

MELHORIA DE PERFORMANCE DO REVESTIMENTO REFRATÁRIO DAS PANEAS DOS FORNOS ELÉTRICOS A ARCO DA APERAM TIMOTEO *

Bruno Cordeiro Costa
Carlos Alberto Mourão
Hélio Braz Loss
Lúcio Vitorio Pereira
Pedro Montsserrat Lopes
Evandro Geraldo Marques
Janeir Ribeiro Dutra

Resumo

A Aciaria Elétrica da Aperam Timóteo iniciou em 2014 um trabalho para melhorar o desempenho do revestimento refratário das panelas, em função da necessidade do aumento de produtividade dos fornos elétricos a arco (FEAs), que era impactado pela disponibilidade de panelas. Foram elaboradas análises e acompanhamentos que permitiram o mapeamento das principais causas da baixa performance das panelas. Dentre vários fatores analisados, pode-se destacar: geometria da parte mecânica das panelas, alterações de processo dos FEAs, projeto refratário, materiais refratários aplicados na montagem, método de montagem, metodologia de aquecimento de panelas e práticas operacionais. Foram realizados também, estudos com suporte do fornecedor, para identificar mecanismos de desgaste por técnica de análise micro estrutural ceramográfica. A partir das análises, foram implementadas ações que obtiveram resultado efetivo na vida média das panelas. A vida média do revestimento refratários das panelas obteve, entre o período de 2014 e 2018, uma melhora de performance de 55%. O aumento de disponibilidade de panelas contribuiu para a redução de tempo de espera de panelas, atingindo o objetivo do projeto.

Palavras-chave: FORNOS ELÉTRICOS; REFRATÁRIO; PANELA; PERFORMANCE.

IMPROVEMENT OF STEEL LADLES REFRACTORIES PERFORMANCE OF APERAM TIMÓTEO MELT SHOP

Abstract

The Aperam Timóteo Melt shop started in 2014 a project to improve the refractories ladles performance, due to the need to increase Electric Arc Furnaces (EAFs) productivity that were impacted by the ladles availability. Analyzes and follow-ups were carried out to identify the main causes of the ladles lining low performance. Among the several factors considered, we can highlight: ladles geometry - mechanical structure, EAFs process changes, the refractory design, the refractory materials applied, the relining method, the ladles heating methodology and the operational procedures. Also were done a study by the supplier, in order to identify the wearing mechanisms using micro structural technics like ceramography.. According to the analysis, actions were implemented that obtained the effective result in the average life of the ladles lining. The average life of the refractories gained with the project, between the period of 2014 and 2018, was an improve of 55%. The increase of ladles availability, allowed the reduction of waiting time of ladles by the EAFs, achieving the project objective..

Keywords: ELECTRIC ARC FURNACE; REFRACTORY; LADLE; PERFORMANCE.

- ¹ *Engenheiro de Produção, Pós Graduado em Metalurgia, Engenheiro de Processo, Gerência de Operação dos Fornos Elétricos a Arco, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ² *Técnico de Metalurgia, Bacharel, Analista técnico, Controle de processo de aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ³ *Engenheiro mecânico, Mestre em engenharia metalúrgica, Gerente, Controle de processo da aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ⁴ *Técnico de Metalurgia, Analista técnico, Gerência de Refratários, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro metalurgista, Gerente de Operação, Gerência de Operação dos Fornos Elétricos a Arco, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico, Gerência Executiva da Aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- ⁷ *Engenheiro de Materiais, Engenheiro de Produto, Gerência de Metalurgia, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Inseridas em um mercado extremamente competitivo, as empresas siderúrgicas vêm buscando aprimorar seus processos produtivos e de gestão de forma a reduzir custos de produção e garantir sua competitividade. Considerando os principais custos de transformação da Aciaria da Aperam – Timóteo, podemos observar no Gráfico 1 abaixo, que a participação de refratários é significativa.

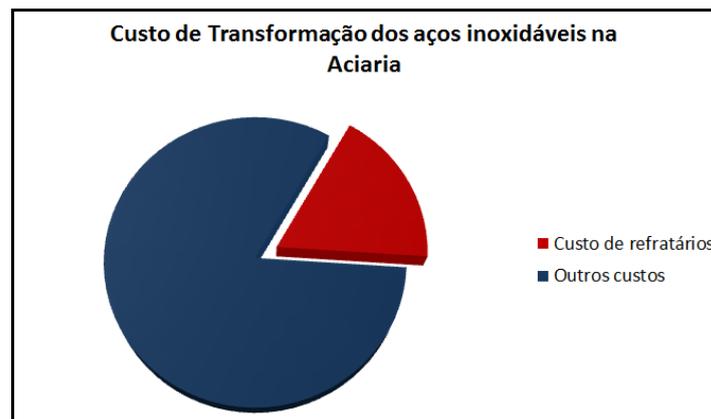


Gráfico 1 – Composição do custo de transformação dos aços inoxidáveis na Aciaria

Conforme Leite, Luz e Pandolfelli [1], ao longo dos últimos anos, a indústria de refratários vem se ajustando à nova realidade do setor siderúrgico visando principalmente desenvolver novos materiais que atendam as exigências inerentes à produção e refino de aço, além da redução de custos, racionalização de recursos e obtenção de produtos de elevada qualidade. Para o aumento de competitividade dos produtos da Aperam, torna-se imprescindível recorrer às novas tecnologias de refratários para melhora do desempenho e redução de custo.

A Aperam - Timóteo é uma unidade de produção de aços especiais que possui uma Aciaria que pode processar simultaneamente aços inoxidáveis, elétricos e carbono especiais. Há dois convertedores na Aciaria, o MRP (*Metal Refining Process* – Processo de refino de metal) e o AOD-L (*Argon Oxygen Decarburization* – Descarburização com argônio e oxigênio), que são carregados com ferro gusa, aço pré-elaborado provenientes dos FEAs, sucata e ferro ligas. Há duas fontes de pré-metal na planta de Timóteo, os dois Altos Fornos e os dois Fornos Elétricos a Arco. Para atender a produção de aços inoxidáveis, os FEAs são estratégicos, por utilizarem como matéria-prima sucatas ligadas com elementos químicos nobres (como Cr, Ni, Mo) para a elaboração desta linha de produtos. Nesse contexto, a

produtividade dos fornos elétricos se torna fator crítico para a produtividade dos aços inox na Aciaria. Como se pode observar na figura 1, o fluxo de produção de aços inox austeníticos, tem como uma das principais rotas: FEAs, AOD, FP ou TS, Lingotamento Contínuo. Destaca-se a rota dos austeníticos por se tratar dos aços com maior demanda de produção para os fornos elétricos.

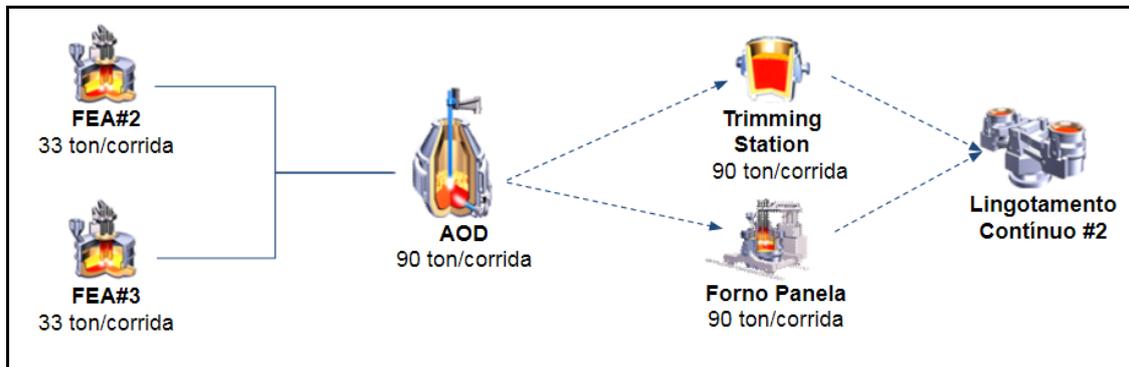


Figura 1 – Fluxo de produção dos aços inoxidáveis austeníticos na Aciaria

Os fornos elétricos a arco da Aperam - Timóteo são equipamentos dedicados predominantemente a produção dos aços inoxidáveis. São produzidos aços inoxidáveis austeníticos, ferríticos, martensíticos e duplex. O metal fundido vazado pelos fornos elétricos é o aço pré-elaborado com composição química adequada para o posterior refino primário nos convertedores. Conforme tabela 1, pode-se observar que trata-se de fornos elétricos de baixa capacidade se comparado com fornos utilizados para produção de aços carbono.

Tabela 1 – Características dos fornos elétricos a arco

| Forno | FEA2 | FEA3 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Start-up / Revamp | 2002 | 1959/2002 |
| Fabricante | Danielli | Demag |
| Peso Corrida | 33 t/aço líquido | 33 t/aço líquido |
| Transformadores | 30/33 MVA | 20/24 MVA |
| Eletrodos: Diâmetro | 16" | 16" |
| Refratário: Abóbada | Painel Refrigerado | Painel Refrigerado |
| Parede Superior | Painel Refrigerado | Painel Refrigerado |
| Parede Inferior/Fundo | Tijolo MgO Mix | Tijolo MgO Mix |

Há dois modelos de painelas utilizadas na operação dos fornos elétricos com capacidades e projetos diferentes, de 35 e 40 toneladas. As painelas são de refratários MgO-C. A aplicação deste material é comum para a aplicação em painelas para transporte de metal líquido e para etapas de refino. Os refratários MgO-C tem-

se destacado devido às excelentes propriedades de resistência à corrosão, choque térmico, durabilidade e flexibilidade frente às atuais solicitações operacionais [1].

A tabela 2, segundo Borges [2], indica os refratários de MgO-C como os principais sistemas para aplicação em refratários em painéis de aço. Dentro desta mesma linha, para o projeto de melhora de performance do revestimento das painéis da Aciaria Elétrica, foi mantido o tipo de refratário, porém aplicado material com tecnologia superior às aplicadas anteriormente (antes do projeto).

Tabela 2 – Principais sistemas óxidos + carbono utilizados em siderurgia

| Sistema | Equipamento |
|---|---|
| MgO-C | Painéis de aço para transporte e refino (linha de metal e/ou escória) Convertedores a oxigênio (LD/BOF) Forno Elétrico a Arco (FEA) |
| MgO-CaO-C | Painéis de aço de aciarias elétricas (aços acalmados ao silício) |
| MgO-Al ₂ O ₃ -C | Painéis de aço (linha de metal e região de impacto), placas de mecanismo de válvula gaveta, painéis de transporte de gusa |
| Al ₂ O ₃ -C | Válvulas longas e submersas, carros torpedos impregnados |
| Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ -C | Placas de mecanismos de válvulas gavetas |
| Al ₂ O ₃ -SiC-C | Carros torpedos, painéis de gusa com dessulfuração na panela |
| Al ₂ O ₃ -MgO-SiC-C | |

BOF - Forno básico a oxigênio; LD – Linz Donawitz; FEA – Forno elétrico a arco.

O projeto para aumento da vida média de painéis da Aciaria Elétrica foi iniciado em 2013. O objetivo era aumentar a disponibilidade de painéis, para vazamento do metal fundido, para evitar impacto na produtividade dos fornos elétricos. Várias linhas de trabalho foram conduzidas abordando desde as práticas operacionais, passando pela revisão de projetos mecânico e refratário, até métodos de aquecimento, reparo e inspeção de painéis. Este trabalho irá detalhar as medidas tomadas que levaram ao aumento significativo da vida refratária do revestimento das painéis.

2 DESENVOLVIMENTO

Com o objetivo de aumentar a produtividade dos FEAs, foram elaboradas análises para identificar as principais causas que permitiriam a liberação de capacidade de produção. Foi levantado o fator relacionado às painéis utilizadas para o vazamento do pré-metal processados nos FEAs. Foi identificado que a disponibilidade de painéis, afetava diretamente a produtividade dos FEAs devido à baixa performance do revestimento refratário.

Foram elaboradas análises e acompanhamentos que permitiram o mapeamento das principais causas da baixa performance das painéis. Comumente, observa-se na literatura e em plantas siderúrgicas que o desgaste de painéis ocorre primeiramente na linha de escória. Porém, na planta da Aciaria Elétrica de Timóteo foi identificado que os desgastes ocorreram tanto na região das paredes laterais (na altura da linha de aço e de escória) quanto na região do fundo das painéis. O perfil de desgaste já inicialmente descartou um fator isolado como características físico-químicas da escória. Porém foi necessária uma abordagem mais abrangente no que tange todo o processo relacionado à disponibilização das painéis para os FEAs. A análise contemplou o projeto mecânico, projeto refratário, metodologia de montagem, materiais aplicados, práticas operacionais, processo dos FEAs, método de aquecimento de painéis e análise micro estrutural de refratários oriundos de painéis com baixa performance.

Dentro as várias ações realizadas, destaca-se a alteração do projeto mecânico, treinamento das equipes operacionais, alteração no método de montagem de revestimento e aquecimento das painéis, alteração no projeto refratário (e dos materiais aplicados). Metodologia de gestão da rotina, relativa aos cuidados com refratário de painéis, foi fortemente difundida entre as equipes operacionais com a atuação da liderança na manutenção da cultura de monitoramento, conservação e cuidados com o revestimento das painéis. Além das medidas perenes implantadas, relacionadas às alterações de métodos, processo e materiais, foi um fator chave para o sucesso do projeto a transferência de conhecimento para as equipes, realizada através de capacitação focada na interface dos processos com preservação refratária das painéis.

Para detalhar a evolução do projeto, será apresentado na sequência cronológica as abordagens e desenvolvimentos realizados para atingir o objetivo.

1ª Etapa do Projeto

No levantamento das principais causas, observadas no início do projeto, foi identificado os seguintes pontos:

- Painéis refratários nas regiões das paredes laterais com queda abrupta evidenciado na figura 4;

- Fendas entre os tijolos refratários na região das paredes laterais, evidenciado na figura 5;
- Ocorrências de trincas transversais nos tijolos refratários



Figuras 4 e 5 – (à esquerda) Parede refratária da panela – Destaque para região sem painel de refratários e (à direita) fenda entre os tijolos refratários

Diante das principais causas levantadas, foram realizadas análises para identificar as ações necessárias para eliminação ou minimização das ocorrências.

Para tratar os eventos de queda de painéis refratários, foi realizada a análise e o acompanhamento do processo de montagem do revestimento e identificado que havia anormalidade na geometria das painéis (parte mecânica do vaso). Posteriormente foi feita inspeção dimensional em todas as painéis para verificar a intensidade da deformação da carcaça das painéis. Constatado, conforme figura 6, que havia deformação crítica e que esta deformação estava provocando a queda de painéis, por não permitir a montagem adequada dos tijolos refratários. De acordo com a condição identificada, foi estabelecida a aquisição de novas painéis para eliminar a causa da queda de painéis.

A fenda entre os tijolos e as trincas, foi analisada com foco no processo de aquecimento das painéis novas e em fluxo. Foi verificado se havia a ocorrência da descarbonetação do refratário das painéis. Após análise, foi confirmado que a composição da chama de aquecimento de painéis, utilizada nos aquecedores horizontais, estava provocando a retirada do carbono da matriz do material refratário e fragilizando o revestimento. Para eliminar a causa da descarbonetação, foi

estabelecido o padrão adequado de relação entre gases (GN + O₂) para evitar chama excessivamente oxidante.



Figuras 6 e 7 – (à esquerda) Montagem do revestimento refratário em panela com carcaça com deformação acentuada e (à direita) detalhe do tijolo refratário com evidência de descarbonetação

Outra medida adotada, com foco na preservação do revestimento de trabalho, foi a adoção de reparos preventivos do revestimento das painelas com uso de projeção. Anteriormente reparos eram realizados a partir da necessidade observada em inspeção, mas com o projeto foi padronizado o reparo a cada 10 corridas a partir de 80 corridas do revestimento.

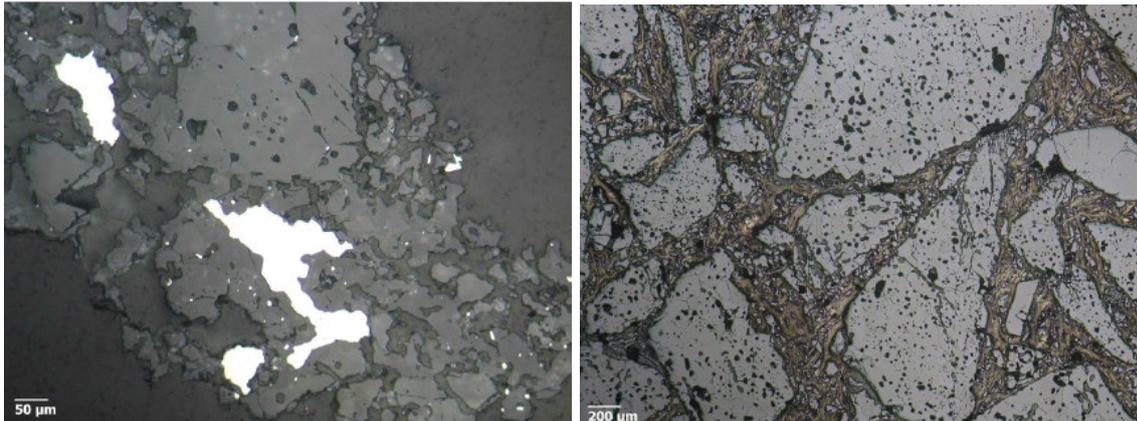
2ª Etapa do Projeto

Após a aquisição de novas painelas e ajuste da mistura de gases de aquecimento, foram identificados novos mecanismos com impacto na vida média. Na segunda etapa do projeto, foram identificadas outras causas que estavam impactando no resultado da vida de painelas. As principais estão enumeradas abaixo:

- Desgaste localizado em região específica na parede lateral (região do contato principal do metal fundido com refratário no momento de vazamento);
- Desgaste acentuado no fundo provocando fim de vida do revestimento;
- Queda de tijolos na região superior do revestimento (ultimas fiadas entre a borda e a linha de escória das painelas);

Para solucionar o desgaste localizado da parede lateral foi realizada análise ceramográfica para compreensão do mecanismo. Como indicam as figuras 8 e 9, está evidenciado sobreaquecimento dos refratários na região do contato do metal fundido com a panela no momento do vazamento. As medidas tomadas para esta causa foram:

- Revisão do modelo de fusão dos fornos elétricos para aumentar assertividade da temperatura de vazamento;
- Treinamento técnico das equipes operacionais, detalhando as características dos materiais refratários utilizados e os cuidados necessários;
- Estabelecimento do check list de condição do refratário de panela antes de posicioná-la para vazamento (inspeção operacional);



Figuras 8 e 9 – (à esquerda) face quente com indicação de grãos coalescidos e aço na matriz e (à direita) face fria com estrutura sem indicação de sobreaquecimento

Em relação a causa de desgaste do fundo da panela foi realizada alteração na montagem do fundo alterando o tipo de fixação dos tijolos, conforme figura 10. E após algumas painéis de teste, foi padronizada a montagem dos tijolos no fundo na posição com maior aresta, ou seja, foi aumentada a camada de refratários de trabalho no fundo da panela. A alteração da camada do fundo está destacada na figura 11.

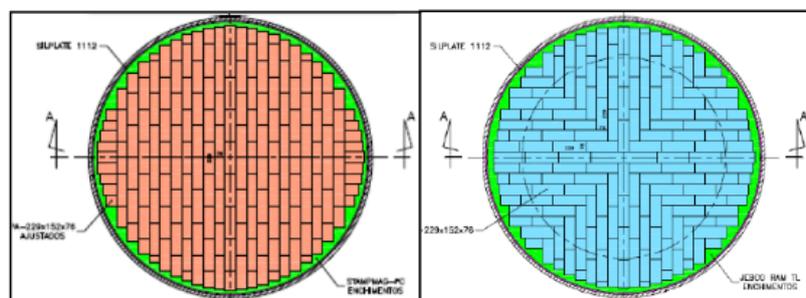


Figura 10 – Desenhos da montagem do fundo da panela, sendo à esquerda a montagem em paralelo e à direita a montagem em “gravata”

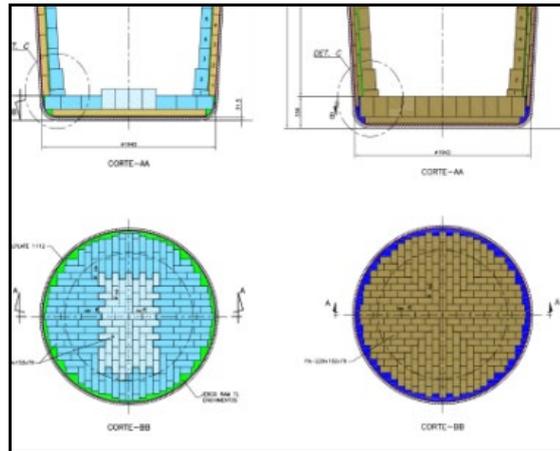


Figura 11 – Desenho de montagem do fundo evidenciando a alteração da posição dos tijolos que provocou aumento da espessura em toda a área

Após acompanhamento e análise das placas com queda de tijolos nas camadas superiores, próximas a borda da placa, foram identificados os mecanismos: i) borda da placa estava curta e com espessura da chapa de forma que ocorria desgaste em curto período de utilização, permitindo queda dos tijolos superiores, ii) expansão volumétrica dos tijolos estava criando tensão alta nas camadas superiores, provocando trincas e degradação dos mesmos e iii) prática operacional de limpeza da placa com dispositivo içado por ponte rolante estava degradando tijolos e borda da placa. Para minimizar as ocorrências de queda dos tijolos superiores, foram estabelecidas as seguintes ações:

- Alteração do comprimento e espessura das chapas da borda das placas;
- Substituição do material utilizado no fechamento da montagem refratárias entre as camadas superiores e a borda, por material com maior plasticidade;
- Mudança na prática de limpeza de borda passando a utilizar martelo hidráulico;

Resultados

Com a implantação das ações discutidas anteriormente, houve evolução significativa da vida média do revestimento refratário das placas. O gráfico 2 evidencia a melhora de performance de aproximadamente 55%, entre o período de 2013 a 2018.

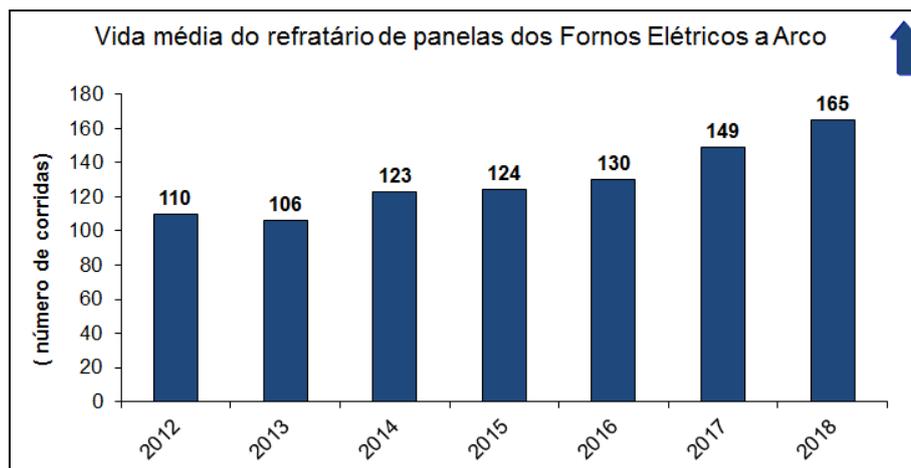


Gráfico 2 – Evolução histórica da vida média de painéis

O objetivo do projeto era reduzir o impacto da disponibilidade de painéis no processo dos FEAs. E no Gráfico 3, podemos observar a evolução do resultado. Houve redução de 66% do tempo de parada dos fornos por espera de painel, no período de 2013 a 2018.

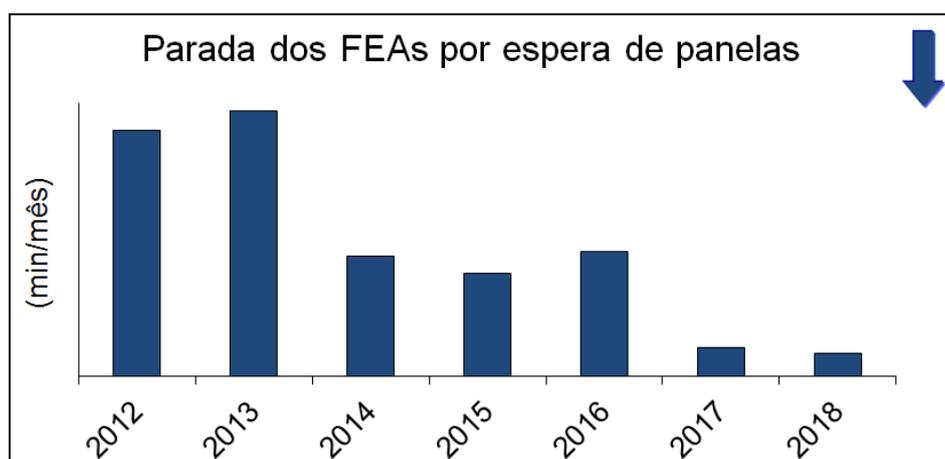


Gráfico 3 – Consumo de refratários em Kg/ton de aço vazado nos FEAs

3 CONCLUSÃO

As análises realizadas, através de acompanhamentos em campo, estudos técnicos e assistência técnica do fornecedor, permitiu uma melhor compreensão dos mecanismos que provocavam a baixa performance do revestimento refratário das painéis. A partir do entendimento das principais causas, foi possível obter resultado expressivo da melhora de performance aplicando medidas perenes e padronizando práticas operacionais. Outro fator de sucesso foi a substituição das painéis para garantir a geometria da estrutura mecânica das mesmas. A

capacitação das equipes operacionais com treinamentos técnicos aplicados à rotina permitiu uma melhor compreensão dos fenômenos de desgaste e atuação mais efetiva na rotina para garantir a aplicação dos métodos definidos para conservação do revestimento das painéis.

E o principal objetivo do projeto foi atingido, reduzindo significativamente o impacto da disponibilidade de painéis na produtividade dos fornos elétricos.

REFERÊNCIAS

- 1 Leite, F. C. ; Luz, A. P.;Pandolfelli, V. C.; **Características e mecanismos de desgaste dos refratários MgO-C usados na linha de escória de painéis de aço; Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v60n355/06.pdf>. Acesso em: 20:00, 30/06/2018.**
- 2 Borges, Ronaldo Adriano A., **Análise multivariada dos principais fatores que afetam o desgaste (vida) do revestimento refratários das painéis de transporte de aço na Aciaria da Usina de Cubatão – USIMINAS** ; Dissertação de Mestrado; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2016.
- 3 Bragança, S. R.; Zimmer, L. A; Bergmann, C. P.; **Avaliação do desgaste de refratários utilizados em painéis de refino de aço**; Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica; 2004.
- 4 Bastos, Sália Cristina L. P.; Santos, Fábio D.; Caldeira, João Augusto D.; **Análise da Evolução do Desempenho de Refratários MgO-C para linha de escória de painéis de aço na USIMINAS Ipatinga**; Revista: Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, Volume 9, nº 4, out-dez. 2012.
- 5 Borges, M.; Florêncio, I.; **Alcançando estabilidade operacional em PA35t**; Relatório Técnico – Magnesita; Outubro, 2015.