



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

# REFINO ELETROLÍTICO DE OURO PROCESSO WOHLWILL

|                             |       |                            |      |          |      |
|-----------------------------|-------|----------------------------|------|----------|------|
| Série<br>Tecnologia Mineral | Nº 23 | Seção Metalurgia Extrativa | Nº 8 | Brasília | 1982 |
|-----------------------------|-------|----------------------------|------|----------|------|

**MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**

Cesar Cals - Ministro de Estado

**DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL**

Yvan Barretto de Carvalho - Diretor Geral

**DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL**

Manoel da Redenção e Silva - Diretor

**CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

Roberto C. Villas Bôas - Superintendente

Autores: Juliano Peres Barbosa \*  
Roberto C. Villas Bôas \*\*

## REFINO ELETROLÍTICO DE OURO PROCESSO WOHLWILL

Execução e elaboração do trabalho pelo  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL — CETEM  
Através do convênio DNPM/CPRM

\* Químico  
\*\* Eng. de Minas

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 01 — Bloco B — Telex (061)1116  
70.000 — Brasília (DF) — Brasil

Copyright 1982  
Reservados todos os direitos  
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal  
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro  
Instituto Nacional do Livro

Brasil.DNPM

Refino eletrolítico de ouro; processo  
wohlwill/Por/J.P.Barbosa e R.C.Villas Bôas.  
Brasília, 1982.

...p. (Brasil.DNPM. Série Tecnologia Mine  
ral, 23. Seção Met. Extrativa, 8)

"Trabalho elaborado pelo Centro de Tecno  
logia Mineral, através do Conv. DNPM/CPRM".

I. Tecnologia mineral — Brasil. I. Barbosa,  
J. P. II. Villas Bôas, R. C. III. Centro de Tecno  
logia Mineral, Rio de Janeiro. IV. Título. V.  
Série.

CDD 622.364  
CDD 622.2 (81)

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Casa da Moeda do Brasil pela oportunidade de apresentação deste trabalho.

## SUMÁRIO

Páginas

Resumo

Abstract

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução .....   | 2  |
| 2. Fundamentos do Processo .....  | 5  |
| 3. Influência dos Principais Parâmetros sobre a<br>Eficiência do Processo ..... | 7  |
| 4. Aparelhagem .....  | 12 |
| 5. Estudos desenvolvidos pelo CETEM sobre Refino<br>de Ouro e Prata .....       | 15 |
| 6. Considerações .....  | 15 |
| 7. Bibliografia .....   | 17 |

## RESUMO

É apresentada uma breve descrição histórica do desenvolvimento do processo de refino eletrolítico de ouro.

São revisados os fundamentos do processo e os principais fatores influentes em sua eficiência: polarização anódica, reação de dismutação e pureza do depósito catódico.

É discutida a influência dos principais parâmetros operacionais - composição do ouro a refinar, densidade de corrente, agitação, temperatura, composição do eletrólito e corrente de pulso - sobre a eficiência do processo.

São descritas a aparelhagem e utilidades necessárias do eletrorrefino de ouro.

São apresentadas as recentes pesquisas e estudos desenvolvidos pelo CETEM sobre refino de ouro e prata.

## ABSTRACT

A brief historical description of the development of gold refining process is presented.

Process fundamentals are reviewed and relevant factors affecting the efficiency of the process are discussed, including anode polarization, disproportionation reaction and cathode contamination.

The influence of the main operational parameters like bullion composition, current density, agitation, temperature, electrolyte composition and pulse current on the process efficiency are also discussed.

The basic equipment and facilities required for gold electrolytic refining are described.

Recent results of investigations and studies carried out in CETEM on gold and silver refining are presented.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de eletrorrefino de ouro foi desenvolvido como resultado de experimentos efetuados, a partir de 1874, por Emil Wohlwill, então diretor da Deutsche Affinerie de Hamburgo. A princípio, as investigações tinham por objetivo o estabelecimento de um método eletrolítico para separar a platina de ouro. Neste caso, o processo eletrolítico mostrou-se bastante satisfatório. Entretanto, Wohlwill verificou que a característica essencial deste processo consistia na dissolução eletroquímica dos constituintes do material rico em ouro, funcionando como anodo, e a deposição de ouro quimicamente puro no catodo; ou seja, a aplicação principal deste processo estava destinada à obtenção de ouro de elevada pureza a partir de ouro impuro.

Estabelecidos os princípios do processo de eletrorrefino de ouro em 1878, este foi prontamente adotado pela Nordeutsche Affinerie de Hamburgo. Este processo, entretanto, só foi divulgado após ter sido patenteado por Wohlwill em 1896. O sucesso foi tal, que antes de findar a primeira década do século XX já era utilizado por todas as refinarias de ouro dos Estados Unidos, em substituição ao processo de refino pelo ácido sulfúrico.

O processo de refino de ouro pelo ácido sulfúrico se constituía, basicamente, em primeiro formar uma liga de ouro a refinar com prata, numa proporção em que o teor de prata devia ser 2,5 a 4 vezes maior do que o de ouro. Em seguida, dissolvia-se esta liga por meio do ácido sulfúrico concentrado. Este processo apresentava inúmeras dificuldades e desvantagens, dentre as quais estavam: necessidade de manter em estoque grandes quantidades de prata metálica, nem sempre disponíveis; necessidade de recuperação da prata utilizada, bem como de parte do ácido consumido - para este propósito uma grande área era requerida; preços elevados do ácido sulfúrico; grande quantidade de vapores tóxicos envolvidos na

operação causava problemas de poluição ambiental. Além disso, o processo de refino pelo ácido sulfúrico não produzia uma completa purificação do ouro, desvantagem essa agravada quando da presença de alto teor de platina, que por este processo não se separava do ouro.

O processo eletrolítico superou todos esses inconvenientes do processo de refino pelo ácido sulfúrico. O produto da operação é sempre ouro de alta pureza, o consumo de reagentes químicos é mínimo, não há evolução de vapores tóxicos; a instalação de eletrorrefino requer pequena área; não existem dificuldades em se refinar ouro contendo alto teor de platina e a recuperação desta é bastante simples. Ademais, o custo do processo eletrolítico era inferior ao do processo de refino pelo ácido sulfúrico.

A dificuldade do processo eletrolítico residia no refino de ouro com alto teor de prata, sendo, inclusive nos Estados Unidos, somente empregado para teores de ouro acima de 94%, ou melhor, o teor máximo de prata permissível era de 6%. Na prática, para a faixa de densidade de corrente recomendada na patente original, verificava-se, para teores acima de 6% de prata, a formação de uma camada de cloreto de prata sobre o anodo, inibindo a dissolução deste e fazendo com que houvesse a evolução de gás cloro.

Aparentemente, o teor limite de prata para o refino eletrolítico de ouro seria 6%. Entretanto, o próprio Wohlwill estabeleceria certas precauções a serem tomadas de modo a tornar viável o refino eletrolítico de ouro com teores acima desse valor. Essas precauções incluiriam a utilização de um prolongamento do tempo de eletrólise e a retirada periódica por meios mecânicos, da camada de cloreto de prata formada sobre a superfície anódica.

Uma outra desvantagem do processo eletrolítico consistia em que cerca de dez por cento do total de ouro contido no anodo passava para a lama anódica em forma de pó finamente dividi,

do, não se depositando no catodo.

Novamente Wohlwill, em 1908, introduziria uma pequena adaptação na sua patente original que viria não só superar essas dificuldades, ampliando a aplicabilidade do processo eletrolítico, como também melhorar sua eficiência.

A adaptação introduzida por Wohlwill consistia na utilização de corrente de pulso. Esta é obtida pela superposição de corrente alternada (C.A.) sobre corrente contínua (C.C.). As vantagens foram:

- uso de densidade de corrente maiores sem evolução de gás cloro e sem necessidade de retirada da camada de cloreto de prata do anodo;
- refino de ligas mais ricas em prata;
- menor quantidade de ouro acumulada na lama anódica;
- uso de menores concentrações de HCl e NaCl no eletrólito;
- temperatura do eletrólito mais baixa.

Como exemplo, Wohlwill menciona que se uma liga de ouro contendo 10% de prata é tratada de acordo com o processo original, não deve ser utilizada uma densidade de corrente anódica maior do que  $7,5 \text{ A/dm}^2$  e, neste caso, é necessário retirar a camada de AgCl formada no anodo a cada 45 minutos. Quando se utiliza uma corrente de pulso, na razão de  $\frac{C.A.}{C.C.} = \frac{1,1}{1,0}$ , é possível manter uma densidade de corrente anódica de  $\underline{12,5 \text{ A/dm}^2}$  sem a necessidade da remoção mecânica da camada de AgCl.

Ligas de ouro contendo 20% de prata podem ser refinadas pelo processo eletrolítico utilizando-se corrente de pulso na razão de  $\frac{C.A.}{C.C.} = \frac{1,7}{1,0}$  sendo possível, neste caso, usar uma densi

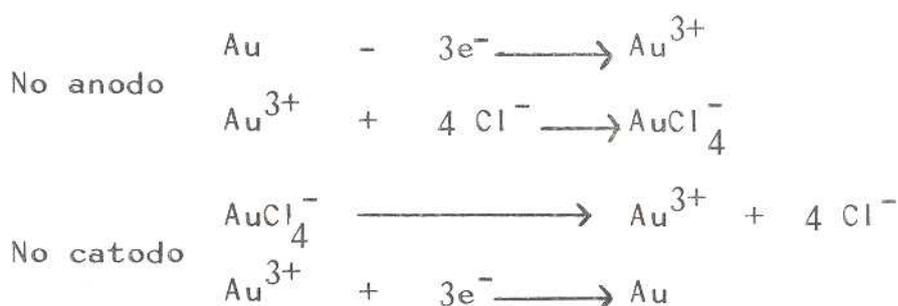
dade de corrente anódica de  $12 \text{ A/dm}^2$ . Com densidades de corrente mais baixas o processo é também aplicável para ligas de ouro mais ricas em prata. Usando-se unicamente C.C. o processo torna-se impraticável para ligas de ouro com teores de prata acima de 20%.

O uso de corrente de pulso apresenta outra importante vantagem. No processo Wohlwill original, empregando unicamente corrente contínua, cerca de 10% de ouro contido no anodo passa para a lama em forma de pó finamente dividido; se, entretanto, uma corrente de pulso é usada, o ouro passa para a lama anódica somente no início do processo, enquanto o anodo não está completamente recoberto com  $\text{AgCl}$ , numa quantidade geralmente inferior a 1% de ouro contido no anodo.

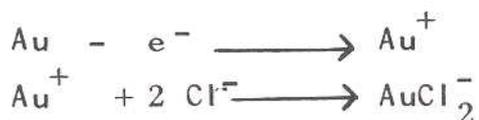
## 2. FUNDAMENTOS DO PROCESSO

O processo de refino eletrolítico de ouro consiste, basicamente, em eletrolisar uma solução de cloreto de ouro em meio de ácido clorídrico, usando como catodo ouro puro laminado. O eletrorrefino se processa, geralmente, a uma temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , utilizando-se uma densidade de corrente entre 10 e  $15 \text{ A/dm}^2$ . Há dissolução do ouro impuro, funcionando como anodo, e deposição de ouro quimicamente puro no catodo. O depósito catódico apresenta, normalmente, uma pureza nunca inferior a 99,95%.

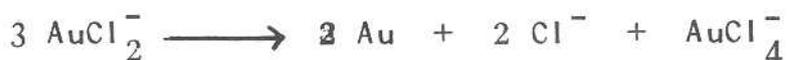
As reações que ocorrem nos eletrodos são as seguintes:



A dissolução anódica do ouro, como se viu acima, produz  $\text{Au}^{3+}$ . A reação que origina este íon, embora predominante não é a única a ocorrer no anodo, pois uma pequena quantidade de  $\text{Au}^+$  também se forma:



O íon dicloro-aurato (I) é instável em meio de cloreto e sofre uma reação de dismutação, acarretando um aumento na quantidade de ouro contido na lama anódica e, conseqüentemente, uma diminuição da eficiência do processo.



Sabe-se que esta reação de dismutação ocorre em razão de as finas partículas de ouro precipitadas desta forma serem de maior pureza do que o anodo. Similarmente, a existência de íons  $\text{AuCl}_2^-$  em solução é verificada pelo fato de que as eficiências de corrente catódica, baseadas em ouro trivalente, são mais altas do que 100%.

Os fatores que apresentam maior influência sobre a eficiência do processo de eletrorefino de ouro são:

- polarização anódica;
- reação de dismutação;
- pureza do depósito catódico.

A polarização anódica, no caso do refino de ouro, é devida à formação de uma camada de cloreto de prata sobre o anodo, inibindo a dissolução deste. Para ligas de ouro contendo alto teor de prata a polarização anódica de passivação é, sem dúvida, o fator de maior influência sobre a eficiência do processo.

A polarização anódica, a reação de dismutação e a pureza do depósito catódico, por sua vez, são influenciadas por

uma série de parâmetros que serão abordados no próximo tópico.

### 3. INFLUÊNCIA DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS SOBRE A EFICIÊNCIA DO PROCESSO

#### a. Composição do Ouro a Refinar

As impurezas comumente presentes nos anodos e ouro podem ser classificadas em dois tipos: aquelas que formam cloretos solúveis - cobre, zinco, platina e paládio - e as que formam resíduos insolúveis - prata, chumbo e metais secundários do grupo da platina (ósio, irídio, rutênio e ródio). As impurezas solúveis permanecem em solução, não se depositando no catodo, enquanto que as insolúveis podem permanecer aderidas ao anodo ou acumular-se na lama anódica.

A prata é considerada como a principal impureza do ouro a refinar, não só por apresentar, usualmente, em teores mais elevados, como também pelos efeitos deletérios que pode ocasionar ao processo. No eletrorefino, a prata é convertida em cloreto que permanece aderida ao anodo, reduzindo a superfície efetiva deste e aumentando, conseqüentemente, a densidade de corrente anódica, e por fim acarretando a polarização do anodo. Na prática, observa-se que para teores de prata superiores a 6%, a formação desta camada AgCl sobre o anodo é tal, que pode causar, em um tempo relativamente curto, a passivação completa do anodo. Nestes casos, faz-se necessário a remoção periódica da camada de AgCl por meios mecânicos ou fazendo uso da corrente de pulso.

Outro importante efeito deletério, que a prata pode causar, é a oclusão no depósito catódico de partículas de AgCl que flutuam em solução, reduzindo a pureza do mesmo. A utilização de "anode bags" - sacos apropriados para reter a lama anódica - torna-se necessária.

A platina e o paládio permanecem em solução, não se depositando no catodo, recomendando-se recuperá-los do eletrólito antes que suas concentrações atinjam 40 e 15 g/l respectivamente, a fim de evitar suas codeposições.

Os metais secundários do grupo da platina (ós-mio, irídio, rutênio e ródio) são insolúveis e acumulam-se na lama anódica, sendo inertes ao processo eletrolítico.

O chumbo é convertido em peróxido que pode permanecer aderido ao anodo, podendo vir a causar polarização anódica. A presença de chumbo no depósito catódico pode torná-lo quebradiço. Por essas razões torna-se necessária a remoção do chumbo em operações prévias.

Anodos contendo teores de cobre superiores a 5% diminuem a eficiência do processo. O cobre acumula-se em solução podendo dar formação ao cloreto cuproso que precipita parte do ouro da solução para a lama anódica.

A presença de selênio, telúrio, arsênio, antimônio e bismuto pode tornar quebradiço o depósito catódico, devendo, portanto, ser removido antes da eletrólise.

#### b. Densidade de Corrente

É costume referir-se ao fluxo de corrente, através de células eletrolíticas, não em termos de ampères, mas em termos de ampères por decímetro quadrado ( $A/dm^2$ ) de área eletrolítica, ou seja, pela densidade de corrente.

A densidade de corrente é o parâmetro mais importante na economia do processo de eletrorrefino de ouro, principalmente se este for praticado em grande escala, pois o empate de capital representado pelo ouro contido nos eletrodos e eletrólito pode chegar a uma considerável soma de dinheiro.

Na prática, portanto, deve aplicar-se densidades

de corrente tao altas quanto possivel, lembrando-se que existe uma densidade de corrente limite, pois a polarizaçãõ aumenta com o aumento da densidade de corrente.

Recentemente, SCHALCH e NICOL, estudando certos problemas associados com o eletrorrefino de ouro monetario (99,6%), chegaram à conclusãõ de que a utilizaçãõ de altas densidades de corrente reduzem significativamente a formaçãõ de íons monovalentes de ouro e consequentemente a reaçaõ de dismutaçãõ, e evitam a formaçãõ de depósitos dendríticos que poderiam ocasionar curtos-circuitos na célula eletrolítica.

### c. Agitação

A agitação do eletrólito no eletrorrefino de ouro é extremamente importante, pois apresenta influência direta sobre a polarizaçãõ por concentraçãõ, além de permitir o aumento da densidade de corrente limite e a uniformizaçãõ da temperatura do eletrólito.

A maior parte do ouro em soluçãõ, como foi visto, se apresenta em forma de um complexo aniônico estável ( $\text{AuCl}_4^-$ ) e, deste modo, tem de ser conduzido para bem próximo da superfície do catodo, de modo que a deposiçãõ tenha lugar.

A função principal da agitação é transportar os íons  $\text{AuCl}_4^-$  para a interface catodo/eletrólito, evitando-lhes a exaustãõ nesta interface e, consequentemente, o aumento da polarizaçãõ de concentraçãõ.

Uma maior agitação do eletrólito diminui a camada difusiva de Nernst e, consequentemente, aumenta a densidade de corrente limite.

Uma possível desvantagem da agitação vigorosa do eletrólito é que esta pode levar à contaminaçãõ do depósito catódico por flocos de  $\text{AgCl}$  desalojados do anodo.

#### d. Temperatura

A elevação da temperatura do eletrólito, com o consequente aumento da mobilidade iônica, permite a utilização de maiores intensidades de densidade de corrente.

Além disso, as solubilidades do cloreto de prata e do óxido de chumbo aumentam significativamente, reduzindo, deste modo, a polarização anódica. Portanto, a elevação da temperatura é benéfica sobre a eficiência do processo eletrolítico, apesar de ocasionar um aumento da reação de dismutação.

#### e. Composição do Eletrólito

Usualmente, em soluções a quente, as concentrações de ouro do eletrólito variam de 50 a 120 g/l, enquanto as de íons  $\text{Cl}^-$  livres variam entre 50 e 200 g/l.

Quanto maior a concentração de ouro, maior a disponibilidade de íons  $\text{AuCl}_4^-$  junto à interface catodo/eletrólito, permitindo, com isto, a utilização de densidades de corrente maiores. Similarmente, o uso de baixas concentrações de ouro pode causar a exaustão de íons  $\text{AuCl}_4^-$  na interface catodo/eletrólito, podendo levar à deposição catódica de prata e/ou cobre.

É de se considerar que a utilização de altas concentrações de ouro no eletrólito implica na imobilização de um elevado capital.

A necessidade da presença de excesso de íons cloreto no eletrólito pode ser explicado por dois fatos descobertos por Wohlwill, por ocasião das pesquisas que o ajudariam a estabelecer os princípios do processo eletrolítico de refino de ouro:

- (1) "Em um eletrólito de cloreto de ouro que não contenha outro cloreto, um anodo de ouro pu

ro ou um anodo rico em ouro, comporta-se como um anodo de platina ou de carbono; ou seja, o cloro é gerado na forma gasosa enquanto o ouro não é dissolvido”;

- (2) “Essa evolução de gás cloro poderá ser evitada e o ouro dissolvido, se for adicionado ao eletrólito de cloreto de ouro, ácido clorídrico ou certos outros cloretos”;

o que mostra ser a presença de excesso de íons cloreto essencial ao processo de eletrorefino de ouro. Esta necessidade pode ser explicada pela fraca dissociação do complexo de cloreto de ouro formado.

Na prática, a maior parte do excesso de íons cloreto é fornecida pelo cloreto de sódio. A presença de cloreto de sódio aumenta a condutividade do eletrólito e o potencial de polarização, permitindo o uso de altas densidades de corrente sem causar polarização. Além disso, minimiza os possíveis problemas de corrosão que ocorreriam pelo uso único de ácido clorídrico.

#### f. Corrente de Pulso

O uso de corrente de pulso, como foi visto, permite aumentar substancialmente a densidade de corrente anódica sem causar o desenvolvimento de gás cloro e sem necessidade de retirada, por meios mecânicos, da camada de  $\text{AgCl}$  formada sobre o anodo. O limite permissível da densidade de corrente anódica será tanto maior quanto menor for o teor de prata no ouro a refinar e maior a razão de intensidade de C.A. para C.C. Permite, também, refinar eletroliticamente ligas muito mais ricas em prata do que seria possível utilizando-se unicamente C.C.

A utilização de corrente de pulso, com a consequente possibilidade de emprego de altas densidades de corrente anó

dica, envolve uma outra importante vantagem: a redução da produção de íons de ouro monovalente, diminuindo, conseqüentemente, a reação de dismutação.

O efeito da corrente de pulso sobre a camada de AgCl formada no anodo é torná-la porosa, induzindo-a à queda. Ou seja, a corrente de pulso minimiza a polarização anódica. A formação de porosidade na camada de AgCl se dá em razão de a corrente de pulso acarretar periodicamente uma mudança momentânea da polaridade dos eletrodos, fazendo com que o AgCl formado se reduza e reoxide seguidamente.

De acordo com Wohlwill, a corrente de pulso é facilmente obtida conectando-se em série um gerador de C.C. com um gerador de C.A.

O efeito eletrolítico é, de acordo com a lei de Faraday, igual ao efeito obtido pela C.C. agindo sozinha. Em outras palavras, a quantidade total de ouro depositada no catodo pode ser determinada pela lei de Faraday, supondo que somente C.C. esteja passando.

#### 4. APARELHAGEM

A aparelhagem e as utilidades necessárias ao eletrorrefino de ouro são descritas a seguir:

##### a. Fonte de Corrente

No eletrorrefino de anodos de ouro contendo teores de prata relativamente altos (acima de 6%) não se recomenda a utilização de somente corrente contínua, como visto anteriormente. A polarização anódica causada em decorrência do alto teor de prata pode ser superada pelo uso de corrente de pulso.

### b. Célula Eletrolítica

As células eletrolíticas são recipientes de formato retangular de dimensões médias de 400 x 300 x 300mm (comprimento x largura x altura), confeccionados em porcelana esmaltada - a mais usual, fibra de vidro, acrílico ou vidro. Em geral, cada célula comporta 4 a 8 anodos.

### c. Eletrodos

Os catodos utilizados são tiras de ouro laminado de alta pureza (99,99% Au) e 0,1mm de espessura.

A área e o peso dos anodos variam em função do tempo de refino desejado e da densidade de corrente utilizada. Usualmente, para anodos com teores superiores a 98% em ouro, as dimensões são 200 x 100 x 10mm (comprimento x largura x espessura) com peso aproximado de 4kg.

Os espaçamentos anodo-catodo variam, geralmente, de 20 a 50mm.

Os suportes dos eletrodos são feitos de uma liga com 71,5% de prata e 28,5% de cobre.

### d. Agitação de Eletrólito

A agitação do eletrólito pode ser feita por agitadores mecânicos ou por borbulhamento de ar através de tubos de vidro, sendo este último o mais usual.

### e. Aquecimento

O aquecimento do eletrólito é feito usualmente

por resistências de imersão ou através de banhos de areia.

#### f. Preparação do Eletrólito

Três métodos são usualmente utilizados para a a preparação da solução de cloreto áurico:

- dissolução do ouro por meio de água régia e subsequente remoção dos nitratos presentes;
- cloretação de ouro finamente dividido em solução de ácido clorídrico;
- dissolução eletrolítica utilizando-se uma barreira porosa.

A purificação do eletrólito usado torna-se necessária quando este, após certo número de eletrorrefinos, atinge concentrações de impurezas que possam vir a prejudicar a eficiência do processo. Neste caso, faz-se a recuperação do ouro precipitando-se através da utilização de gás sulfuroso ou de sulfato ferroso. A platina é precipitada pelo cloreto de amônio e o paládio pelo hidróxido de amônio. O cobre é cementado através de aparas de ferro.

#### g. Registradores

Além dos voltímetros e amperímetros necessários aos ajustes da faixa de voltagem e intensidade de corrente desejada é, ainda, essencial à medida da eficiência do processo eletrolítico a utilização de coulômetros e registradores contínuos da diferença de potencial.

## 5. ESTUDOS DESENVOLVIDOS PELO CETEM SOBRE REFINO DE OURO E PRATA

- . Análise crítica da literatura sobre as técnicas referentes aos processos de refino de ouro e de prata e do aproveitamento dos diversos subprodutos nobres.
- . Estabelecimento dos parâmetros de processo para o refino eletrolítico de prata contendo alto teor de cobre (13%).
- . Efetivada a implantação de unidade de refino eletrolítico de prata na Casa do Moeda do Brasil com capacidade nominal de 2000kg/mês.
- . Estudo dos efeitos de correntes de pulso sobre o eletrorefino da prata.
- . Estabelecimento dos parâmetros de processo para o refino eletrolítico de ouro.
- . Efetivada a implantação de unidades moduladas de refino de ouro na CMB, cada unidade modulada, com capacidade de 200kg/mês de ouro.
- . Ensaios em escala piloto de refino pirometalúrgico de ouro - Processo Müller.
- . Estabelecidos parâmetros de processo e efetivada a implantação de unidades de recuperação e refino de prata oriundos de rejeitos fotográficos.

## 6. CONSIDERAÇÕES

- O processo eletrolítico produz ouro de alta pureza, com consumo mínimo de energia e reagentes químicos, sem evolução de

vapores tóxicos, com mão-de-obra mínima e relativamente não-especializada, em uma área de construção pequena, e não encontra dificuldades em refinar ouro contendo altos teores de metais do grupo da platina, facilitando, ainda, a recuperação e separação destes. Entretanto, o empate de capital representado pelo ouro contido nos eletrodos e eletrólito pode chegar a uma considerável quantia principalmente se o refino for praticado em grande escala.

- . O processo eletrolítico é particularmente recomendado para refinar ouro, cuja especificação do produto final exige teores de purezas superiores a 99,95% e "bullion" contendo teores relativamente altos de metais do grupo da platina.
- . Os fatores que representam maior influência sobre a eficiência do processo de eletrorrefino de ouro são:
  - . polarização anódica;
  - . reação de dismutação;
  - . pureza do depósito catódico.
- . Estes fatores, por sua vez, estão intimamente ligados à composição química do ouro a refinar.
- . A prata é a principal impureza do "bullion" de ouro, não só por ser geralmente, a de teor mais elevado, mas, principalmente, pelos efeitos deletérios que pode ocasionar ao processo: polarização anódica e contaminação do depósito catódico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. BALBERYSZSKI, T. Hydrometallurgy. Mineral Industries Bulletin, Colorado School of Mines, v. 13 , p. 1-17, 1970.
2. BARBOSA, J.P. Efeitos de alguns parâmetros na eletrorrecuperação do Zinco. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1976. Tese de mestrado.
3. CHEH, H.J. Current distribution during electrodeposition of gold. J. Electrochemical Society, May, 1970.
4. FISCHER, K. G.; HUGHES, R.G. Application of periodic current reversal (P.C.R.) to electrolytic copper refining at Mufulira Trans. Inst. Min. Metal. v. 80, p.C 250-C 261, 1971.
5. GLYNN, C. Gold 1978. Consolidated Gold Fields Limited, June, 1978.
6. KING, A. Gold metallurgy of the Witwatersrand. Transvade Chamber of Mines, 1949. Johannesburg.
7. MANTELL, C.L. Ingeniería electroquímica. Ed. Reverté, 1962.
8. MODERNISATION of Gold production in the Rand. Aug. 1971.
9. PERKINS, F.C. Extracting gold and silver at Wallstreet Mills, Col. Electrochemical Industry, v. 2. Jan. 1904.
10. POTTER, G.M.; SALISBURY, H.B. Innovations in gold metallurgy. Washington, Bureau of Mines, Sept. 9-12, 1973.
11. RAND gold refinery - biggest little plant in the world. Eng. Min. Journal. Nov. 1972.
12. RAUB, E.; MULLER, K. Fundamentals of metal deposition, Amsterdam, Elsevier, 1967.

13. SCHALCH, E; NICOL, M.J. A study of certain problems associated with electrolytic refining of gold. Gold Bulletin, 2(4) 1978 .
14. 30.000 t of refined gold in 55 years. Metals & Minerals Processing, feb. 1978.
15. TRAJANO, R.B. Metalurgia de não-ferrosos, E.E./UFRJ, 1960.
16. TUTTLE, D.K. Electrolytic refining of gold. Electrochemical Industry, 1(5) Jan. 1903.
17. VILLAS BÔAS, R.C. Eletroquímica para engenheiros metalurgistas extrativos COPPE/UFRJ, Publicação didática, 1973.
18. WHITEHEAD, R.L. Electrolytic refining of gold silver and copper at the United States Mint., San Francisco, Cal. Electrochemical and Metallurgical Industry, 2(9) Sep .1968 .
19. WOHWILL, H. Electrolytic refining of gold. Electrochemical Industry. 2(6) June, 1904.