

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DA SINOBRAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA PAINELA DE AÇO*

Allison de Sá Barreto Ferreira¹
Vinícius dos Santos Gonçalves²
Neiclesio Nunes Ibiapina³
Dimereis José Rosa Filho⁴
Márcio Corrêa de Carvalho⁵
Gerson Ceslau Rusky⁶

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas modificações realizadas na painela de aço da Siderúrgica Norte Brasil visando aumentar sua capacidade nominal e, por conseguinte, aumentar a produção de aço da siderúrgica. Depois de uma análise do layout da aciaria verificou-se que era possível aumentar em 100mm a borda da painela, o que significa um ganho de 0,26m³ no seu volume nominal. Através de uma análise térmica via métodos dos elementos finitos verificou-se que era possível alterar a configuração refratária da painela com o objetivo de aumentar o volume interno da mesma sem aumentar a temperatura externa de trabalho da sua carcaça metálica. O resultado foi um ganho de 0,15m³ no seu volume nominal. Houve um aumento real de produção de 1,7 toneladas de aço por corrida.

Palavras-chave: Siderúrgica; Aciaria; Análise térmica; Painela de aço; Refratário.

OPTIMIZATION OF THE SINOBRAS PROCESS BY COMPUTATIONAL SIMULATION IN THE STEEL LADLE

Abstract

This work aims to present some modifications made in the steel ladle of Siderúrgica Norte Brasil aiming to increase its nominal capacity and, consequently, to increase the steel production of the steel mill. After an analysis of the layout of the melt shop, it was verified that it was possible to increase the edge of the steel ladle by 100mm, which means a gain of 0,26m³ in its nominal volume. Through a thermal analysis using finite element methods it was found that it was possible to change the refractory configuration of the ladle in order to increase its internal volume without increasing the external working temperature of its metal housing. The result was a gain of 0.15m³ in its nominal volume. There was a real increase in production of 1,7 tons of steel per race.

Keywords: Steel mill; Steelworks; Thermal analysis; Ladle of steel; Refractory.

¹ Engenharia Mecânica, Graduando, Estagiário, Aciaria, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras S.A), Marabá, Pará e Brasil.

² Engenharia Mecânica, Graduando, Estagiário, Aciaria, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras S.A), Marabá, Pará e Brasil.

³ Engenharia Química, Doutor, Docente, Instituto de Geociências e Engenharias/Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), Marabá, Pará e Brasil.

⁴ Engenharia de Materiais, Graduado, Engenheiro de Processos, Aciaria, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras S.A), Marabá, Pará e Brasil.

⁵ Engenharia de Materiais, Graduado, Coordenador do Refratário, Aciaria, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras S.A), Marabá, Pará e Brasil.

⁶ Engenharia Metalúrgica, Graduado, Gerente Executivo Industrial, Aciaria, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras S.A), Marabá, Pará e Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Uma característica fundamental das usinas de fabricação de aço modernas é o uso de fornos elétricos a arco para executar as funções de fusão e refinamento primário do aço líquido. [1]. As panelas possuem múltiplas funções numa aciaria, tais como transferir grandes quantidades de metal fundido, vaziar o aço líquido no lingotamento contínuo, metalurgia de panela no refino secundário, onde ocorre a agitação do banho metálico para homogeneizar a temperatura e a composição química, adição de elementos de liga, dessulfuração, desoxidação, entre outros [2].

As panelas de aço precisam trabalhar em temperaturas adequadas para que não haja grandes perdas de energia no aço líquido, elas são revestidas por diferentes camadas de materiais refratários, com espessuras e propriedades físicas diferentes, visando proteger sua carcaça metálica das altas temperaturas de trabalho advindas do metal líquido, cerca 1650°C. Assim, o controle da temperatura do aço líquido e da panela, ao longo do processo de produção de aço, é de suma importância para garantir a gestão do processo e a qualidade do aço produzido.

Um projeto completo de panela que envolva tanto sua carcaça metálica quanto sua configuração de tijolos refratários deve suprir principalmente o critério de máxima temperatura de trabalho da carcaça metálica, é indicado por normas regulamentadoras que se baseiam no limite de tensão admissível do aço utilizado para a construção da carcaça da panela, o qual diminui com o aumento da temperatura.

O perfil da panela de aço da Siderúrgica Norte Brasil S.A (Sinobras) suporta apenas 40 toneladas de aço por corrida, uma capacidade limitada que caracteriza um gargalo para o processo, já que o forno elétrico a arco possui um volume nominal maior. Desse modo, o objetivo desse trabalho consiste em aumentar a capacidade nominal da panela de aço da Sinobras através do aumento da borda da panela e da diminuição do tijolo refratário permanente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise do layout da aciaria

Realizou-se uma análise do layout da aciaria para verificar a possibilidade de mudanças no formato da panela de aço. O projeto inicial tem capacidade para a utilização de uma panela com no máximo 3352mm de altura e 2353mm de largura, dimensões da panela padrão. Os pontos críticos, ou seja, os pontos que restringem a dimensão da panela são: garagem para vazamento do aço líquido do Forno Elétrico a Arco (FEA) para a panela de aço, Figura 1, e a abóbada do Forno Panela (FP). Tais regiões foram mapeadas e dimensionadas para a análise.



Figura 1: Garagem para o vazamento do FEA.

2.2 Redução do tijolo refratário permanente

Visando aumentar o volume nominal da panela foi proposta uma redução do tijolo refratário permanente de 83mm para 63mm. No entanto, reduzir o tamanho do refratário significa aumentar as temperaturas externas de trabalho da carcaça metálica da panela, que, conseqüentemente, aumenta sua deformação térmica-estrutural, podendo, até mesmo, colocar em risco sua estrutura. Segundo a norma da AISE N° 9, *Specifications for design of hot metal ladles* [3], a temperatura de trabalho máxima para panelas de capacidade nominal de até 100t e espessura do casco de 25,4 mm é de 673,15 K, características que se adequam as panelas da Sinobras.

Para diminuir o refratário permanente mantendo a segurança estrutural da panela e sua temperatura de trabalho máxima de acordo com a norma, propôs-se a adição de um isolante térmico de 8mm em sua configuração refratária. Com tais alterações, a panela ganharia 0,15m³ em seu volume nominal, cerca de 1,06 toneladas de aço. A Figura 2 mostra a configuração do refratário antes das alterações e depois.

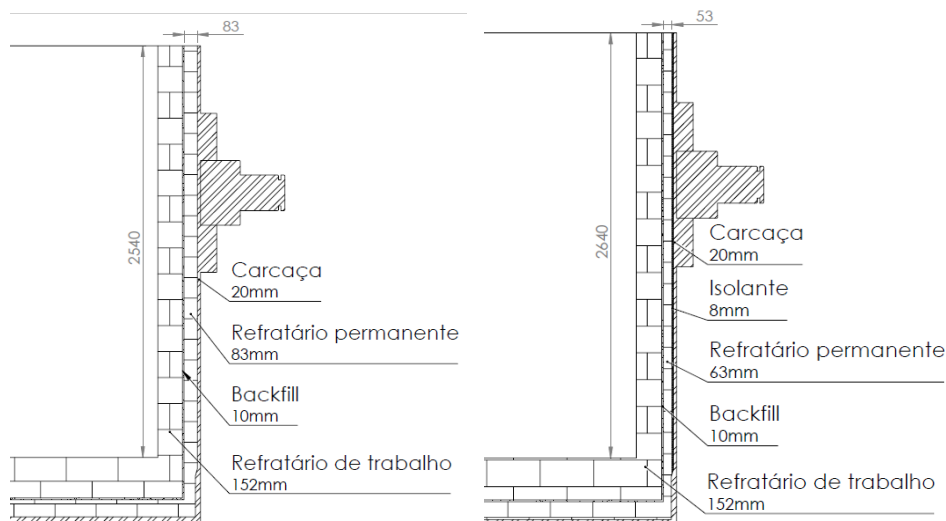


Figura 2: Configuração dos tijolos refratários (a) antes e (b) depois das mudanças propostas.

Primeiramente é preciso verificar se a nova configuração de refratários atende às condições propostas pela norma. Desse modo, realizou-se uma análise do perfil térmico através do método dos elementos finitos em regime permanente via o software em cloud SimScale. Segundo [4] tal técnica é largamente empregada para análise de transferência de calor. Semelhante ao trabalho de [5] foram realizados dois modelos: Início de campanha e Final de campanha para comparação. Baseado nas

últimas campanhas considerou-se uma taxa de desgaste do tijolo de trabalho na linha de escória, que é a região mais crítica, de 1,3mm por corrida e considerou-se, também, que a panela é afastada para reparo com 85 corridas. Modelou-se, assim, o refratário de trabalho com 152mm em início de campanha e 41,5mm em final. Para a discretização e simulação computacional do modelo desenvolveu-se a geometria da panela representando fielmente em proporções geométricas e propriedades térmicas-estruturais o projeto original (com exceção do munhão e dos mecanismos mecânicos externos da panela).

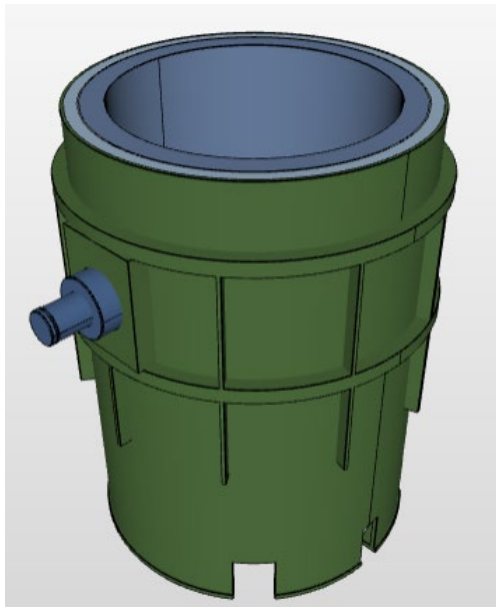


Figura 3: Geometria tridimensional da panela.

Levantou-se os dados de condutividade térmica dos refratários e da carcaça metálica de acordo com a temperatura máxima de trabalho para aplicação nas condições de contorno na modelagem.

Tabela 1. Condutividade térmica dos materiais em relação à temperatura

MATERIAIS	TEMPERATURA 1923,15°K
Refratário de trabalho	1,98
Backfill	1,38
Refratário permanente	1,29
Isolante	0,20
Carcaça	60

Condutividade dada em W/m.K.

O modelo é baseado em equações de transferência de calor para um sistema tridimensional estacionário e foi resolvido utilizando-se o método de elementos finitos. As condições de contorno utilizadas para modelar o problema de fluxo de calor sendo trocado com o fluido de refrigeração por convecção natural e radiação foram:

- Regime permanente;
- Condução de calor pelos refratários e chapa metálica;
- Convecção natural e radiação pela chapa metálica em contato com o ar ambiente;
- Temperatura ambiente constante e igual a 323,15°K;

- Temperatura do aço líquido igual a $1923,15^{\circ}\text{K}$;
- A panela foi considerada cilíndrica e desconsiderou-se as imperfeições de montagem refratária;
- Espessura do refratário de trabalho de 152mm, início de campanha e 41,5mm, final de campanha;
- O coeficiente de condutividade térmica do refratário de trabalho é igual a 1,98 W/m.K, do backfill igual a 1,38W/m.K, do refratário permanente igual a 1,29W/m.K e do isolante igual a 0,2 W/m.K.

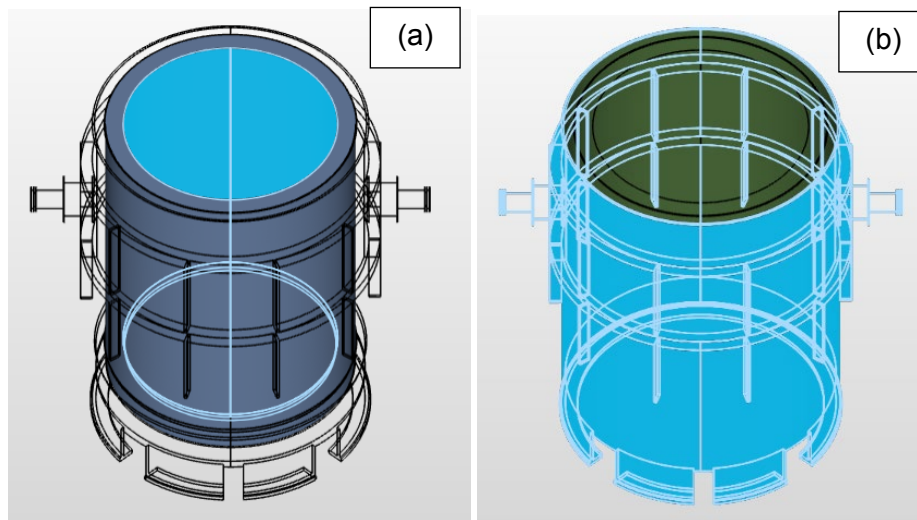


Figura 4: Condições de contorno para análise de perfil térmico. (a) Temperatura de $1923,15\text{K}$ do aço líquido, (b) Convecção natural e radiação entre a carcaça da panela em contato com o ar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise do layout da aciaria

Por meio dos desenhos técnicos e medições na planta de produção da aciaria, obteve-se resultados sobre as restrições físicas da área em relação ao tamanho da panela de aço. Em relação à garagem para vazamento do aço líquido do FEA observou-se que durante o basculamento do forno, que atinge até 18° no seu ponto máximo, sua raquete, equipamento responsável pela abertura e fechamento da válvula de vazamento do FEA, fica a uma distância de aproximadamente 200mm da panela. Para evitar que tal equipamento colida com a panela e se danifique, é necessária uma distância mínima de segurança durante o vazamento, 100mm. Assim, de acordo com os limites da garagem de vazamento de aço do FEA para o FP, é possível aumentar a borda da panela em até 100mm. Em relação à abóbada do FP, concluiu-se que para tal alteração seria necessário retirar seus dois últimos anéis refrigerados, reduzindo o tamanho da mesma em 172mm, conforme Figura 5.

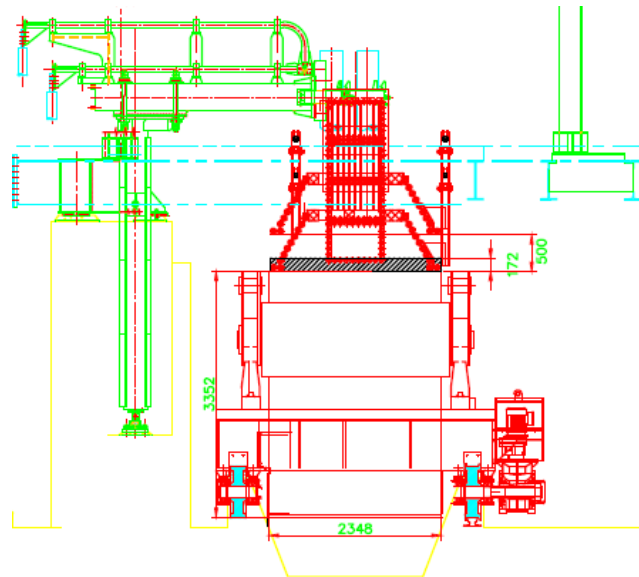
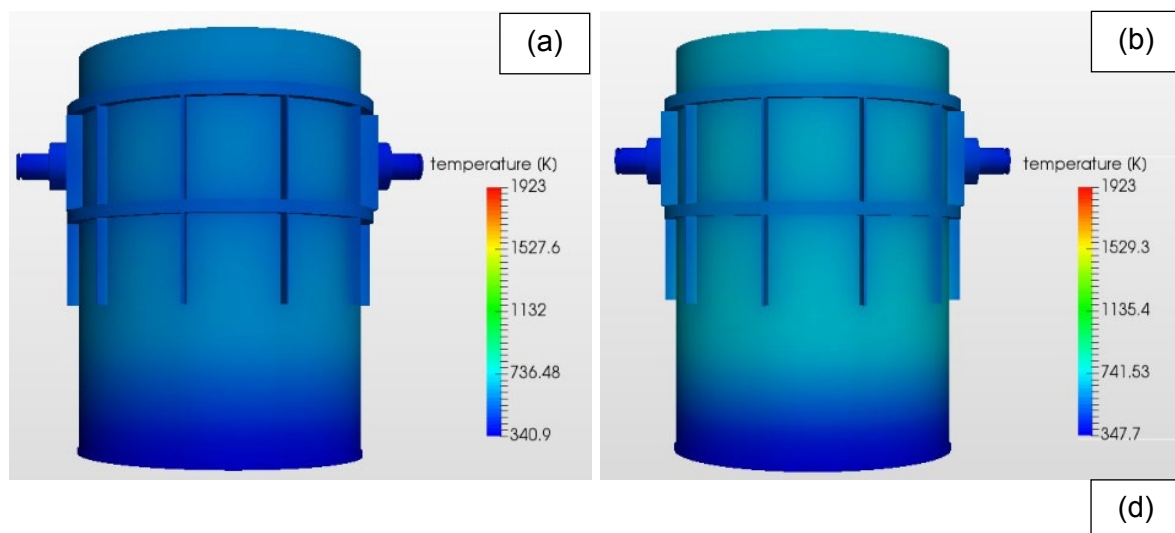


Figura 5: Alteração no projeto da abóbada do FP.

Para as pontes rolantes, os aquecedores de panela, o setor de preparação de panela e o setor de manutenção de refratários não foram necessários quaisquer modificações significativas.

3.2. Diminuição do tijolo refratário permanente

Por meio das análises dos modelos tridimensionais da panela através de simulação computacional foram obtidos os perfis de temperaturas no início e no final da campanha, antes e depois das mudanças propostas, Figura 6.



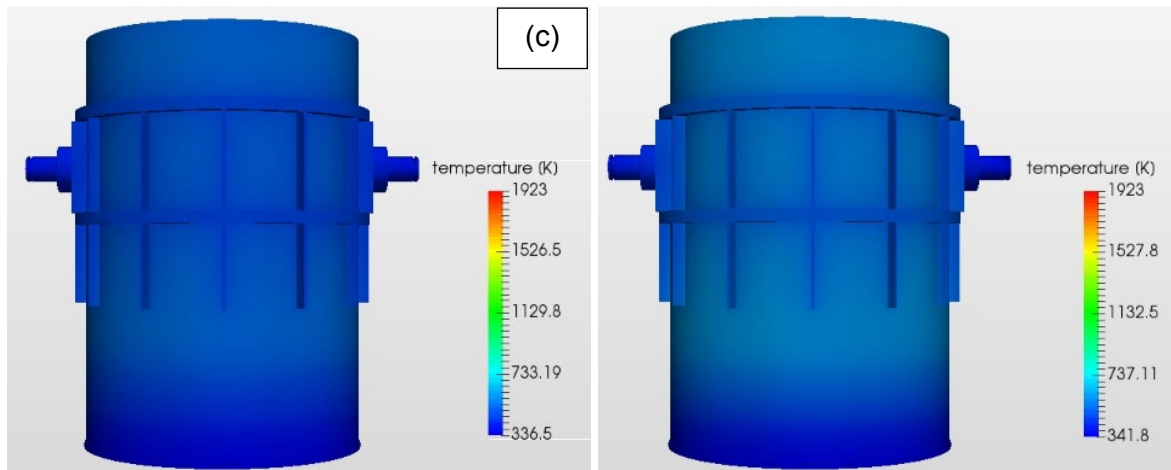


Figura 6: Perfil térmico da panela antes das mudanças propostas em (a) início de campanha e (b) final de campanha. Perfil térmico da panela depois das mudanças propostas em (c) início de campanha e (d) final de campanha.

Antes das mudanças propostas a máxima temperatura na carcaça da panela foi 610K no início da campanha, refratário de trabalho com 152mm, e 722K no final da campanha, refratário de trabalho com 41,5mm. Depois das mudanças propostas a máxima temperatura na carcaça da panela foi 604K no início da campanha e 699K no final da campanha, refratário de trabalho com 41,5mm. Tanto no início da campanha da panela quanto no final a configuração de refratário proposta se saiu melhor que a configuração padrão. No entanto, de acordo com a norma, em ambos os casos a temperatura em final de campanha se encontra acima dos valores admissíveis.

3.3. Ganho real de produção

Foi feito um acompanhamento da quantidade de produção por corrida antes e depois das mudanças propostas, comparou-se as primeiras 85 corridas da panela de número 3, panela sem alterações, e da panela de número 2, panela com alteração, os resultados são apresentados no Gráfico 1.

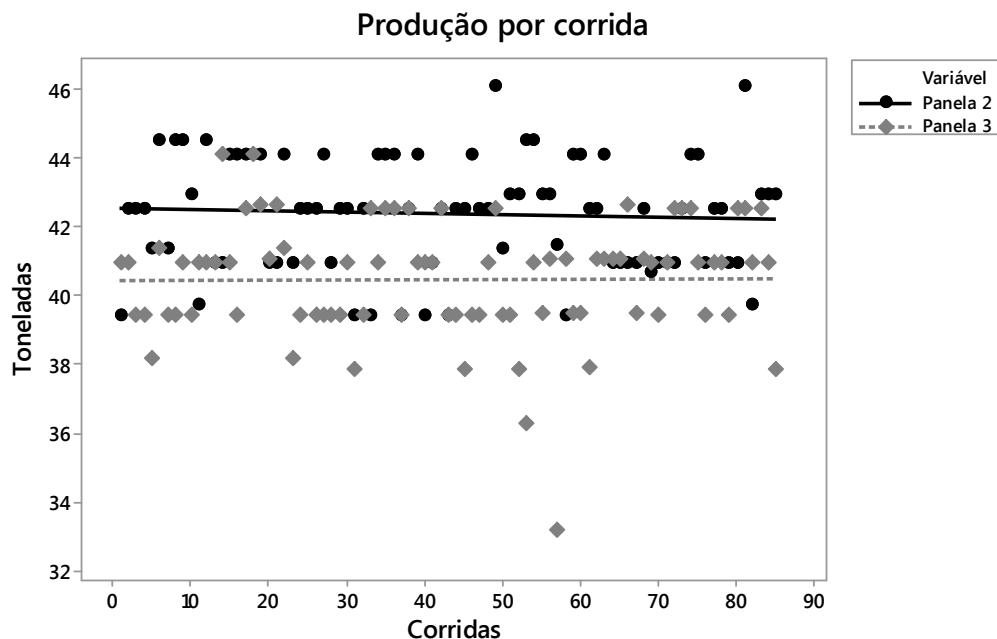


Gráfico 1: Comparação entre a quantidade de aço produzida da panela 2 e 3.

Em média, houve um ganho de 1,8 toneladas de aço por corrida. Um desvio padrão para as corridas da panela 3 de 1,6 toneladas e para a panela 2 de 1,7 toneladas. O ganho calculado numericamente com as alterações no formato da panela e dos refratários foi de $0,4m^3$, ou seja, 2,8 toneladas. Desse modo, percebe-se que houve uma diferença de uma tonelada de aço entre o que se esperava ganhar com as alterações e os ganhos reais, isto se deve principalmente as variações do processo operacional de vazamento de aço, quantidade de pé líquido e volume de escória no FEA.

3 CONCLUSÃO

- Depois da análise do layout da aciaria verificou-se que era possível aumentar em 100mm a borda da panela fazendo a retirada dos dois últimos anéis refrigerados do FP.
- As temperaturas de trabalho das panelas de aço da Sinobras S.A quando em final de campanha ultrapassam o limite admissível de 723,15K, como visto na simulação computacional.
- As temperaturas de trabalho com a nova configuração de refratários caem cerca 6K, em início de campanha, e 23K, no final da campanha, quando comparadas às temperaturas da panela antes da mudança do tamanho do tijolo refratário permanente e da adição do isolante. Ou seja, mesmo após a diminuição do tijolo refratário permanente a temperatura máxima da panela foi inferior à temperatura da panela com configuração padrão, devido a adição do isolante refratário, o que validou a mudança proposta para o aumento do volume nominal da panela.
- Com o aumento da borda da panela em 100mm e com a redução do tijolo refratário permanente de 83mm para 63mm houve um ganho analítico de 2,8 toneladas de aço na capacidade nominal da mesma. No entanto, os ganhos reais de produção

foram, em média, 1,7 toneladas de aço.

Agradecimentos

A Siderúrgica Norte Brasil e a Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

REFERÊNCIAS

- 1 André LVCS. Forno Elétrico a Arco. 2011. Disponível em: http://refratariosrc.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Capitulo_7_fea_rev_2_com_indice_280720134.pdf.
- 2 Elizeth Oliveira Alves. Estudo dos parâmetros de desgaste de refratários: comparativo de tijolos dolomíticos para linha de escória em panelas de aço de siderurgia. 2011:11-13.
- 3 Natasha G, Sanjay C. Temperature Prediction Model for Controlling Casting Superheat Temperature. ISIJ International, 2004. 1517-1526. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.44.1517%0D>.
- 4 ASSOCIATION OF IRON AND STEEL ENGINEERS. Specifications for design of hot metal ladles, AISE Standard No. 9. Fritz Laboratory, 1951.
- 5 Allison ABF, Vinicius SG, Neiclesio NI, Márcio CC, Gerson CR. Simulação Computacional da Carcaça Metálica Inferior do Forno Elétrico a Arco da Siderúrgica Sinobras S.A. 2017. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/event/48-seminario-de-aciaria-fundicao-e-metalurgia-de-nao-ferrosos/articles>.