



## **AVALIAÇÃO DA DESOXIDAÇÃO DE COBRE NA VIDA ÚTIL DE MOLDES DE ANODOS**

<sup>1</sup> Marcella Fernandes Guzzo (Senai Cimatec) – [marcellaguzzo@yahoo.com.br](mailto:marcellaguzzo@yahoo.com.br); <sup>2</sup> Rodrigo Santiago Coelho (Senai Cimatec) – [rodrigo.coelho@fieb.org.br](mailto:rodrigo.coelho@fieb.org.br)

**Resumo:** Durante a etapa de produção de cobre numa indústria pirometalúrgica no Brasil, ocorre o lingotamento e solidificação de cobre em moldes, dando origem aos anodos. Os moldes são produzidos em cobre utilizando desoxidante e têm sua vida útil limitada devido ao desgaste e ao aparecimento de trincas. Diante disso, no ambiente da indústria, moldes com diferentes taxas de adição de desoxidantes (0, 0.1%, 0.2% e 0.3%) foram fabricados e submetidos a condições de operação industrial com o objetivo de verificar qual formulação apresentava maior vida útil. Verificou-se que as adições 0 e 0.1% apresentaram melhor qualidade superficial e o molde isento de oxigênio apresentou maior durabilidade.

**Palavras-Chaves:** cobre; desoxidante; vida útil

## **EVALUATION OF COPPER DEOXIDATION IN THE LIFE SPAM OF ANODOS MOLDS**

**Abstract:** During the copper production in a pyrometallurgical industry in Brazil, the casting and solidification of copper in molds giving rise to the anodes. The molds are produced in copper using deoxidizer and have their limited useful life due to wear and crack formation. Thus, in the industrial environment, molds with different rates of addition of deoxidants (0, 0.1%, 0.2% and 0.3%) were manufactured and subjected to industrial operating conditions. The aim of this study is to verify which formulation had a longer life. It was verified that 0 and 0.1% additions presented better surface quality and mold without deoxidant presents greater durability.

**Keywords:** copper, deoxidant, life spam



## 1. INTRODUÇÃO

O cobre é um metal de suma importância na indústria devido a sua larga aplicação no ramo de transmissão de energia elétrica e térmica. É o terceiro metal mais utilizado no mundo, atrás do ferro e do alumínio. O cobre notadamente destaca-se pela excelente condutividade térmica e elétrica, boa resistência mecânica, a corrosão e fadiga.

O cobre puro é extensivamente utilizado para produção de cabos e fios elétricos enquanto suas ligas são largamente empregadas em tubulações, trocadores de calor e válvulas. Os elementos mais comumente adicionados ao cobre para obtenção de ligas são alumínio, estanho, níquel, zinco e silício, em que tais elementos melhoram a resistência mecânica e a corrosão. Aproximadamente 70% do cobre produzido mundialmente é usado para aplicações em eletrônicos, no ramo da eletricidade e transporte.

Durante etapa de produção de cobre primário ocorre o lingotamento e solidificação de cobre em moldes, dando origem a placas de cobre denominadas anodos. Numa indústria brasileira de cobre, os moldes são produzidos também em cobre, a partir da fundição em moldes permanentes ou coquilhas. Para a produção dos moldes adiciona-se cobre fosfórico (Cu-P) como desoxidante, para facilitar a moldagem, minimizar trincas superficiais, problemas de porosidade e cavidades internas. Os moldes têm sua vida útil limitada devido ao desgaste e trincas; caso não substituídos, estes moldes podem provocar defeitos nos anodos e gerar rejeitos na produção. Uma vez que o molde é produzido a partir de material útil que se transformaria em produto, a elevação do ciclo de vida dos moldes apresenta aumento potencial na quantidade de anodos produzidos já que se faz necessário um menor número de peças de moldes para produzir a mesma quantidade de anodos.

O objetivo deste trabalho foi produzir, em ambiente industrial, moldes de cobre fundidos com diferentes adições de desoxidante a fim de verificar qual apresenta maior vida útil durante operação na Roda de Moldagem, utilizando as seguintes adições de Cu-P: 0, 0.1%, 0.2% e 0.3%.

### 1.1. Obtenção de cobre

O cobre pode ser produzido através de processamento de minerais ou a partir de reciclagem de sucatas de cobre. O cobre obtido utilizando minérios sulfetados ou oxidados é denominada primário enquanto a produção através de reciclagem do cobre é denominada secundária. A International Copper Study Group (ICSG) estima que em 2016, a produção de cobre secundário representou 17% do total de cobre refinado produzido no mundo<sup>[1]</sup>.

Esse metal apresenta um importante papel no contexto de recursos sustentáveis uma vez que pode ser reciclado inúmeras vezes sem perda de propriedades. A reciclagem do cobre requer menos de 85% da energia necessária



para produção de cobre utilizando matéria-prima mineral. Estima-se que desde 1900, dois terços do total das 550 milhões de toneladas de cobre produzidos então ainda em uso<sup>[2,3]</sup>.

Em relação a obtenção do cobre primário, há duas rotas de produção denominadas hidrometalurgia e pirometalurgia. A hidrometalurgia abrange as operações de obtenção de cobre comercial utilizando minerais oxidados e de calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) como matéria-prima, na qual a principal etapa de separação envolve reações de dissolução do minério em meio aquoso, seguidas de etapa de recuperação do metal da solução em forma de catodos.

Entretanto, a maior parte do cobre encontrado nos minerais está sob a forma de sulfetos, os quais não conseguem ser facilmente processados utilizando a rota hidrometalúrgica. A Pirometalurgia, que consiste no conjunto de processos de extração de metais utilizando altas temperaturas, torna-se a rota mais utilizada para obtenção de cobre na indústria mundial. Segundo Davenport et al (2002), estima-se que 80% do cobre produzido é obtido utilizando minérios sulfetados, para os quais a rota pirometalúrgica é a mais adequada.

As operações da rota pirometalúrgica podem ser sintetizadas nas seguintes etapas<sup>[4]</sup>:

- a) Concentração das frações Cu-Fe-S (e Cu-S) de um minério através de flotação por espuma
- b) Fusão do concentrado obtido na etapa (a) a fim de obter a fase mate, com teor médio de cobre entre 50 a 70%
- c) Conversão do mate produzido em (b) em cobre anódico, com teor médio de cobre acima de 99% para posterior obtenção de placas de anodos
- d) Refino eletrolítico dos anodos provenientes da etapa (c) para produzir cobre comercialmente puro, contendo 99,99% de pureza

A etapa c abrange a solidificação do cobre anódico em placas denominadas anodos, numa operação em um equipamento denominado Roda de Moldagem. Este trabalho tem como foco a etapa de produção de moldes de cobre para obtenção dos anodos que ocorre na Roda de Moldagem.

## 1.2. Moldes

Na Roda de Moldagem, o cobre anódico é vazado através de calhas em um sistema de painéis com balanças e preenche moldes de cobre que integram uma roda horizontal, a qual se desloca para recebimento do fluxo de material. Sensores automaticamente controlam a massa de cobre vazada nos moldes, de acordo com o peso final desejado para os anodos. Quando o molde é preenchido com o cobre anódico, a roda se desloca e posiciona um molde vazio para o recebimento de fluxo de material líquido<sup>[4]</sup>. Os moldes são cobertos por spray de desmoldante para minimizar prendimento e facilitar retirada dos anodos.



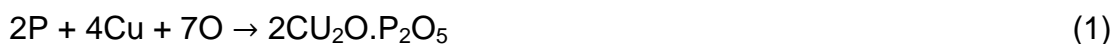
O processo de solidificação é acelerado pelo resfriamento a água na parte inferior do molde e na superfície do anodo, realizado nas baterias de refrigeração. Os anodos são suspensos, extraídos mecanicamente e imersos em tanques de refrigeração, onde são resfriados a temperaturas próximas a 100°C, posteriormente retirados e empilhados para subsequente utilização na etapa de Eletrorefino<sup>[5]</sup>.

Os moldes de anodos são produzidos em cobre, em que podem ser utilizados o cobre anódico, eletrolítico ou diferentes ligas de cobre. Os moldes são fabricados utilizando diferentes tecnologias de fabricação sendo as mais conhecidas a fundição sob pressão, fundição em coquilhas ou usinagem em blocos de ligas de cobre em forma de moldes.

Edens and Hannemann (2005) exaltaram a importância que o aumento da vida útil dos moldes de anodos de cobre representou para a elevação de produção atingida na década de 90 na Norddeutsche Affinerie, na Alemanha, em que foram testados diferentes tipos de moldes e tecnologias de fabricação. Moldes fabricados em coquilhas de aço, fabricados em cobre anódico sob pressão e fabricados com diferentes materiais de cobre e ligas usinadas apresentaram vida útil entre 2200 a 4000 t. A vida útil é expressa em massa de cobre anódico produzido em toneladas por peça de molde<sup>[6]</sup>.

A indústria pirometalúrgica no Brasil utiliza-se cobre fosfórico (Cu-P) para desoxidação de cobre anódico na fundição de molde em coquilha. Segundo Daves et al (2001), o emprego de desoxidante é realizado a fim de minimizar a formação de trincas superficiais, problemas de porosidade e formação de cavidades internas na fundição de cobre e suas ligas; entretanto a adição de desoxidante na fundição de cobre deve ser adequada para cada condição operacional da indústria em questão<sup>[7]</sup>.

A reação de desoxidação é expressa em 1:



Em que  $Cu_2O.P_2O_5$  representa a escória gerada no processo de remoção de oxigênio.

## 2. METODOLOGIA

No ambiente de uma indústria pirometalúrgica do Brasil, foram fabricados 2 moldes de cobre anódico com diferentes dosagens de Cu-P, sendo elas 0, 0.1%, 0.2% e 0.3%, em que 0 representa a produção de molde isento de desoxidante.

A tabela 1 apresenta a nomenclatura de cada uma das adições realizadas:



Tabela 1. Nomenclatura para cada adição de Cu-P

Nome	Adição de Cu-P
<b>F0</b>	0%
<b>F1</b>	0.1%
<b>F2</b>	0.2%
<b>F3</b>	0.3%

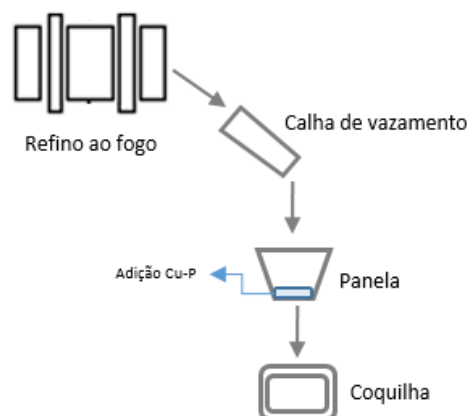
O cobre anódico foi proveniente do processo de Refino ao Fogo, no qual foram removidos oxigênio e enxofre residuais do cobre líquido, utilizando injeção de ar e gás natural. Posteriormente, fez-se o vazamento do forno através de uma calha previamente aquecida em uma panela, que recebeu previamente a adição correspondente de Cu-P no fundo.

A panela foi deslocada usando ponte rolante e verteu-se o cobre anódico em uma coquilha de ferro fundido. Analogamente a calha, tanto a panela quanto a coquilha foram previamente aquecidas antes de se fazer a fundição de moldes.

Foram obtidos dois moldes de cada formulação realizando a fundição acima descrita, sendo produzido um molde por vez e dois moldes a cada batelada de forno. Cada molde de cobre anódico produzido possui 3 t. Para cada formulação contendo Cu-P adicionou-se massa correspondente de desoxidante no fundo da panela que recebeu o metal líquido. Por exemplo, a adição de 0.1% representa o uso de 3 kg de Cu-P; 0.2% e 0.3% representa o uso de 6 kg e 9 kg de desoxidante respectivamente.

A figura 1 apresenta de maneira esquemática a seqüência de equipamentos utilizados para obtenção de moldes:

Figura 1. Esquema de equipamentos usados para fundição e molde

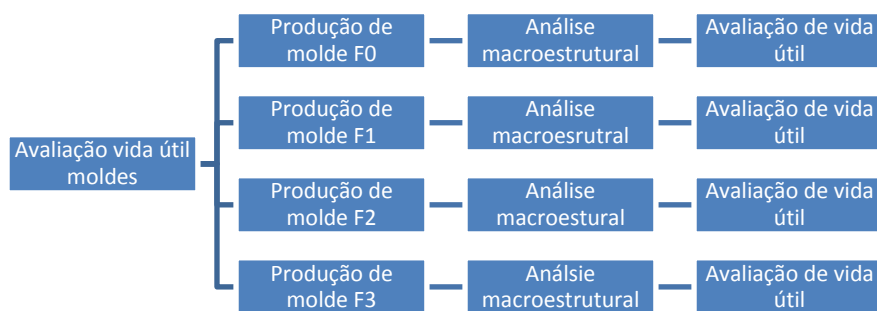




Os moldes produzidos foram resfriados lentamente a temperatura ambiente. Após 24 horas de resfriamento mínimo, os moldes foram colocados em operação na Roda de Moldagem para avaliar a durabilidade, que ocorre através da totalização de produção realizada utilizando cada um dos moldes.

A metodologia empregada no trabalho pode ser visualizada na figura 2:

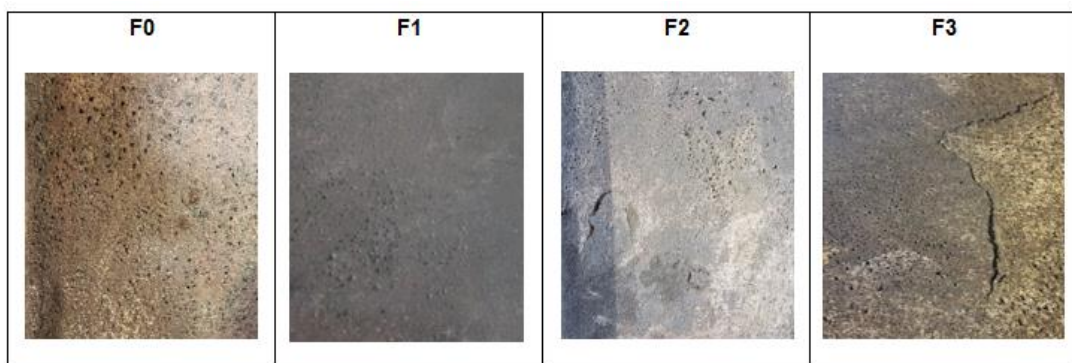
Figura 2. Metodologia utilizada



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 apresenta o destaque dos defeitos obtidos em cada uma das formulações obtidas, realizada a partir de análise macroestrutural dos moldes produzidos.

Figura 3. Análise macroestrutural de cada molde produzido



Como pode-se observar através da figura 3, todas as formulações apresentaram porosidades. Entretanto, além de porosidades, as formulações F2 e F3 apresentaram também defeitos de camadas sobrepostas.



Os resultados de avaliação macroestrutural de cada um dos moldes nas formulações estudadas nos permitem afirmar que os moldes isentos de desoxidante e com adição de 0.1% apresentaram melhor qualidade superficial.

Em relação a vida útil de cada grupo de formulação de molde, a formulação com isenção de desoxidante apresentou maior durabilidade, atingindo a produção de 702 t de anodos por molde.

Tabela 2. Vida útil média de cada formulação

Nome	Vida útil média (t anodos produzidos)
<b>F0</b>	702
<b>F1</b>	403
<b>F2</b>	360
<b>F3</b>	574

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados de avaliação macroestrutural dos moldes obtidos através de inspeção visual, permite afirmar que as unidades produzidas com menores taxas de adição de Cu-P (0 e 0.1%) apresentaram melhores resultados de qualidade superficial, sendo que os moldes isentos de desoxidante apresentaram a maior durabilidade.

#### 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup>INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP. The world copper factbook 2017. Disponível em: <http://www.icsg.org>. Acesso em: 17 jun. 2018.

<sup>2</sup>COPPER ALLIANCE. Backgrounder: Recycling. Disponível em: <http://www.copperalliance.org>. Acesso em: 17 jun. 2018.

<sup>3</sup>GLOSER, Simon et al. A dynamic analysis of global copper flows. Global stocks, postconsumer material flows, recycling indicators & uncertainty evaluation. **Environ. Sci. Technol.** v. 47, n 12, p.6564–6572, 2013. Disponível em: <http://www.copperalliance.org>. Acesso em: 17 jun. 2018.

<sup>4</sup> DAVENPORT, William G. et al. **Extractive metallurgy of copper**, v. 4. Oxford: Elsev



ier, 2002.

<sup>5</sup>WENZL, Christine. **Structure and casting technology of anodes in copper metallurgy.** na, 2008.

<sup>6</sup>EDENS, Torben., HANNEMANN, Dirk: New casting moulds for anode copper. **Converter and Fire Refining Practices, TMS**, p. 159–165, 2005.

<sup>7</sup>DAVIS, Joseph R. et al. **Copper and copper alloys.** ASM international, 2001.