provocava uma maior solicitação térmica na carcaça. Quando isto acontecia, era necessário realizar nova parada para injeção de massa. A Figura 12b apresenta o resultado após a utilização da nova massa. Pode-se verificar que a temperatura da carcaça se manteve baixa e estável por mais de dois meses. Este resultado proporcionou uma redução da perda de produção devido ao aumento do intervalo entre paradas para injeção de massa.

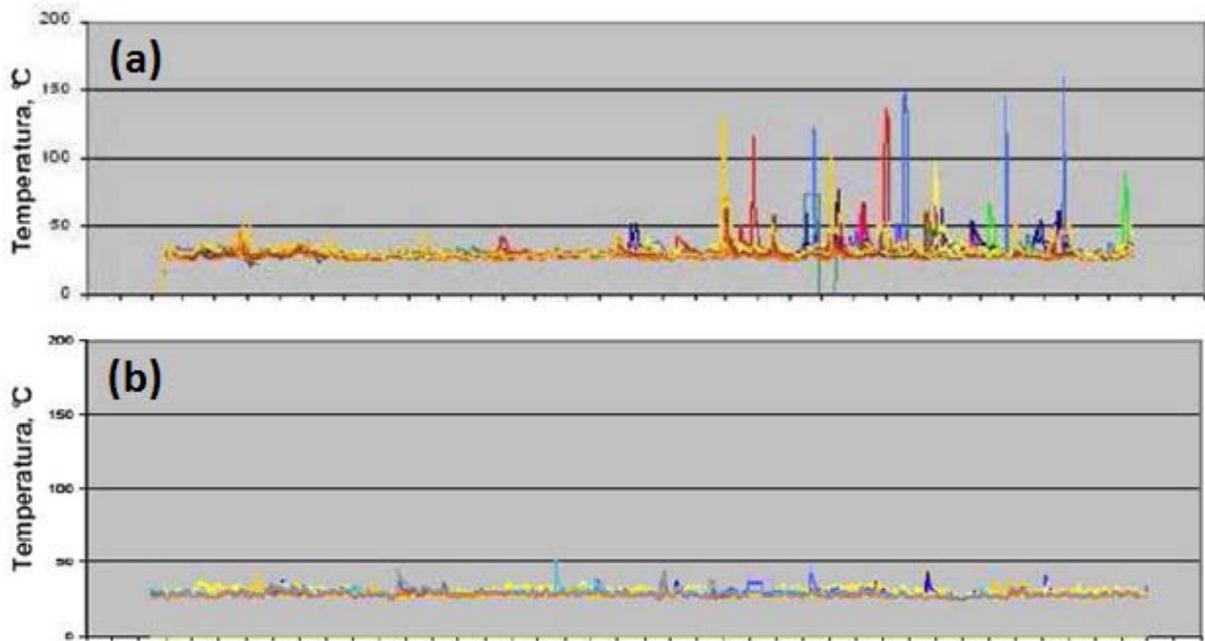


Figura 12. Monitoramento da temperatura da carcaça entre injeções: (a) período de 34 dias com o uso da massa convencional; (b) período de 90 dias com a nova massa de injeção desenvolvida

Quanto ao desempenho do Alto-Forno, pôde-se verificar uma redução da perda de produção em 2.500t/mês no período de 01 ano com esta técnica de preservação (Figura 13). Pôde-se verificar também uma melhora do índice de funcionamento do Alto-Forno (Figura 14).

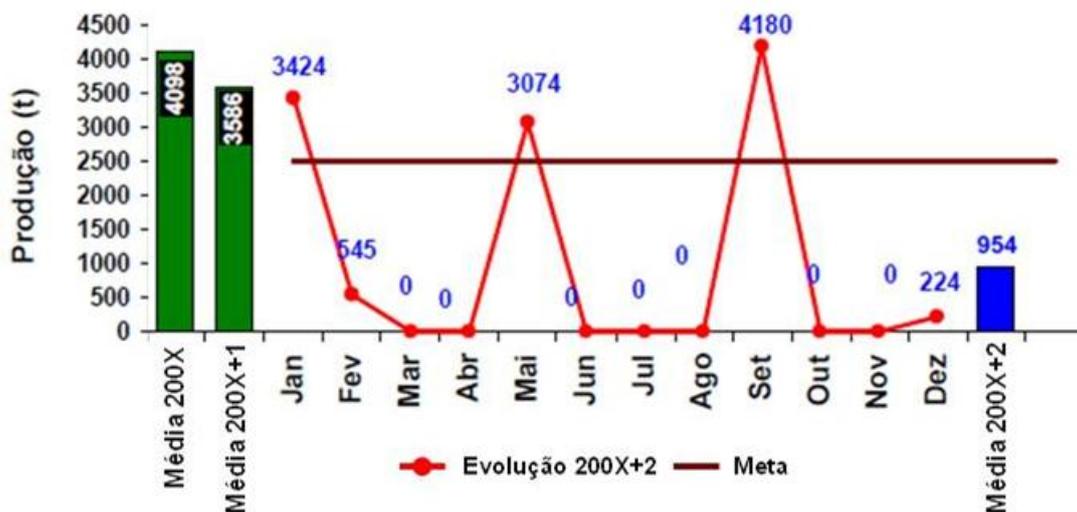


Figura 13. Evolução da perda de produção com paradas para injeção de massa.

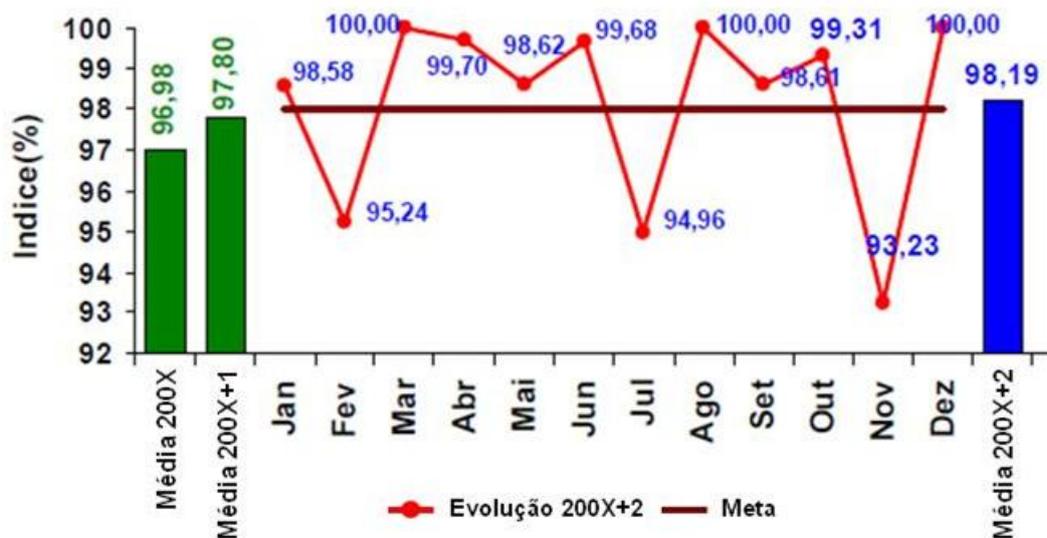


Figura 14. Evolução do índice de funcionamento do Alto-Forno.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste projeto de melhoria foram reflexos de dois pilares de ação: uso intenso de metodologia e parceria estratégica. O primeiro pilar possibilitou a constante análise dos dados referentes às perdas de produção ligadas às atividades de preservação do Alto-Forno. A estratificação das causas de perdas e a análise das mesmas direcionaram os esforços do grupo para o segundo pilar. De posse destas informações, foi possível focar o problema, sendo que uma das medidas adotadas foi o uso de uma nova massa refratária de injeção. Os resultados deste esforço mostraram uma maior proteção do revestimento e uma redução na frequência de paradas para manutenção, o que reduz as perdas anuais de produção e leva a um aumento na expectativa da campanha do Alto-Forno. Diante dos resultados obtidos, a nova massa de injeção desenvolvida passou a ser usada regularmente na manutenção preventiva de outros Altos-Fornos proporcionando resultados semelhantes aos descritos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 KRIETZ, L. P. Refractory Injection for Blast Furnace Maintenance: Iron and Steel Engineer, p. 31-34, December 1987.
- 2 MATSUMOTO, T., MARUSHIMA, H., NISHIMURA, H., YANAGISAWA, K., NISHIMURA, N. Technology for Prolonging Campaign Life of Blast Furnaces: La Revue de Métallurgie - CIT, p.379-389, Mars, 1996.
- 3 KUBOTA, Y., KITAMURA, M., OKUHARA, J. Blast Furnace Repair Technique: Shinagawa Technical Report, p. 105-114, Vol. 47, 2004.