

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**ESTUDO DO DESGASTE DOS REFRATÁRIOS  
DE UMA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE  
ALUMÍNIO, DEVIDO A FORMAÇÃO DE  
CORÍNDON**

**Jardel de Souza Ribeiro dos Santos**

**Luis Gustavo Coelho**

**Pindamonhangaba - SP**

**2018**

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**ESTUDO DO DESGASTE DOS REFRATÁRIOS  
DE UMA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE  
ALUMÍNIO, DEVIDO A FORMAÇÃO DE  
CORÍNDON**

Monografia apresentada a Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba para  
graduação, no curso superior de tecnologia em  
Processos Metalúrgicos.

Área de Concentração: Mecânica e Metalúrgica  
Orientador: Me Amir Rivaroli Junior

**Pindamonhangaba - SP**

**2018**

S237e Santos, Jardel de Souza Ribeiro dos.

Estudo do desgaste dos refratários de uma indústria de reciclagem de alumínio, devido a formação de coríndon / Jardel de Souza Ribeiro dos Santos; Luis Gustavo Coelho / FATEC Pindamonhangaba, 2018. 32f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaloli Junior  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2018

1. Refratário. 2. Coríndon. 3. Sílica. 4. Alumínio. I. Santos, Jardel de Souza Ribeiro dos. II. Coelho, Luis Gustavo. III. Rivaloli Junior, Amir. IV. Título.

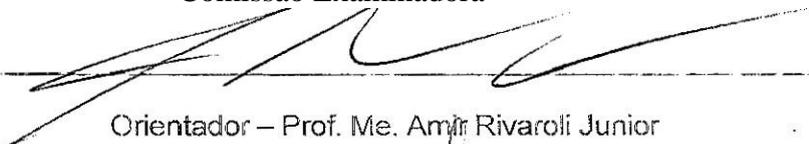
CDD 669

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**ESTUDO DO DESGASTE DOS REFRATÁRIOS  
DE UMA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE  
ALUMÍNIO, DEVIDO A FORMAÇÃO DE  
CORÍNDON**

Monografia apresentada a Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba para  
graduação, no curso superior de Tecnologia em  
Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora

  
Orientador – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

  
Membro — Prof. Me. João Maurício Godoy

  
Membro - Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro - Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

**Pindamonhangaba, 11 de julho de 2018**

## **DEDICATÓRIA**

Ao nosso professor orientador Me Amir Rivaroli Júnior pelos ensinamentos, incentivos e muitos esforços para a realização deste trabalho, muitas vezes em horários de lazer estavam nos ajudando a garantir que os resultados fossem os melhores possíveis, sem as orientações e ajuda, o resultado com certeza não seria o mesmo, somos muito gratos a você.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de nossas vidas, e não somente nestes anos como universitários, mas que em todos os momentos nos foi base. A esta universidade, e seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior. Ao nosso orientador Me Amir Rivaroli Júnior, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho. Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali? ”

Fernando Pessoa

COELHO, Luis Gustavo; SANTOS, Jardel de Souza Ribeiro. **Estudo do desgaste dos refratários de uma indústria de reciclagem de alumínio, devido a formação de coríndon.** 2018. 32p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018.

## RESUMO

Dentro de uma indústria metalúrgica e de tratamento térmico, encontra-se diversos fornos para que se consiga realizar a fusão dos metais, cada forno se difere segundo sua aplicação e demanda de trabalho, desta forma, é necessário que estes fornos tenham uma boa vida útil, para que isso ocorra é necessário que se tome alguns cuidados na manutenção deste equipamento, um dos fatores importantes nesse quesito é a manutenção constante nos refratários, pois eles servem para assegurar que a alta temperatura de trabalho do forno durante a fusão do metal líquido não se disperse ao ambiente externo. Desta forma, foi feito um estudo de caso de uma empresa que foi observado que é necessário a realização da troca do refratário do forno constantemente por causa da reação que ocorre dentro do forno quando o metal líquido de alumínio entra em contato com a parede do refratário, formando um elemento conhecido como coríndon, este elemento é indesejável ao refratário pois favorece a formação de poros nesse refratário, ajudando a um certo prazo onde esses poros aumentam a uma quantidade considerável, a dispersão da temperatura de trabalho, fazendo com que este forno não tenha o rendimento desejável. Para se evitar a formação desse elemento foi verificado a necessidade da troca do material do refratário, utilizando com base a sílica, que diminuiu os poros e com isso a formação do coríndon.

Palavras-chave: Refratário. Coríndon. Sílica. Alumínio.

COELHO, Luis Gustavo; SANTOS, Jardel de Souza Ribeiro. **Study of the wear of refractories of an aluminum recycling industry, due to the formation of corundum.** 2018. 32p. Graduation Project (Course of Metallurgical Processes). Faculty of Technology of Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018.

## **ABSTRACT**

Within a metallurgical and heat treatment industry, there are several furnaces to be able to carry out the fusion of the metals, each furnace differs according to its application and work demand, in this way, it is necessary that these furnaces have a good useful life, For this to occur, some care must be taken in the maintenance of this equipment, one of the important factors in this regard is the constant maintenance in the refractories, as they serve to ensure that the high working temperature of the furnace during the melting of the liquid metal, dispersed to the external environment. Thus, in a case study of a company it is observed that it is necessary to perform the refractory exchange of the furnace constantly because of the reaction that occurs inside the furnace when the liquid aluminum metal comes into contact with the wall of the refractory, forming an element known as corundum, this element is undesirable to the refractory because it favors the formation of pores in this refractory, helping to a certain term where these pores increase to a considerable amount, the dispersion of the working temperature, causing this oven does not have the desirable yield. To avoid the formation of this element was verified the need for Exchange of the refractory material, using silica-based, which decreased the pores and the formation of corundum.

Keywords: Refractory. Corundom. Silica. Aluminum.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Microestrutura dos materiais refratários.....	15
Figura 2 - Micrografia do refratário com a presença de Carbetto de Silício, Mulita e Coríndon.....	17
Figura 3 - Estrutura cristalina do coríndon .....	19
Figura 4 - Fluxograma de reciclagem de latas de alumínio.....	21
Figura 5 - Remoção do refratário danificado .....	21
Figura 6 - Colocação concreto antes do refratário .....	222
Figura 7 - Colocação do concreto .....	22
Figura 8 - Última parte do piso do forno quase finalizado a concretagem.....	233
Figura 9 - Altura da camada de concreto, de aproximadamente 20 cm. ....	233
Figura 10 - Parede do forno concretada.....	24
Figura 11 - Rampa concretada no meio do forno com ganchos para prender o refratário.....	24
Figura 12 - Teto do forno sendo escorado para receber a camada de concreto.....	25
Figura 13 - Parede do forno concretada.....	25
Figura 14 - Rampa de elevação do forno preparada para receber os tijolos refratários .....	26
Figura 15 - Vista externa do forno em manutenção .....	26
Figura 16 - Refratário danificado pela formação principalmente de coríndon .....	27
Figura 17 - Refratário danificado pela formação principalmente de coríndon .....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Figura 18 - Forno em re-aquecimento após troca do refratário. ....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Ponto de fusão dos materiais aditivos .....	16
Tabela 2 – Classificação dos materiais refratários .....	16

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1 DEFINIÇÃO DE REFRAATÁRIO .....	14
2.2 TIPOS DE REFRAATÁRIOS .....	15
2.3 DESGASTE DO REFRAATÁRIO EM UNIDADES DE FUSÃO.....	17
2.4 FORMAÇÃO DE CORÍNDON .....	18
3 METODOLOGIA .....	20
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	27
5 CONCLUSÃO .....	30
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	31
REFERÊNCIAS.....	32

# 1 INTRODUÇÃO

Para que se realize um processo de fusão ou tratamento térmico dentro de uma metalúrgica, é preciso que tenha equipamentos adequados, porém, como o processo exige altas temperaturas, é necessário a utilização de materiais refratários para conter essa alta temperatura dentro do forno.

Hoje em dia, existem vários refratários diferentes, cada um para sua aplicação, conforme o processo que será submetido, o tipo de carga que será colocado dentro dele para adequar a resistência aos choques mecânicos, o tipo de materiais de ligas que será colocado para que se evite a reação com o refratário, e a temperatura de trabalho. Para que assim se consiga aumentar a vida útil do refratário.

Os desgastes que ocorrem no refratário podem ser por diversas formas, de acordo com Abreu *et al* (2005), sendo as principais causas relacionadas ao desgaste ou falha do revestimento refratário em fornos de fusão e espera de alumínio relacionando impactos mecânicos e abrasão; choque térmico; e ataque químico pelo alumínio fundido e suas ligas.

Durante o processo dentro de um forno, ocorrem diversas reações químicas, dentre elas, a escória reage com a parede de refratário dentro do forno, formando na maioria das vezes, principalmente quando se funde alumínio dentro desse forno o composto  $Al_2O_3/Al$  conhecido como coríndon, esse composto danifica lentamente o refratário, diminuindo a vida útil dele, forçando a troca antes do tempo para não danificar o equipamento e todo processo, por causa disso é necessário um estudo para que diminua a formação desse composto, justificando dessa forma a realização desse trabalho.

Esta monografia tem por objetivo apresentar os problemas que ocorrem no refratário devido a formação de coríndon, apresentando suas principais causas e consequências, visando aprimorar o processo de fabricação do refratário para que se evite a formação desse elemento no refratário. Para isso, foi realizado um estudo de caso de uma indústria em que o refratário está se desgastando rapidamente por causa da formação do coríndon.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE REFRAATÁRIO

De acordo com Gerdau (2010), há diversas associações que são feitas para explicar o que são materiais refratários, a definição mais básica encontrada para explicar é que: são materiais cerâmicos com alto ponto de fusão, misturados com aditivos e elementos de liga que melhoram suas propriedades elevando ainda mais seu ponto de fusão.

De acordo com Callister (2008), refratário é todos materiais que contêm propriedades capazes de suportarem altas temperaturas sem se fundir ou se decompor, mantendo inerte e não-reativo.

Segundo Gerdau (2010), os aditivos adicionados na mistura dos refratários são constituídos de óxidos, dentre eles o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) entre outros. Na tabela 1 é possível observar alguns materiais aditivos e seus pontos de fusão.

Tabela 1 – Ponto de fusão de materiais aditivos

Óxido	Ponto de Fusão	Observação
$\text{SiO}_2$	1726 °C	Instável polimorfismo
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2054 °C	
$3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1828 °C	
$\text{MgO}$	2800 °C	Hidrata
$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2135 °C	
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	2400 °C	Preço elevado
$\text{CaO}$	2570 °C	Hidrata
$\text{ZrO}_2$	2700 °C	Instável – polimorfismo
$\text{BeO}$	2600 °C	Tóxico
$\text{ThO}_2$	3000 °C	Radioativo

Fonte: (GERDAU, 2010)

“Material cerâmico, natural ou artificial, conformado ou não, geralmente não-metálico, que retém a forma física e a identidade química quando submetido a altas temperaturas” (ABNT).

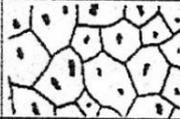
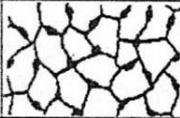
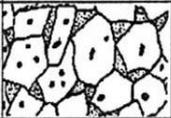
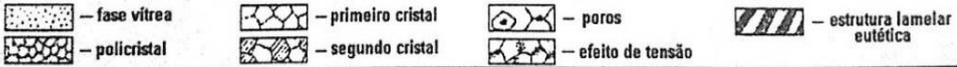
Desta forma se define como refratário, de acordo com Liccardo (2003), materiais

que em suas propriedades físicas e química resistem elevadas temperaturas sem se deformar, podendo ser utilizado em empresa siderúrgica, pois além de não se deformar, quando colocado em volta de um recipiente, retém a temperatura ambiente favorecendo reações isotérmicas nesse ambiente, onde não há troca de temperatura com o ambiente externo.

## 2.2 TIPOS DE REFRAATÓRIOS

Para cada tipo de refratário, de acordo com Gerdau (2010), o arranjo atômico da microestrutura influencia nas suas diversas propriedades, na Figura 1 é possível observar a imagem de diversas microestruturas desde a monofásica até a polifásica. As fases vítreas implementam uma elevada resistência ao material, como resistência a corrosão, desgaste, choque térmico etc. sendo de suma importância a presença desse tipo de micro-constituente no material.

Figura 1 - Microestrutura dos materiais refratários

1		Material contendo uma fase cristalina, sem fase vítrea e poros. Visível o efeito de tensão.	8		Material como o da microestrutura 2, mas composto por grãos policristalinos.
2		Material como o da microestrutura 1, contendo poros dentro dos grãos.	9		Material contendo uma fase cristalina com dois tamanhos, composto de uma matriz vítrea-cristalina. Dois tipos de poros.
3		Material como o da microestrutura 1, contendo poros no contorno de grão.	10		Material com uma fase cristalina contendo poros dentro dos grãos, composto com matriz vítrea.
4		Material contendo duas fases cristalinas e poros dentro dos grãos.	11		Material com uma fase cristalina, composta com matriz vítrea. Poros dentro da matriz.
5		Material como o da microestrutura 4 contendo poros no contorno de grão e cristalização hipoeutética dentro do grão.	12		Material como o da microestrutura como 11, mas com segunda fase em forma de bastonetes e grãos idiomórficos
6		Material contendo duas fases cristalinas e poros no contorno de grão. Surgimento de uma segunda fase de composição eutética.	13		Material como o da microestrutura em 12, mas com segunda fase em forma de agulhas e poros no contorno de grão da fase vítrea.
7		Material como o da microestrutura 6, com uma terceira fase cristalina. Contém poros dentro dos grãos.	14		Material contendo duas fases cristalinas e poros, composição com fase vítrea (mais de 50% em vol.)
					

Fonte: (GERDAU, 2010)

Segundo Gerdau (2010), os refratários a base de sílico-aluminoso são utilizados na siderurgia por causa de sua baixa porosidade e sua propriedade isolante, tem baixo custo e consegue obter a maioria das especificações técnicas exigidas na implantação de um refratário. Em geral são utilizados em coqueiras, regeneradores e fornos, porém, em fornos são utilizados apenas como isolantes térmicos não podendo haver contato com escórias, sendo necessário a aplicação de outro refratário por cima.

Segundo Callister (2008), deve-se levar em conta na classificação de um refratário o grau de porosidade dele para que não afete sua resistência mecânica, resistência ao choque e a reagentes químicos.

De acordo com Gerdau (2010), existem diversos tipos de refratários, de acordo com sua natureza e aplicação, eles variam em sua composição, sendo adicionado elementos de liga melhorando suas propriedades físicas, químicas e térmicas, e seu grau de refratariedade de acordo com sua aplicação, esses elementos determinam o grupo a que o refratário é denominado, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos materiais refratários

Grupos	Classes
Ácidos	Silicosos ou de sílica; Sílico-aluminoso ou de sílica-alumina
Básicos	Magnesianos ou de magnésia; magnesiano-cromíticos ou de magnésia-cromita; Cromomagnesianos ou de cromita-magnésia; dolomíticos ou de dolomita; de magnésia-carbono.
Neutros	Aluminosos ou de alumina; de alumina-carbono; de alumina-carbeto-carbono; de sílico-carbono; aluminosos-cromíticos; ou de alumina-cromita; cromíticos ou de cromita; de carbono (grafíticos ou de grafita)
Especiais	De carbeto de silício; de cordierita; de mulita
Isolantes conformados	Refratários densos e isolantes

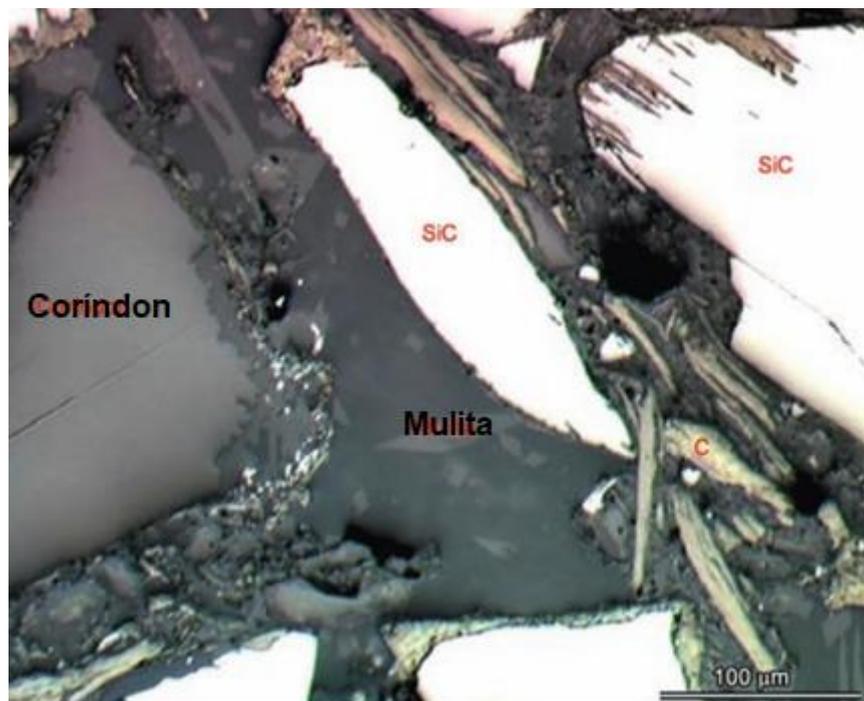
Fonte: (GERDAU, 2010)

### 2.3 DESGASTE DO REFRAATÁRIO EM UNIDADES DE FUSÃO

De acordo com Krause (2017), em unidades de fusão como, por exemplo, forno cubilô, pode ocorrer grande desgaste no refratário devido a formação da escória durante a fusão, esse processo de degradação ocorre por diversos fatores, mas principalmente por causa do contato direto que se tem da escória com o refratário, gerando partículas de carbeto de silício e carbono e a formação de coríndon.

Dessa forma, segundo Krause (2017), o carbeto de silício quando em temperaturas elevadas, não é estável, principalmente na presença de monóxido de carbono (substância liberada durante o processo de fusão), formando dessa forma o grafite. Ao formar o grafite o carbeto de silício se desprende em forma de gás reagindo com outros componentes atrapalhando o processo. A formação dessa substância é representada na Figura 2, apresentando a formação de coríndon com carbeto de silício e mulita (Alumina juntamente com Sílica).

Figura 2 - Micrografia do refratário com a presença de Carbeto de Silício, Mulita e Coríndon



Fonte: (KRAUSE, 2017)

“Como consequência, o material amolece em condições operacionais, sendo rapidamente erodido. Assim, ocorre um processo de decomposição que não requer

necessariamente a participação da escória. Quando aglomerantes de argila são evitados em massas socadas deste tipo, é possível reduzir este efeito com segurança” (KRAUSE, 2017).

Segundo Krause (2017), uma das soluções para que não ocorra a formação dessas substâncias, é a utilização da resina fenólica como aglomerante. Para que melhore a resistência a corrosão, pode ser adicionado também óxido de cromo.

De acordo com Krause (2017), outro elemento que pode ser adicionado é uma massa conhecida como areia adesiva, ela é uma matéria-prima natural, formado por quartzo e minerais argilosos combinadas com grafite. Porém há a formação de coríndon podendo ser prejudicial ao refratário.

Utiliza-se em grande escala produtos à base de magnésia cromita de acordo com Krause (2017), é utilizado em fornos de fusão de cobre, com isso, forma-se forsterita está deve ser considerada um mecanismo de corrosão principal quando existem escórias ricas em sílica.

“A magnésia cromita deve apresentar alta densidade, com a finalidade de manter a capacidade de infiltração a mais baixa possível. Apesar da porosidade reduzida, é necessário garantir uma resistência à fadiga térmica adequada” (KRAUSE, 2017).

## 2.4 FORMAÇÃO DE CORÍNDON

De acordo com Abreu *et al* (2005), as condições de operação nos fornos de fusão e espera de alumínio podem favorecer a formação do composto  $Al_2O_3/Al$  conhecido como “coríndon”. Existem dois mecanismos possíveis conhecido que contribui para o crescimento do coríndon, um é conhecido como crescimento de coríndon externo e o outro crescimento de coríndon interno.

O crescimento de coríndon externo segundo Abreu *et al* (2005), ocorre na superfície do metal de alumínio na junção do ponto triplo entre alumínio, refratário e atmosfera. Ocorre pela reação direta entre o metal fundido das ligas de Alumínio e uma fase vapor oxidante, o produto dessa reação, é formado inicialmente na superfície fundida e então cresce para o exterior formando um amontoado de coríndon danificando a estrutura do refratário.

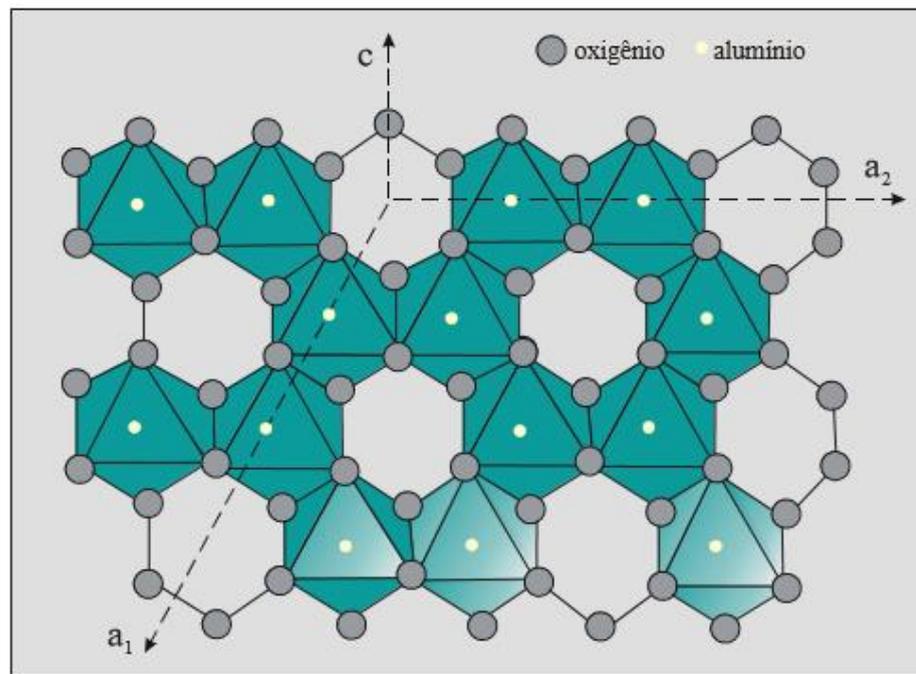
De acordo com Liccardo (2003), a estrutura do coríndon é obtida através da combinação do alumínio e oxigênio processo parecido com a hematita ( $Fe_2O_3$ ) e na ilmenita ( $FeTiO_3$ ). Este grupo de minerais é a razão entre dois átomos de metal e três de oxigênio, é denominado de grupo da hematita.

“Na estrutura cristalina os oxigênios estão dispostos em um arranjo espacial aproximadamente hexagonal; o alumínio está ligado a seis oxigênios em coordenação

octaédrica, porém apenas 2/3 das posições disponíveis encontram-se ocupadas pelo alumínio” (Liccardo, 2003).

De acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Estrutura cristalina do coríndon



Fonte: (LICCARDO, 2003)

De acordo com Abreu (2005), nos fornos de tratamento de alumínio, a região do forno onde ocorre a formação de coríndon é conhecida como “*belly band*”, onde há o contato do metal fundido com o refratário, o alumínio fundido penetra no refratário e reage com a sílica e os silicatos, que são reduzidos, formando silício metálico e alumina conhecido como coríndon.

Quando há a formação do coríndon através da reação do metal fundido com o refratário, é denominado como crescimento de coríndon interno, pois a formação ocorre dentro do refratário danificando-o.

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho se baseou em um estudo de caso de uma indústria de fusão de alumínio reciclado, onde foram verificadas as trocas dos refratários devido ao desgaste em uso.

O tempo médio de duração do refratário em função do desgaste foi em torno de seis meses, tempo considerado crítico para o tipo de operação considerada intermitente, ou seja, se ganha no volume produzido.

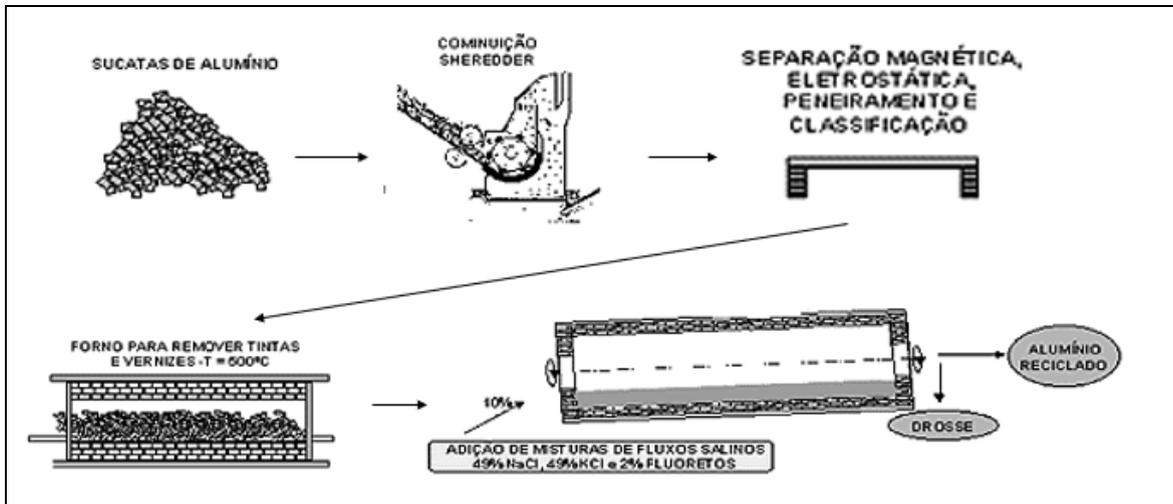
A indústria em que foi realizada o estudo deste trabalho, atualmente possui uma demanda de produção relativamente alta, necessitando trabalhar com dois fornos simultaneamente. Desta forma, é preciso uma melhoria nos refratários para reduzir custos desta empresa, pois a troca ideal seria em fazer no mínimo anualmente, pois o custo da troca é muito alto.

O desgaste prematuro fez com que ocorressem perdas dos refratários, acarretando na troca, ocasionando com isso perdas na produção, afetando diretamente na lucratividade da empresa.

Foram verificados desgastes excessivos em toda parede do forno havendo a necessidade de trocá-los. A perda do revestimento para a troca nos dois fornos foi estimada em aproximadamente um milhão e trezentos mil reais. Esses dados são empíricos, porém foram baseados nos custos totais de troca de refratário e perda de produção.

Para evitar novas ocorrências de desgastes excessivos dos refratários foram propostas novas soluções para serem utilizados nos fornos como: substituição da água na preparação da massa do refratário por água fosfática em um dos fornos e sílica coloidal em outro forno. A Figura 4 representa o fluxograma de reciclagem de latas de alumínio.

Figura 4 – Fluxograma de reciclagem de latas de alumínio.



Fonte: Os Autores, 2018

Nas Figuras 5 até a Figura 15, são apresentadas as imagens da manutenção do forno. São mostrados a remoção do refratário com problemas até o processo para se colocar um novo.

Figura 5 - Remoção do refratário danificado



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 6 - Colocação concreto antes do refratário



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 7 - Colocação do concreto



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 8 - Última parte do piso do forno quase finalizado a concretagem



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 9 - Altura da camada de concreto, de aproximadamente 20 cm.



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 10 - Parede do forno concretada



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 11 - Rampa concretada no meio do forno com ganchos para prender o refratário



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 42 - Teto do forno sendo escorado para receber a camada de concreto



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 13 - Parede do forno concretada



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 14 - Rampa de elevação do forno preparada para receber os tijolos refratários



Fonte: Os Autores, 2018

Figura 15 - Vista externa do forno em manutenção



Fonte: Os Autores, 2018

Após a remoção do refratário antigo e a concretagem do forno, é colocado os tijolos refratários em todo o forno.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em análise e discussão de resultados foram verificados os motivos do desgaste do refratário que levou a troca e a condição do forno novo após a troca dos mesmos.

A Figura 16 apresenta a imagem de um refratário após a vida útil de trabalho, enfatizando o desgaste do refratário gerado principalmente pela formação de coríndon, proveniente do processo.

Figura 16 - Refratário danificado pela formação principalmente de coríndon



Fonte: Os Autores, 2018

Conforme demonstrado na Figura 16 e 17, o forno ainda estava em operação, ocorreu um desgaste excessivo das paredes do forno. A principal causa do desgaste que ocorreu nesses refratários foi por causa da formação de coríndon que acontece em ambientes ricos em alumínio e deficientes em sílica. Desta forma, como o processo de fusão utilizado nesses fornos são de fusão de alumínio, ocorreu o favorecimento da formação desse elemento prejudicial ao refratário. Isso fez com ocorresse uma diminuição da vida útil e fazendo com que ocorresse a troca antes do tempo estimado.

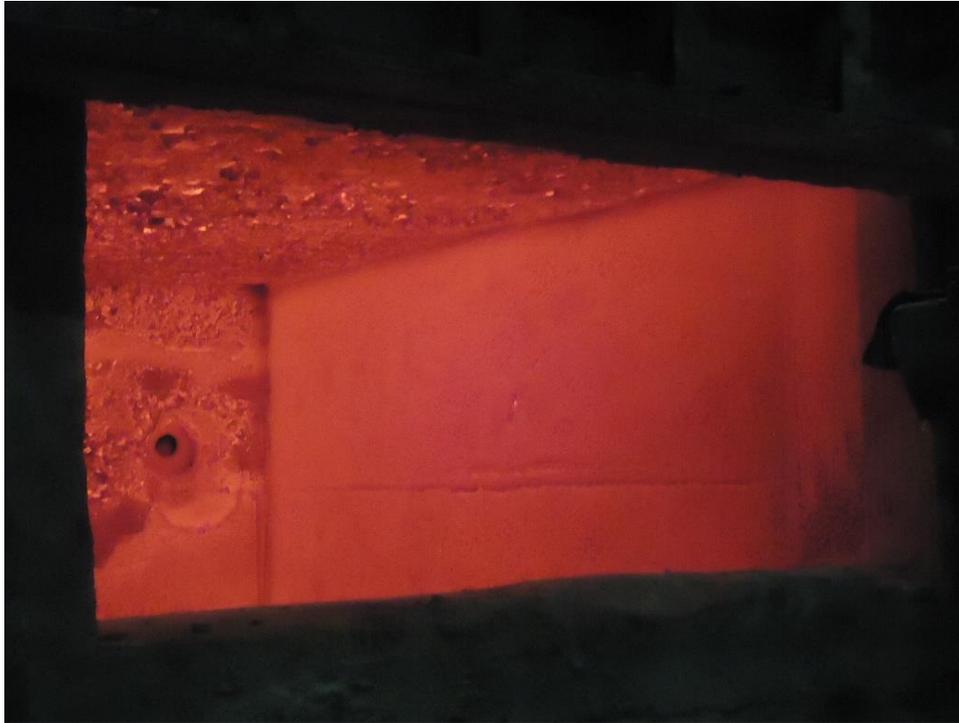
Figura 17 – Refratário danificado pela formação principalmente de Coríndon.



Fonte: Os Autores, 2018

Após a retirada do refratário danificado e colocado um novo, obteve-se o forno pronto para aquecer e fundir o metal novamente conforme demonstrado nas Figura 17.

Figura 18 - Forno em re-aquecimento após troca do refratário.



Fonte: Os Autores, 2018

Antes da troca do refratário, devido aos altos custos gerados que afetaram diretamente o lucro da empresa, foi realizado um estudo de melhoria dos refratários para que o tempo de vida útil dele aumentasse, possibilitando a troca com um intervalo maior entre si, sem danificar o forno e conseqüentemente afetar o metal fundido.

O refratário utilizado contém baixo teor de sílica e são feitos à base de outros elementos como grafita e alumina. Para que se consiga realizar a neutralização da formação do coríndon, é necessário que comece a utilizar refratário a base de sílica, pois ela ajuda a eliminar a formação desse elemento, e contribui para a formação mínima de poros no refratário, refratários a base de sílica, contém menos poros em relação a outros elementos utilizados na preparação do refratário.

Após análise do desgaste das paredes do forno, estimou-se um tempo de vida útil para os refratários em um ano e meio para substituição da água por fosfato e um ano e nove meses para substituição por sílica coloidal. Com essas substituições, não tivemos mais o desgaste prematuro, porém não conseguimos demonstrar fisicamente, pois os fornos ainda estavam em plena operação.

## 5 CONCLUSÃO

Após a finalização do trabalho podemos chegar as seguintes conclusões:

- 1) A importância do estudo do refratário a ser utilizado no processo de fusão, pois os mesmos impactam diretamente no lucro da empresa;
- 2) O entendimento do tipo de problema apresentado no desgaste excessivo do refratário para melhor definição do material a ser empregado no forno foi de extrema importância para não se cometer novos enganos, ocasionando maiores prejuízos para empresa;
- 3) A relevância do resultado do estudo, pois com ele pode-se chegar a novas propostas de materiais para serem empregados em fornos de fusão de alumínio. Com melhora substancial do desgaste e substituição pela presença de coríndon.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudar o comportamento do novo material refratário utilizado e mensurar os ganhos em relação ao material antigo.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 8003: - Materiais refratários isolantes conformados – determinação da porosidade real. Norma técnica.

ABREU, A. P. **Processo de ataque por liga al-5%mg em concreto a base de sílica de baixo teor de cimento e efeito da adição de sulfato de bário.** Artigo. Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro-SP, 2005.

CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução.** 7ª ed. Nova York: LTC, 2008.

GERDAU. **Fundamentos em Refratário.** Apostila. 1ª ed. Gerdau. Pindamonhangaba, 2010.

KRAUSE, Olaf. **Os materiais para a fabricação de produtos refratários.** Artigo. Giesserei. 10ª ed, São Paulo, 2017.

LICCARDO, Antônio. **Coríndon no brasil ocorrências, mineralogia, química e gênese.** Tese. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.