

ANÁLISE TÉRMICA DO REFRATÁRIO ISOLANTE NA PANELA DE AÇO DA SINOBRA S.A

A. S. B. Ferreira, allisonsbf@unifesspa.edu.br¹

V. S. Gonçalves, vinisg@unifesspa.edu.br¹

M. C. Carvalho, correa@unifesspa.edu.br¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Folha 17, Qd 04, CEP 68505-080, Nova Marabá - Marabá, PA

Resumo: Devido as altas temperaturas de trabalho das panelas de aço da siderúrgica Sinobras S.A analisou-se, por meio de cálculos analíticos e simulações computacionais, o perfil de temperatura da mesma em duas condições: início de campanha, refratário de trabalho com 153mm, e final de campanha, refratário de trabalho com 40mm. Posto isto, analisou-se a aplicação de um isolante térmico de 8mm ao redor de toda a carcaça metálica da panela visando a diminuição das temperaturas de trabalho na parte externa da carcaça. Desse modo, simulou-se a eficiência térmica do refratário isolante verificando uma redução de aproximadamente 45°C da temperatura externa da panela em situação de início de campanha e cerca de 65°C em situação de final de campanha.

Palavras-chave: análise térmica, siderúrgica, perfil de temperatura, simulação computacional, isolante térmico.

1. INTRODUÇÃO

As panelas de aços possuem muitas funções entre o Forno Elétrico a Arco (FEA) e o Lingotamento Contínuo (L.C.), tais como transferir grandes quantidades de metal fundido de um processo para outro, tratamento e homogeneização do aço no refino secundário e vazamento do aço no L.C. As panelas de aço são revestidas por diferentes tipos de materiais refratários, com espessuras e propriedades distintas, visando proteger a carcaça metálica da panela das grandes temperaturas do aço líquido.

As altas temperaturas de trabalho das panelas de aciaria são alvos de análises térmicas constantes. Um acompanhamento dessas temperaturas é de suma importância para o controle do processo de produção de aço. Tal indicador permite tomada de decisões rápidas e necessárias para esquivar-se de prováveis paradas no processo devido perfurações ou deformações excessivas nas panelas. Deste modo, é imprescindível o controle da temperatura do aço líquido ao longo do processo de produção para se atingir os requisitos de qualidade e produtividade exigidos no mercado atualmente (Lopes, 2007).

Existem dois tipos principais de perdas térmicas do aço líquido para o meio: a perda para a escória devido a radiação e a perda para o refratário devido a condução. Segundo Omotani et al (1983), pelo menos 70% de toda energia perdida pelo aço é transferida para os refratários da panela e os demais 30% são perdidos através da camada de escória (Omatoni et al, 1983).

Desse modo, fica claro a importância das perdas térmicas pela transferência de calor para o refratário. No presente trabalho será avaliado a transferência de calor na panela de aço da Sinobras S.A focando nas perdas térmicas pelo refratário e será avaliado também a eficiência do isolante refratário de 8mm de espessura na parede metálica das panelas visando reduzir as altas temperaturas de trabalho das mesmas. Assim, analisou-se a influência do ciclo térmico do processo por meio de acompanhamento termográfico, cálculos analíticos e simulações computacionais via Método de Elementos Finitos.

2. METODOLOGIA

Para se analisar a transferência de calor em determinada peça duas técnicas podem ser consideradas. A primeira refere-se a modelos matemáticos analíticos baseados em equações diferenciais de calor, envolvendo soluções adaptadas e simplificadas. Isso leva a simplificações significativas nos modelos matemáticos devido, em geral, as peças serem de geometrias complexas (Els, 2014). A segunda técnica é a base de simulação computacional e utiliza a análise de Elementos Finitos. Quando são juntas, a peça com geometrias complexas pode ser avaliada (Azevedo, 2003). Tais técnicas de Elementos Finitos, Diferenças Finitas e Volumes Finitos são largamente empregados para problemas de transferência de calor (Gupta, 2004).

Assim, a análise do isolante térmico se baseou em cálculos analíticos e em simulações computacionais tridimensionais, buscando determinar o perfil de temperatura das painéis, durante o processo de produção de aço na siderúrgica Sinobras, seguindo as seguintes etapas:

- Levantamento do ciclo térmico de trabalho da panela;
- Determinação das propriedades dos refratários em função da temperatura;
- Determinação das propriedades do aço em função da temperatura;
- Cálculos analíticos do perfil de temperatura;
- Desenvolvimento da geometria tridimensional da panela;
- Cálculo via elementos finitos do perfil de temperatura;
- Comparação.

2.1. Análise analítica

Para os cálculos analíticos considerou-se as taxas de transferência de energia em forma de calor unidimensional e em regime estacionário, como Gupta (2004) indica. De acordo com Incropera (1990) a equação para se descrever a distribuição de temperaturas na panela de aço é:

Taxa de transferência de calor unidimensional por condução em paredes compostas (Eq. 1):

$$\dot{q}_{parede} = \frac{T_{fq} - T_{cm}}{\frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{2\pi L k_t} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_p} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_c}} \quad (1)$$

Onde T_{fq} corresponde à temperatura na face quente e T_{cm} à temperatura na chapa metálica, ambos em Celsius. r_i é o raio interno da panela, r_1 o raio até a face fria do tijolo de trabalho, r_2 o raio interno da carcaça metálica e r_3 o raio externo da carcaça metálica, todos em metros. k_t é a condutividade térmica do tijolo de trabalho – Dolmag100, k_p é a condutividade térmica do tijolo permanente – Alukor70 e k_c é a condutividade térmica da carcaça metálica, todos dados em $W/m^2.K$. L representa a espessura em metros.

Os resultados de distribuição de temperatura do revestimento refratário do interior da panela até a face externa da carcaça são posteriormente comparados com os resultados das simulações computacionais em regime permanente, a fim de validar o mesmo.

2.2. Análise numérica

Para a análise numérica via método dos elementos finitos é necessário primeiramente o desenvolvimento das geometrias tridimensional da panela. Desse modo, desenvolveu-se os modelos de elementos finitos que representam fielmente a geometria do projeto original da carcaça da panela (Figura 1) e dos refratários utilizados em duas situações, refratário de trabalho em início de campanha (152mm) e refratário de trabalho em final de campanha (40mm), ambos com e sem o isolante térmico.

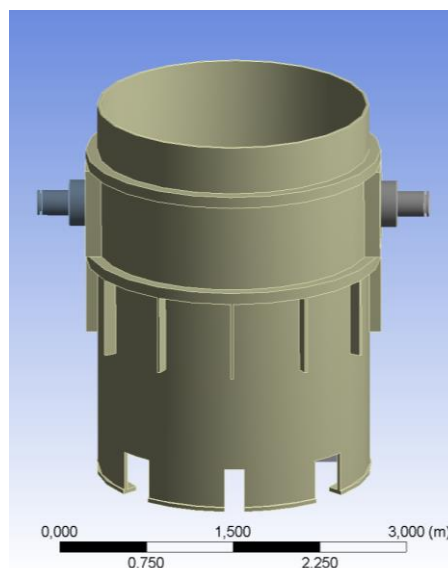


Figura 1: Geometria da carcaça metálica da panela de aço da Sinobras.

As condições de contorno utilizadas para a discretização da geometria e simulação dos modelos teóricos 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 ambiente;
- Temperatura ambiente constante e igual a 50°C;
- Temperatura do aço líquido igual a 1650 °C;
- Emissividade da carcaça de 0,85;
- Espessura do refratário de trabalho de 152 mm, início de campanha, e 40 mm, final de campanha;
- O coeficiente de condutividade térmica do refratário de trabalho é igual a 1,98 W/m.K, do refratário permanente igual a 1,29 W/m.K e do isolante igual a 0,185 W/m.K.

Durante a simulação, o primeiro elemento na superfície interna recebe calor por condução simulando a troca térmica entre o aço líquido e o refratário. Todos os outros elementos na parede, superfície da carcaça metálica, trocam calor com o meio ambiente usando o coeficiente de convecção, h. Depois de calcular a distribuição de temperatura para todo o domínio, o mesmo procedimento é aplicado ao próximo elemento. Esse procedimento continua seguindo até seu estado permanente. No final, a distribuição final da temperatura é obtida.

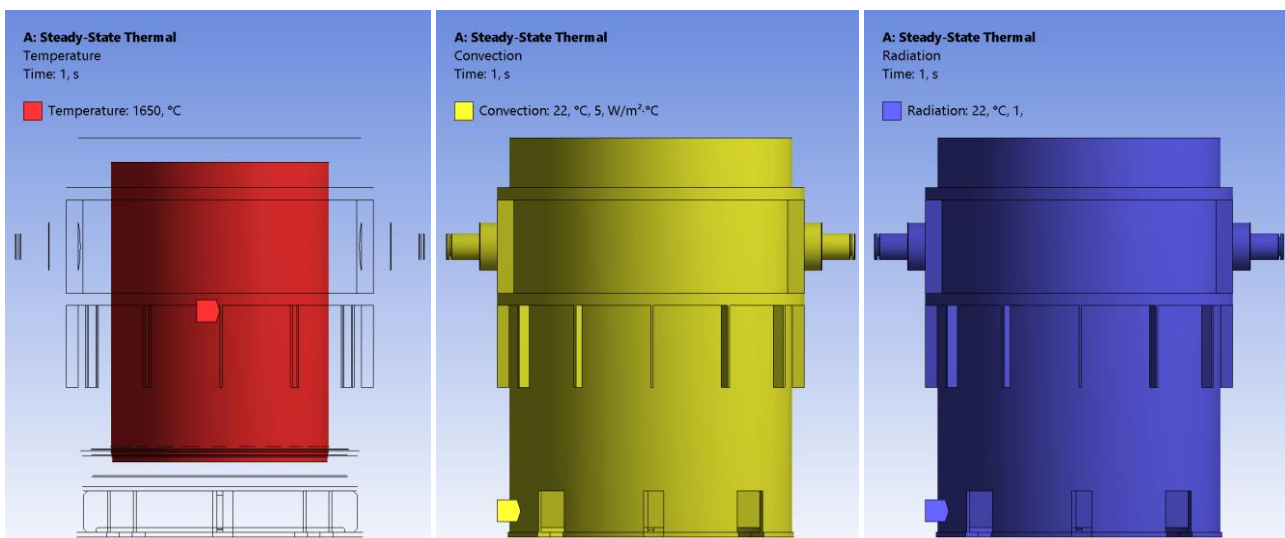


Figura 2: Condições de contorno para análise de perfil térmico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise analítica unidimensional da panela foram obtidos os perfis de temperaturas no início e no final da campanha, com e sem o refratário isolante. Apresentados nas Figuras 1 e 2.

Para a situação sem refratário isolante, as temperaturas, de um modo geral, ficaram entre 359°C e 428°C. De acordo com a norma AISE Technical Report N° 9 para painéis de transporte de metal líquido com características semelhantes as da Sinobras S.A, capacidade nominal de 40 toneladas de aço e espessura da parede metálica de uma polegada, a temperatura limite de trabalho é de 400°C [8]. Portanto, a temperatura em final de campanha se encontra acima dos valores admissíveis.

Para a situação com o refratário isolante, as temperaturas na carcaça metálica externa da panela se encontram abaixo do valor recomendado, 313°C em início de campanha e 363°C no final da campanha.

Por meio das análises dos modelos tridimensionais por simulação computacional foram obtidos os perfis de temperaturas no início e no final da campanha, com e sem o refratário isolante. Apresentados nas Figuras 3 e 4.

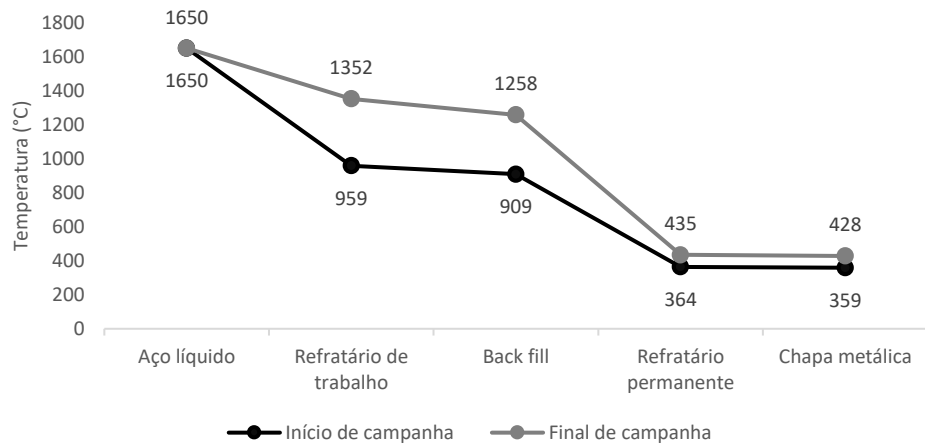


Figura 3: Perfil térmico da panela sem o refratário isolante, início e final de campanha.

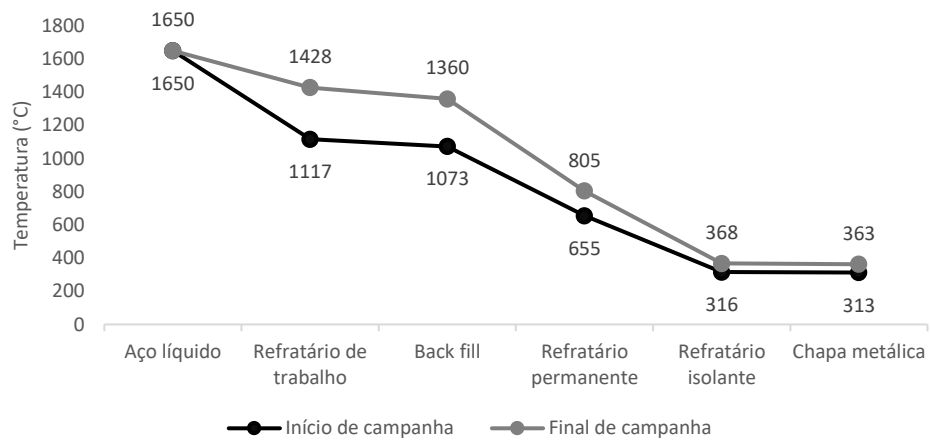


Figura 4: Perfil térmico da panela com o refratário isolante, início e final de campanha.

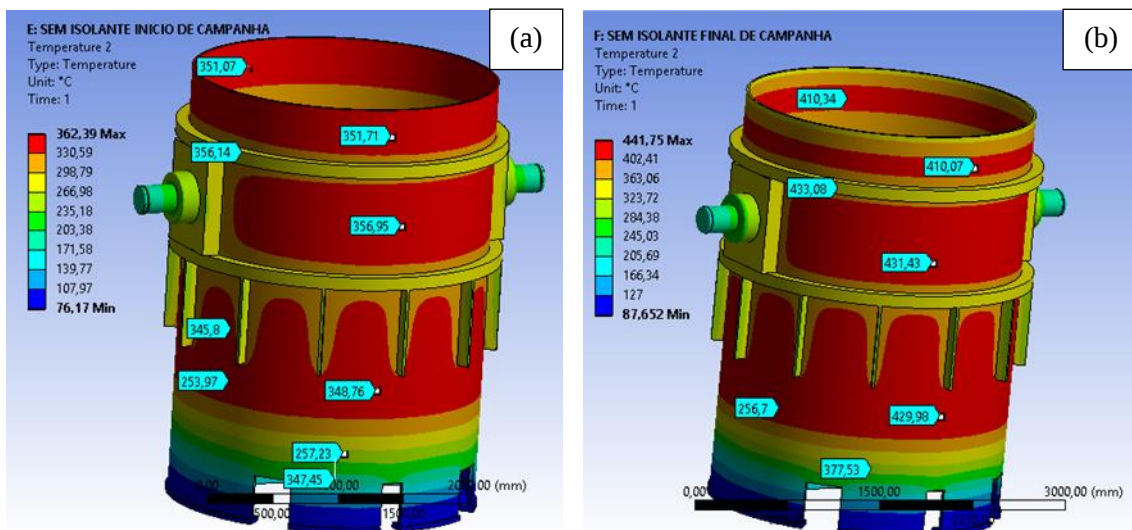


Figura 5: Perfil térmico da panela sem o refratário isolante, (a) início e (b) final de campanha.

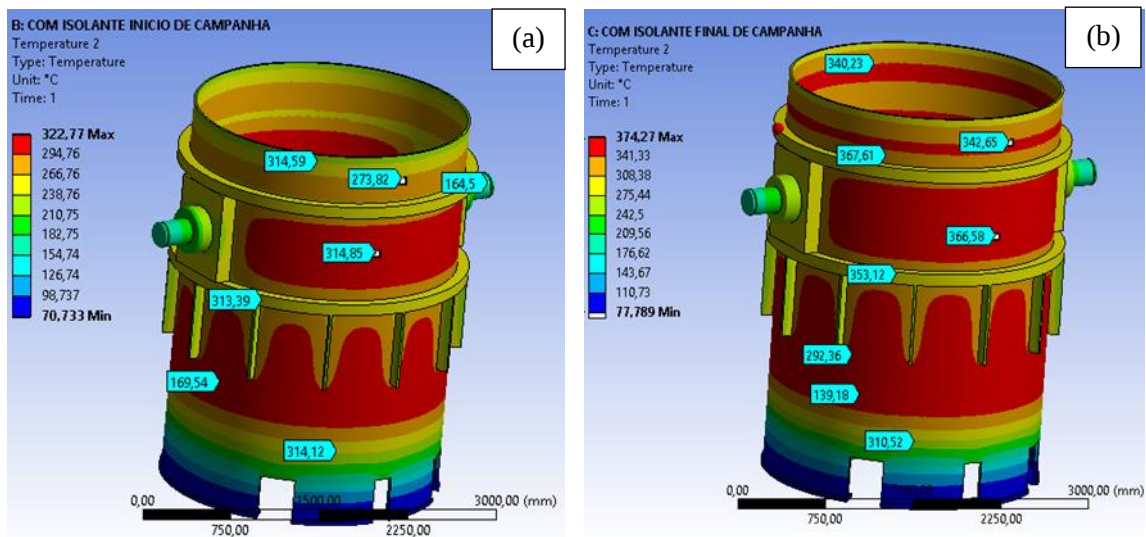


Figura 4: Perfil térmico da panela com o refratário isolante, (a) início e (b) final de campanha.

4. CONCLUSÕES

- As temperaturas de trabalho das panelas de aço da Sinobras S.A quando em final de campanha ultrapassam o limite admissível de 400°C, como visto nas análises analítica e computacional.
- Os valores de temperaturas analisados analiticamente e por simulação computacional são bastantes próximos, o que valida a simulação.
- As temperaturas de trabalho após a aplicação do refratário isolante caem cerca 45°C em início de campanha e 65°C no final da campanha. Tal análise prova a eficiência térmica do isolante, permitindo que a aplicação do mesmo seja realizada.
- Houve uma diminuição significativa no volume nominal da panela devido o acréscimo do refratário isolante, cerca de 0,7t de aço líquido.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Sinobras S. A

6. REFERÊNCIAS

- LOPES, H. L. P. Modelo para Previsão da Condição Térmica de Painéis de Aciaria. Minas Gerais: UFMG, 2007.
- OMOTANI, M. A., et al. Ladle Temperature Control During Continuous Casting. Iron & Steelmaker, p.25-35, 1983.
- ELS, P. P. D. Desenvolvimento de um Código Computacional Para Solução da Equação de Transferência de Calor Tridimensional Utilizando o Método de Volumes de Controle Baseado em Elementos. Brasília: Universidade de Brasília, 2014.
- AZEVEDO, Álvaro F.M. Método dos elementos finitos. Cidade do Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- GUPTA, N.; CHANDRA, S. -Temperature Prediction Model for Controlling Casting Superheat Temperature. ISIJ International, 2004. 1517-1526 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.44.1517%0D>.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 3a edição. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., R. J, 1990.
- ASSOCIATION OF IRON AND STEEL ENGINEERS. Specifications for design of hot metal ladles, AISE Standard No. 9. Fritz Laboratory, 1951.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores A. S. B. Ferreira, V. S. Gonçalves e M. C. Carvalho são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

THERMAL ANALYSIS OF THE INSULATING REFRACTORY IN THE STEEL LADLE OF SINOBRAS S.A

A. S. B. Ferreira, allisonsbf@unifesspa.edu.br¹

V. S. Gonçalves, vinisg@unifesspa.edu.br¹

M. C. Carvalho, correa@unifesspa.edu.br¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Folha 17, Qd 04, CEP 68505-080, Nova Marabá - Marabá, PA

Abstract. Due to the high working temperatures of the steel ladle of Sinobras SA was analyzed by analytical calculations and computational simulations the temperature profile of the steel ladle under two conditions: start of the campaign, refractory of work with 153mm, and end of campaign, refractory work with 40mm. Thus, the application of an 8mm thermal insulation around the entire metal housing of the ladle was analyzed in order to reduce the working temperatures on the outside of the metal housing. In this way, the thermal efficiency of the insulating refractory was simulated and it was verified a reduction of approximately 45°C of the external temperature at the start of the campaign and around 65°C at the end of the campaign.

Keywords: thermal analysis, steelworks, temperature profile, computer simulation, thermal insulation.