

METODOLOGIA DE REPARO POR INJEÇÃO DE MASSA REFRATÁRIA EM RAMPA DE ALTO-FORNO *

Matzael de Souza¹
Roselaine Goncalves Magalhães²
Ricardo Israel do Couto³
Geovane Souza Silva⁴

Resumo

Atualmente, a Usiminas tem direcionado esforços para o desenvolvimento de metodologias de reparo do revestimento dos altos-fornos, combinando automação das atividades de manutenção e o emprego de refratários de alto desempenho industrial. Nesse contexto, é apresentada e discutida a técnica de injeção de massa refratária para reparo da rampa de altos-fornos, sobretudo, nas regiões consideradas críticas devido ao desgaste prematuro do revestimento e o superaquecimento da carcaça, devido anomalias no sistema de refrigeração (*stave cooler*). A metodologia desenvolvida permitiu recuperar o revestimento aplicando massa refratária do sistema Al_2O_3-SiC , ligada por sílica coloidal, com auxílio de máquina de bombeamento automático em altas taxas de aplicação. Desde a implantação dessa técnica foi possível minimizar os riscos de furo na carcaça associados à elevação de temperatura. Tal benefício refletiu em maior disponibilidade e segurança operacional dos altos-fornos da planta industrial de Ipatinga.

Palavras-chave: Alto-forno; Refratário; Sílica coloidal.

REPAIR METHODOLOGY BY INJECTION OF REFRACTORY MASS IN BLAST FURNACES

Abstract

Currently, Usiminas has directed efforts to develop repair methodologies of lining of the blast furnace, by combining automation of maintenance activities and use of high performance refractories. In this context, it is presented and discussed the technique of injection of refractory mass for repair of the lining of blast furnace, especially in the zones considered critical because of the premature wear of the lining and the overheating of the shell, due to anomalies in the refrigeration system. The developed methodology allowed to recover the lining by applying refractory mass of the Al_2O_3-SiC system, colloidal silica bonded, with the use of automatic pumping machines with high application rates. Since the implementation of this technique it was possible to minimize the risk of damages associated with the elevation of the shell temperature. This benefit reflected in increase of availability and operational safety of the blast furnaces of the Ipatinga industrial plant.

Keywords: Blast furnace; Refractory; Colloidal silica.

¹ Engenheiro civil, Supervisor de Manutenção, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

² Engenheira de Materiais, Pesquisadora, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

³ Engenheiro Civil, Coordenador de Manutenção, Usiminas, Ipatinga, Brasil.

⁴ Técnico Metalúrgico, Assistente Técnico Industrial, Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os Altos-Fornos 1 e 2 da Usiminas possuem volume útil de 885 m³ e o Alto-Forno 3 possui 3162 m³, o que gera, atualmente, uma produção de 10.500 t/dia. Inicialmente, a campanha desses equipamentos foi estimada em 15 anos, no entanto, devido ao cenário econômico mundial, a empresa direcionou esforços para prolongá-las. Em consequência, o desgaste do revestimento refratário, principalmente da região da rampa (Figura 1), causou o aumento considerável da temperatura da carcaça, que pode ocasionar danos. Nesse sentido, a estratégia foi desenvolver uma metodologia para recompor o revestimento refratário dos altos-fornos, por meio da injeção de massa refratária.

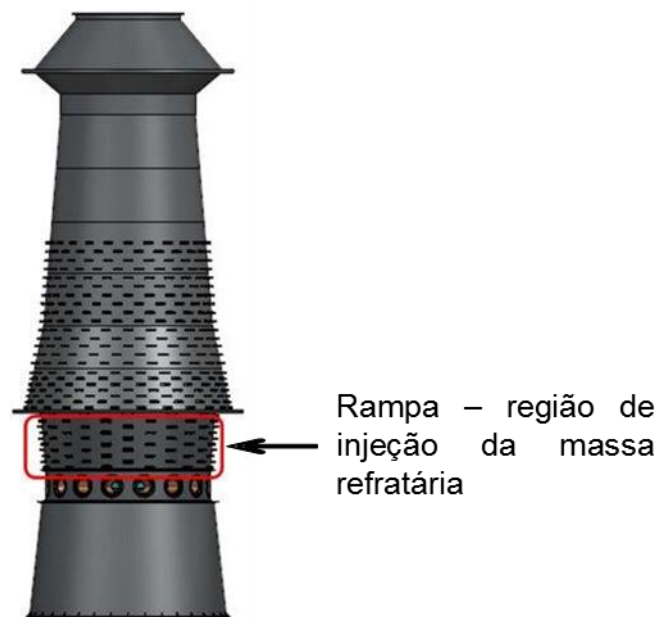


Figura 1. Representação esquemática do Alto-Forno 2 da Usiminas evidenciando a região de injeção de massa refratária.

A massa utilizada para injeção nos altos-fornos é constituída principalmente por alumina e carbetto de silício. A origem e a pureza das matérias primas são importantes para o desempenho do refratário. Neste caso, a alumina confere ao material alta refratariedade, alta dureza, alta resistência ao ataque químico e elevado ponto de fusão. A presença de carbetto de silício proporciona resistência mecânica à alta temperatura e alta condutividade térmica [1].

Devido às características visadas, optou-se por utilizar materiais sem cimento. Sua ausência impede a formação de fases de baixo ponto de fusão, resultando em superior refratariedade e melhorando as propriedades a quente do refratário. Dessa forma, a sílica coloidal utilizada como ligante não hidráulico é capaz de adquirir resistência inicial através da gelificação da solução, em que as nanopartículas de sílica reagem formando ligações primárias fortes [2,3]. Além disso, o material deve possuir boa fluência para permear a carga nas diferentes condições existentes no interior do alto-forno:

- Condição isenta de revestimento refratário, contendo apenas a carga do forno (Figura 2a);
- Condição contendo revestimento refratário remanescente, juntamente com a carga do forno e/ou cascão (Figura 2b);

- Somam-se as duas possibilidades anteriores, a condição térmica, sendo que a região pode estar totalmente resfriada ou altamente aquecida (Figura 2c).

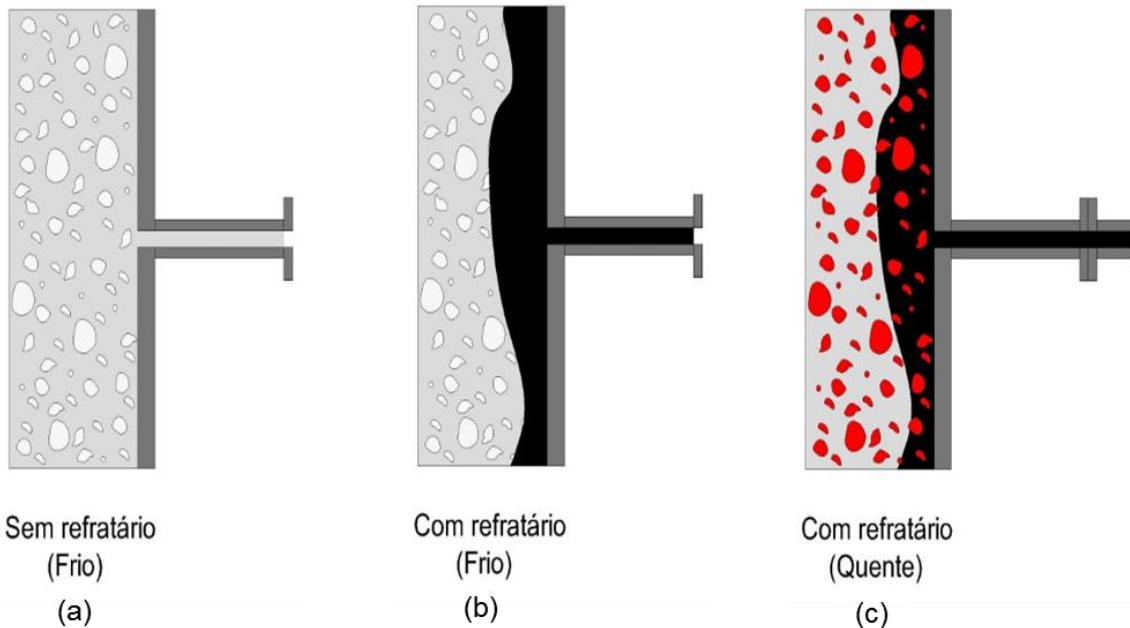


Figura 2. Representação esquemática das condições internas nos pontos de injeção.

Independente das condições, a massa deve percorrer e preencher os espaços vazios, com o objetivo de formar uma camada coesa e com resistência mecânica suficiente para suportar os esforços de abrasão pela descida da carga metálica. Além disso, deve apresentar elevada refratariedade frente ao contato com os gases redutores, altas temperaturas e boa condutividade térmica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Teste de Injeção da Massa Refratária

O experimento para avaliar as propriedades de injeção da massa refratária e a sua aplicação no interior dos altos-fornos consistiu em confeccionar uma caixa metálica nas dimensões de 1200 mm x 2000 mm x 500 mm, contendo coque (figura 3). O teste teve o propósito de simular uma condição crítica de injeção da massa, em que o material injetado deve permear pela carga e formar um bloco coeso. Sobre a superfície da caixa, foram instalados os pontos de injeção que neste estudo foram denominados por “tomadas de injeção”.



Figura 3. Fotografia da caixa de coque confeccionada para o teste de injeção.

A massa de injeção seca foi previamente misturada com o auxílio de um misturador industrial por 1 min. Em seguida, foi adicionada de forma gradual, a sílica coloidal, utilizada como ligante. Foram avaliados o tempo de pega da massa em temperatura ambiente, a fluidez e o teor de ligante necessário para a preparação do material, que são mostradas na tabela 1. Para a realização do teste foi adicionada 13% de ligante. Posteriormente, a massa úmida foi injetada nas tomadas de injeção com o auxílio de uma máquina de bombeamento industrial.

Tabela 1. Informações da preparação da massa de injeção

Teor de ligante (%)	Fluidez livre ^(*) (%)	Tempo de pega (h)
13	120-130	>5

(*) – Avaliada após 1 min de escoamento

2.2 Experiência industrial

Para a injeção da massa em escala industrial, foi necessária a instalação de tomadas de injeção, que consistem de uma válvula esférica de 50 mm de diâmetro, que conecta a mangueira de injeção em pontos da carcaça do alto-forno (Figura 4). Assim, para a sua instalação foram realizados furos na carcaça com o auxílio de uma broca guia de 45 mm. Essa ferramenta foi utilizada para evitar danos ao refratário remanescente. Na figura 5 são apresentadas as tomadas de injeção instaladas na carcaça do Alto-Forno 2.

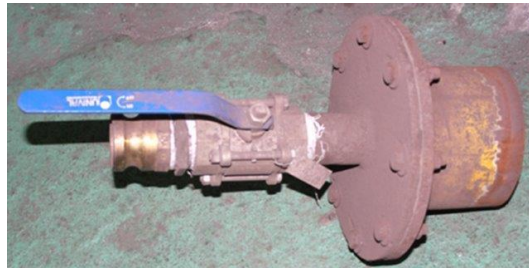


Figura 4. Fotografia de uma tomada de injeção.

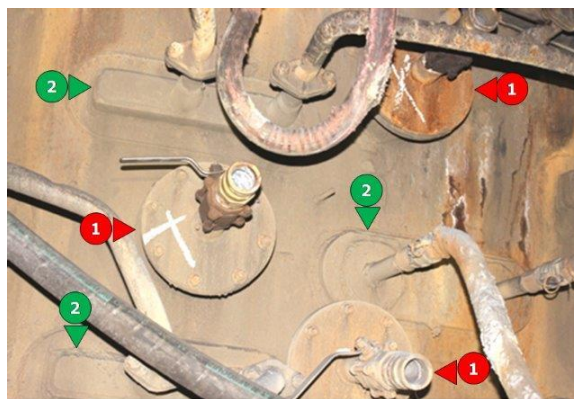


Figura 5. Fotografia de uma região da carcaça do Alto-Forno 2 evidenciando as tomadas de injeção (1) e as placas de refrigeração (2).

Posteriormente, foi utilizado um extrator de 40 mm para a desobstrução dos furos e para a formação de um canal para a injeção da massa. O processo de limpeza do canal de injeção utilizando o extrator é apresentado na figura 6.



Figura 6. Fotografias evidenciando a confecção do canal de injeção de massa refratária.

A preparação da massa para a experiência industrial consistiu em realizar 20 misturas de 500 kg da massa refratária com 13% de sílica coloidal em misturador industrial (Figura 7). A injeção da massa foi realizada durante parada programada do Alto-Forno 2 (Figura 8). As informações dos equipamentos são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Informações das máquinas utilizadas para a injeção da massa refratária

Equipamento	Fabricante	Pressão Máxima
RP-10 Eletric	Allentown	3000 Psi
TK-10 Eletric	Allentown	3000 Psi

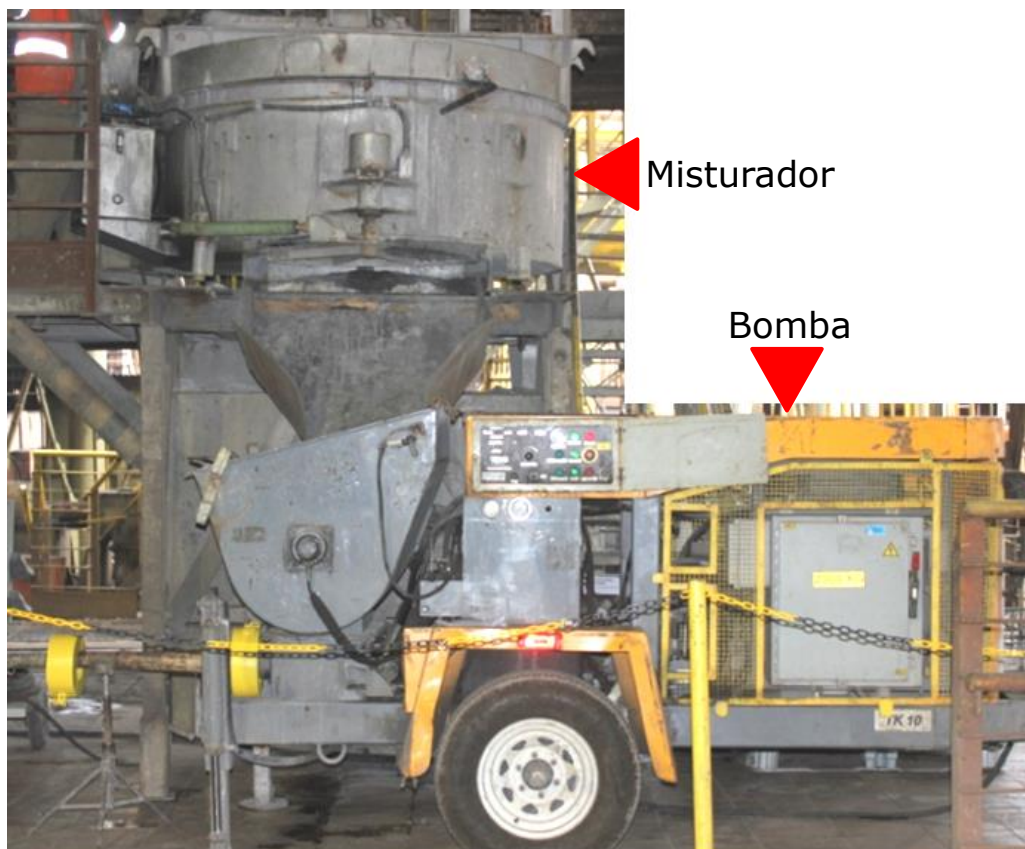


Figura 7. Fotografia dos equipamentos utilizados para a injeção da massa refratária no alto-forno.



Figura 8. Fotografia da injeção da massa refratária em uma região do Alto-Forno 2.

Durante a injeção, a massa refratária deve possuir fluidez necessária para espalhar e preencher as regiões ao seu redor (Figura 9). O reparo realizado em toda a circunferência do alto-forno forma um revestimento anelar (Figura 10), que é importante para o travamento do material refratário junto à carcaça do alto-forno.

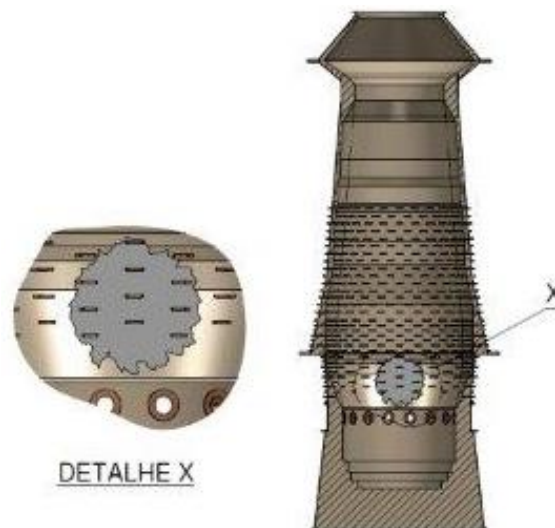


Figura 9. Desenho esquemático do comportamento da massa refratária após a injeção no alto-forno.

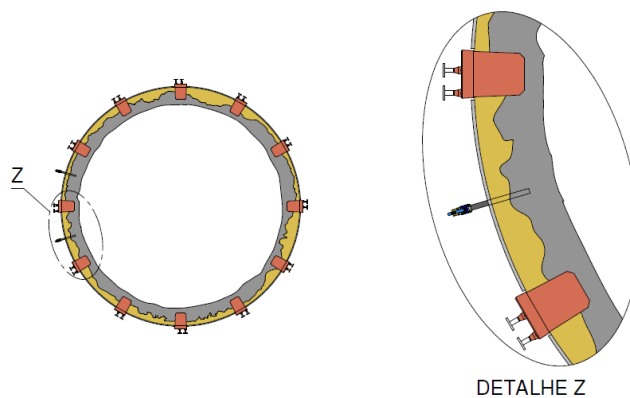


Figura 10. Desenho esquemático do anel formado após a injeção da massa refratária ao longo da circunferência do alto-forno.

2.3 Monitoramento da Temperatura da Carcaça

Com o intuito de manter o controle da temperatura da carcaça do alto-forno, é realizado um monitoramento em tempo real por meio de termopares em contato com a carcaça e inseridos no revestimento interno (50 mm e 200 mm). Os dados obtidos são úteis para avaliar o desempenho da camada do revestimento injetado. Na figura 11 é apresentado o desenho esquemático da localização dos termopares no corpo do Alto-Forno 2.

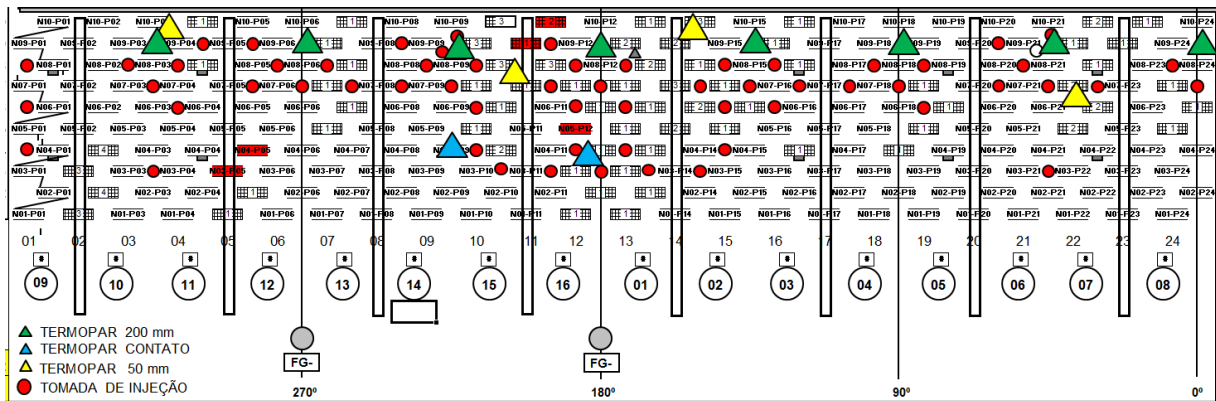


Figura 11. Desenho esquemático evidenciando os termopares de contato e de inserção instalados na carcaça do Alto-Forno 2.

2.4 Monitoramento da Espessura do Revestimento Interno

Após a instalação de uma tomada de injeção e limpeza de um furo já existente ou novo, foram realizadas medições do perfil refratário remanescente, com o auxílio de uma haste metálica para a determinação da espessura do revestimento (Figura 12).

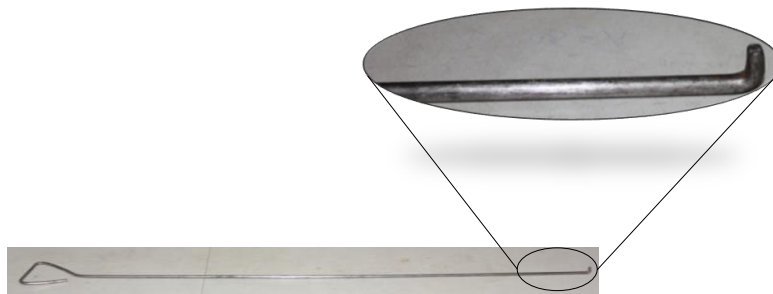


Figura 12. Haste metálica utilizada para a medição da espessura do revestimento remanescente.

O aparato foi inserido pela tomada de injeção até o seu contato com a carga do alto-forno. Posteriormente, foi realizada uma marcação na haste a fim de identificar a espessura de inserção e, assim, realizar as correções, tais como: a espessura da carcaça e o comprimento da tomada de injeção (Figura 13). Ao final, foi obtida a espessura remanescente do revestimento interno.



Figura 13. Fotografias do processo de medição da espessura de revestimento remanescente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Teste de Injeção da Massa Refratária

Nas figuras 14 e 15 são apresentadas as fotografias da caixa metálica antes e após o experimento, respectivamente, evidenciando a presença de massa refratária na região oposta à superfície de injeção.

Superfície
de injeção
→



Antes do teste

Figura 14. Caixa metálica contendo coque antes da injeção de massa.

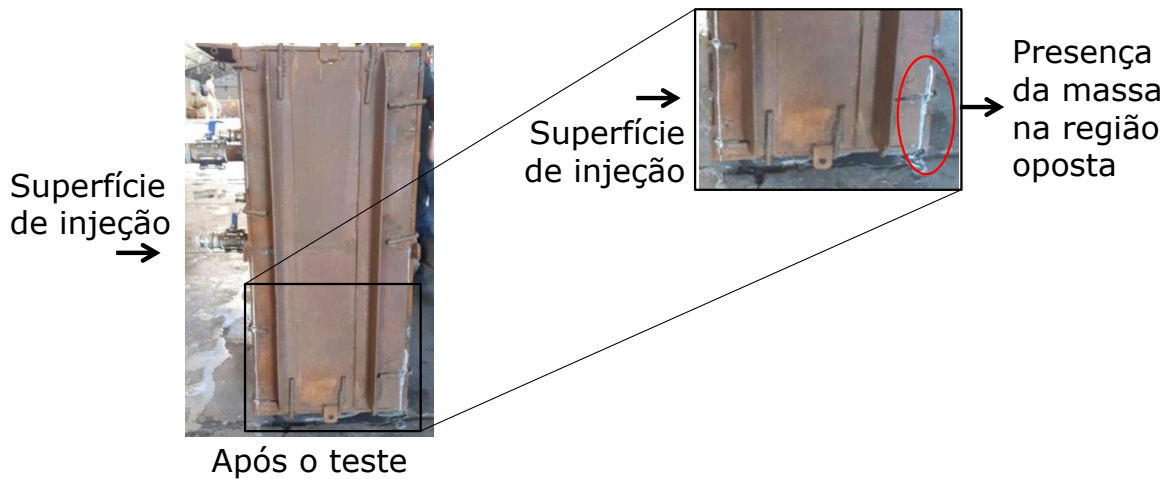


Figura 15. Caixa metálica após o teste de injeção evidenciando a permeabilidade da massa refratária e o coque (carga do alto-forno).

Na figura 16 é apresentado o aspecto da massa refratária após o experimento de injeção em caixa contendo coque.



Figura 16. Fotografia da caixa metálica contendo coque após a injeção da massa refratária.

A presença de refratário na região oposta à superfície de injeção e o aspecto de uma amostra retirada da seção transversal da caixa metálica indicaram que o material injetado foi capaz de permear na carga, ou seja, possui as propriedades necessárias para formar um bloco coeso com a carga do alto-forno (Figura 17).



Figura 17. Fotografia do corpo de prova retirado na seção transversal da caixa de coque: (1) coque e (2) massa refratária.

3.2 Resultados Industriais

A temperatura média do revestimento e da carcaça do Alto-Forno 2 é apresentada na figura 18 e a espessura do revestimento interno na figura 19.

O reparo por injeção de massa refratária se mostrou eficiente no sentido de garantir a temperatura da carcaça a níveis aceitáveis e a espessura do revestimento interno acima de 210 mm. Além disso, proporciona uma intervenção com menor tempo durante as paradas programadas.

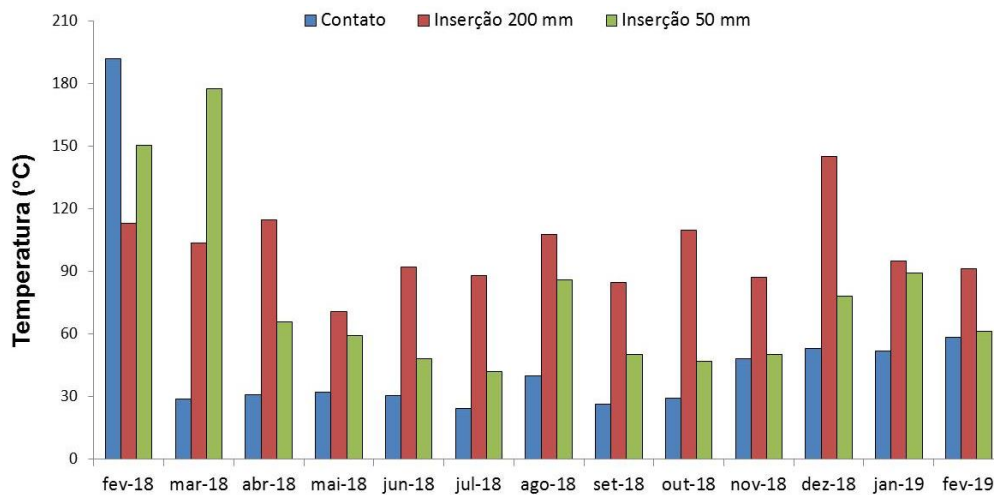


Figura 18. Evolução da temperatura da carcaça do Alto-Forno 2.

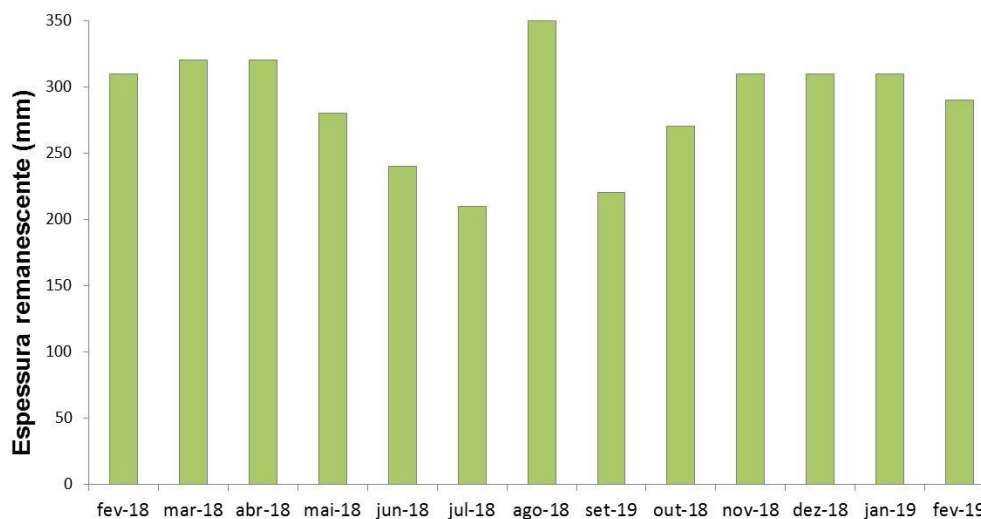


Figura 19. Controle da espessura do revestimento interno do Alto-Forno 2.

4 CONCLUSÃO

Na Usiminas, o aumento significativo da temperatura da carcaça dos altos-fornos é, primordialmente, influenciado pela redução da espessura do revestimento interno. Atualmente, a prática de injeção de massa refratária na região da rampa tem sido uma alternativa de reparo nas regiões dos altos-fornos que apresentam elevação de temperatura durante a operação.

Em síntese, o desenvolvimento de uma metodologia de reparo associado ao material refratário de alto desempenho, capaz de permear a carga e formar um bloco coeso, se mostrou eficiente no sentido de manter a espessura do revestimento e as temperaturas da carcaça estáveis.

REFERÊNCIAS

- 1 Oliveira IR, Studart AR, Pandolfelli VC. Projeto da reologia de concretos refratários zero-cimento no sistema Al_2O_3 -SiC-C system. *Cerâmica*, v.47, p 180-186, 2001.
- 2 Magliano MVM, Pandolfelli VC. Sistemas ligantes para concretos refratários multizáveis. *Cerâmica*, v.56, p 112-117, 2010.
- 3 Sarkar R, Mukherjee S, Ghosh A. A. Gel-bonded alumina-silicon carbide-carbon-based blast-furnace trough castable. *American Ceramic Society Bulletin*, p 9101-9105, 2006.