

AUMENTO DO CICLO DE VIDA DE PANEAS DE PROCESSAMENTO DE REFINO DA LIGA FeNi

ROCHA, B.K.¹, CRUZ, F.L.², FRASSI, E.F.³, AQUINO, R. M.⁴, DAMASCENO, R. M.⁵

¹ Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) Departamento de Engenharia de Minas. email: brena.nrocha@gmail.com

² VALE S.A. Unidade Onça Puma: Gerência de Operação Metalúrgica. flavio.cruz@vale.com

³ VALE S.A. Unidade Onça Puma: Gerência de Operação Metalúrgica.
eliomar.frassi@vale.com

⁴ VALE S.A. Unidade Onça Puma: Gerência de Operação Metalúrgica.
ricardo.aquino@vale.com

⁵ VALE S.A. Unidade Onça Puma: Gerência de Operação Metalúrgica.
roberto.damasceno@vale.com

RESUMO

O refino da liga FeNi consiste no ajuste da composição química de acordo com a especificação do produto final. Sendo a panela refratária o principal equipamento nesta linha operacional para o processamento, este tipo de equipamento apresenta diferentes tipos de mecanismos de desgaste nas diferentes regiões da panela. Esse sintoma implica na redução da disponibilidade de panelas para a operação, necessidade de reparos no revestimento com o conseqüente aumento do custo de produção e nas condições de segurança operacional. Objetivando a diminuição do desgaste do refratário das panelas de refino, a equipe da Unidade Operacional Puma realizou um trabalho de melhoria contínua que otimizou em 315% o ciclo de vida útil das panelas. Nesse contexto, este trabalho apresenta os levantamentos e ações realizadas para aumentar o ciclo de utilização das panelas, apresentando os principais fatores que interferem no processo de desgaste do refratário ligados às variáveis operacionais, para a otimização da campanha das panelas e redução de custos do processo de refino da liga FeNi.

PALAVRAS-CHAVE: Refino; Panelas; Ciclo de vida; Desgaste.

ABSTRACT

The FeNi alloy refining is consisted of the chemical composition adjustment according to the final product specification. The refractory ladle is the main equipment used during the alloy processing and it presents various wearing mechanisms over different regions inside it. The ladle wearing leads to the reduction of equipment's availability, increased necessity for lining repairs and consequently increased production costs and operational risks. In order to reduce the ladle refractory lining wearing at the refinery, the team from "Unidade Operacional Onça Puma" implemented a continuous improvement project that improved in 315% the ladles' lifecycle. This paper presents the surveys and actions performed to increase the ladles' lifecycle, showing the main factors that interfere in the refractory wearing process related to the operational variable to optimize the lifecycle and reduce the FeNi refining costs.

KEYWORDS: Refining; Ladles; Lifecycle. Wearing.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Skretting (1978), o objetivo do refino é adequar o metal às especificações exigidas pelo cliente, como redução de componentes indesejáveis e impurezas, como enxofre e fósforo contidos no ferroníquel cru. O processo ocorre dentro de panelas refratárias, segundo Borges (2016), as panelas estão submetidas a condições operacionais severas, portanto, existe a necessidade que sua carcaça esteja protegida por revestimento resistente às reações químicas que ocorrerão, e resistente às elevadas temperaturas de processamento. Para Cotta (2014), aplica-se material refratário entre a superfície metálica (carcaça do equipamento) e o meio corrosivo (metal líquido e escória), devido suas propriedades de resistência.

A primeira etapa do processo de refino é a adição de cal e sopro de oxigênio para a formação de escória. Segundo Costa e Silva (1998), as escórias são formadas nos processos metalúrgicos com dois objetivos principais: reter os óxidos ou outros compostos indesejáveis presentes no minério sujeitos ao refino, e reter compostos formados a partir das impurezas que se deseja remover dos metais sendo refinados. Para Leite (2013), considerando o processo de refino, a escória tem atuação fundamental na remoção de inclusões e garantia de qualidade do produto final, entretanto, também é o principal agente corrosivo do refratário durante o ciclo produtivo da liga FeNi.

Para Leite (2014), a região superior da panela onde prevalece o contato entre a escória e o refratário (denominada linha de escória) é a mais sujeita ao processo de corrosão e desgaste. Este fato tem implicações significativas na redução da disponibilidade de panelas na produção, necessidade de reparos intermediários no revestimento, além de aumentar os custos produtivos e reduzir a segurança operacional. Trommer (2008) completa que embora o desgaste de tijolo refratário seja inerente ao processo de produção, a indústria metalúrgica se interessa na maior vida útil dos revestimentos dos equipamentos como secadores, fornos rotativos, fornos de redução, e panelas de refino, para a minimização de custos.

Como o consumo de refratário representa volume significativo no custo de produção de ferroníquel por ser fator limitante no ciclo de uma panela de refino, é necessária sua correta seleção e aplicação como forma de garantir maior vida útil dos mesmos em operação, reduzindo seus custos associados. Este estudo visa o entendimento dos fatores que influenciaram no desgaste do refratário, para a otimização da campanha das panelas e redução de custos do processo de refino da liga FeNi.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Métodos

Segundo Bernadino (2014), metodologias são sequências lógicas para se atingir um objetivo pré-determinado, ou seja, são os passos que devem ser seguidos para se alcançar um determinado efeito. Neste estudo foram avaliadas as causas da baixa campanha dos tijolos refratários através da ferramenta de melhoria contínua PDCA (*plan, do, check, action*). Mariani (2005) aborda que o PDCA é utilizado pelas organizações para gerenciar os seus processos internos de forma a garantir alcance das metas estabelecidas. Para tanto, faz-se necessário a utilização de técnicas

denominadas ferramentas de qualidade, para processar, coletar e dispor de maneira clara as informações disponíveis.

Para contribuir com as informações necessárias à implantação prática do PDCA foram utilizadas as ferramentas de qualidade do gerenciamento de processos: Brainstorming, matriz de esforço e impacto, diagrama de Ishikawa, e método dos porquês.

De acordo com Sebrae (2005), brainstorming é uma técnica de ideais em grupo que envolve contribuição espontânea de todos os participantes, esta ferramenta é usada para gerar um grande número de ideias em curto período de tempo. Silva (2011) continua que o objetivo desta ferramenta é maximizar o fluxo de ideias, com foco na criatividade e na capacidade analítica do grupo. No brainstorming, todas as ideias devem ser vistas por todos e nenhuma pode ser criticada ou rejeitada.

Sobre o diagrama de causa e efeito de Ishikawa, também conhecido como espinha de peixe, Sebrae (2005) explica que esta ferramenta é utilizada para ampliar a visão das possíveis causas de um problema. Segundo Aguiar (2014), o diagrama inicia-se considerando o efeito, este efeito pode ser um problema relacionado à qualidade, uma situação desejada, ou qualquer condição descrita claramente, como representação de um processo ou subprocessos.

Ainda segundo Aguiar (2014), a ferramenta dos por quês consiste em perguntar o por quê de um problema sucessivas vezes, para se encontrar a sua causa raiz, sendo uma ferramenta de simples execução, uma vez que basta seguir uma sequência dos por quês para se chegar a causa raiz do problema.

2.1. Material

No início da operação do refino na unidade operacional de Onça Puma, em 2011, esperava-se que a vida dos refratários da panela atingisse 20 corridas, entretanto, a média das corridas no período de março de 2011 a junho de 2012 foi de 13 corridas em 59 campanhas, para 640 corridas de metal, como mostra a figura 1.

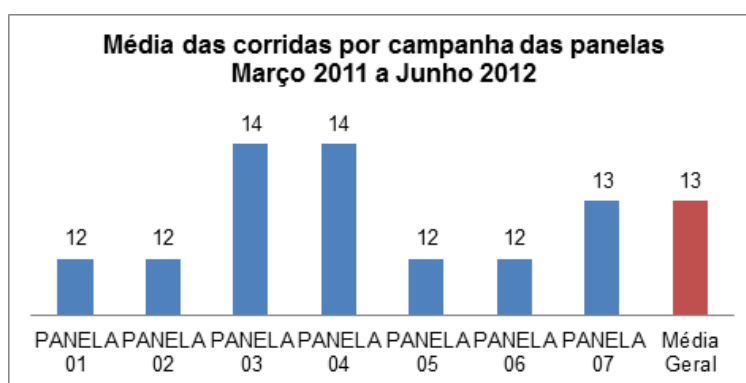


Figura 1. Média de corridas por campanha das panelas de março 2011 a junho 2012.

Na qual, a panela 01 na sua 8ª campanha obteve melhor desempenho para esse período, realizando 19 corridas, conforme a figura 2, com tempo médio de

permanência do metal na panela de 348 minutos, enquanto que o tempo médio de permanência do metal nas panelas era de 560 minutos.

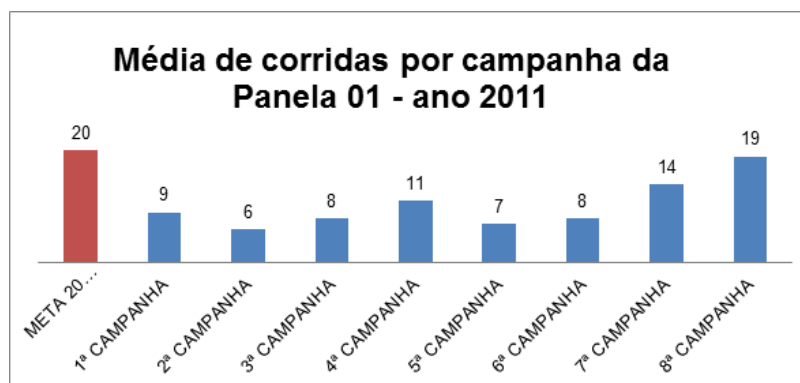


Figura 2. Média de corridas por campanha da Panela 1.

Então, identificou-se como problema, a baixa campanha das panelas refratárias. Com auxílio da ferramenta Brainstorming foram elencadas as possíveis variáveis que impactariam no tempo médio de vida das panelas.

As variáveis elencadas foram: tempo de processamento, desgaste excessivo dos refratários, composição química, temperatura de trabalho, manuseio das panelas, ciclo operacional, tipo de refratário, performance dos equipamento de refino e, testes operacionais. Tais variáveis foram utilizadas para alimentar a matriz de esforço e impacto (Tabelas 1 e 2) a fim de priorizar no plano de ação as variáveis que apresentem maior impacto sobre o problema identificado.

Tabela 1. Matriz de esforço

Causas potenciais priorizadas	ESFORÇO						
	Aumentar a vida útil do refratário de trabalho						Total
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	
Tempo de processamento	2	2	2	1	1	2	10
Desgaste excessivo dos refratários	2	1	2	1	2	2	10
Composição química	3	3	3	3	3	2	17
Temperatura de trabalho	2	2	2	2	3	3	14
Manuseio das panelas	1	2	1	2	2	2	10
Ciclo operacional	1	2	1	2	1	2	9
Tipo de refratário	3	3	3	2	3	3	17
Performance dos equipamento de refino	3	3	3	3	3	3	18
Testes operacionais	3	3	3	4	3	2	18

LEGENDA: 5 - Correlação forte 3 - Correlação moderada 4 - Correlação fraca 0 - Correlação ausente
Y₁, Y₂, Y₃, Y₄, Y₅, Y₆ - Pessoas que indicaram a correlação das causas potenciais

Tabela 2. Matriz de impacto

Causas potenciais priorizadas	IMPACTO						
	Redução do custo operacional						Total
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	
Tempo de processamento	5	5	5	4	5	5	29
Desgaste excessivo dos refratários	5	5	4	4	5	4	27
Composição química	4	3	3	4	3	5	22
Temperatura de trabalho	1	3	2	2	1	2	11
Manuseio das panelas	2	1	2	2	1	2	10
Ciclo operacional	2	1	1	2	2	2	10
Tipo de refratário	4	3	4	2	4	3	20
Performance dos equipamento de refino	3	4	4	3	2	4	20
Testes operacionais	2	1	2	2	1	1	9

LEGENDA: 5 - Correlação forte 3 - Correlação moderada 4 - Correlação fraca 0 - Correlação ausente
Y₁, Y₂, Y₃, Y₄, Y₅, Y₆ - Pessoas que indicaram a correlação das causas potenciais

Com o resultado da matriz de esforço e da matriz de impacto, plotou-se o gráfico de dispersão (figura 3) a fim de melhor visualizar o comportamento das causas potenciais do problema.

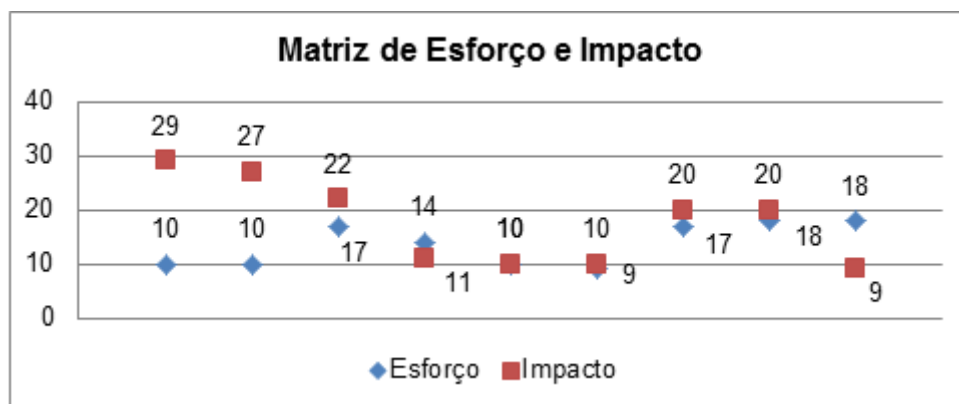


Figura 3. Dispersão do resultado da Matriz de Esforço e de Impacto.

A matriz de esforço e impacto identificou as variáveis tempo de processamento e desgaste excessivo dos refratários como de maior impacto, então utilizou-se o diagrama de Ishikawa para melhor analisar a causa do problema, representado na figura 4.

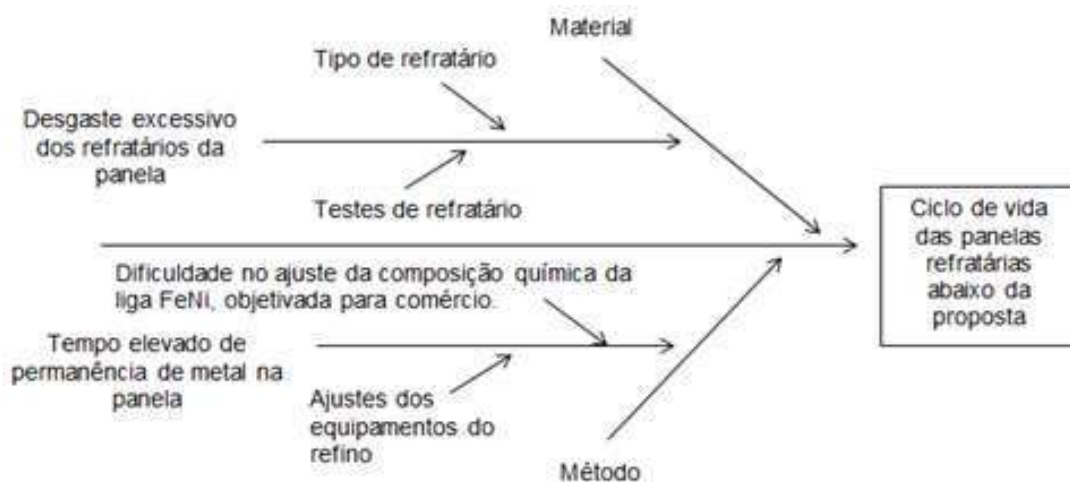


Figura 4. Diagrama de causa e efeito de Ishikawa

Para análise de causa utilizou-se ainda o método dos por quês a fim de encontrar a causa raiz para o ciclo de vida das placas abaixo da proposta, conforme a tabela 3.

Tabela 3. Aplicação do método dos 5 por quês.

Problema: Ciclo de vida das panelas refratárias abaixo da média proposta	
Causa 1	
(1) Por quê?	Desgaste excessivo do refratário da panela
(2) Por quê?	Por estar no início da operação da usina
(3) Por quê?	É necessário um tempo para testes de materiais refratários de um ou mais fornecedores
(4) Por quê?	Para encontrar equilíbrio qualitativo e quantitativo do refratário utilizado na panela com o módulo operacional do refino de FeNi
Causa 2	
(1) Por quê?	Tempo elevado de permanência do metal na panela
(2) Por quê?	Durante o ramp-up do refino a panela ficava por um tempo excessivo na estação de refino
(3) Por quê?	Para ajustar todos os equipamentos do refino e a composição da liga FeNi
(4) Por quê?	Para encontrar o padrão adequado do módulo operacional para o refino de FeNi

Após análise de causas, foram propostas as metas para 2014 de 18 corridas de metal na panela refratária, e de 25 corridas para o ano de 2015. Para atingir a meta, o plano de ação consistiu de redução do tempo de permanência do metal nas panelas, teste de novos tipos de tijolos refratários do fornecedor atual, e, teste de tijolos refratários de novos fornecedores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2014 a média de vida das panelas de refino foi de 24 corridas, 33% a mais que a meta estabelecida de 18 corridas. No ano de 2015, a média de vida das panelas de refino foi de 49 corridas, 96% a mais que a meta estabelecida para esse ano, conforme figura 5. O tempo de permanência de metal na panela em relação ao mesmo período, que diminuiu 64%, de 640 minutos para 233 minutos.

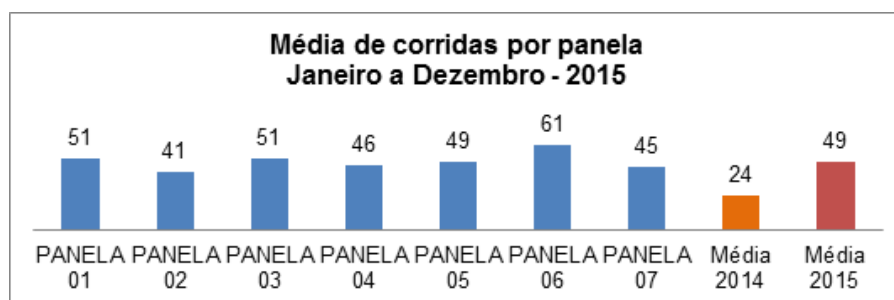


Figura 5. Média de corridas por panela no período de janeiro a dezembro 2015

Após os testes com refratários do fornecedor atual (a), e com materiais refratários de dois outros fornecedores (b e c), identificou-se que o refratário do primeiro fornecedor (a) apresenta melhor desempenho no módulo de operação de refino de FeNi, mantendo-se o padrão de refratário da planta, demonstrado na figura 6.

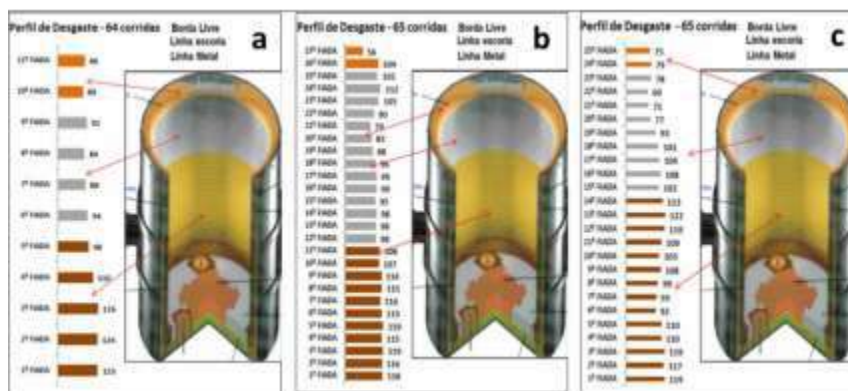


Figura 6. Perfil de desgaste de refratário da panela de refino.

Em 2016 observou-se a padronização do módulo operacional, atingindo a média de 54 corridas de metal (figura 7), representando um aumento de 315% em relação ao início da operação em 2011, de 13 corridas, refletindo numa economia na ordem de 5 milhões de reais para o projeto.

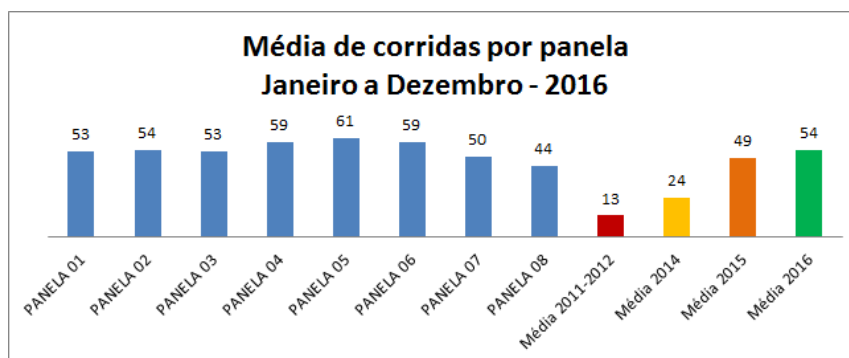


Figura 7. Média de corridas por panela no período de janeiro a dezembro 2016.

4. CONCLUSÕES

O desgaste excessivo do tijolo refratário das painéis do refino remete a um risco de segurança operacional tanto para pessoas como equipamentos, assim como o elevado custo devido ao alto consumo destes tijolos. Nesse contexto foi importante analisar os potenciais fatores que afetavam a performance do revestimento refratário, para tanto analisou-se todas as condições operacionais visando o equilíbrio entre o modo de operação e a utilização das painéis. A equipe operacional da unidade de Onça Puma constatou que é necessário o controle do tempo de metal na panela, pois impacta diretamente no desgaste do tijolo refratário. Com base nos testes realizados, pode-se identificar que a utilização de uma panela híbrida seria ideal para o refino da liga FeNi utilizando material dos fornecedores citados: a (montagem refratária da linha de metal e escória), b (montagem refratária das sedes) e c (montagem refratária para a montagem da sola). Ao fim do projeto, com a padronização, foi atingindo a média de 54 corridas de metal), representando um aumento de 315%, com base na vida inicial de 13 corridas, refletindo numa economia na ordem de 5 milhões de reais com o projeto.

5. REFERÊNCIAS

Aguiar M. Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro; 2014.

Bernardino LL, Cruz Teixeira LC, Lordelo MJ, Jesus AR. A influência da tqm na gestão atual das organizações: um estudo de caso de uma indústria metalúrgica. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Proceedings do XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 2014 Oct 07-10; Curitiba, Brasil. (ENEGERP).

Borges R. Análise multivariada dos principais fatores que afetam o desgaste (vida) do revestimento refratário das painéis de transporte de aço na Aciaria da Usina de Cubatão – Usiminas. [Dissertação de Mestrado]. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da Universidade de São Paulo, São Paulo; 2016.

Costa e Silva A. Termodinâmica Aplicada a Aciaria. Universidade Federal Fluminense; 1998.

Cotta L, Rodrigues C. Avaliação de revestimento refratário no processo siderúrgico. Exacta 2014.

Leite F, Luz A, Pandolfelli V. Características e mecanismos de desgaste dos refratários MgO-C usados na linha de escória de painéis de aço. Associação Brasileira de Cerâmica 2014; p. 348-365.

Leite F. Características e mecanismos de desgaste dos refratários MgO-C usados na linha de escória de painéis de aço. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos; 2013.

Manual de Ferramentas da Qualidade. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae); 2005.

Mariani CA, Pizzinatto NK, Farah OE. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. In: Simpósio de Engenharia de Produção, organização. Proceedings do VII Simpósio de Engenharia de Produção; 2005 Nov 7-9; Bauru, Brasil. (SIMPEP).

Silva LS, Flores D. Gestão da qualidade em arquivos: ferramentas, programas e métodos. In: Simpósio Baiano de Arquivologia. Proceedings do III Simpósio Baiano de Arquivologia; 2011 Oct 26 – 38; Salvador, Brasil. (SBA).

Skretting H, Dor AA. The production of ferronickel by the rotary kiln-electric furnace process. In: International Laterite Symposium. 1978. p. 459-490.

Trommer R, Correia Lima A, Vicenzi J, Zimer A, Bragança S, Bergmann C. Identificação e avaliação dos mecanismos de ataque da escória SiO₂-CaO-Al₂O₃-MgO em tijolos refratários de MgO-C. Revista Matéria 2008; 56 – 64.