

# Reciclagem de sucata de jóias para a recuperação hidrometalúrgica de prata

## *Jewel scrap recycling for the silver hydrometallurgical recovery*

**Carol Elizabeth Barrientos Rojas**

Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas-CPGEM/UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627  
30160-030, Belo Horizonte, MG, Brasil  
cebarrientos@gmail.com

**Afonso Henriques Martins**

Professor de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas-CPGEM/UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627  
30160-030, Belo Horizonte, MG, Brasil  
ahmartin@demet.ufmg.br

### Resumo

Muitos resíduos valiosos gerados na fabricação de jóias se perdem pela falta de conhecimento técnico para a recuperação dos metais preciosos utilizados na sua elaboração. Esse trabalho apresenta os resultados experimentais do uso de uma rota hidrometalúrgica, em escala de bancada laboratorial, para tratar amostras de sucatas de jóias à base de ouro (Au) com teores de prata (Ag) acima e abaixo de 10%. A rota adotada consistiu de uma lixiviação das amostras com  $\text{HNO}_3$  seguida do tratamento do licor obtido para a recuperação de Ag. Na lixiviação com  $\text{HNO}_3$  empregou-se o método fatorial completo a dois níveis experimentais para avaliar a influência das variáveis: tempo de lixiviação, temperatura da solução aquosa de lixiviação e a relação sólido/líquido, sobre o percentual de extração metálica. Em seguida, foi usado o método de otimização estatística do passo ascendente com o objetivo de determinar as condições experimentais ótimas para atingir o máximo percentual de extração de Ag. Os licores de lixiviação otimizados obtidos foram tratados e avaliaram-se três métodos para a recuperação de Ag. As condições ótimas para a lixiviação total da Ag para 0,5g de amostra com  $\text{HNO}_3$  foram: 32mL de  $\text{HNO}_3$ , 1,5 h e 42°C para a amostra 1 e 45mL de  $\text{HNO}_3$ , 2,25h e 43°C para a amostra 2, e o melhor resultado obtido para a recuperação da Ag (94%) ocorreu pela calcinação do AgCl obtido com a adição de NaCl ao licor de  $\text{HNO}_3$ .

**Palavras-chave:** prata, sucata de jóias, recuperação, lixiviação, hidrometalurgia.

### Abstract

A great amount of scrap metal wastes are lost in the manufacturing of jewelry due the lack of knowledge of precious metals recovery. This work presents the experimental results in a bench laboratory scale for the use of a hydrometallurgical route to treat gold jewelry scrap using samples with Ag contents higher and lower than 10%. The adopted route consisted of leaching of jewelry scrap with  $\text{HNO}_3$  to extract Ag and it was used the complete Factorial Method with two experimental levels to evaluate the influence of some variables, such as, leaching time, aqueous leaching solution temperature and solid/liquid ratio, on the metallic extraction percentage. The ascending path method for statistical optimization was used after the factorial method aiming at determining the optimum experimental conditions to reach the maximum Ag extraction percentage. The leaching liquors were treated and three methods were evaluated for the Ag recuperation. The optimum conditions for total Ag leaching with  $\text{HNO}_3$  were: 32mL of  $\text{HNO}_3$ , 1.5 h and 42°C for sample 1 (higher than 10% Ag) and 45mL of  $\text{HNO}_3$ , 2.25h and 43°C for sample 2 (lower than 10% Ag). The best result for Ag recovery (94%) occurred by the AgCl calcination obtained with the NaCl added to the  $\text{HNO}_3$  liquor.

**Key words:** silver, scrap jewelry treatment, leaching, hydrometallurgy.

## 1. Introdução

O Au, a Ag e outros metais preciosos são empregados na confecção de jóias sob a forma de ligas com outros metais. Estes metais preciosos são escassos na natureza, embora a sua quantidade explorável aumente a cada ano como resultado da mineração, no entanto, a proporção é menor em comparação com a oferta disponível (Molina, 2008). Isto tem provocado uma elevação no preço médio destes metais preciosos.

Adicionado ao alto custo dos metais preciosos, muitos resíduos valiosos são gerados na fabricação das jóias, os quais se perdem pela falta de conhecimento para sua recuperação. Uma grande parte destes resíduos contém altos teores de metais preciosos, especialmente de Au. Estes resíduos são passíveis de tratamento, já que são formados praticamente só por metais, alguns desejáveis, que formam parte da liga inicial e outros que são incorporados por acidente durante a manipulação, sendo consideradas impurezas (Barrientos, 2003). Levando em consideração estes aspectos, avaliou-se uma rota hidrometalúrgica para a recuperação de Ag contida em sucatas de jóias à base de Au visando conferir uma abordagem de engenharia a um tratamento empírico que pode ser empregado por joalheiros.

A rota hidrometalúrgica adotada consistiu em uma lixiviação com  $\text{HNO}_3$  para extrair a Ag a partir de limalhas homogeneizadas divididas em dois grupos de amostras, amostra 1 (teor acima de 10% Ag) e amostra 2 (teor abaixo de 10% Ag). Avaliaram-se algumas variáveis consideradas mais importantes, tais como: tempo de lixiviação, temperatura da solução aquosa de lixiviação e a relação sólido/líquido. Os experimentos de lixiviação seguiram um planejamento estatístico de experimentos tecnológicos pelo método fatorial completo a dois níveis experimentais e respostas replicadas (Box *et al.*, 1988). Os resultados experimentais foram processados pelo método de otimização estatística do passo ascendente (Duckworth, 1960) com o objetivo de atingir o máximo percentual de extração metálica. Os licores de lixiviação foram tratados visando à recuperação de Ag, avaliando os métodos empregados em função da simplicidade de operação, custo dos métodos, assim como, os resultados de pureza obtidos. Empregaram-se os licores de lixiviação com  $\text{HNO}_3$  e avaliaram-se os métodos: cementação com pó de Zn, precipitação com  $\text{FeSO}_4$  e calcinação do  $\text{AgCl}$  obtido a partir da adição de  $\text{NaCl}$  ao licor. Os produtos da recuperação da Ag foram caracterizados antes e após da fundição dos mesmos (Barrientos, 2009).

As amostras de jóias e os produtos da recuperação foram caracterizados fisicamente pelos métodos de Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX) e Microsonda Eletrônica de Varredura acoplada a Espectrômetro de Raios-X Dispersivo em Energia (MEV/EDS). As amostras do licor de lixiviação foram caracterizadas quimicamente por espectrometria de absorção atômica (AA).

## 2. Materiais e Métodos

Para a realização da parte experimental, foram empregadas amostras de jóias usadas e defeituosas de Au de 10K, conhecidas pelos joalheiros como sucata. A sucata foi composta por correntes, pulseiras,

brincos, pingentes e anéis em Au amarelo e Au tri-cor (ouro de três cores ou tonalidades; amarelo, branco e vermelho, que depende do teor do metal empregado na liga). As amostras de sucata de jóias foram submetidas a uma rota hidrometalúrgica. A rota avaliada consistiu em uma lixiviação com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), e os licores de lixiviação assim obtidos foram tratados para recuperar a Ag.

As etapas de lixiviação foram executadas com base em um planejamento estatístico de experimentos tecnológicos pelo método fatorial completo (Box et al., 1988), replicado e a dois níveis experimentais, avaliando-se alguns parâmetros típicos de lixiviação considerados mais importantes. A otimização dos resultados experimentais pelo método estatístico do passo ascendente (Duckworth, 1960) teve por objetivo determinar as condições experimentais ótimas para a máxima recuperação da Ag, e que possam ser empregadas por joalheiros em suas bancadas de oficina. A Tabela 1 mostra a matriz do planejamento estatístico dos experimentos pelo método fatorial para a lixiviação com  $\text{HNO}_3$ .

*Tabela 1: Planejamento de experimentos pelo método fatorial.*

Experimento	Notação	Variável		
		A (°C)	B (min)	C (g/L)
1	i	25	60	12,5
2	a	60	60	12,5
3	b	25	120	12,5
4	ab	60	120	12,5
5	c	25	60	25
6	ac	60	60	25
7	bc	25	120	25
8	abc	60	120	25

Os experimentos de lixiviação foram efetuados em um béquer de vidro borosilicato com capacidade nominal de 150mL acoplado a uma placa aquecedora com controle de agitação magnética. A unidade experimental foi montada no interior de uma capela de laboratório com ventilação forçada e a temperatura do sistema de lixiviação foi monitorada através do uso de um termômetro de mercúrio (-10/+50°C). Para a recuperação da Ag, os experimentos foram realizados em uma capela de laboratório com ventilação forçada. Empregou-se um béquer de vidro de borosilicato acoplado a uma placa com intensidade de agitação constante por duas horas e, posteriormente, a solução foi deixada em repouso durante a noite (overnight). Uma representação esquemática das etapas gerais do procedimento experimental empregado é mostrada na Figura 1.

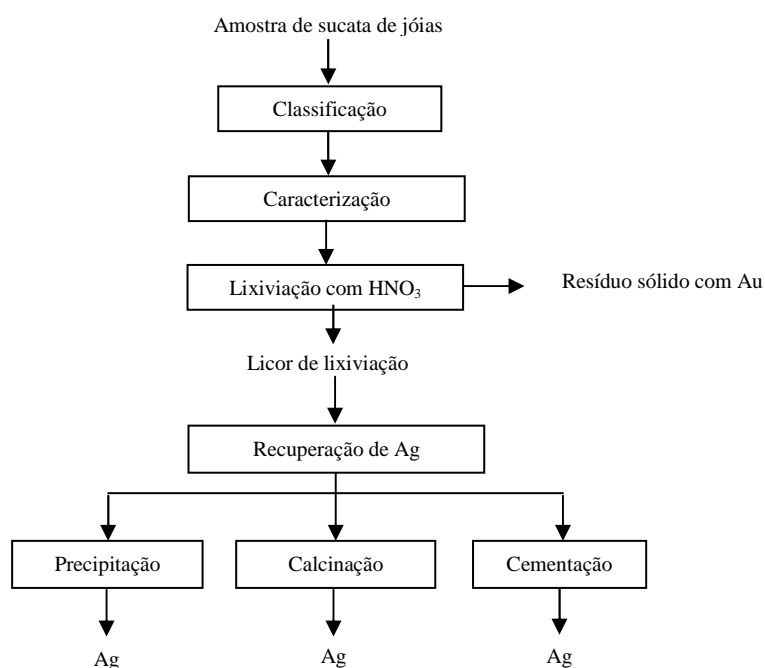


Figura 1: Representação esquemática do procedimento experimental empregado.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Caracterização das Amostras

Inicialmente, as amostras foram caracterizadas por Microsonda Eletrônica de Varredura acoplada a Espectrômetro de Raios-X Dispersivo em Energia (MEV/EDS) com o objetivo de determinar os teores dos metais presentes nas ligas das jóias. Com os resultados obtidos, dois grupos de amostras foram formados; amostra 1 com teores de Ag acima de 10% e amostra 2 com teores de Ag abaixo de 10%. As amostras 1 e 2 foram formadas baseadas no fato de que teores de Ag acima de 10% não são recomendados para uma lixiviação com água régia visando à extração posterior de Au, porque a presença de Ag produz uma camada que recobre o material da amostra o qual impede que o Au seja lixiviado (Loewen, 1995). A amostra 1 que apresentou um teor médio de 19,88% de Ag foi formada unicamente por jóias de Au amarelo e a amostra 2 com um teor médio de Ag de 5,64%, foi formada na sua maioria por jóias de Au tri-cor (Barrientos, 2009).

Com o objetivo de identificar os metais e determinar os seus teores, limalhas de amostras homogeneizadas das amostras 1 e 2 foram caracterizadas pelos métodos de Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX) e MEV/EDS. Os licores de lixiviação foram caracterizados quimicamente por espectrometria de absorção atômica (AA). Na Tabela 2 são mostrados os resultados da caracterização das limalhas das amostras 1 e 2.

Os resultados mostraram que as amostras 1 e 2 contêm os mesmos metais formadores da liga, apresentando diferença nos teores. Os resultados de DRX mostraram que a amostra 1, assim como a amostra 2, possuem as espécies  $\text{AuCu}_3$  e  $\text{Au}_{22}\text{Cu}_{33}\text{Zn}_{45}$ , indicando que ambas as amostras contêm Au, Cu e Zn entre os principais metais que formam a liga. De acordo com os resultados de FRX ambas as amostras têm Au, Ag e Cu em altos teores. Os principais metais na liga foram identificados por MEV/EDS como sendo Au, Ag, Cu, Zn, Sn e Ni, e foi comprovado que as ligas não contêm Cd nem Rb. A caracterização química por AA mostrou que a amostra 1 tem um teor acima de 10% de Ag (16,84% Ag) e a amostra 2 possui teor abaixo de 10% (3,90%). Com esta caracterização química definiu-se que os principais metais que formam as ligas de ambas as amostras são Au, Ag e Cu. As amostras 1 e 2 contêm também Zn e Ni que são empregados na elaboração das ligas de jóias de Au. Embora o Fe seja um metal considerado como impureza e que poderia estar presente pelo uso do alicate no corte das limalhas, apresentou em ambas as amostras um teor de apenas 0,03%.

Tabela 2: Resultados da caracterização das limalhas das amostras 1 e 2.

Amostra	DRX	FRX	MEV/EDS	Absorção Atômica
1	$\text{AuCu}_3$ $\text{Au}_{22}\text{Cu}_{33}\text{Zn}_{45}$ (AgCu) $\text{Zn}_4$ $\text{AuSn}$	Abundante: Au, Ag, Cu Médio: nenhum Baixo: Sn, Zn, Rb Traço: Se, Si, Ni, Fe, Ti, Ca, S, P, Mg, Co, Pt, Pd, Pb	Au: 56,48% Ag: 13,05% Cu: 24,59% Sn: 0,15% Ni: 0,94% Zn: 4,77% Rb: 0,01% Cd: 0,02%	Au: 45,39% Ag: 16,84% Cu: 35,91% Sn: 0% Ni: 0,13% Zn: 9,18% Pb: 0,01% Fe: 0,03%
2	$\text{AuCu}_3$ $\text{Au}_{22}\text{Cu}_{33}\text{Zn}_{45}$	Abundante: Au, Ag, Cu Médio: nenhum Baixo: Sn, Zn, Rb Traço: Se, Si, Ni, Fe, Ti, Ca, K, S, P, Mg, Co, Pt, Pd, Pb	Au: 56,38% Ag: 6,89% Cu: 30,13% Sn: 0,19% Ni: 1,47% Zn: 4,90% Rb: 0,01% Cd: 0,02%	Au: 46,71% Ag: 3,90% Cu: 39,92% Sn: 0% Ni: 1,13% Zn: 10,54% Pb: 0% Fe: 0,03%

### 3.2. Lixiviação das Amostras com $\text{HNO}_3$

Na lixiviação com  $\text{HNO}_3$  obtiveram-se três produtos: (a) licor de lixiviação que continha os metais solubilizados da amostra, (b) Ag precipitada na forma de AgCl pela adição de NaCl ao licor e (c) resíduo sólido de Au que não reagiu com o  $\text{HNO}_3$ . Na Figura 2 são apresentadas fotografias do licor de lixiviação e do precipitado de AgCl obtido.



Figura 2: Fotografias do licor de lixiviação e do precipitado de AgCl.

Amostras do licor gerado em cada experimento foram encaminhadas para análise química por espectrometria de absorção atômica (AA), visando determinar a concentração de Au, Ag e Cu que são os metais com maior teor na liga. A amostra 1 apresentou teores de Ag solubilizados no licor de lixiviação numa faixa de 60,46 a 100% e a amostra 2 de 70,82 a 100% (Figura 3).

Os resíduos sólidos de Au e Ag de dois experimentos foram caracterizados por DRX e MEV/EDS por apresentar condições experimentais completamente diferentes: o experimento 4 (60°C, 120min e 40mL de HNO<sub>3</sub>) e o experimento 5 (25°C, 60min e 20mL de HNO<sub>3</sub>). Os resultados são apresentados para o resíduo sólido de Au na Tabela 3 e para o precipitado de AgCl na Tabela 4.

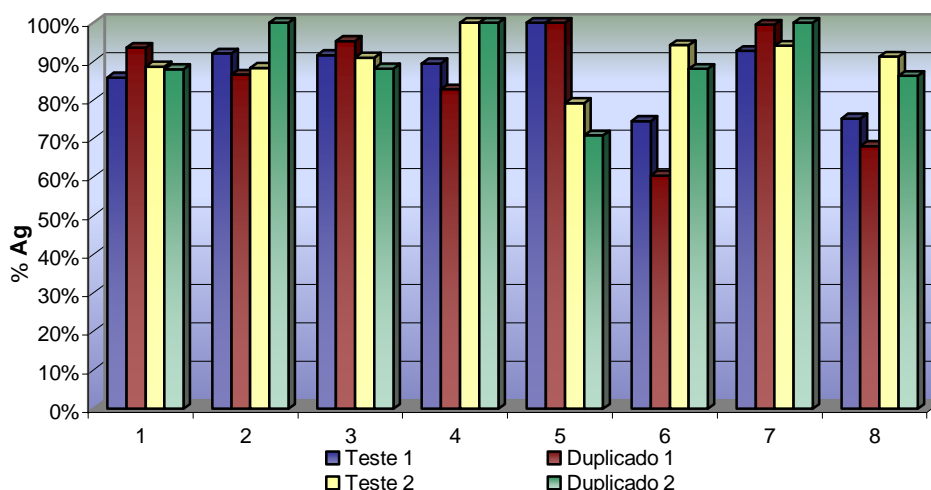


Figura 3: Teores de Ag solubilizada no licor de lixiviação com HNO<sub>3</sub> para as amostras 1 e 2.

Para o resíduo sólido de Au, a análise por DRX indicou que as quatro amostras são formadas por Au<sub>3</sub>Cu e apenas a amostra do teste 1-4 contem Au<sub>0,5</sub>Cu<sub>0,3</sub>Ni<sub>0,2</sub>Zn<sub>0,07</sub>. Por MEV/EDS observou-se que, depois da lixiviação com HNO<sub>3</sub>, os teores originais de Au da liga aumentaram de 46% a 95%, aproximadamente, diminuindo significativamente os teores de Ag e Cu. Com isto, se atinge o objetivo da lixiviação com HNO<sub>3</sub>.

Tabela 3: Resultados da caracterização do resíduo sólido de Au resultante da lixiviação com  $\text{HNO}_3$ .

Resíduo	Amostra	Peso (g)	DRX	MEV/EDS					
				%Au	%Ag	%Sn	%Cu	%Ni	%Zn
Au	Teste 1-4	0,229	$\text{Au}_3\text{Cu}$ $\text{Au}_{0,5}\text{Cu}_{0,3}\text{Ni}_{0,2}\text{Zn}_{0,07}$	97,81	0,25	0,17	0,80	0,42	0,54
	Duplicado 1-5	0,306	$\text{Au}_3\text{Cu}$	94,59	2,88	0,21	1,92	0,39	0,02
	Teste 2-4	0,220	$\text{Au}_3\text{Cu}$	94,81	0,66	0,21	2,18	0,32	0,39
	Duplicado 2-5	0,331	$\text{Au}_3\text{Cu}$	94,57	1,17	0,10	3,62	0,23	0,31

Para o precipitado obtido, a partir do licor de lixiviação com  $\text{HNO}_3$  e através da adição de  $\text{NaCl}$ , a análise por DRX indicou que as quatro amostras são formadas unicamente por  $\text{AgCl}$ , confirmando o resultado esperado. Os resultados do MEV/EDS mostraram que os teores de Ag para a amostra 1 (67,85% e 71,18%) são maiores do que os teores de Ag da amostra 2 (57,81 e 59,25%). Os resultados mostraram que, junto com a Ag, outros metais precipitaram sob a forma de cloretos (Barrientos, 2009).

Tabela 4: Resultados da caracterização do  $\text{AgCl}$  precipitado resultante da lixiviação com  $\text{HNO}_3$ .

Resíduo	Amostra	DRX	MEV/EDS						
			%Au	%Ag	%Cl	%Sn	%Cu	%Ni	%Zn
AgCl	Teste 1-4	AgCl	7,12	67,85	22,52	0,04	0,97	0,73	0,77
	Duplicado 1-5	AgCl	4,55	71,18	22,80	0,03	0,56	0,45	0,43
	Teste 2-4	AgCl	5,61	57,81	19,35	0,32	0,72	0,65	0,70
	Duplicado 2-5	AgCl	3,82	59,25	19,00	0,56	0,50	0,28	0,50

De acordo com o método fatorial, para um grau de confiança estatística de 95%, a única variável que teve influência significativa sobre o percentual de extração de Ag para a amostra 1 foi a temperatura (variável A), apresentando uma influência negativa. Ou seja, o percentual de extração de Ag diminuiu quando a temperatura foi aumentada do nível experimental inferior (25°C) para o nível experimental superior (60°C). Para a amostra 2, a ordem decrescente de influência positiva na resposta experimental foi dada pelo tempo de lixiviação (variável B) e temperatura (variável A).

A otimização dos resultados experimentais pelo método estatístico do passo ascendente determinou as condições para a máxima extração da Ag (100%) e do Cu (100%) utilizando 0,5g de sucata de jóias. As condições ótimas foram: 32mL de  $\text{HNO}_3$ , 1,5 horas (90 minutos) e uma temperatura de 42°C para a amostra 1 e 45mL de  $\text{HNO}_3$ , 2,25h (135 minutos) e 43°C para a amostra 2. Estes resultados mostraram que em ambas as amostras se requerem uma temperatura média de 42°C para atingir a máxima extração de Ag e Cu. Além disso, para a amostra 2 foi necessário um maior volume de  $\text{HNO}_3$  e de tempo de lixiviação em comparação com a amostra 1. Isto poderia ser atribuído à influência dos outros metais presentes na liga da sucata desta amostra, mesmo em teores baixos, sobre a resposta experimental. Nestas condições ótimas os resíduos de Au foram caracterizados por MEV/EDS. Segundo os resultados obtidos nas condições ótimas, obteve-se um teor médio de Au de 96,76% para a amostra 1 e 96,05% para a amostra 2. Aumentando o teor de Au da liga original de 45% para 96%, unicamente com a lixiviação com  $\text{HNO}_3$ .

### 3.3. Recuperação da Prata

Os três métodos selecionados para avaliar a recuperação da Ag presente nos licores da etapa de lixiviação com  $\text{HNO}_3$  foram cementação com pó de Zn, precipitação com  $\text{FeSO}_4$  e calcinação do  $\text{AgCl}$  obtido pela adição de  $\text{NaCl}$  ao licor de  $\text{HNO}_3$ . O objetivo da avaliação dos três métodos baseou-se nos melhores resultados conseguidos, simplicidade de operação, custo do método, assim como, a pureza da Ag obtida. Visando identificar a pureza dos produtos obtidos e, assim, determinar o melhor método para a recuperação da Ag. Os produtos foram caracterizados antes e depois da fundição por MEV/EDS e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.

Segundo os resultados do MEV/EDS, no produto obtido pela precipitação com  $\text{FeSO}_4$ , observou-se um aumento no teor de Ag de 70% no produto em pó para 93,70% no produto fundido. No produto de  $\text{AgCl}$  obtido pela adição de  $\text{NaCl}$  ao licor de  $\text{HNO}_3$ , o teor de Ag aumentou de 69,62% no produto em pó para, aproximadamente, 94% para o produto fundido obtido por calcinação. Para ambos os casos, o principal contaminante foi o Sn com teores aproximados de 2%, uma vez que o Sn precipita sob a forma de cloreto junto com a Ag. O pior resultado obtido foi de 45% de Ag para a cementação com pó de Zn metálico. A precipitação com  $\text{FeSO}_4$  e o  $\text{AgCl}$  alcançaram teores de Ag similares nos produtos em pó (70%) e fundidos (94%). Portanto, pode-se concluir a partir dos resultados para o teor de Ag alcançado que o método mais indicado para recuperar a Ag foi a calcinação do  $\text{AgCl}$  conseguido pela precipitação com a adição de  $\text{NaCl}$ , o qual é um reagente de baixo custo e simples de se empregar.

Tabela 5: Resultados da caracterização dos produtos da recuperação da Ag.

Amostra	Produto em Pó				Produto Fundido		
	Cementação Pó de Zn	Precipitação $\text{FeSO}_4$ teste 1	Precipitação $\text{FeSO}_4$ teste 2	Precipitação com NaCl	Calcinação precipitação $\text{FeSO}_4$	Calcinação $\text{AgCl}$ Teste 1	Calcinação $\text{AgCl}$ Teste 2
MEV/EDS	Au: 0,95% Ag: 45,02% Sn: 0,85% Cu: 0,23% Ni: 0,25% Zn: 28,92% S: 1,51% Cl: 1,09% O: 20,98% Fe: 0,20%	Au: 3,01% Ag: 69,91% Sn: 0,40% Cu: 0,40% Ni: 0,33% Zn: 0,42% S: 0,75% Cl: 24,43% O: 0,00% Fe: 0,35%	Au: 2,86% Ag: 70,34% Sn: 0,49% Cu: 0,30% Ni: 0,31% Zn: 0,27% S: 0,74% Cl: 24,43% O: 0,00% Fe: 0,27%	Au: 2,99% Ag: 69,62% Sn: 0,98% Cu: 0,40% Ni: 0,26% Zn: 0,41% S: 0,72% Cl: 24,31% O: 0,00% Fe: 0,32%	Au: 1,70% Ag: 93,70% Sn: 2,03% Cu: 0,32% Ni: 0,42% Zn: 0,20% S: 0,72% Cl: 0,64% Fe: 0,26%	Au: 2,51% Ag: 93,35% Sn: 2,17% Cu: 0,43% Ni: 0,28% Zn: 0,24% S: 0,77% Cl: 0,00% Fe: 0,25%	Au: 1,79% Ag: 94,45% Sn: 1,95% Cu: 0,27% Ni: 0,32% Zn: 0,21% S: 0,72% Cl: 0,00% Fe: 0,27%

## 4. Conclusões

A partir dos resultados experimentais obtidos foi possível concluir que:

- As ligas originais das amostras 1 e 2 apresentaram os mesmos metais, tendo uma pequena diferença nos valores dos teores;

- Os principais metais na liga de sucata de jóias de 10k, determinados pela análise química por espectrometria de absorção atômica foram Au, Ag e Cu, sendo os teores para a amostra 1: 45,39% de Au, 16,84% de Ag e 35,91% de Cu; e para a amostra 2: 46,71% de Au, 3,90% de Ag e 39,92% de Cu;
- O planejamento estatístico a dois níveis e o método de otimização pelo passo ascendente permitiram a avaliação dos resultados para se obter as melhores condições para lixiviar a sucata de jóias e, assim, se estabelecer uma rota hidrometalúrgica com uma abordagem de engenharia acessível aos joalheiros;
- Na lixiviação com  $\text{HNO}_3$ , as condições ótimas para uma total lixiviação da Ag e do Cu para a amostra 1 foram 32mL de  $\text{HNO}_3$ , 1,5 horas (90 minutos) e temperatura de 42°C. Para a amostra 2, as condições ótimas foram 45mL de  $\text{HNO}_3$ , 2,25 horas (135 minutos) e 43°C;
- A temperatura foi a variável que apresentou influência significativa em ambas as amostras na etapa de lixiviação, indicando que são necessárias temperaturas próximas a 40°C para se obter uma total lixiviação;
- O resíduo sólido de Au obtido na lixiviação com  $\text{HNO}_3$  nas condições ótimas apresentou um teor próximo a 96%, segundo os resultados do MEV/EDS. Assim, a lixiviação com  $\text{HNO}_3$  permitiu aumentar o teor de Au de 45% da sucata original para um teor de 96% para o resíduo sólido da lixiviação; e
- O método de calcinação a partir do AgCl, alcançou um teor de 94% para a recuperação de Ag, sendo que os principais contaminantes foram o Au e o Sn com teores de 2%, aproximadamente.

## Referências

- BARRIENTOS, C. 2003. *Evaluación de dos métodos de recuperación y refinación de los metales preciosos a nivel laboratorio a partir de los desperdicios con alto contenido de oro*. Guatemala. Monografía. Facultad de Ingeniería, USAC, 125 p.
- BARRIENTOS, C. E. 2009. Reciclagem de sucata de jóias para a recuperação hidrometalúrgica de ouro e prata. Belo Horizonte, MG. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 186 p.
- BOX, G.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, P.J. 1988. *Statistics for experimenters*. New York, Ed. John Wiley & Sons Inc., 653 p.
- DUCKWORTH, W. E. 1960. *Statistical techniques in technological research*. Londres, Ed. Methuen & Co. Ltd., 303 p.
- LOEWEN, R. 1995. *Small scale refining of jewelers wastes*. Boulder, Ed. Met-Chem Research Inc., 250 p.

MOLINA, J.R. 2008. El dólar Vs. el oro comprando petróleo. República Bolivariana de Venezuela. Disponível em: <http://aporrea.org/tiburón/a65665.html>. Acessado em: 10/10/2008.

Submissão: 12/09/2009  
Aceite: 09/11/2009