

# SEPARAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE METAIS DE SUCATAS DE LATÃO E RESÍDUO DE ZAMAC MEDIANTE SISTEMAS AUTORREAGENTES<sup>1</sup>

Pedro Jorge Walburga Keglevich de Buzin<sup>2</sup>  
 Nestor Cezar Heck<sup>3</sup>

## Resumo

O latão é uma liga constituída principalmente por cobre e zinco e possui diversas aplicações. A reciclagem das sucatas desta liga é feita geralmente através de fusão e ajuste de composição. A grande variedade das sucatas ou resíduos de latão, contudo, dificulta a recuperação através da simples fusão. Este trabalho propõe um processo alternativo de separação destas ligas, feito mediante dissolução em meio sulfúrico oxidante e posterior reação da solução de metais resultante com resíduos de ligas de Zamac. Neste processo é gerada espontaneamente uma fração sólida de alto teor de cobre e uma solução rica em zinco. Complementando o trabalho é feita uma avaliação termodinâmica das condições de separação autorreagente das ligas de latão com resíduos de liga de Zamac utilizando-se da ferramenta computacional Factsage.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Latão; Zamac.

## SEPARATION AND RECOVERY OF METALS FROM BRASS SCRAP AND ZAMAK WASTE BY SELF-REACTING SYSTEMS

### Abstract

Brass is an alloy consisting mainly of copper and zinc, and has several applications. The recycling of this alloy scrap is usually done by melting and composition adjustment. However, the diversity of scrap or brass waste cause difficulties to the recovery by simple melting. This paper proposes an alternative method of separating these alloys, which is accomplished by dissolution in oxidizing sulfuric media and subsequent reaction with zamak alloy waste. In this process a solid fraction of high copper content is spontaneously precipitated and a solution rich in zinc is generated. Complementarily, an evaluation of the thermodynamic conditions of self-reacting separation of brass alloys and cementation with zamak residues is made using FactSage as a computational tool.

**Key words:** Recycling; Brass alloy; Zamak.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro químico, M.Sc, aluno do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LEAmet; UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil; pedrobuzin@terra.com.br*

<sup>3</sup> *Engenheiro metalúrgico. Dr.-Ing., Professor, Núcleo de Termodinâmica Computacional para a Metalurgia (NTCm), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil; heck@ufrgs.br.*

## 1 INTRODUÇÃO

O latão é uma liga que contém cobre e zinco como elementos principais. A estes, são adicionadas pequenas quantidades de outros elementos, como chumbo, arsênio e estanho, a fim de conferir características especiais. A fabricação e o uso do latão já é do conhecimento humano desde a antiguidade devido às suas propriedades físicas, químicas e estéticas. Devido a isto, sua utilização se estende a vários setores de atividades. A composição desta liga é bastante ampla, variando os teores de cobre, que é o elemento principal, geralmente entre 60% e 90% na maior parte dos usos.

Ao longo do tempo, peças inservíveis de latão descartadas como sucata tem encontrado mercado para seu reaproveitamento em função do valor dos metais constituintes da liga. O cobre, em especial, tem tido uma expressiva valorização nos últimos anos. A reutilização das sucatas de latões é feita muitas vezes através de fusão e ajuste de composição da nova liga a ser fabricada. Entretanto, a diversidade de composição das sucatas ou resíduos dificulta a recuperação através da simples fusão.

Uma possível solução é a separação prévia dos metais presentes nas sucatas ou resíduos de latão, os quais tanto poderão ser recuperados na forma metálica e assim integrar novas ligas ou mesmo serem transformados em compostos de interesse do mercado. Como o valor dos metais separados ou compostos químicos purificados geralmente é maior do que o valor destes nas sucatas, a separação dos metais existentes nas ligas que contém cobre tem sido um campo de estudo em desenvolvimento desde longa data.

### 1.1 A Separação dos Metais das Ligas de Latão

Várias estudos e patentes já tem sido propostos ao longo do tempo com o propósito de recuperar e separar os metais das ligas de latão, sendo que a maioria dos processos são de natureza hidrometalúrgica. Ralston,<sup>(1)</sup> sugere a separação do zinco e cobre a partir de latões, na forma de cloretos, a partir da dissolução preliminar da liga em cloro ou em ácido clorídrico na presença de oxigênio. Outro procedimento é o de Hay,<sup>(2)</sup> o qual propõe a separação do cobre na forma de sulfeto, reagindo as sucatas com enxofre num meio aquoso contendo os metais cobre e zinco sob a forma de sulfatos ou cloretos e aquecimento. Outros inventores também apresentaram suas ideias no campo das técnicas hidrometalúrgicas de separação.<sup>(3-5)</sup>

Dentre os processos pirometalúrgicos pode-se citar o de Betterton e Phillips,<sup>(6)</sup> aplicável ao refino de latões e bronzes. Nesta técnica, após a fusão da carga de sucata, é feita uma insuflação de ar. Neste processo são oxidados os metais zinco, chumbo e estanho os quais são coletados numa câmara de despoeiramento, Ao final da insuflação, resta no cadinho um cobre bruto que pode ser purificado por eletrólise. Os óxidos metálicos são posteriormente recuperados através de vários processos hidro ou pirometalúrgicos, geralmente com custos elevados. Também na linha pirometalúrgica, Polland<sup>(7)</sup> propõe um procedimento no qual o zinco é retirado da liga através de evaporação, auxiliado por carbono.

Alguns dos processos anteriormente referidos são antigos e atualmente em desuso. Mais recentemente, através do desenvolvimento de solventes orgânicos específicos, vários estudos,<sup>(8-10)</sup> dentre outros, tem sido realizados objetivando a separação de metais tais como cobre, zinco, níquel e outros em processos de mineração ou

recuperação de metais de resíduos ou sucatas. Isto é feito mediante dissolução do material contendo os metais em meio adequado, seguido da extração seletiva por solvente dos compostos metálicos formados. Os produtos possíveis de serem obtidos são soluções contendo metais, sais cristalizados ou mesmo metais, após redução de seus compostos.

Apesar destes desenvolvimentos, capazes até de separar misturas complexas, pode-se verificar uma relativa dificuldade prática ou econômica para a separação dos componentes metálicos de ligas ou resíduos. Estes processos podem ser complexos ou o custo possuir um peso determinante em sua viabilidade, principalmente quando utilizam insumos patenteados.

## 1.2 Os Resíduos de Liga Zamac

A liga denominada Zamac é composta por zinco, alumínio, magnésio e cobre. O zinco é o componente principal, contido no intervalo entre 92% a 95,5%, aparecendo em segundo lugar o alumínio com teores próximos a 4%. Devido ao seu baixo ponto de fusão, em torno de 385°C e suas propriedades físicas e mecânicas esta liga tem uma utilização bastante extensa como matéria-prima na confecção de peças para vários segmentos industriais.

Durante o processo de fusão e moldagem das peças, o banho metálico da liga sofre um processo de oxidação em sua superfície, existindo a necessidade de retirada periódica das impurezas formadas, evitando-se que passem como inclusões indesejadas nas peças acabadas.<sup>(11)</sup> Então, através da remoção do material, forma-se um resíduo denominado de “borra de zamac”, o qual é composto em grande parte por liga metálica arrastada, tanto na forma pulverenta como em pequenos pedaços, sendo o restante composto de óxidos e outras impurezas.

Além deste, aparece no comércio de sucatas de metais não ferrosos um outro tipo de resíduo de zamac, denominado “pingo de zamac”, que é originário de perdas ou derramamentos ao solo da liga, ocasionados durante o processo de moldagem das peças. À semelhança de cinzas ou borras de zinco, além dos óxidos dos metais constituintes, estes resíduos podem conter pequenos pedaços metálicos arrastados. Além disto, dependendo de sua qualidade, podem conter quantidades consideráveis de liga metálica em fina divisão. Estes materiais são comumente comercializados para empresas recicladoras de zinco ou refundidoras de liga de zamac.

## 1.3 Sistemas Autorreagentes

Tendo em vista o alto conteúdo de zinco das ligas de zamac, os resíduos anteriormente descritos podem ser utilizados de forma conveniente na decomposição de compostos de metais mais nobres. Estes processos poderão ser espontâneos, desde que sejam construídos sistemas termodinâmicos adequados e aqui denominados de autorreagentes. Uma das vantagens da utilização desta técnica é o emprego do potencial químico ou energético armazenado em determinado componente do sistema reativo.

De forma geral, isto é possível de ser feito estabelecendo-se as condições do sistema de modo que uma vez desencadeado o processo, as reações prossigam no sentido da formação de composto, metais de interesse ou de valor econômico. Ainda, com a escolha criteriosa dos componentes iniciais, possibilita-se que estes produtos sejam obtidos em concentração tal que seja viável a sua aplicação direta ou purificação a um custo compatível.

Uma possibilidade é o tratamento de águas residuárias contendo cobre com cinzas de zinco.<sup>(12)</sup> Porém, observando-se as limitações inerentes à natureza de cada processo, a aplicação desta técnica poderá favorecer a separação de metais presentes em ligas ou em resíduos de difícil ou onerosa recuperação, como já demonstrado em trabalho anterior.<sup>(13)</sup>

Conforme o anteriormente exposto, o presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo preliminar acerca possibilidade de separação e recuperação dos principais metais constituintes das ligas de latão, num sistema hidrometalúrgico autorreagente. O cobre é recuperado na forma metálica e o zinco, na forma de solução concentrada de sulfato. Complementando este trabalho, uma avaliação das principais condições termodinâmicas associadas ao processo é feita com o auxílio da ferramenta computacional FactSage.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Metodologia para Recuperação dos Metais da Liga de Latão

O mecanismo de separação dos metais do latão ocorre através de um processo hidrometalúrgico em duas etapas distintas: na primeira fase é feita a dissolução da liga em meio sulfúrico oxidante conforme adiante descrito. Neste estágio os metais cobre e zinco passam à solução como sulfatos. Na segunda etapa, é introduzido na solução, de forma controlada, o resíduo de zamac, de modo a manter o controle da reação e evitar aquecimento excessivo, considerando a reação do zamac com pequena quantidade ácido residual do processo de dissolução. Nesta etapa observa-se a cementação do cobre, depositando-se cobre metálico em baixa granulometria e passando a liga de zamac à solução.

Após decantação e separação do cobre precipitado, separa-se uma solução rica em zinco na forma de sulfato, já que a cementação ocorre principalmente através da seguinte reação:



O cobre precipitado é filtrado e lavado, sendo em seguida seco na temperatura ambiente, caracterizado por ICP-OES nos elementos Cu, Cd, Cr, Pb, As, Se, Ba e Ag. Foi também feita uma avaliação de resíduo insolúvel em ácido nítrico a 10% em massa. Na Figura 1 observa-se o fluxograma global do processo.

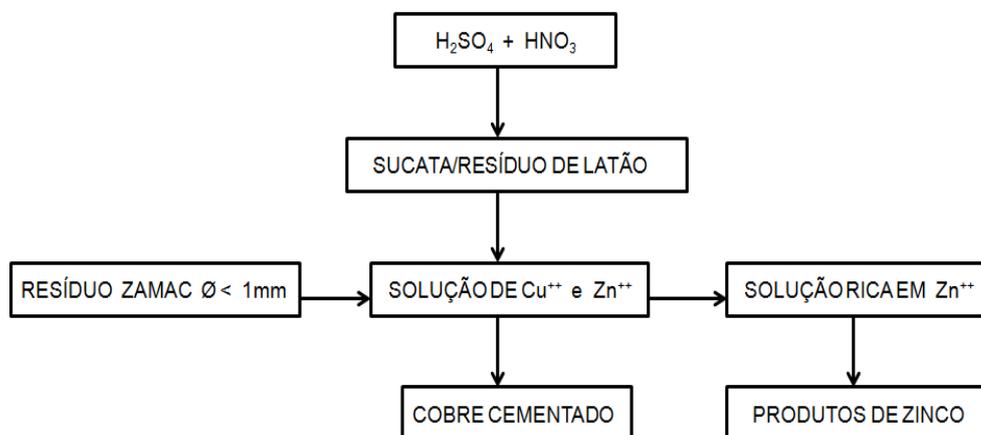


Figura 1. Fluxograma do processo de separação/recuperação ligas de latão.

## 2.2 Sucata de Latão e Metodologia de Dissolução Utilizada

Foi empregado neste estudo sucata de latão fio máquina, padrão 63-37, que além do cobre e zinco contém pequenas quantidades de chumbo e ferro. Esta sucata, com pequeno excesso ponderal em relação à solução ácida, foi submetida a um processo de solubilização em ácido sulfúrico a 25% em massa, em meio oxidante, proporcionado por pequena adição de ácido nítrico. A temperatura de reação foi mantida em 80°C, até cessação de vapores nitrosos. Após término do processo de dissolução e retirada de pequena porção de sucata não reagida, a solução de metais foi diluída em 100% com água destilada. Com este procedimento foi preparada uma solução de trabalho contendo como componentes principais sulfatos de cobre e zinco.

## 2.3 Resíduo de Zamac Utilizado

Neste trabalho utilizou-se um resíduo de 'borra de zamac', proveniente de uma empresa fabricante de artigos comemorativos. Este resíduo consiste de pequenos pedaços ou filetes de metal fundido juntamente com material de menor granulometria. Neste estudo foi utilizado somente o material de baixa granulometria, representado pela fração passante em peneira de 1,0 mm de abertura e alcançou aproximadamente 60% da massa total do resíduo. Considerando a variabilidade do teor de impurezas insolúveis deste tipo de resíduo, a fração utilizada foi caracterizada somente nos metais de interesse, zinco e cobre, bem como material insolúvel em solução de ácido sulfúrico a 25% em massa.

Na Figura 2, observa-se o resíduo de zamac bruto e na Figura 3 o material classificado empregado.



**Figura 2.** Resíduo de Zamac bruto.



**Figura 3.** Resíduo de zamac; Ø < 1mm.

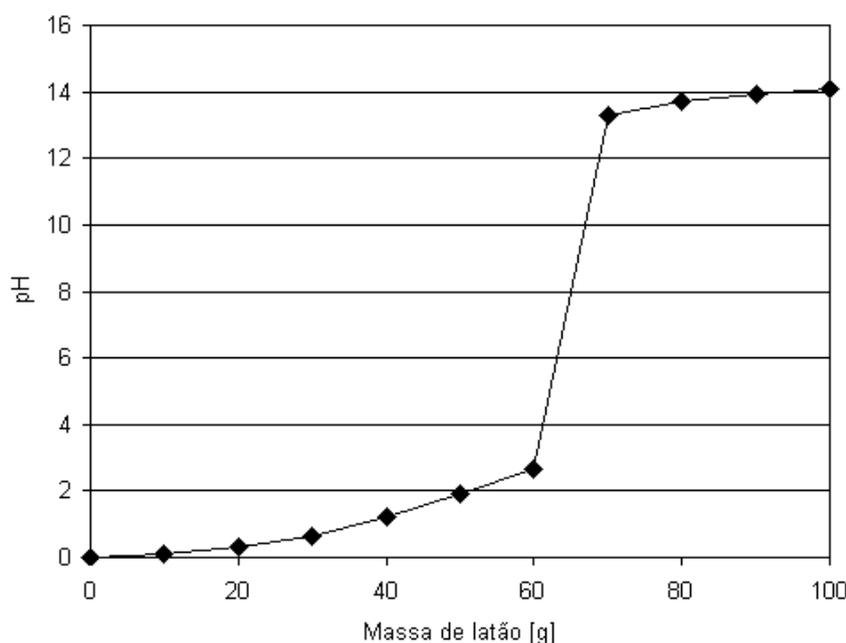
## 2.4 Avaliação Termodinâmica do Processo

Neste trabalho foram efetuadas simulações com o auxílio do aplicativo FactSage, versão 6.2, que é um *software* comercial desenvolvido para cálculos em termoquímica dos materiais com o intenso uso de bancos de dados termodinâmicos de substâncias puras e de soluções. Nestas simulações procurou-se estabelecer uma fundamentação, em bases teóricas, das principais condições de ocorrência das reações químicas de dissolução de ligas de latão em meio ácido, bem como da cementação do cobre do latão pelo Zn dos resíduos da liga de zamac.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Fundamentação Termodinâmica do Processo

Tanto a dissolução de uma liga metálica em um meio aquoso ácido quanto a cementação de íons aquosos de um metal são fenômenos que se fundamentam na eletroquímica e podem, assim, ser simulados por meio da termodinâmica química. As questões cinéticas, naturalmente, devem ser comprovadas na prática. Será apresentada inicialmente a análise termodinâmica dos processos que ocorrem na dissolução da liga metálica de latão em uma solução aquosa de ácido sulfúrico 1 *m* (molal). Essa dissolução deve ser realizada sob uma condição fortemente oxidante.



**Figura 4.** Valor do pH da solução aquosa 1 molal  $H_2SO_4$ , saturada com  $O_2$ , em função da massa de latão (63%Cu-37%Zn) adicionada à solução.

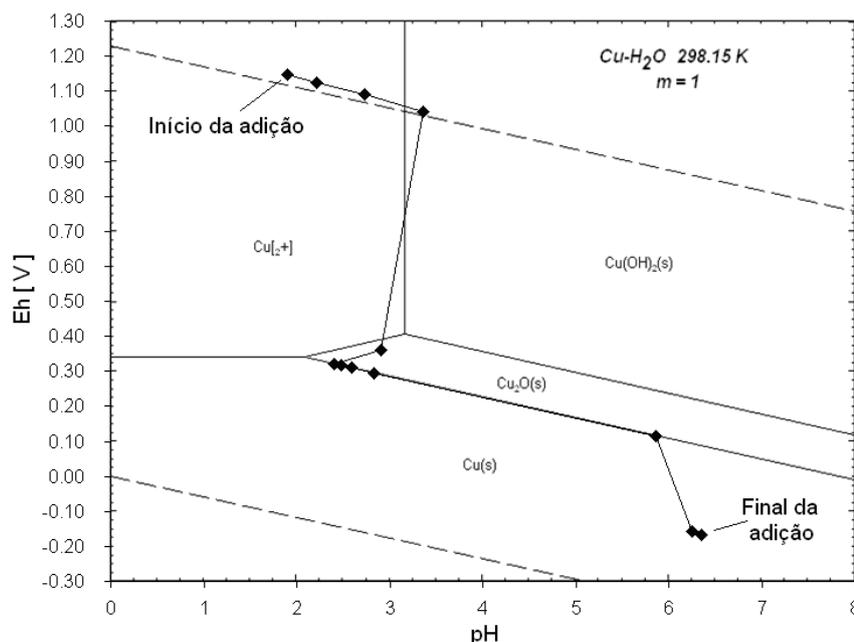
O resultado mais importante (Figura 4) mostra que, na medida em que a solução se torna rica em íons metálicos, o valor do pH da solução fortemente ácida cresce, primeiro lentamente, depois há um crescimento súbito e, por fim, volta a se estabilizar num patamar de pH elevado. Este comportamento evidencia a presença de um ponto 'ótimo', logo antes do rápido crescimento do pH.

Neste ponto têm-se duas condições importantes satisfeitas, que são: (i) solução ainda ácida; e (ii) massa considerável de cobre na solução aquosa.

Esta solução foi selecionada para a simulação da cementação autorreagente dos íons aquosos do cobre por meio do zinco contido no zamac (ZC-5).

Para esta simulação partiu-se da condição fortemente oxidante da dissolução do latão. Contudo, na medida em que a liga zamac foi sendo adicionada ao sistema, observou-se, por meio do potencial redox ( $E_h$ ), o estabelecimento de uma condição redutora, fraca no início, depois, fortemente redutora (Figura 5); o valor do pH que se estabeleceu livremente também foi seguido.

Ao longo deste procedimento, a condição redutora provocou a precipitação de diferentes compostos e a cementação dos íons de cobre.

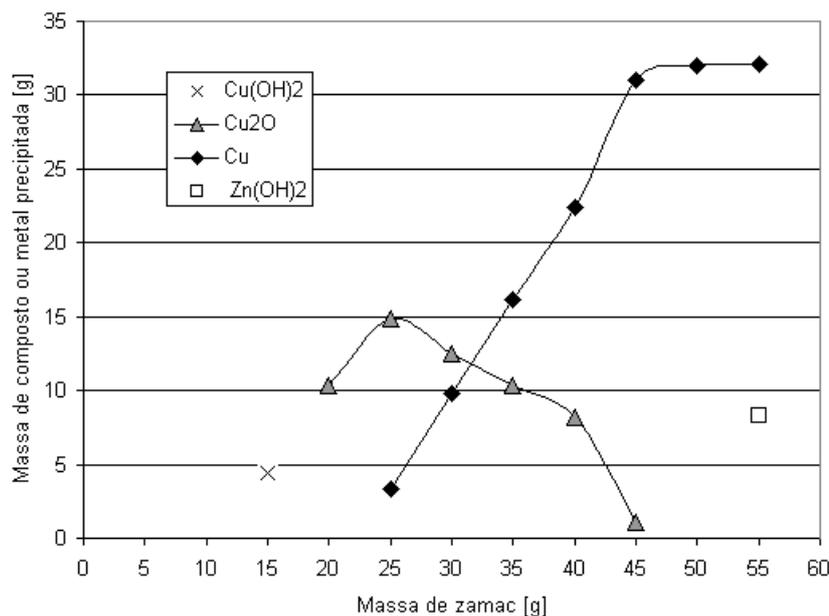


**Figura 5.** Valores do potencial redox e do pH da solução aquosa 1 molal  $H_2SO_4$ , contendo inicialmente 60 [g] de latão dissolvido, em função da massa de zamac (ZC-5) adicionada à solução.

A massa e o tipo de material precipitado foi anotada em função da quantia de zamac adicionada e pode ser vista na Tabela 1. Para uma melhor avaliação foi feita uma descrição gráfica destes valores (Figura 6).

**Tabela 1.** Massa [g] e composto (ou metal) precipitado,  $E_h$  e pH, produzidos pela adição de zamac (ZC-5) à uma solução ácida contendo dissolvidos 60 gramas de latão 63%Cu-37%Zn

ZC-5 [g]	$E_h$ [V]	pH	Cu(OH)2	Cu2O	Cu	Zn(OH)2
0	1.147	1.8937				
5	1.125	2.216				
10	1.091	2.7262				
15	1.040	3.3539	4.3706			
20	0.360	2.9043		10.351		
25	0.321	2.4034		14.835	3.3716	
30	0.316	2.4754		12.512	9.7789	
35	0.310	2.586		10.322	16.128	
40	0.296	2.8261		8.1913	22.452	
45	0.116	5.8669		1.0842	30.987	
50	-0.158	6.2558			32.00	
55	-0.167	6.3496			32.05	8.2386



**Figura 6.** Massa [g] e composto (ou metal) precipitado,  $E_h$  e pH, produzidos pela adição de zamac (ZC-5) à solução inicialmente saturada com  $O_2$  contendo 60 [g] de latão dissolvidos.

Conforme se pode verificar na tabela e nas figuras mencionadas, inicialmente se precipitam óxido e hidróxido de Cu. Ao final, contudo, as condições redutoras produzem a cementação do cobre; por fim inicia a precipitação de hidróxido de Zn.

### 3.2 Resíduo de Zamac Utilizado

Apresenta-se na Tabela 2, dados referentes ao resíduo de zamac utilizado no processo.

**Tabela 2.** Metais e materiais constituintes do resíduo de zamac

Item	Fração em massa (%)
Zinco <sub>met</sub>	48,2
Cobre	1,2
Insolúveis em $H_2SO_4$	12,8
Óxidos e outros	37,8

O teor de materiais insolúveis em ácido sulfúrico dá uma indicação do teor de impurezas que poderão acompanhar o cobre cementado. Neste resíduo encontra-se também o cobre residual da liga de zamac (1,2%) que permanece junto aos materiais insolúveis, e integrará o cobre cementado posteriormente. O item óxidos constitui-se na maioria em óxido de zinco, seguido pelo de alumínio e outros componentes em menor quantidade. Verifica-se também que este tipo de resíduo, na fração escolhida, contém um nível razoável de zinco na forma metálica. Como o resultado do processo está diretamente vinculado ao conteúdo metálico e de impurezas do resíduo de zamac utilizado, a qualidade deste é um fator determinante da pureza do cobre obtido.

### 3.3 Cobre Cementado a Partir da Liga de Latão Dissolvida

O cobre cementado a partir de uma solução de trabalho preparada conforme o item 2.2, pode ser visualizado na Figura 7 e suas principais características na Tabela 3.



**Figura 7.** Aspecto do cobre cementado.

**Tabela 3.** Principais constituintes do cobre obtido

Item	Fração em massa (%)
Cobre <sub>met</sub>	78
Cádmio	< 0,002
Cromo	<0,004
Chumbo	0,16
Arsênio	<0,02
Selênio	<0,03
Bário	0,08
Prata	<0,01
Insolúveis em HNO <sub>3</sub>	6,5
Outros	15,2

Com o resultado, verificou-se que o cobre é obtido em baixa granulometria, acompanhando a do resíduo de zamac empregado. O chumbo detetado é, em sua maioria, originário do latão e é compatível com a composição de latão “fio máquina”. O teor de material insolúvel em ácido nítrico dá uma indicação da quantidade de materiais não metálicos e óxidos presentes no cobre cementado e não considerados na caracterização. Os demais constituintes são originários da borra de zamac e permanecem no cobre cementado, bem como uma pequena quantidade de zamac não-reagido.

### 3.4 Comentários ao Processo

O processo de separação das ligas de latão pela via hidrometalúrgica inicia-se pela dissolução desta em um meio conveniente. A presença do cobre acima de um determinado teor protege o zinco, necessitando-se então de um meio oxidante que pode ser fornecido pelo ar, peróxido de hidrogênio ou mesmo ácido nítrico. Em

princípio, processos clássicos de fabricação de sulfato de cobre poderão ser também utilizados. Esta solução pode ser submetida a uma purificação prévia, reduzindo-se a quantidade de metais que possam contaminar o cobre cementado. O ferro, por exemplo, pode ser precipitado em pH adequado por oxidação.

Na etapa de cementação, que ocorre espontaneamente, a solução de sulfatos que isoladamente é um sistema estável, sofre um desequilíbrio com a introdução de um determinada quantidade de zinco metálico. A partir daí ocorre a cementação e a reação de zinco com ácido residual do processo de dissolução, favorecendo a deposição de cobre na forma dendrítica e poroso. A adição controlada do resíduo mantém uma temperatura de reação adequada, possibilitando também a redução de liga de zamac residual por oclusão. Pode-se também perceber que a qualidade do cobre obtido vai estar diretamente relacionada com a maior ou menor pureza do resíduo de zamac utilizado.

Outro fator que altera a pureza é a granulometria do resíduo de zamac. Caso se utilize material de menor granulometria ou seja feita uma cominuição prévia, ocorrerá uma menor tendência à oclusão de partículas de zamac pelo cobre cementado, resultando em maior pureza do metal.

Um excesso controlado de ácido sulfúrico residual originário do processo de dissolução da liga ou adicionado posteriormente é desejável. Isto porque é necessário dissolver os óxidos excedentes, que cobrem as partículas metálicas, e manter um pH adequado ao processo de cementação. Durante o processo, um modo conveniente de evitar o excesso de precipitante é a observação da cor azulada da solução de trabalho, devido à presença de cobre. O clareamento progressivo sinaliza o andamento e o final da precipitação.

O uso de um resíduo ou sucata com alto conteúdo de zinco não passivado tem possibilidade de utilização em processos de separação de ligas cobre/zinco. Uma das razões é porque podem ser efetivas para qualquer concentração de cobre na liga inicial, desde que corretamente dissolvida e pré-purificada. Outro motivo é que o metal restante na solução é em sua maioria zinco, o qual adicionando-se ao zinco que se dissolve na ocasião da cementação produz uma solução de alto teor de zinco, o que facilita a posterior purificação ou preparação de compostos, como por exemplo, sulfato de zinco e a partir deste, óxido de zinco.

Desta forma, este procedimento pode também ser considerado uma técnica alternativa de preparação de compostos de zinco a partir de resíduos contendo zinco e ligas Cu/Zn. Neste caso, o ácido sulfúrico dissolvente é em parte duplamente utilizado: primeiramente atuando sobre o cobre da liga e depois o sulfato de cobre formado agindo como dissolvente do zinco metálico presente nos resíduos.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados demonstram que é possível efetuar a dissolução e separação de uma liga de latão utilizando-se um resíduo de zamac. Trata-se de um processo simples e de baixo investimento, e, que possibilita a obtenção direta de cobre metálico com pureza suficiente para várias aplicações. As limitações desta técnica estão relacionadas à qualidade do resíduo de zamac empregado e aos eventuais elementos deletérios presentes na liga de latão original – o que demandará etapas intermediárias de purificação das soluções. Paralelamente, este método também permite a obtenção de sais (sulfato) de zinco. Por fim, pode-se comentar que a utilização conveniente de sistemas autorreagentes – que têm por meta a economia

energética no processo como um todo – pode proporcionar viabilidade econômica para escalas menores de produção de metais e compostos.

## REFERÊNCIAS

- 1 RALSTON, O.C; inventor, assignor to Hooker Electrochemical Company, New York. Treating Brass Scrap. U.S patent 1,402.015, 1922 jan 3.
- 2 HAY, J.O.; inventor, assignor to The Harshaw Chemical Company. Separation of Copper from Zinc. U.S. patent 2,362.202. 1944 nov 7
- 3 HANULIK, J. inventor; assigner to Recytec S.A., Switzerland. Process for the Electrochemical Separation of Metal Mixture and Metal Alloys. U.S. patent 5,045.160, 1991 set 3.
- 4 HEINS, S.M.; inventor, assignee to Chempro Corporation, Chicago. Separation of Zinc from a zinc-copper alloy. U.S. patent 4,482.377. 1984 nov 3.
- 5 WAGNER, E.R.; inventor, assignor to Metals and Chemicals Corporation, N.Y. Non-Ferrous Scrap Treatment. U.S. patent 2,912.305. 1959 nov 10.
- 6 BETTERTON, J.O.; PHILLIPS, J.A.; inventors, assignors to Americam Smelting and Refining Company, New York. Process for Refining Copper Alloys. U.S. patent, 2,042.292, 1936 may 26.
- 7 POLAND, F.F.; inventor, assignor to Revere Copper and Brass Incorporated, Rome, N.Y. Method of and apparatus for Removing Zinc From Copper BaseAlloys. U.S. patent 2,429.584. 1947 Out 21.
- 8 GOUVEIA, L.R.; MORAIS, C.A. Development of a Process for the Separation of Zinc and Copper from Sulfuric Liquor Obtained from the Leaching of an Industrial Residue by Solvent Extraction. Minerals Engineering, volume 23, Issue 6, may 2010, pp 492-497.
- 9 PROVAZI, K.; CAMPOS, B.A.; ESPINOSA, D.C.R.; TENORIO, J.A.S. Metal Separation from Mixed Types of Batteries Using Selective Precipitation and Liquid-liquid Extraction Techniques. Waste Management, volume 31, Issue 1, jan 2011, pp 59-69.
- 10 REDDY, B.R.; PRYIA, D.N.; Process Development for the Separation of Copper (II); Nickel(II) and Zinc(II) from Sulphate Solution by Solvent Extraction Using LIX84J. Separation and Purification Technology, volume 45, issue 2, oct. 2005, pp 163-167.
- 11 FUHR, L.T. Influência dos Defeitos de Solidificação na Resistência à Corrosão do Zamac 5. Dissertação de Mestrado. Universidade Feevale-RS, 2012.
- 12 AHMED, I.M.; EL-Nadi, Y.A.; DAOUD, J.A. Cementation of copper from spent copper-pickle sulfate solution by zinc ash. Hydrometallurgy, volume 110, issues 1-4, dec 2011, pp 62-66.
- 13 BUZIN, P.J.W.K.; HECK, N.C.; SCHNEIDER, I.A.H. Metal recovery from scrap of printed circuit boards manufacture by self-reactive systems. In: *Proc. 66<sup>th</sup> ABM Congress*, July, 18<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup> 2011, São Paulo, Brazil