



REFINO DO COBRE POR MEIO DA ELETRÓLISE

DAROSCI, Gabriel ¹

OLIVEIRA, Daniele ²

RESUMO

O cobre é um condutor elétrico devido oferecer pouca resistência ao movimento de carga elétrica e destaca-se frente a outros condutores, tais como a prata e ouro, devido o seu menor custo. Contudo, o cobre adquirido após a metalurgia contém uma pequena parcela de impurezas que diminuem a sua condutibilidade elétrica, sendo assim necessário torná-lo o mais puro possível. O processo de purificação e o método utilizado para tal atividade denomina-se eletrólise que consiste na passagem de uma corrente elétrica por uma solução saturada de sulfato de cobre com 15% de ácido sulfúrico onde o anodo feito de cobre impuro é decomposto. Este trabalho analisou o processo de eletrólise do cobre para fins de purificação do mesmo, por meio de ensaios em laboratório. Devido a dificuldade de acesso ao blíster - cobre com 98 a 99,5% de pureza - realizou-se os experimentos com chapas de cobre beneficiado, onde pode-se observar uma formação menor de lama anódica. Alguns resultados obtidos convergiram com os descritos na literatura, porém, quando as diretrizes do processo variam, observa-se menor aderência de cobre no catodo, portanto menor eficiência do processo.

Palavras-chave: Cobre. Eletrólise. Experimentos.

¹ Estudante da 7ª fase do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE-SC. E-mail: gabrieldarosci@yahoo.com.br

² Professora do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE-SC. E-mail: quimicadaniele@hotmail.com

ABSTRACT

Copper is the main conductor of electricity, this is due to their low resistance to the passage of electrical current and lower cost compared with other materials with higher electrical conductivity as silver. However, after the copper metallurgy has gained a small part of various types of impurities, which decrease their electrical conductivity, hence the necessity of making the pure copper generates the search for a process to purify the same, and the method used for such activity is called electrolysis. This approach aims to analyze how the process of electrolysis, varying the process parameters through laboratory tests for a comparison of the data obtained after the experiments reported in the literature with the works, so that you can view the influence of each parameter in the process, and also the results. The results obtained from the experiments with the converged described in the literature, however, it can be observed some variations in results as the adhesion of copper on the cathode, although the process behaves exactly as described in the literature, the amount of material that effectively adhered the end of the cathode case was slightly lower than that described in the literature.

Keywords: Copper. Electrolysis. Experiments.

1 INTRODUÇÃO

O cobre foi o primeiro metal usado pelo homem, era conhecido por algumas das mais antigas civilizações que se tem notícia e tem sido utilizado pelo menos há 10.000 anos. Atualmente é um dos materiais mais utilizados para diversas aplicações, como por exemplo, tubulações residenciais para água quente e gás, fiações elétricas, barras de aterramento, etc, segundo o Portal Recicla Brasil (2014).

Por meio do processo de eletrólise é possível modificar a composição química de alguns materiais tornando-os mais puros, como por exemplo, o cobre. Onde utiliza-se uma técnica denominada eletrodeposição metálica ou galvanização, nada mais é do que uma aplicação de corrente elétrica através de eletrodos em uma solução iônica. A eletrólise é um processo que separa os elementos químicos de um composto. Tal fenômeno não é uma reação espontânea então se utiliza de uma fonte externa de potencial para forçar a reação. No cobre, pode-se chegar a uma pureza de cerca de 99,9% e é usado principalmente para fazer fios de cobre que devem possuir alto nível de pureza para assim ter menor resistência a passagem da corrente elétrica.

A presente pesquisa procurou explicar o que ocorre quando existem variações de parâmetros tais como corrente elétrica, concentração da solução e da

distância entre os eletrodos. Os resultados obtidos foram contrastados com os encontrados na literatura e discutidos neste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A necessidade de conseguir materiais cada vez mais puros e dar acabamentos na superfície com determinado material sobre outro gera a busca por um método válido para realização do procedimento chamado de eletrodeposição, esse método é a eletrólise. Assim, serão apresentados e abordados os principais conceitos que norteiam este trabalho.

2.1 Eletrólise

A eletrólise é um processo onde ocorre uma reação físico-química não espontânea, em função da capacidade de separar materiais e alterar a composição química dos mesmos a eletrólise é largamente utilizada na indústria para obtenção de materiais com alto índice de pureza como cobre, alumínio, magnésio, ouro, potássio etc., também é utilizado para revestir materiais metálicos, sendo possível criar camadas de um metal sobre outro, como exemplo a zincagem, cromatização, douração etc, conforme Aichinger, Bach e Moreira (1981) e Browm et al (2005).

O processo de eletrólise é uma reação de óxido redução inversa ao processo decorrente de uma célula galvânica, pois tem como princípio a utilização de energia elétrica para criação de polos positivo e negativo, forçando a ocorrência da corrosão, o material que se deseja obter sai do ânodo e deposita-se no cátodo, de acordo com Sardella (2004) e Feltre (1988).

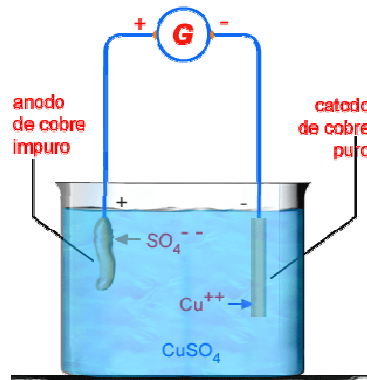
Durante a eletrólise, os elétrodos ficam ligados a uma fonte de eletricidade, o eletrodo que estiver ligado ao polo negativo da fonte, terá um acúmulo de elétrons, devido aos elétrons da fonte escoarem para o eletrodo, o acúmulo de elétrons no eletrodo atrai os íons positivos existentes na solução eletrolítica, esses íons reagem com os elétrons acumulados no elétrodo, constituindo assim uma reação de redução no cátodo, conforme Silva e Silva (1982) e Slabaugh e Parsons (1980).

O eletrodo ligado ao polo positivo da fonte, atrairá os íons negativos existentes na solução eletrolítica e perdem seus elétrons em excesso, que sobem pelo elétrodo e passam pelo condutor até chegarem ao polo positivo da fonte de

energia, a reação ocorrida no ânodo denomina-se oxidação, ainda de acordo com Silva e Silva (1982) e Slabaugh e Parsons (1980).

Corroborando o texto acima, no processo de eletrólise ocorre um fluxo de material do ânodo para o cátodo, forçada pela corrente elétrica transmitida pela solução eletrolítica entre os eletrodos, o cátodo está ligado ao polo negativo da fonte e utiliza os elétrons que recebe para reduzir as substâncias, sendo assim, aumenta seu volume. Durante o processo de oxidação os elétrons removidos passam pelo ânodo e destinam-se ao terminal positivo da fonte, assim fechando o circuito, conforme imagem abaixo, segundo Browm et al (2005).

Figura 1 - Óxido redução do cobre



Fonte: (Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada)

Segundo a lei de Faraday, a quantidade de substância gerada pelo processo de eletrólise é diretamente proporcional a quantidade e energia elétrica utilizada, assim como, a quantidade de energia e substância adquirida são proporcionais à sua massa equivalente, de acordo com Russell (1994) e Sardella (1985).

A reação de oxidação e redução estão diretamente ligadas uma à outra, sendo que no processo de óxido redução, ambas tem influência sobre o processo, por isso, considera-se que o potencial gerado para que ocorra a reação é a soma dos potenciais do ânodo e do cátodo, segundo Browm et al (2005). O potencial da reação pode ser escrito conforme expressão algébrica abaixo:

$$E_{célula} = E_{ânodo} + E_{cátodo}$$

2.2 A importância do cobre como condutor

A história da utilização do cobre pelo homem consta desde a era pré-histórica a.C., onde o mesmo fazia experimentos e fabricava utensílios com este material. Os minérios de obtenção do cobre são a calcopirita ($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$) e a calcosita (Cu_2S), ambas contendo enxofre. Após o processo de extração do enxofre, obtém-se o blíster:

“O cobre bruto obtido nessa etapa recebe o nome de blíster, e apresenta uma pureza entre 98% e 99,5% de cobre, com impurezas como antimônio, bismuto, chumbo, níquel etc., e também metais nobres, como ouro e prata.” (IFSC, 2010 p.144).

O cobre vem sendo utilizado há tempos como principal condutor de energia elétrica, devido a sua baixa resistência à passagem da corrente elétrica e baixo custo de aquisição se comparado a metais com maior índice de condutividade elétrica. A condutibilidade elétrica do cobre é utilizada como referência para medir a propriedade em outros metais, sendo que a condutividade do cobre é posta como 100% e compara-se outros metais a ele para verificar sua eficácia na condução de eletricidade, o cobre apresenta uma resistência de 0,15328 ohm.g/m² a 20°C, conforme Barbosa (2006).

Contudo o cobre obtido na metalúrgica tem uma pequena quantidade de outros metais como alumínio, ferro, ouro, platina, prata entre outros, e com esse percentual de pureza não tem a eficiência necessária para as exigências do mercado consumidor, pois algumas das impurezas presentes no mesmo podem afetar a sua condutibilidade, causando perda de energia. Para conseguir o desempenho exigido o cobre tem de passar por um refino eletrolítico:

O cobre para ser utilizado como condutor elétrico exige uma pureza altíssima para que sua resistência elétrica seja a menor possível. Isso impede o uso do cobre obtido na metalúrgica, cuja pureza máxima (98%) ainda não é suficiente para usá-lo como condutor elétrico. (PERUZZO, 1993, p. 173).

Em 1997 a indústria brasileira de cobre tinha uma capacidade de fornecimento de 46 mil toneladas ano de cobre concentrado e 176 mil toneladas ano de cobre refinado. O seguimento de transformação de cobre em bens duráveis ou não detinha uma capacidade de 433 mil toneladas ano, sendo 49% da capacidade

destinada a fabricação de fios e cabos condutores, 45% destinada a laminação e extrusão e 6% a outros produtos, de acordo com Andrade et al (1997).

A estimativa de crescimento na demanda de cobre é de cerca de 3% ao ano para países desenvolvidos, cerca de 10% ao ano para os tigres asiáticos e expectativas de crescimento de demanda na América Latina semelhante a do Brasil, em torno de 8% ao ano, ainda conforme Andrade et al (1997).

Os 49% da produção total que é destinada a fios e cabos condutores, tem as mais diversas aplicações, sendo elas, transmissão de energia, fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos, partes elétricas de automóveis, aparelhos de telecomunicação, cabos condutores para estradas de ferro eletrificadas, motores, etc, segundo Ribeiro (2001).

2.3 Refino eletrolítico do cobre

O processo de refino eletrolítico do cobre consiste na utilização de uma fonte de corrente contínua que induz corrente elétrica com tensão em cerca de 5 volts, pois uma tensão maior resultaria em perdas de energia por transformação em calor e formação de gases e uma tensão menor pode ocasionar problemas, pois, cada metal necessita de uma tensão mínima para que a reação ocorra de maneira correta e a corrente deve ser de $1\text{A}/\text{cm}^2$, sendo que quanto maior o valor da corrente mais rápida será a reação, segundo a lei de Faraday utilizando o valor de $1\text{A}/\text{cm}^2$ para a corrente a reação deve ocorrer a uma velocidade de $1,33\text{mm}/\text{h}$ ou $1,19\text{g}/\text{h}$, porém na prática nem toda energia aplicada é utilizada na reação, pois parte dela transforma-se em outros tipos de energia como calor e etc., dessa forma a velocidade da reação pode não ser exatamente a proposta na lei de Faraday porém deve ser muito próximo a ela, conforme Bueno et al (1978).

Algumas relações quantitativas apresentadas nas leis de Faraday são que a quantidade do produto final adquirido com a eletrólise é proporcional a quantidade de energia desprendida para execução da mesma logo a quantidade de substância adquirida tem sua massa proporcional equivalente a quantidade de energia elétrica utilizada, de acordo com Russell (1994) e Feltre (1990).

Durante a reação a corrente passa por um ânodo de cobre com baixo índice de pureza que contém diversos outros tipos de metais, os quais se pretendem separar do cobre, e por um cátodo de cobre com alto índice de pureza que estão

submersos em uma solução iônica de sulfeto de cobre (CuSO_4). As semi-reações decorrente da eletrólise do cobre em sulfeto de cobre são:



O processo de eletrólise do cobre em solução de sulfeto de cobre gera formação de alguns gases como mostra a semirreação acima, sendo estes o gás hidrogênio (H_2) e o gás oxigênio (O_2), como na molécula de H_2O existem dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio a liberação de gás hidrogênio é maior que a de gás oxigênio, de acordo com Sardella (2002) e Bard e Sobral (s.d.).

Enquanto as impurezas vão deixando o cobre, o mesmo vai depositando-se na superfície do catodo (cobre puro), pois os cátions de cobre são atraídos pelo catodo enquanto as impurezas (ânions) são repelidas.

Impurezas mais nobres presentes no cobre não se oxidam no ânodo e se depositam formando a lama anódica. É o caso de Au, Ag e Pt. Impurezas menos nobres que o cobre se oxidam no ânodo, mas não conseguem se reduzir no cátodo, permanecendo em solução. É o caso de Fe, Zn e Ni. (PERUZZO, 1993, p. 174).

As impurezas mais nobres que estão contidas no cobre que não oxidam no ânodo tendem a precipitar, pois tem maior densidade que a solução, desta forma a lama anódica fica depositada no fundo do recipiente em que ocorre a reação, de acordo com Peruzzo (1993).

A eletrodeposição do cobre sobre o catodo faz com que ele aumente seu volume e massa, “note que o processo final é a transferência do cobre para o cátodo. Conseqüentemente há destruição do ânodo e aumento do cátodo.”, diz Sardella (2002). O resultado obtido com a eletrólise é um produto com percentual médio de 99,9% de cobre sendo este conhecido como cobre eletrolítico.

Durante o processo é importante que o cátodo esteja próximo ao ânodo, pois isso facilita a passagem da corrente, havendo menos perda de energia, o que

permite realizar a reação com uma corrente maior e faz com que o processo seja mais rápido. Outra forma de aproveitar melhor a corrente elétrica é aumentar a área dos eletrodos, isso diminui a resistência a passagem elétrica o que faz com que menos energia elétrica seja transformada em calor. A concentração da solução também tem influência direta na passagem de corrente elétrica, pois quanto mais íons livres houver na solução mais eficaz se torna a transferência de corrente elétrica, conforme Bard e Sobral (s.d.).

A utilização eficiente da energia elétrica torna o processo mais barato, no entanto “os custos do refino eletrolítico do cobre é compensado pela extração e venda dos materiais presentes na lama anódica (Ag, Au, Pt, sílica, restos de minérios etc.), de acordo com Peruzzo (1993). A extração é realizada através de um processo chamado de floculação.

3 METODOLOGIA

A pesquisa analisou o processo de transformação do cobre elementar em cobre eletrolítico e uma vez que o processo pode ser aplicado utilizando-se dos conhecimentos básicos para resolver questões relacionadas a aplicações concretas, trata-se de uma pesquisa aplicada. A abordagem será qualitativa e serão contrastados os resultados obtidos pelo método experimental com uma pesquisa bibliográfica. A metodologia usada no estudo de caso tem por finalidade analisar o processo de transformação de cobre não refinado em cobre eletrolítico, variando os parâmetros de controle para proporcionar uma análise dos dados coletados.

A Análise foi realizada em um Espectrômetro de Massa no ânodo de Cobre antes do processo de eletrólise e do cátodo após o processo, com o objetivo de comparar os resultados. A coleta de dados foi realizada em diversas literaturas, onde os temas abordados foram: Cobre eletrolítico, processo do cobre eletrolítico, e conhecimentos aprofundados no processo de eletrólise.

Foram utilizadas para análise duas chapas de Cobre (Cu), um ânodo com 99,7% de pureza e um cátodo com 99,7%, as chapas eram eletrodos descartados pela empresa Zen S/A, que os utiliza no processo de eletro erosão. Através do processo de eletrólise objetivou-se promover o refino do ânodo, depositando-o no cátodo. Todo o procedimento foi elaborado baseado no estudo de alguns dos principais pesquisadores do tema em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A dificuldade em encontrar blíster-cobre impuro impossibilitou a análise de um grande diferencial de pureza do material antes e depois do processo, contudo, o comportamento do processo analisado com as amostras de cobre durante os experimentos convergiu com os descritos na literatura. Os experimentos foram realizados em duas etapas:

Etapa I - Realizou-se experimentos aleatoriamente, alterando-se a tensão promovida pela fonte de corrente contínua (cc) e observou-se que a solução apresentou alto índice de aquecimento decorrente do excesso de tensão induzida na solução, o que gera grande perda na formação não apenas de calor, mas também na formação de gases, o que ficou muito visível durante a reação.

Durante esta etapa de experimentos ficou explícito que o cobre realmente estava reduzindo no catodo em função da grande quantidade de matéria acumulada na superfície do mesmo, porém a aderência do material foi muito reduzida, sendo assim ele migrou do ânodo para o catodo, mas não aderiu à chapa, pois segundo referências consultadas, a alta temperatura da solução causada por excesso de tensão tem influência direta sobre a aderência do material sobre o catodo,

Parte II - Realizou-se experimentos de acordo com parâmetros estabelecidos na metodologia pode-se observar uma redução muito grande no aquecimento da solução e também um aumento no tempo para o início do aquecimento. A formação de gases foi muito reduzida quase imperceptível, ao final da reação pode-se visualizar algumas bolhas de gás próximas ao ânodo, mas com um volume muito inferior ao do primeiro experimento realizado.

Nesta etapa do processo com a tensão controlada, pode-se observar que o fluxo do material ainda existia, mas de maneira um pouco reduzida, e ao fim da reação viu-se que o material havia aderido melhor ao catodo, porém ainda com uma aderência inferior aos padrões da literatura.

Após o segundo experimento analisou-se o cátodo no espectrômetro de massa, o resultado obtido encontra-se na imagem abaixo.

Figura 2 - Análise do cátodo no espectrômetro de massa antes e depois do processo

| SPECTRO | | 13/11/2012 16:54:49 | | | | | | |
|-----------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|---------------------|
| Método: | Cu-01-M | | | | | | | 13/11/2012 16:54:23 |
| Comment: | Cu- Orientativo | Concentrações | | | | | | |
| Solicitante: | OS: | Liga: | | | | | | |
| Proj.Integrador | | Obs: | | | | | | |
| Corrida: | Forno: | Amostra01 | | | | | | |
| Analista: | | | | | | | | |
| Pamella | | | | | | | | |
| | Zn | Pb | Sn | P | Mn | Fe | Ni | Si |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.0648 | 0.0061 | 0.0064 | 0.0023 | < 0.00020 | 0.0894 | 0.0024 | 0.0135 |
| 2 | 0.0588 | 0.0052 | 0.0053 | 0.0025 | < 0.00020 | 0.0891 | 0.0024 | 0.0114 |
| | Cr | Te | As | Sb | Bi | Ag | Co | Al |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | < 0.00020 | 0.0030 | < 0.00040 | < 0.0035 | < 0.00060 | 0.0010 | < 0.0015 | 0.0054 |
| 2 | 0.00057 | 0.0036 | 0.00071 | < 0.0035 | < 0.00060 | 0.0010 | < 0.0015 | 0.0046 |
| | S | Be | Zr | Au | B | C | Ti | Se |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.0111 | < 0.00010 | < 0.00020 | < 0.00050 | < 0.00020 | 0.0370 | 0.00029 | < 0.00080 |
| 2 | 0.0055 | < 0.00010 | < 0.00020 | < 0.00050 | < 0.00020 | 0.0370 | < 0.00020 | < 0.00080 |
| | Nb | Pt | Cu | | | | | |
| | % | % | % | | | | | |
| 1 | 0.0014 | < 0.0020 | 99.7 | | | | | |
| 2 | 0.0011 | < 0.0020 | 99.8 | | | | | |

Fonte: Laboratório UNIFEBE

A imagem acima mostra a alteração na composição na superfície do cátodo, percebe-se um aumento da pureza do cobre, que sai de 99,7% e vai para 99,8%, percebe-se que o diferencial de pureza é pequeno devido a chapa de cátodo inicialmente já ter alto índice de pureza, também o índice de pureza de 99,8% não é o resultado esperado, sendo que o cobre pode chegar a uma pureza de 99,9% de pureza.

Pode-se observar também pequenas reduções de outras substâncias do cátodo, sendo elas: Zn, Pb, Sn, Si, Al, S. Essas substâncias de acordo com a literatura precipitam na solução formando a lama anódica ou permaneceram em meio aquoso. Houve também pequenas alterações na quantidade de outras substâncias, porém em uma quantidade muito pequena.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que os recursos naturais são limitados, faz-se necessário retirar o máximo rendimento dos materiais utilizados, dessa forma a perda de material torna-se menor, a eletrólise garante um alto nível de pureza e por isso é um

processo de grande validade para atingir um rendimento maximizado dos recursos empregados no cotidiano.

O processo de refino eletrolítico do cobre se faz necessário na sociedade atual, pois com a crescente preocupação com a conservação da energia elétrica e dos recursos utilizados para consegui-la não é possível utilizar um condutor que tenha perdas demasiadas de energia, pois isso resultaria em uma produção maior de energia elétrica para compensar as perdas. Contudo o processo de refino eletrolítico do cobre tem um custo relativamente alto que pode ser amenizado com a utilização de parâmetros corretos para reduzir perdas durante o processo e a utilização dos resíduos gerados na reação para aquisição de metais nobres.

As experiências realizadas mostraram o quanto os parâmetros de processo são fundamentais para o mesmo, sendo que a utilização de parâmetros errados gera grande quantidade de desperdício como aumento do tempo de processamento, aumento da quantidade de energia empregada no processo e também na qualidade e quantidade adquirida do produto final.

No Brasil o cobre produzido nas metalúrgicas passa pelo processo de eletrólise antes mesmo de sair da mesma, dessa forma encontrou-se grande dificuldade ao realizar os experimentos por conta de não ter-se acesso ao cobre não beneficiado pela eletrólise, contudo os experimentos foram realizados utilizando chapas de cobre beneficiados, onde pode-se observar todos os efeitos do processo, mas com uma formação menor de lama anódica devido a baixíssima quantidade de impurezas no cobre.

O processo de eletrólise tem uma aplicação muito ampla dentro de indústrias dos mais diversos ramos de atividade, em função de sua alta utilização e alto custo de processo ainda tem grande campo para estudos, o processo de cromatização tem um conceito bastante parecido com o da eletrodeposição ocorrido no beneficiamento do cobre e apresenta maiores facilidades para realização de experimentos devido a mais fácil aquisição do material necessário para realização dos mesmos, em função disso recomenda-se que a partir desse trabalho sejam aplicados estudos no processo de cromatização, processo no qual é possível através de melhorias nos parâmetros torná-lo mais acessível, reduzindo desperdícios e consecutivamente custos.

REFERÊNCIAS

- AICHINGER, Ernesto Christiano; BACH, Sigurd Walter; MOREIRA, Daisy de Rezende. **Química básica**. São Paulo: E.P.U., 1981. v.3.
- ANDRADE, Maria Lúcia Amarante; et al. **Indústria do cobre: área de operações industriais**. Brasília: BNDS, 1997.
- BARBOSA, Cássio. **Cobre**. Rio de Janeiro: [s.e.], 2006.
- BARD, Gabrielle N.; SOBRAL, Luiz G. S. **Recuperação de ouro, prata e cobre de lama anódica proveniente do refino eletrolítico de cobre**. São Paulo: Cetem, s.d.
- BROWM, T. L. H. et al. **Química: a ciência central**. 9.ed. São Paulo: Pearson, 2005.
- BUENO, Willie A.; et al. **Química geral**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- CENTELHAS. **Eletrocorrosão de metais**. Disponível em: <<http://www.centeilhas.com.br/biblioteca/eletrocorrosao.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2012.
- E-FÍSICA. **Aplicações da eletrólise**. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/eletrolise/aplic_eletrolise/>. Acesso em: 02 jul. 2014.
- FELTRE, Ricardo. **Fundamentos da química**. São Paulo: Moderna, 1990.
- _____. **Química**. 3.ed. São Paulo: Moderna, 1988.
- IFSC - INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Aula 13**. Disponível em: <http://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/1/15/Aula_13.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2010.
- PERUZZO, Tito. **Química na abordagem do cotidiano**. São Paulo: Moderna, 1993.
- RECICLA BRASIL. **Cobre**. Disponível em: <<http://reciclabrasil.net/cobre.html>>. Acesso em: 16 jul. 2014.
- RIBEIRO, José Admário Santos. **Cobre**. Balanço Mineral Brasileiro, 2001.
- RUSSELL, Jhon Blair. **Química geral**. São Paulo: Pearson, 1994.
- SARDELLA, Antônio. **Curso de química**. São Paulo: Ática, 2002.
- _____. **Química**. 5.ed. São Paulo: Ática, 2004.
- _____. **Química fundamental**. São Paulo: Ática, 1985. v.3.
- SILVA, Ronaldo Henriques; SILVA, Edson Braga. **Princípios básicos de química**. São Paulo: Harbra, 1982. v.2.
- SLABAUGH, W.; PARSONS, T. **Química geral**. Rio de Janeiro: LTC, 1980.