

# ELETRÓLISE DO ZINCO: EFICIÊNCIA DO PROCESSO

## *Electrolysis of Zinc: Process Efficiency*

Lara Carolina Amorim Ferreira<sup>1</sup>, Lidiane Lopes Sales, Carina Pinheiro Malaquias<sup>2</sup>, Pedro Henrique Souza Rezende<sup>2</sup>, Bruno Lucas de Oliveira<sup>2</sup> e Glaucia Franco Teixeira<sup>3</sup>

**Resumo:** O zinco é o terceiro metal entre os não ferrosos mais consumidos no mundo, estando atrás apenas do alumínio e do cobre, entretanto seu processo de fabricação tem um custo elevado devido ao alto consumo de energia elétrica que ocorre na eletrólise. Caracteriza-se pela facilidade de oxidação, devido o potencial de redução abaixo do potencial de formação do hidrogênio a partir da redução da água, que o configura como um metal pouco nobre. Visando diminuir custos e aumentar a eficiência do processo que este trabalho vem estudando os efeitos das impurezas interferentes na solução de sulfato de zinco em diferentes concentrações, principalmente no que diz respeito às concentrações de cobalto, ferro, cloreto e chumbo. Para garantir as melhores de condições experimentais, desenvolvemos uma célula eletrolítica piloto que foi montada no laboratório do IF Sudeste MG – Campus Juiz de Fora com eletrodos de chumbo e alumínio para simular uma célula industrial e a reação se iniciou em diferentes concentrações das impurezas e também com a solução “pura” para se comparar as taxas de deposição, densidade de corrente e corrente empregada.

**Palavras-chave:** célula eletrolítica; eletroquímica; metais não ferrosos

*Abstract:* Zinc metal is the third among non-ferrous most consumed in the world and is second only to aluminum and copper, though it's manufacturing process is costly due to the high consumption of electricity that occurs in the electrolysis. It is characterized by ease of oxidation, because the reduction potential below hydrogen forming potential from reducing water, the set as a little noble metal. To decrease and increase the process efficiency this work has been studying the effects of interfering impurities in the zinc sulfate solution at different concentrations, in particular as regards the concentrations of cobalt, iron, and lead chloride. To ensure the best experimental conditions, we developed a pilot electrolytic cell that was mounted on the IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora a lab, with lead electrodes

---

<sup>1</sup> Bolsistas FAPEMIG/IFSUDESTEMG, Curso Técnico em Metalurgia, lara-carolferreira@hotmail.com e lidianejfmg@hotmail.com

<sup>2</sup> Bolsista CNPq/ IFSUDESTEMG, Curso Técnico em Metalurgia, carinapinheiro7@outlook.com, pedrohenrique.souzarezende@yahoo.com.br e brunojf100@hotmail.com

<sup>3</sup> Núcleo de Metalurgia, Departamento de Educação e Tecnologia, glaucia.teixeira@ifsudestemg.edu.br

*and aluminum to simulate an industrial cell and the reaction was initiated at different concentrations of impurities and also with "pure" solution to compare the deposition rates, current density and current employed.*

**Keywords:** *electrolytic cell; electrochemistry; non-ferrous metals*

## INTRODUÇÃO

Os principais metais não ferrosos utilizados hoje em dia são, alumínio, cobre e zinco, respectivamente, sendo cada dia mais observado um aumento na utilização e aplicação destes metais, comparando-se com o aço, que é o principal e mais utilizado metal ferroso. Este crescimento se dá pelas características peculiares e propriedades destes metais, que de diferentes formas podem ser aplicados (BRASIL, 2000; BOYANOV et al., 2004).

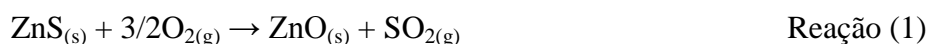
O zinco caracteriza-se por sua propriedade eletroquímica protetora contra a corrosão sendo deste modo muito utilizado em revestimentos metálicos, principalmente no aço com baixo teor de carbono<sup>1</sup>. Ele é um metal maleável com propriedades físicas que lhe conferem facilidade de moldagem e de trabalho mecânico, com isso suas principais aplicações com zinco metálico são em galvanização na produção de chapas “zincadas” pelas siderúrgicas, na produção de ligas, principalmente as ligas ZAMAK (Zn, Al, Mg, Cu) ou na galvanização de estruturas de aço. O zinco pode também ser usado como aditivo de certas borrachas e tintas, além de sua aplicação na forma de ZnO, devido as suas propriedades térmicas eletrônicas, químicas e óticas (BRASIL, 2000; BOYANOV et al., 2004; BRASIL, 2011).

Visto a vasta importância deste metal, deve-se analisar o processo de obtenção deste metal, que se dá a partir de minérios que contêm minerais de zinco, como a esfarelita, de composição química ZnFeS, com teor em torno de 67% de zinco. Este minério é utilizado na Votorantim Metais Juiz de Fora para obtenção do zinco metálico, sendo este o processo de obtenção que visamos estudar neste projeto (BRASIL, 2011; DE ANDRADE et al., 1998).

Existem algumas tecnologias para produção de zinco no mundo, entretanto, a mais utilizada é a RLE que significa “Roasting-leaching-electrolysis” ou “Ustulação-lixiviação-eletrólise”, utilizada por cerca de 85% das usinas de metalurgia de zinco (DE ANDRADE et al., 1998).

Uma vez extraído o minério ZnFeS, inicia-se o seu beneficiamento (blendagem) para adequação deste e homogeneização da concentração de zinco. A partir de então, temos um minério pronto para ser iniciada a etapa de USTULAÇÃO (DE ANDRADE et al., 1998; BOYANOV et al., 2004).

A ustulação faz parte da pirometalurgia, onde o concentrado de zinco será submetido à injeção de oxigênio ( $O_2$ ). A reação ocorre em aproximadamente  $650^\circ C$  a  $900^\circ C$  em um forno ustulador, sob leito fluidizado (reação entre fase fluida – gás- e uma fase sólida, fluidizando a fase sólida, mas não atingindo a fusão do material). O sólido presente é o sulfeto de zinco que ao reagir com oxigênio irá produzir óxido de zinco, liberando ainda gás dióxido de enxofre, conforme reação dada abaixo (reação 1) (BOYANOV et al., 2004; FINK et al., 2006):



Após esta etapa, este óxido obtido é levado para a etapa de lixiviação (hidrometalurgia).

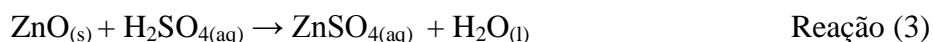
Nesta etapa aproximadamente 90% do zinco contido no ustulado encontra-se na forma de óxido de zinco, sendo o restante na forma de ferritas de zinco (reação 2) (QIAO et al., 2013).



O óxido de zinco e as ferritas de zinco irão reagir agora com ácido sulfúrico, agente lixiviante do processo, no entanto, cada uma dessas espécies tem facilidade de reagir em diferentes concentrações e, por isso, existem faixas de pH distintas nesta etapa, podendo assim classificar como lixiviação neutra ou ácida de acordo com este valor. Vale lembrar que o ferro é uma impureza muito prejudicial a este processo, sendo necessária sua remoção antes da etapa de eletrólise (DE ANDRADE et al., 1998; BOYANOV et al., 2004; FINK et al., 2006; BRASIL, 2011; QIAO et al., 2013).

Inicia-se a hidrometalurgia com pH próximo de 5 (lixiviação neutra) onde uma parte do zinco é solubilizada, mas não toda ela. De acordo com essa faixa de pH, solubilizou-se somente o óxido, e não as ferritas (FINK et al., 2006; LEVESQUE; ZABINSKI, 2010; QIAO et al., 2013).

Estas devem ser levadas a novos tanques, que serão misturados com solução de ácido sulfúrico em pH, aproximadamente 2. Assim consegue-se solubilizar o restante do óxido e parte das ferritas (reação 3) (QIAO et al., 2013).



Dois aspectos são relevantes de serem analisados neste momento. Um deles é que a solução tem uma maior concentração de zinco solubilizado, mas o outro é a solubilização do ferro.

Conforme dito anteriormente, o ferro é a principal impureza, logo não pode ser deixada nesta solução. Para remoção do ferro, é preciso haver a formação da jarosita, que ocorre em uma das etapas de purificação que este metal será submetido. Na purificação

removeremos o ferro e também serão retirados outros subprodutos e rejeitos, como o cobre, o cádmio e o cobalto (HALL, 1983; LEVESQUE; ZABINSKI, 2010; QIAO et al., 2013).

Uma vez purificada tal solução, chegamos a uma das etapas finais, que consiste na eletrólise.

Nesta etapa, uma solução de concentração aproximada de 165 g/L será distribuída por uma série de cubas eletrolíticas, onde a deposição do zinco ocorrerá no cátodo (metal alumínio). Uma reação de oxirredução irá acontecer (reações 4 a 7) (HALL, 1983; LEVESQUE; ZABINSKI, 2010):

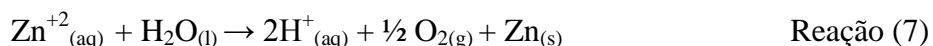
Semi-reação de redução (4):



Semi-reações de oxidação (5 e 6):



Reação global (7):



De acordo com as reações 5 e 6, pode-se dizer que há uma competição no que diz respeito à deposição metálica do zinco, pois de acordo com a quantidade de  $\text{H}^+$  presente na solução, teremos uma menor deposição de Zn sólido, conseqüentemente, menos eficiência do processo. Não somente a quantidade de  $\text{H}^+$  mas também a presença de outros contaminantes na solução (>15 ppb) como Germânio (Ge), Selênio (Se) e Telúrio (Te), deslocam o potencial do zinco e acarretam a produção de mais hidrogênio (HALL, 1983; DE ANDRADE et al., 1998; BOYANOV et al., 2004).

Após a eletrólise, as folhas catódicas de zinco são levadas para a fundição, onde serão fundidas e moldadas de acordo com os produtos finais vendidos pela empresa.

Analisando-se a situação de produção do zinco metálico no país, buscou-se neste trabalho investigar as situações e condições que poderiam aumentar a eficiência no processo, ou pelo menos compreender, em escala laboratorial, como garantir as condições de deposição com um menor custo. O trabalho continua sendo desenvolvido, buscando-se mais resultado, para posteriormente obter como resultado um aumento na eficiência do processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O grupo de experimentos foi realizado de acordo com um planejamento que fixava as condições e variáveis possíveis (como, por exemplo, concentração da solução, temperatura e potencial de reação). Sendo assim, os materiais utilizados foram: Solução aquosa de Sulfato de Zinco Hepta Hidratado com concentração 0,5 mol/L; Retificador de corrente contínua; eletrodos de chumbo e alumínio; agitador magnético; espátula; cadinho; balança analítica; béqueres de graduações variadas; balões volumétricos de 100 mL, fios de cobre e conectores garra (tipo “jacaré”). A seguir será mostrada a tabela com 4 dos experimentos realizados e as respectivas massas depositadas.

**Experimentos 1 a 4** – Concentrações iguais com variações de temperatura e tensão (foram utilizados eletrodos similares aos de escala industrial – dados apenas para o cátodo)

Experimento	Massa Inicial	Massa Final	Massa Depositada	Voltagem	Amperagem
1	26,7326g	27,0110g	0,2784g	7,6 V	0,2 A
2	26,6299g	26,7955g	0,1656g	9,7 V	0,4 A
3	26,6250g	26,7897g	0,1647g	5,1 V	0,4 A
4	26,6144g	26,9421g	0,3277g	6,4 V	0,8 A

Observando esses experimentos, os cálculos teóricos, pelas Leis d Faraday foram feitos e os erros calculados, como se seguem:

Erro Experimentos 1 e 2 – 4% ( $m_{esperada} = 0,0813g$ ) e 2% ( $m_{esperada} = 0,1626g$ ) respectivamente.

Erro Experimentos 3 e 4 – 1% ( $m_{esperada} = 0,1626g$ ) e 1% ( $m_{esperada} = 0,3253g$ ) respectivamente.

Manteve-se um padrão de execução de procedimentos para que não houvesse alteração dos resultados. Todos os experimentos foram realizados com 50 mL da solução aquosa de Sulfato de Zinco Hepta Hidratado 0,5 mol/L, preparada da seguinte forma: a massa de Sulfato de Zinco Hepta Hidratado foi pesada em uma balança analítica (a massa foi previamente calculada pela fórmula de concentração molar) e colocada em balões volumétricos de 100mL. Cada balão continha a massa necessária para se obter a molaridade desejada. Como algumas partes dos cristais de sulfato de zinco não se solubilizaram, os balões volumétricos eram submetidos por agitação magnética com o auxílio de um agitador magnético.

Antes do início do processo eletrolítico os eletrodos foram lixados e lavados. Em um béquer eram colocados 50 mL da solução de zinco (temperatura de 25 °C) e mergulhados os

eletrodos até a metade do comprimento dos mesmos. Os eletrodos eram ligados ao retificador de corrente contínua por meio dos fios condutores: o eletrodo de alumínio era ligado ao pólo negativo, sendo o cátodo; enquanto o eletrodo de chumbo era ligado ao pólo positivo, sendo o ânodo.

Após a fixação dos eletrodos, mantendo-se uma distância mínima entre estes, o retificador era ajustado para o potencial ser 12V. O tempo de reação foi determinado 120 segundos para cada experimento. Decorridos os 120 segundos, media-se a temperatura e os eletrodos eram analisados macroscopicamente, lixados e armazenados para a utilização do próximo experimento.

Dois experimentos (escolhidos aleatoriamente) foram realizados na temperatura de 67 °C para se observar a influência da temperatura no processo. No total, foram realizados 8 experimentos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os processos realizados trouxeram a possibilidade de se estudar a eletrólise na prática. Ao final de cada experimento, os resultados obtidos eram a deposição de zinco metálico no cátodo de Alumínio e a oxidação do ânodo de Chumbo. Tais resultados conferem com as teorias da eletroquímica, que prevê a deposição (redução), na eletrólise, do metal com menor potencial padrão de redução (no caso, o zinco) e a oxidação do metal que possui maior potencial padrão de redução (chumbo).

Nos primeiros experimentos, o zinco foi depositado de forma porosa e heterogênea, não constituindo propriamente uma folha catódica uniforme, conforme mostrado na figura 1. O esperado é que houvesse a deposição uniforme do zinco metálico. Esse resultado, possivelmente, foi encontrado devido ao teor de pureza da solução, a sua concentração, a pressão no local do experimento, a proporção do tamanho do experimento (em laboratório, a proporção dos equipamentos é muito menor que o tamanho da estrutura de uma indústria) e a temperatura. Ademais, a voltagem utilizada de 12V não é, também, a mesma utilizada em uma indústria (onde os resultados obtidos são os esperados - formação uniforme da folha catódica)



Figura 1: Eletrodo de alumínio com deposição de zinco.

Nos dois experimentos em que a temperatura foi de 67 °C, observou-se maior uniformidade da deposição de zinco. Em um dos casos, não houve nenhuma porosidade observada a olho nu e pode-se perceber a influência da temperatura no processo. Conclui-se, pois, que a temperatura influi diretamente na qualidade do produto obtido.

Outro fator que se deve considerar é a coloração das soluções, conforme observa-se nas figuras 2 e 3 abaixo. Percebe-se um escurecimento da solução após um longo tempo de deposição, ou seja, o zinco depositado começa a passar por um processo de redissolução. A solução levemente rosa é conhecida como jarosita, é empobrecida de zinco.



Figura 2: Solução após redissolução



Figura 3: Solução empobrecida de zinco

Por fim é possível comparar observar uma chapa com espessura maior obtida em escala industrial com a encontrada laboratorial (figura 4a e 4b). Nelas se conclui que o projeto está no caminho certo, sendo possível fazer novos planos e resultados para o projeto.



(a)



(b)

Figura 4: Depósito em escala laboratorial (a) e industrial (b).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto a legitimidade do processo eletroquímico, ou seja, as reações puderam ser observadas e ocorreram de acordo com a teoria (redução e oxidação) e a análise da deposição de zinco foi suficientemente capaz de permitir analisar a influência de variáveis na eficiência do processo, tal como a temperatura. O próximo passo de nossas pesquisas será o estudo do gasto energético em cada experimento e concluindo quais as melhores condições para maior deposição e menor consumo.



Vale ressaltar que no momento ainda não é possível garantir a eficiência do processo, pois este ainda está sendo concluído, mas há de se considerar que os resultados até o momento são interessantes.

## **BIBLIOGRAFIA**

BOYANOV, B.; KONAREV, V.; KOLEV, N. Publication of zinc sulfate solutions from cobalt and nickel through activated cementation. **Hydrometallurgy**, 73, 2004.

BRASIL. **Mineração no Brasil: Previsão de demanda e necessidades de investimentos**, Brasília: MME/SMM, 2000.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral. Anuário Estatístico Setor Metalúrgico**, 2011, p. 101-104.

DE ANDRADE, M.; VIEIRA, J.; CUNHA, L. **Mercado nacional de zinco: evolução e perspectivas**, Área de Operações Industriais AO2- GESET três, BNDES Setorial, 18p, 1998.

FINK, N.; WILSON, B.; GRUNDMEIER, G. Formation of ultra-thin amorphous conversion films on zinc alloy coatings Part 1. Composition and reactivity of native oxides on ZnAl (0.05%) coatings. **Electrochimica Acta**, 51, 2006.

HALL, D., Electrodeposited zinc–nickel alloy coatings – a review. **Plating and Surface Finishing**, 70, 1983.

LEVESQUE, A.; ZABINSKI, P. Electrochemical corrosion behavior in NaCl medium of zinc–nickel alloys electrodeposited under applied magnetic field. **Journal of Alloys and Compounds**, 506, 2010.

QIAO, X.; LI, H.; ZHAO, W.; LI, D. Effects of deposition temperature on electrodeposition of zinc–nickel alloy coatings. **Electrochimica Acta**, 89, 2013.