UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

ANDRÉ GRANJA

LÍGIA DOYAMA

RAFAELA RIGHI

Metalurgia do Ouro

São Paulo

2011

Índice

1. Introdução 3
2. Ouro 3
3. História do Ouro 4
4. Aplicação 4
5. Metalurgia do Ouro 6
5. 1. Lavra 6
5. 2. Britagem 7
5. 3. Moagem 8
5. 4. Classificação 8
5. 5. Concentração Gravítica 8
5. 6. Flotação 9
5. 7. Espessadores 10
5. 8. Cianetação 10
5. 9. Filtragem 12
5. 10. Recuperação 12
5. 10. 1. Precipitação com Pó de Zinco 13
5. 10. 2. Adsorção em Carvão Ativado 13
5. 10. 3. Eluição 14
5. 10. 4. Adsorção em Resina de Troca Iônica 15
5. 10. 5. Extração por Solventes 15
5. 10. 6. Eletrorrecuperação 15
5. 11. Refino 16
5. 11. 1. Refino Pirometalúrgico 16
5. 11. 2. Refino Eletrolítico 17
5. 11. 3. Amalgamação 17
6. Impactos Ambientais 18
7. Reservas 19
8. Produção 21
8. 1. Produção Mundial 21
8. 2. Produção Brasil 22
9. Comercialização 24
10. Bibliografia 27

Metalurgia do Ouro

1. Introdução

O ouro é um dos metais mais apreciados pelo homem. O trabalho que segue apresenta as características do metal, suas aplicações, passa por todo o processo e exploração, beneficiamento e metalurgia, terminando numa apresentação dos aspectos econômicos relativos ao ouro tanto no mundo quanto no Brasil.

2. Ouro

O ouro é um elemento químico cujo símbolo é Au (do latim: "ouro" aurum) e seu número atômico é 79. O ouro é um metal denso (20 g/cm³) dúctil e maleável. O ouro puro tem uma cor amarela brilhante e se mantém inoxidado mesmo na presença de ar ou água. O ouro é um elementos químicos sólidos menos reativo e ocorre muitas vezes em forma livre (ou nativo), como pepitas ou grãos em rochas, em veios e em depósitos aluviais. Menos comumente, ocorre em minerais como compostos de ouro, geralmente com telúrio.

Ouro resiste à ataques de ácidos individuais, mas pode ser dissolvido pelo água régia (nitro-ácido clorídrico), assim chamada, pois estão dissolve. Ouro também se dissolve em soluções alcalinas de cianeto, que têm sido utilizados em mineração, mas é insolúvel em ácido nítrico, que dissolve os metais prata e base, uma propriedade que tem sido muito utilizada para confirmar a presença de ouro.

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E CRISTALOGRÁFICAS DO OURO

Grandeza	Valor	Unidade
Número atômico	79	-
Massa específica (293K)	19,32	g/m³
Dureza	2,5	Escala de Mohs
Massa atômica	196,96654	uma
Raio atômico	1,44	Angstron (Å)
Raio covalente	134	Pm
Ponto de fusão	1.064,33	°C
Ponto de ebulição	2.856	°C
Temperatura crítica	9.227	°C
Calor de fusão	12,55	$KJ.mol^{-1}$
Calor de vaporização	343,1	$KJ.mol^{-1}$
Calor de atomização	365,93	$KJ.mol^{-1}$
Calor específico	129	J / (kg °C)
Coef. expansão térmica (273K)	1.416	10^{-7} (K)
Condutividade térmica	314	w / (m °C)
Condutividade elétrica	45,2	10^6/m Ω
Coeficiente de Poisson	0,44	-
Módulo de elasticidade (293K)	7	GPa
Estados de oxidação	+3 +1	-
Configuração eletrônica	[Xe] $4f^{14}$ $5d^{10}$ $6s^1$	
Estrutura cristalina	Cúbica de face centrada	

Fonte: Wikipédia, Sociedade Brasileira de Geologia e Sociedade Portuguesa de Química.

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

3. História do Ouro

Há 6 mil anos, o ouro é explorado no mundo e desperta o interesse dos homens que o cobiçam devido a suas inigualáveis características.

Na Alta Antiguidade, a Bíblia cita o ouro como símbolo da riqueza. Além disso, são conhecidas explorações históricas existentes no Sudão, fornecedor do metal para o Egito. Também na Trácia, região que se situava aproximadamente ao norte da Grécia atual; na Lídia, atual Irã, China e em outros países o metal era extraído e trabalhado. O ouro já era procurado como reserva de valor, tanto mais preciosa quanto escassa a sua quantidade e custosa sua obtenção.

Na Idade Média, foram descobertas as minas na Áustria e na Saxônia. Desenvolveu-se na Europa a arte da Alquimia, cujo objetivo principal era a transformação dos metais comuns em ouro. Mesmo sem seu objetivo alcançado, a Alquimia desenvolveu a base da ciência química, a partir das experiências medievais.

Dos séculos XI ao XIII, o ouro foi cunhado no mundo muçulmano e talvez tenha sido em decorrência da ocupação árabe que a Espanha medieval tenha produzido também algum ouro. Posteriormente, no século XIII, Florença, Gênova e Veneza passaram a cunhar moedas de ouro. Enfim, no século XIV, França e Inglaterra também conseguiram cunhar o ouro e o uso de moedas do metal se popularizou no mundo ocidental.

A descoberta da América permitiu verificar que os Astecas e Incas utilizavam desde séculos antes o metal extraído de suas minas juntamente com a prata. Os espanhóis rapidamente iniciaram sua exploração no Novo Continente.

4. Aplicação

Além de ser matéria-prima principal de jóias e objetos de luxo, o ouro possui diversas aplicações tecnológicas devido a suas propriedades. Algumas destas aplicações são: na indústria automotiva, na eletrônica, na medicina, em nanotecnologia, na indústria aeroespacial e em diversos segmentos da Engenharia. [9]

Na indústria automotiva, o ouro está presente nos catalisadores que utilizam metais preciosos para catalisar a oxidação de subprodutos nocivos provenientes da combustão que ocorre no motor. Os metais preciosos são utilizados pois, além de eficazes em relação às metas de redução de emissão de gases, são duráveis.

O ouro tem propriedades como excelente resistência à corrosão, boa moldabilidade, boa condutividade elétrica e térmica. Tais propriedades são muito úteis em componentes eletrônicos que, com os avanços tecnológicos, estão cada vez menores e mais precisos, forçando a descoberta de materiais que acompanhem tal evolução.

Além disso, o ouro possui um comportamento curioso em relação às cores que dá ao vidro. Dependendo do tamanho e formato das partículas de ouro misturadas ao vidro, o objeto final pode apresentar cores diferentes, como verde e vermelho, dependendo da incidência de

luz sobre o objeto. Tal fenômeno foi percebido já na Antiguidade com a “taça de Lycurgus” e considerado um mistério.

Fonte: http://www.timkelf.com/Research/ResearchSurfacePlasmons.html

A Medicina é um dos campos que utilizam o ouro a milhares de anos, tanto como componente de medicamentos, quanto como matéria-prima de próteses, principalmente dentárias. Para tratar paralisia parcial do rosto, quando o paciente não consegue fechar os olhos, um pequeno implante de ouro é colocado dentro da pálpebra para permitir que esta volte a fechar-se.

Fonte: http://www.ijdr.in/article.asp?issn=0970-9290;year=2011;volume=22;issue=1;spage=181;epage=181;aulast=Manodh

Na indústria aeroespacial o ouro é utilizado, principalmente, pela sua refletividade, condutividade e resistência a corrosão. É muito utilizado como refletor de calor e radiação infravermelha.

5. Metalurgia do Ouro

O minério de ouro apresenta o metal em sua forma elementar metálica, caracterizada por sua maleabilidade e alta densidade.

Essas características facilitaram o garimpo artesanal de ouro, já que ele era facilmente identificado por afundar na “bateia”, espécie de tacho raso com o qual o garimpeiro coleta os sedimentos do fundo de um curso d´água, enquanto que a água e o resto dos fragmentos de rocha transbordavam pela beirada, jogados para fora com movimentos circulares aos quais a bateia era submetida.

Garimpo na Serra Pelada. Fonte: http://cafehistoria.ning.com/group/garimponaserrapelada

As etapas de processamento podem resumir-se na adequação granulométrica do minério e nas etapas hidrometalúrgicas subseqüentes. [1]

As etapas posteriores utilizadas para a obtenção de ouro metálico a partir do minério são: lixiviação (cianetação), recuperação (se por carvão ativado: eluição e regeneração) e, finalmente, o refino.

5. 1. Lavra

O minério de ouro pode ser retirado do solo em minas a céu aberto ou subterrâneas. O ouro metálico também pode ser obtido nos sedimentos aluvionares, ou seja, do material proveniente do fundo de rios.

Fonte: Acervo Pessoal

5. 2. Britagem

A britagem é a primeira fase do beneficiamento do minério e consiste, basicamente, em diminuir a granulometria das partículas do minério.

A britagem primária pode ser realizada tanto em britadores de mandíbulas de dois eixos quanto em britadores de impacto.

O britador de mandíbulas é formando por duas placas metálicas, uma móvel e outra fixa, sendo que a móvel movimenta-se de encontro à placa fixa. Durante o movimento de aproximação, que é parecido com a mastigação (por isso britador de mandíbulas), o minério que está entre as duas placas é esmagado e, assim, quebrado.

Os britadores de impacto são mais utilizados para materiais não abrasivos, já que apresentam desgaste elevado. Ele é formado por martelos ou barras de impacto que batem nas partículas, transformando sua energia cinética em fratura.

Fonte: Acervo Pessoal

5. 3. Moagem

O objetivo da moagem, além de homogeneizar a granulometria do minério, é liberar o ouro livre do minério, que não necessitará de lixiviação. A moagem pode ser feita com diferentes moinhos, mas os moinhos utilizados para a cominuição de ouro no Brasil são os moinhos de bolas.

Os moinhos de bolas são constituídos de um tambor cilíndrico que gira em torno do seu eixo. O tambor é revestido internamente por material resistente ao desgaste, metálico ou borracha. Dentro do moinho as bolas caem umas sobre as outras num movimento de cascata. Com o impacto e o rolamento das bolas, o minério sofre cominuição.

5. 4. Classificação

A classificação é o ato de separar as partículas do minério em duas porção, uma com maior quantidade de partículas grosseiras (“underflow”) e outra com maior quantidade de partículas finas (“overflow”). As partículas suficientemente finas são selecionadas para o processo de concentração e as partículas grandes demais para isso, voltam ao moinho de bolas. Mas podem haver partículas de granulometria menor que a desejada e estas também são retiradas do processo numa operação conhecida como deslamagem.

A classificação pode ser realizada em classificadores espirais ou ciclones. Os ciclones possuem maior capacidade de volume ou área ocupada, controle operacional mais fácil, maior estabilidade de operação, fácil manutenção e baixo investimento em relação aos classificadores espirais.

No ciclone, a polpa (mistura de minério e água) adquire escoamento rotacional quando liberada no topo do ciclone. O movimento circular gera uma força centrífuga que joga as partículas contra a parede do ciclone. As partículas mais grosseiras afundam mais depressa, ocupando o volume do ciclone próximo às paredes. As partículas mais finas tendem a ficar concentradas na parte central do ciclone.

O classificador espiral é formado por uma canaleta em hélice por onde a polpa escoa rapidamente. Na parte inferior da canaleta fica concentrado o minério mais grosseiro (“underflow”) e na parte superior da canaleta, o minério mais fino (“overflow”).

5. 5. Concentração Gravítica

As partículas de ouro livre, de tamanho maior que 200 µm, podem ser separadas do resto do minério por métodos gravíticos.

Os aparelhos mais utilizados na separação gravítica de minério de ouro são: jigues, mesas vibratórias ou concentradores centrífugos.

Os jigues movimentam as partículas de modo pulsante e envolve três mecanismos: sedimentação retardada, aceleração diferencial e consolidação intersticial. Basicamente, o

jigue é um tanque contendo uma tela, êmbolo ou diafragma, que movimenta a água por debaixo da polpa, resultanto na estratificação do minério em diferentes granulometrias.

A mesa vibratória ou oscilatória consiste num deck de madeira recoberto com borracha ou plástico para aumentar a fricção entre a superfície e o minério, que vibra. Como este deck está inclinado, as partículas pequenas e pesadas deslocam-se mais que as grandes e leves, ocorrendo a estratificação do material sobre a mesa.

Os concentradores centrífugos utilizam o princípio de aumento do efeito gravitacional com a rotação, visando uma maior eficiência na recuperação de partículas finas.

5. 6. Flotação

A flotação é o método de separação entre partículas sólidas que utiliza as diferenças superficiais (hidrofilicidade ou hidrofobicidade).

No tanque de flotação, a parte hidrofóbica do minério (ouro como monocamada de contaminante carbonáceo) adere as bolhas criadas no fundo do tanque que sobem à superfície levando consigo o minério rico em ouro. Para facilitar a flotação, um coletor deve ser adicionado ao processo para que as partículas de sulfeto sejam levadas juntamente com as bolhas para a superfície. O restante do minério (ganga), que é hidrofílico, permanece na água.[1]

Em algumas plantas de beneficiamento, o processo de flotação consiste em três etapas: desbaste, limpeza e “scavenger”, incluindo duas células para a retirada de grafita que pode estar presente no minério. Trata-se de uma bateria de células de desbaste (rougher) sendo empregados alguns reagentes tais como mercapitobelzotiazol de sódio, ditiofosfato de sódio (hostaflot), espumantes e sulfato de cobre como ativador. O concentrado “rougher” obtido alimenta uma bateria de células de limpeza (cleaner) que produzem um concentrado com cerca de 22 gramas de ouro por tonelada de minério e 31% de enxofre. Os rejeitos da bateria de limpeza alimentam uma outra bateria, “scavenger” que está em circuito fechado com as baterias de desbaste e limpeza. O rejeito final da flotação é espessado e bombeado para a barragem de deposição. [6]

Os coletores empregados na flotação de sulfetos contendo ouro associado pertencem à família dos tio-compostos ou compostos sulfidrílicos. Os tio-compostos apresentam baixa ou nenhuma atividade na interface líquido/ ar, tendo ação somente coletora, não espumante.

Para que a ação dos coletores seja mais efetiva, a presença de um ativador é geralmente necessária. Uma espuma estável é obtida pela ação de um espumante que tem também a função de facilitar a cinética de interação partícula/bolha.[1]

5. 7. Espessadores

Os espessadores são tanques cilíndricos onde o minério é concentrado por sedimentação e é retirado pelo fundo. O líquido sobressalente transborda e é recolhido por uma calha que circunda o espessador.

Os espessadores também funcionam como reatores químicos na cianetação do ouro, retendo o minério pelo tempo necessário para iniciar a lixiviação.

Fonte: Acervo Pessoal

5. 8. Cianetação

Antes do processo de cianetação, a extração de ouro envolvia, basicamente o processo de separação gravítica do ouro livre, seguido de processos complementares como cminuiçao, classificação e, como o ouro tem capacidade de ser incorporado ao mercúrio, de amalgamação.

A cianetação é um tipo de lixiviação que utiliza um sal de cianeto, os mais comuns de sódio ou potássio. Em meio básico, o cianeto dissolve o ouro do minério, produzindo uma solução rica em ouro.

Antes da lixiviação podem ser necessárias etapas de pré-oxidação, que incluem agitação da polpa em pH alcalino (pré-aeração), visando a passivação de sulfetos solúveis na cianetação, até a oxidação completa de sulfetos auríferos contendo ouro finamente disseminado, onde a recuperação de ouro, sem os processos de bio-oxidação, ustulação ou oxidação sob pressão, teria um rendimento muito baixo. Tais minérios são denominados refratários.

A ustulação é a calcinação do concentrado sulfetado em presença de oxigênio e a oxidação sob pressão é a oxidação dos sulfetos realizada em autoclave onde é injetado oxigênio, envolvendo reação com elevada temperatura e pressão. [6]

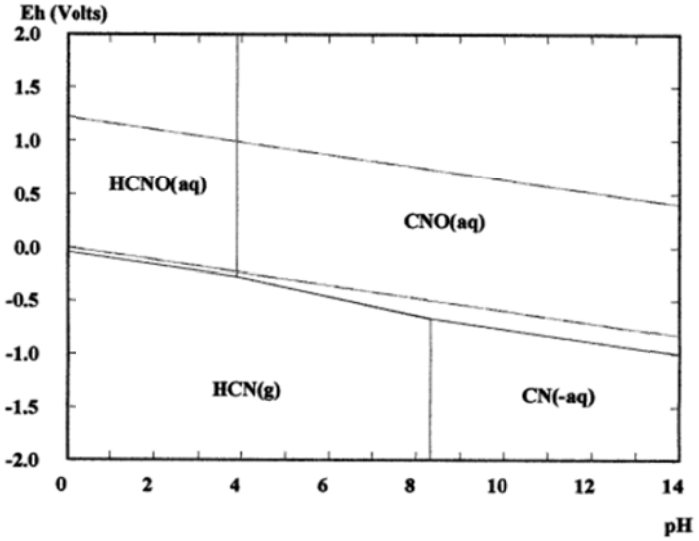
A lixiviação por cianeto em meio alcalino pode ser realizada em pilhas de rejeitos, em pilhas de minérios, em tanques estacionários ou em tanques com agitação.

A recuperação em pilhas é baixa em relação aos processos em tanque, são mais utilizadas em minérios oxidados de ouro de baixo teor, tendo uma recuperação entre 50 a 85%. A técnica em tanques estacionários tem rendimento intermediário entre a recuperação em pilhas e a em tanques com agitação. Esta última é muito utilizada para tratar minérios que justifiquem o investimento e os altos custos operacionais, tendo um teor geralmente superior a 2g de ouro por tonelada de minério.

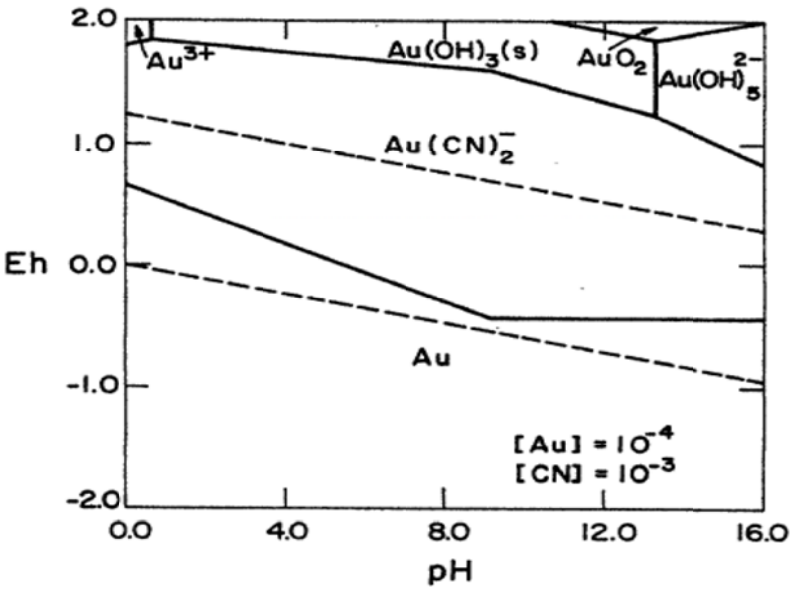
O processo de cianetação baseia-se na capacidade do cianeto em formar complexo com o ouro e é ilustrado através da reação global:

- $2Au(s) + 4CN^-(aq) + 1/2O_2(g) + 2H^+(aq) = 2Au(CN^-)_2(aq) + H_2O(l)$

O íons cianeto, liberado através da dissolução do sal, hidrolisa e forma o ácido cianídrico, que poderá sofrer uma posterior dissociação em íons H^+ e CN^- . Além disso, o ácido cianídrico apresenta uma elevada pressão de vapor, o que favorece a formação do gás HCN, que é extremamente tóxico, podendo ser letal em concentrações não muito altas. Por isso, a cianetação deve ocorrer de modo a minimizar a formação desse gás, o pH é mantido por volta 10,5, no qual é possível tanto a dissolução do ouro quanto a predominância de CN^- em solução.



Fonte: http://www.cetem.gov.br/publicacao/extracao_de_ouro/capitulo_03.pdf



Fonte: http://www.cetem.gov.br/publicacao/extracao_de_ouro/capitulo_03.pdf

5. 9. Filtragem

A filtragem é o processo de separação da solução cianetada contendo ouro e do restante do minério. A solução filtrada é transferida para a clarificação/precipitação. A torta do filtro é repolpada e bombeada para a segunda lixiviação que é exatamente idêntica à lixiviação por cianeto já comentada. [6]

Fonte: Acervo Pessoal

5. 10. Recuperação

A recuperação consiste na concentração do ouro nas soluções cianetadas. Há dois processos mais utilizados para a recuperação de ouro industrialmente: a precipitação com pó

de zinco e a adsorção em carvão ativado. Além destas duas, existem também a precipitação com alumínio, a adsorção em resinas de troca iônica e a extração por solventes, que não são tão comuns em escala industrial quanto as duas citadas acima.

5. 10. 1. Precipitação com Pó de Zinco

Há casos em que a precipitação com zinco é a melhor das opções para a recuperação do ouro: no tratamento de minérios com alto teor de prata; de minérios contendo materiais que interferem com a adsorção em carvão (alto teor de argilas ou matéria orgânica); no aproveitamento de pequenos corpos minerais, para os quais não se justificam os investimentos com eluição e regeneração, além do alto custo do carvão ativado.

O processo de precipitação com zinco compreende as seguintes etapas principais: clarificação da polpa proveniente da cianetação, deaeração do licor, precipitação e filtração.

O contado da superfície do pó de zinco com a solução rica em ouro provoca uma reação chamada cementação. A cementação é um processo eletroquímico como sua reação global sendo:

$$2Au(CN)^{-}_{2} + Zn = 2\ Au + Zn(CN)^{2-}_{4}$$

O ouro precipita na superfície da partícula de pó de Zn enquanto o Zn é consumido e vai para solução. Assim, o ouro é concentrado sobre as partículas. Utiliza-se um grande excesso de pó de zinco, de 5 a 30 vezes a quantidade estequiométrica em relação ao ouro em solução.

O Zn reage com a OH^{-} resultando em diversos subprodutos. O produto mais indesejável é a formação de hidróxido de zinco sólido, pois esse composto recobre as partículas de zinco, inibindo a precipitação do ouro. Uma forma de minimizar a formação desse composto é a adição de uma pequena quantidade de um sal de chumbo, em geral, nitrato ou acetato. O chumbo forma um par galvânico com o zinco, causando a evolução de hidrogênio gasoso nos catodos locais de chumbo, inibindo a passivação do zinco. Outro aspecto positivo do chumbo é que ele reage com os íons sulfeto em solução, formando PbS, evitando a indesejável formação de uma camada de ZnS em volta das partículas de pó de zinco.

5. 10. 2. Adsorção em Carvão Ativado

Carvão ativado é uma denominação genérica dada a uma grande quantidade de compostos carbonosos amorfos com elevada superfície específica, de até 1200m2/g, devido a alta quantidade de poros em sua estrutura.

Os materiais mais utilizados para fabricação de carvão ativado são: madeira, turfa, casca de coco, carvão betuminoso, antracito, coque de petróleo e sementes de frutas. Os processos de fabricação de carvão ativado baseiam-se na remoção de hidrogênio por

aquecimento e demais voláteis ricos em H2 da matéria carbonosa, gerando um material de alta porosidade interna e, portanto, de alta superfície específica.

Os processos à base de carvão ativado usualmente empregados na indústria para a recuperação de ouro (e prata) a partir de soluções ou polpas cianetadas comportam três etapas distintas:

- Carregamento: adsorção do cianocomplexo Au(CN)-2 os poros do carvãp;
- Eluição: dessorção do metal precioso, obtendo-se um licor mais concentrado do que a solução original proveniente da cianetação;
- Produção: o metal precioso é extraído do licor rico através de eletrólise ou cementação com Zn.

Os seguintes processos de adsorção em carvão ativado são empregados industrialmente para a recuperação de ouro a partir de soluções cianetadas:

- Carvão em polpa (CIP);
- Carvão em lixiviação (CIL);
- Carvão em coluna (CIC).

No processo CIP, a polpa proveniente do circuito de lixiviação flui por gravidade para um conjunto de tanques com agitação mecânica, no qual é contactada em contra-corrente com o carvão ativado. No primeiro estágio de adsorção, o carvão com o maior carregamento entra em contato com a polpa mais rica em ouro, enquanto, no último estágio, o carvão menos carregado é misturado com a solução de menos concentração.

O processo CIL é uma modificação do processo CIP na qual as operações de lixiviação e adsorção ocorrem simultaneamente em um mesmo tanque. Como conseqüência, os cianocomplexos de ouro e outros metais preciosos migram para a superfície do carvão ativado, onde são adsorvidos. Como resultado dessa migração, a transferência de massa nesse tipo de sistemas é elevada, fazendo com que o equilíbrio da reação de cianetação seja continuamente deslocado na direção dos produtos, acelerando a cinética da reação.

O processo CIC apresenta duas configurações. Pode ser de leito fixo, no qua a solução rica em ouro flui por gravidade através de um ou vários leitos estacionários de carvão dispostos lado a lado e elevações decrescentes. E pode ser de leito fluidizado, no qual a solução contendo ouro flui de baixo para cima através de uma camada de carvão em velocidade suficiente para fluidizar as partículas de carvão.

5. 10. 3. Eluição

Eluição é a retirada dos cianocomplexos de ouro das partículas de carvão. As técnicas de eluição são baseadas na transferência de massa de um composto solúvel de ouro, transferência essa, promovida por meio de um gradiente de concentração e de altas temperaturas. Atualmente, os sistemas de eluição utilizados na indústria do ouro podem ser agrupados nas categorias:

- Zadra atmosférico;
- Zadra sob pressãp;
- Zadra com uso de solventes orgânicos;
- Precondicionamento com cianeto e eluição com água deionizada (processo AARL);
- Processo Micron Research.

Todos os processos acima utilizam soluções de NaCN e NaOH, mas em concentrações diferentes, numa temperatura e por período diferente.

5. 10. 4. Adsorção em Resina de Troca Iônica

O cianocomplexo de ouro é adsorvido em resinas através de uma reação de troca iônica. Resinas de troca iônica são materiais sintéticos com uma matriz inerte, usualmente poliestireno em ligação cruzada com divinilbenzeno e aminas como grupos funcionais de superfície. Existem basicamente dois tipos de resinas para a adsorção de ouro a partir de soluções cianetadas: as de base forte, nas quais os grupos funcionais são aminas quaternárias e as de base fraca, cujos grupos funcionais são aminas primárias, secundárias ou terciárias. As resinas de base forte podem ser usadas para adsorver ouro sem necessidade de ajuste de pH, enquanto as de base fraca, em geral, somente podem trocar íons em valores mais baixos de pH, fato que dificultava sua aplicação em sistemas industriais de adsorção de ouro.

5. 10. 5. Extração por Solventes

Os solventes empregados em solução líquido-líquido apresentam algumas vantagens em relação ao carvão ativado e as resinas, entre as quais ressaltam-se a rápida cinética de adsorção e o alto carregamento de ouro.

Em extração por solvente, determinadas substâncias orgânicas, chamadas extratantes, são utilizadas para extrair seletivamente o metal de interesse de uma solução aquosa. O extratante é usualmente diluído, entre 10 a 20% em volume, em outra substância orgânica inerte, chamada diluente, em geral, querosene. A etapa de transferência do ouro da fase aquosa para a orgânica é denominada extração, podendo ocorrer a recuperação direta do ouro a partir da fase orgânica carregada (por precipitação ou eletrólise), ou de forma indireta, ao se transferir o ouro novamente para uma solução aquosa, etapa denominada reextração, seguida de recuperação através de métodos similares aos descritos para carvão ativado ou resinas.

5. 10. 6. Eletrorrecuperação

Numa célula eletrolítica, para que uma determinada reação eletroquímica em meio aquoso possa acorrer, é necessário que a diferença de potencial aplicada entre o anodo e o

catodo exceda o valor do potencial reversível das reações catódica e anódica e seja suficiente para vencer a queda ôhmica, devido à resistividade da solução.

A principal reação anódica durante a eletrorrecuperação de ouro é o desprendimento de oxigênio que, me meio alcalino, é representado pela reação (1). Em soluções ácidas, nas quais a concentração de íons OH- é muito baixa, a geração de oxigênio se passa pela descarga das moléculas de água, de acordo com a reação (2). Em soluções neutras, o oxigênio pode ser gerado tanto pela descarga do íon hidroxila como também pela descarga das moléculas de água. A reação (3), oxidação do íon cianeto ao cianato, também deve ser considerada, podendo ocorrer em uma menor extensão.

$4OH^- = O_2 + 2H_2O + 4e^-$; $E° = 0,401$ V (1)

$2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^-$ $E° = 1,229$ V (2)

$CN^- + 2OH^- = CNO^- + H_2O + 2e^-$ $E° = -0,96$ V (3)

Durante a eletrorrecuperação do ouro, a partir de soluções cianídricas em meio alcalino, quatro reações catódicas devem ser consideradas:

$Au(CN)_2^- + e^- = Au + 2CN^-$ $E° = -0,595$ V (4)

$O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$ $E° = 0,401$ V (5)

$O_2 + H_2O + 2e^- = OH^- + 2OH^-$ $E° = 0,401$ V (5)

O complexo $Au(CN)_2^-$ é reduzido a ouro metálico de acordo com a reação (4). As reações (5) e (6) representam a redução do oxigênio em meio alcalino, sendo as principais reações catódicas a competirem com a deposição de ouro, consumindo a maior parte da corrente elétrica do catodo, uma vez que o eletrólito deve estar saturado de oxigênio dissolvido, decorrente da geração anódica de oxigênio.

5. 11. Refino

Os processos de refino utilizados atualmente são: refino pirometalúrgico (cloretação Miller) ou refino eletrolítico (processo Wohlwill).

5. 11. 1. Refino Pirometalúrgico

O processo de refino pirometalúrgico de ouro, ou cloretação Miller consiste basicamente em borbulhar gás cloro através do ouro fundido, convertendo as impurezas metálicas, geralmente prata e metais de base como cobre, ferro, zinco e chumbo, em seus respectivos cloretos, que, sendo mais leves, flutuam na superfície do ouro fundido, de onde são facilmente retirados.

O processo de cloretação é usualmente empregado no refino de bullion de ouro (ouro semi-refinado produzido nas fundições das minerações, contendo acima de 70% de ouro e tendo a prata como principal impureza.

O ouro é fundido com adição de fundentes a temperaturas entre 1150 e 1200°C. Os fornos de indução são particularmente indicados em razão de reduzirem significativamente o tempo de fusão, não contaminarem o ouro fundido e induzirem turbulência ao banho líquido, garantindo eu seja homogêneo. Após a fundição, ocorre a injeção do gás cloro, feita com regulagem manual da pressão pelo operador, de maneira que não haja borbulhamento excessivo do banho, por um período que varia entre 90 a 120 minutos.

Formam-se os cloretos dos metais de base e de prata que causam um aumento no nível do líquido do cadinho e vão sendo removidos para outro cadinho pré-aquecido, visando uma posterior recuperação da prata, cobre e traços de ouro.

O ponto final do refino é verificado quando os vapores estão em quantidade suficiente para formar uma mancha vermelha-amarelada causada pelo gás cloro que sai da massa fundida de bullion (agora com pureza de 99%) sobre a superfície de um tubo refratário colocado sobre um orifício da tampa do cadinho. Essa indicação permite saber o fim do refino sem necessidade de análise química.

5. 11. 2. Refino Eletrolítico

O processo de refino eletrolítico de ouro consiste 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°C, utilizando-se uma densidade de corrente em ter 10 e 15 A/dm2. Há dissolução do ouro impuro, funcionando como anodo, e deposição de ouro quimicamente puro no catodo.O depósito catódico apresenta, normalmente, uma pureza não inferior a 99,95%.

5. 11. 3. Amalgamação

A amalgamação consiste na recuperação de ouro pela adição de mercúrio a polpa de minério de ouro. Em barris rotativos, adiciona-se uma parte de mercúrio para 70 a 100 partes de concentrado. Após 30 a 40 minutos de operação com apenas uma pitada de soda cáustica para eliminar gorduras naturais da superfície do ouro, o amálgama é separada da parte mineral por bateamento em caixa d´água. A decomposição da amálgama pode ser feita química ou termicamente.

A decomposição de amálgamas com ácido nítrico 30% produz mercúrio pernitrato que é altamente tóxico. Quando o mercúrio pernitrato combina-se com álcool, forma o fulminato, componente explosivo de detonadores.

A grande maioria dos mineiros artesanais em todo o mundo utiliza a decomposição térmica das amálgamas. Usando tochas de acetileno ou propano para evaporar o mercúrio em

panelas, pá, tigelas, obtém-se uma esponja de ouro chamada doré. Quando isto ocorre, o mercúrio da amálgama é emitido para a atmosfera, podendo causar problemas respiratórios aos trabalhadores.

6. Impactos Ambientais

Todas as etapas e exploração e extração do ouro apresentam alguma tipo de impacto no meio que em estão localizadas. Além de poluição, há áreas que são desmatadas, tanto para a lavra quanto para a obtenção de energia e para a instalação da planta de beneficiamento.

Há algumas medidas que eliminam ou minimizam o potencial de impactos ambientais nas diversas fases da mineração.

Na pesquisa mineral, antes de iniciar a lavra deve-se:

- Promover o mínimo de desmatamento, somento o essencial para a realização da pesquisa;
- Tamponar furos de sonda;
- Recobrir as trincheiras após a vistoria do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral);
- Aterrar os poços de pesquisa após vistoria do DNPM, ou cercá-los seguramente;
- Conservar as vias de acesso, promovendo drenagem e recobrimento vegetal dos taludes e aterros;
- Tomar os devidos cuidados na manutenção dos veículos e equipamento, no sentido de evitar o vazamento de óleos e graxas;
- Construir fossas sépticas nos acampamentos;
- Promover a recuperação da área após a pesquisa;
- Monitorar todas as fases inclusive após o abandono da mina.

Durante a lavra deve-se proceder da seguinte maneira:

- Quando se processa o retorno do estéril e rejeito para enchimento dos vazios nas minas subterrâneas, favorece ao meio ambiente, pois este material não ficará exposto às intempéries da superfície;
- Os rejeitos devem ser lançados em barragens de decantação ou retornar ao interior da mina, se o método de lavra assim o permitir;
- As áreas geradoras de poeiras devem ter recobrimento vegetal ou serem irrigadas;
- Dispor o estéril em aterros controlados tecnicamente ou retorná-los ao interior da mina;
- As drenagens devem conduzir as águas servidas às barragens ou, se necessário, ao sistema de neutralização;
- Quando se tratar de minas paralisadas e com efluentes de águas ácidas provenientes das drenagens das galerias contendo metais nocivos, estes devem estar neutralizados.

Quando do beneficiamento, concentração e apuração final:

- Recirculação das águas;
- Espessamento para retenção de sólidos;
- Neutralização com calcário ou cal hidratada, sulfato ferroso, oxidação com SO2, hipoclorito de sódio etc.;
- Barragens de decantação que retenham os sólidos e facilitem a degradação do cianeto;
- Barragens impermeáveis aos efluentes contaminantes do lençol freático;
- Prevenção contra gases utilizando-se filtros. No caso de SO2, a solução pode ser a fabricação de H2SO4 (ácido sulfúrico);
- Quanto ao mercúrio devem ser utilizadas técnicas apropriadas que favoreçam a total recuperação;
- Recuperação do cianeto.

7. Reservas

Oficialmente, as reservas mundiais de ouro estão em torno de cerca de 90 mil t in situ. A distribuição geográfica destes depósitos é bem esparsa.

No ano de 1996, ocorreu um significativo acréscimo de 27,6% nas reservas sul-africanas, fato que ocasionou um incremento de 16,4% nas reservas internacionais registrando cerca de 71 mil t de Au contido. A partir de 1997, iniciou-se um período de forte depreciação nos preços do ouro nos mercados internacionais que se estendeu até o ano de 2001. Este fato ocasionou uma forte recessão na indústria mineral. Fazendo com que este período tenha apresentado baixas taxas de reposição de reservas auríferas. Em 2002 teve início a retomada dos preços do ouro nos mercados globais e um novo aporte de investimento foi direcionado à indústria. Inúmeras frentes de lavra foram (re)iniciadas e um novo rol de países passou a integrar a lista de expressivas reservas globais, dentre eles, China, Indonésia, Peru, Gana, Chile, Mali, Tanzânia e Filipinas. Atualmente, várias dessas nações posicionam-se entre os médios e grandes países produtores de ouro no mundo.

As maiores reservas internacionais de ouro encontram-se na África do Sul e a sua progressiva exaustão têm ocasionado uma estagnação na taxa de reposição dos recursos e reservas auríferas no país. Entre os anos de 1995-1999, as reservas (medida + indicada) sul-africanas registraram um forte crescimento de 37,9%, atingindo o patamar de 40 mil t de ouro, o que representava cerca de 52% das reservas globais no biênio 1999-2000.

DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DAS RESERVAS (MEDIDA + INDICADA) DE OURO CONTIDO – 1995-2007
Toneladas

PAÍS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
África do Sul	29.000	37.000	38.000	38.000	40.000	40.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
Austrália	3.700	4.700	4.700	4.700	4.700	4.700	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
China	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.300	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100	4.100
Peru	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	650	650	650	650	4.100	4.100	4.100	4.100
EUA	5.900	6.100	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.700	3.700	3.700	3.700
Canadá	3.300	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
Rússia	3.400	3.400	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
Indonésia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
BRASIL	800	1.700	1.900	1.900	1.860	1.800	1.600	1.600	1.270	1.450	1.700	1.600	1.590
Outros	14.900	14.600	14.400	14.400	17.440	14.050	13.650	24.850	25.180	24.850	24.600	24.700	24.710
MUNDO	**61.000**	**71.000**	**72.000**	**72.000**	**77.000**	**77.000**	**78.000**	**89.000**	**89.000**	**90.000**	**90.000**	**90.000**	**90.000**

Fonte: *Mineral Commodity Summaries* 1996-2008, *United States Geological Survey* (USGS), *Gold Fields Mineral Services* (GFMS) e Anuário Mineral Brasileiro – DIDEM/DNPM, 1996-2008. n.d. – não disponível

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

O potencial aurífero em território brasileiro é de significativa expressão. Os distritos auríferos concentram-se principalmente em regiões cratônicas e em cinturões móveis associados cujas idades mais recentes são da ordem de 450 milhões de anos. A tabela seguinte apresenta a distribuição das reservas auríferas brasileiras por Estado referentes ao ano de 2007.

No decorrer do período 1995-2007, as reservas brasileiras apresentaram um crescimento anual médio de 5,9% a.a. Em 1996, ocorreu um expressivo incremento de 112,5% nas jazidas auríferas perfazendo cerca de 1.700 t de ouro contido. No ano seguinte, um novo acréscimo de 11,8% elevou as reservas para o patamar de 1.900 t, estabilizando-se nesses níveis até o ano de 2000. A partir de 2001 ocorreu um decréscimo de 11,1%, com as reservas situando-se em torno de 1.600 t até o ano seguinte. Em 2003, um novo recuo de 20,6% derrubou as reservas nacionais para 1.270 t.

As taxas negativas de reposição de recursos e reservas verificadas ao longo dos anos de 1999 a 2003 foram ocasionadas principalmente pelas expressivas quedas nos preços do ouro nos mercados internacionais. A recuperação das cotações, iniciada a partir do biênio 2002-2003, trouxe de volta os investidores internacionais ao mercado nacional ocasionando uma retomada de investimentos na indústria aurífera brasileira. Os resultados desse aquecimento no mercado propiciaram incremento nas reservas nacionais, voltando a atingir, em 2007, aproximadamente, 1.590 t de ouro contido representando cerca de 1,8% do total das reservas mundiais.

O Pará é o principal representante, com 650 t de ouro contido equivalentes a 41,5%, seguido por Minas Gerais com 580 t (37,0%), Goiás (103 t, 6,5%), Bahia (99 t, 6,3%), Mato Grosso (61 t, 3,9%), Amapá (33 t, 2,1%), Maranhão (18 t, 1,2%) e outros (23 t, 1,5%).

As reservas (medida + indicada) de Sossego avaliadas em 517 t de Au contido foram responsáveis por alçar o Pará ao posto de maior estado detentor de reservas de ouro do Brasil passando a frente de Minas Gerais.

DISTRIBUIÇÃO DAS RESERVAS BRASILEIRAS DE OURO POR UNIDADES DA FEDERAÇÃO – 2007

OURO PRIMÁRIO EM MINÉRIO DE OURO

UF	Reserva medida			Reserva indicada			Reserva inferida		
	Minério (t)	Contido (Kg)	Teor (g/t Au)	Minério (t)	Contido (Kg)	Teor (g/t Au)	Minério (t)	Contido (Kg)	Teor (g/t Au)
MG	818.352.377	408.435	0,499	137.436.075	171.723	1,249	36.854.151	193.126	5,240
MT	26.476.935	30.808	1,141	33.849.093	27.564	0,801	66.439.025	45.688	0,687
BA	11.613.695	25.074	2,159	31.895.186	73.895	2,317	46.099.000	131.498	2,853
PA	5.515.648	23.741	4,304	3.587.875	13.810	3,849	6.953.084	17.600	2,531
GO	5.628.996	21.818	3,876	1.393.911	6.456	4,631	2.762.454	12.496	4,523
MA	4.500.000	6.795	1,510	9.811.684	11.970	1,220	7.373.532	8.996	1,220
PR	1.600.078	6.423	4,014	1.236.804	6.375	5,154	133.398	681	5,108
AP	3.627.297	5.503	1,517	11.985.023	28.005	2,337	14.261.432	43.331	3,038
RS	403.521	2.405	5,960	152.450	909	5,960	384.520	2.292	5,960
TO	306.349	1.094	3,571	760.154	3.930	5,170	-	-	-
SP	371.471	769	2,700	205.373	544	2,650	215.536	672	2,170
RN	809.597	628	0,776	-	-	-	-	–	-
TOTAL MINÉRIO AU	879.205.964	533.491	0,606	232.313.628	345.181	1,484	181.476.132	456.340	2,513

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

8. Produção

8. 1. Produção Mundial

Durante o período 1990-96, as cotações do ouro nos mercados internacionais apresentaram modesta volatilidade posicionando-se entre US$ 340-400/oz. A partir de 1997, ocorreu um significativo declínio dos preços do metal precioso, chegando a registrar US$ 253/oz nos meses de julho e agosto de 1999. Essas baixas cotações pressionaram fortemente a indústria mineral aurífera mundial, obrigando-a a reestruturar-se configurando, assim, um novo panorama para o setor. Diversas minas foram fechadas, inviabilizadas economicamente por seus custos de produção, e várias outras frentes de lavras tiveram que se adaptar à nova realidade de mercado, a qual exigia das empresas trabalharem com reduzidas margens de lucro. Inúmeras pequenas e médias empresas do ramo de mineração de ouro encerraram suas atividades por todo o mundo. Já as empresas de grande porte viram-se obrigadas a submeter-se a processos de fusões, incorporações e aquisições entre suas concorrentes, no intuito de incorporar ganhos de escala em seus empreendimentos.

No ano de 1998, os quatro maiores grupos produtores internacionais eram responsáveis por 24% do total da produção mundial mineira de ouro. Dentre estes, apenas a Anglogold e a Gold Fields, ambas sul-africanas, concentravam 14,7% da produção aurífera global.

A oferta de ouro no mercado mundial manteve-se praticamente estável no período 1995-2007, apresentando uma taxa média de crescimento anual da ordem de 0,88% a.a. A produção de ouro sulafricana registrou crescimento médio anual negativo de –5,4% a.a. no período de 1995-2007. Estados Unidos e Canadá, países que tradicionalmente apresentam-se como players na indústria extrativa aurífera, também registraram produção com crescimento anual médio negativo de –2,4% a.a. e –3,3% a.a., respectivamente. O crescimento médio anual da Austrália, de 0,8%, mostrou-se praticamente estável durante o período analisado. Diferentemente destes, alguns países obtiveram acréscimos mais expressivos em suas taxas de

crescimento médio anual, a citar: Peru (8,5% a.a.), China (4,9% a.a.), Indonésia (1,7% a.a.) e Rússia (1,6% a.a.).

No ano de 1995, a produção mundial da indústria extrativa mineral foi da ordem de 2.250 t de ouro (vide tabela 06). A África do Sul foi responsável pela produção de 524 t, o equivalente a 23,3% do total, seguida pelos Estados Unidos com 14,2% (320 t) e Austrália com 11,3% (254 t). Em 2007, a produção mundial totalizou 2.500 t perfazendo um acréscimo de 11,1% ao longo de 13 anos.

PRODUÇÃO MUNDIAL DA INDÚSTRIA MINERAL DE OURO POR PAÍS – 1995-2007
Toneladas

PAÍS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Austrália	254	289	311	312	303	296	285	273	282	259	262	244	280
África do Sul	524	498	492	464	449	431	402	399	373	341	295	272	270
China	140	145	175	178	170	180	185	190	202	215	225	245	250
EUA	320	318	360	366	341	353	335	298	277	258	256	252	240
Peru	n.d.	n.d.	75	n.d.	128	133	138	138	172	173	208	203	170
Rússia	132	120	115	104	104	126	152	170	170	169	169	159	160
Indonésia	n.d.	n.d.	101	n.d.	130	125	130	135	140	93	140	164	120
Canadá	150	164	169	166	158	154	160	149	141	129	119	104	100
BRASIL	**74**	**57**	**52**	**46**	**50**	**51**	**43**	**42**	**40**	**48**	**38**	**44**	**48**
Outros	656	659	560	824	707	701	740	756	793	745	758	773	862
MUNDO	**2.250**	**2.250**	**2.410**	**2.460**	**2.540**	**2.550**	**2.570**	**2.550**	**2.590**	**2.430**	**2.470**	**2.460**	**2.500**

Fonte: *Mineral Commodity Summaries* 1996-2008, United States Geological Survey – USGS e Anuário Mineral Brasileiro – DIDEM/DNPM, 1996-2008.
n.d. – não disponível

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

MAIORES GRUPOS MULTINACIONAIS PRODUTORES DE OURO NO MUNDO – 1998 E 2007

1998				2007				
Grupo / Empresa	Origem	Produção (t)	Part. (%)	Grupo / Empresa	Origem	Produção (t)	Produção (oz x 10^3)	Part. (%)
AngloGold	África do Sul	239	9,7	*Barrick Gold Corp.*	Canadá	250,7	8.060	10,0
Newmont Gold	EUA	127	5,2	*Newmont Mining Corp.*	EUA	193,3	6.215	7,7
Gold Fields	Africa do Sul	123	5,0	*AngloGold Ashanti Ltd.*	África do Sul	170,3	5.477	6,8
Barrick Gold Corp.	Canadá	100	4,1	*Gold Fields Ltd.*	África do Sul	125,1	4.024	5,0
Placer Dome Inc.	Canadá	91	3,7	*Harmony Gold Mining Co Ltd.*	África do Sul	72,6	2.334	2,9
Rio Tinto Plc.	Anglo-australiana	88	3,6	*Freeport McMoRan Cooper & Gold Inc.*	EUA	72,4	2.329	2,9
Demais Empresas		1.692	68,8	Demais Empresas		1.616	51.961	64,6
Total		**2.460**	**100**	**Total**		**2.500**	**80.400**	**100**

Fonte: *World Gold Council* e *Annual Reports 2007* dos respectivos grupos empresariais.
PS.: 1 onça troy = 31,1035 gramas.

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

8. 2. Produção Brasil

O auge do ouro no Brasil, diferentemente de outros países, baseou-se nos garimpos, que já responderam por até 90% da produção na década de 80. Em 1988, o país produziu o recorde de 113 t, colocando-se como o quinto produtor mundial. Desde então, sua produção recuou consideravelmente, em virtude das oscilações naturais da atividade garimpeira e da incapacidade das empresas em substituir o market share abandonado pela informalidade. O desenvolvimento da produção industrial brasileira de ouro se efetivou de forma lenta a partir do final dos anos 80 e, na década de 90, pouco contou com investimentos privados externos,

baseando-se quase exclusivamente no esforço do setor público através da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, com grandes aportes oriundos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES.

A produção brasileira de ouro apresentou um crescimento médio anual de –3,6% a.a. durante o período analisado (1995-2007).

PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA DE OURO CONTIDO NO PERÍODO DE 1995-2007

Ano	Empresas OFICIAL (Kg)	Garimpo ESTIMADO (Kg)	TOTAL (Kg)
1995	41.111	32.597	73.708
1996	41.349	16.065	57.414
1997	41.062	11.180	52.242
1998	37.787	7.927	45.714
1999	42.367	7.495	49.862
2000	42.025	8.902	50.927
2001	37.810	5.074	42.884
2002	32.912	8.750	41.662
2003	26.066	14.350	40.416
2004	28.508	19.088	47.596
2005	29.941	8.351	38.292
2006	39.266	5.150	44.416
2007	42.443	5.300	47.743

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – DNPM, DIDEM, 1996-2008.

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

Atualmente, a indústria mineral aurífera brasileira está predominantemente constituída por empresas subsidiárias de grupos multinacionais de grande, médio e pequeno porte. O término da participação da CVRD na produção de ouro no país em 2003 e o ingresso de diversos grupos estrangeiros no setor, amplamente representados pelas junior companies canadenses, originaram uma nova configuração na indústria mineira do Brasil.

PRINCIPAIS MINAS PRODUTORAS DE OURO NO BRASIL NO PERÍODO DE 2006-2007

Empresa	Município	UF	Mina	Produção Bruta 2006			Produção Bruta 2007		
				Minério ROM t	Au Contido Kg	Teor g/t	Minério ROM t	Au Contido Kg	Teor g/t
Anglogold Ashanti Mineração Ltda (Morro Velho)	Caeté	MG	Cuiabá	858.765	6.578	7,660	1.210.039	8.884	7,342
Rio Paracatu Mineração S/A	Paracatu	MG	Morro do Ouro	17.637.341	5.371	0,305	19.882.958	7.297	0,367
Mineração Maracá Indústria e Comércio S/A	Alto Horizonte	GO	Chapada	3.553.990	1.519	0,427	12.047.201	7.292	0,605
Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda	Pedra Branca do Amapari	AP	MPBA	2.012.445	4.422	2,197	2.863.427	6.700	2,340
Serra da Borda Mineração e Metalurgia S/A	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT	São Francisco	7.750.294	-	-	7.605.848	4.627	0,608
Mineração Fazenda Brasileiro	Barrocas/Araci	BA	Fazenda Brasileiro	984.750	2.641	2,682	1.028.662	3.051	2,966
Mineração Serra Grande Ltda	Crixás	GO	Mina Nova e Mina III	789.028	6.146	7,789	-	-	-

Fonte: Visualizador RAL 2007-2008 – DNPM, DIDEM, fonte primária do Anuário Mineral Brasileiro.

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

PRINCIPAIS USINAS DE BENEFICIAMENTO DE OURO NO BRASIL NO PERÍODO DE 2006-2007

Empresa	UF	Usina	Produto	Produção Beneficiada 2006			Produção Beneficiada 2007		
				Produção Gramas	Au contido Kg	Pureza (%)	Produção Gramas	Au contido Kg	Pureza (%)
Anglogold Ashanti Mineração Ltda (Morro Velho)	MG	Queiroz	Ouro Lingote	6.742.682	6.743	100,00	8.884.362	8.884,36	100,00
		Lixiviação em Pilha	Ouro Lingote	1.006.508	1.007	100,00	816.614	816,61	100,00
Mineração Serra Grande Ltda	GO	Serra Grande	Ouro Lingote	6.045.959	6.046	99,999	5.696.885	5.696,80	99,999
Rio Paracatu Mineração S/A	MG	Geraldo Maia	Ouro Bullion	5.371.044	5.371	100,00	5.403.288	5.403,30	100,00
Serra da Borda Mineração e Metalurgia S/A	MT	São Francisco	Concentrado de Ouro	2.506.112	2.501	99,796	3.234.202	3.227,60	99,796
Mineração Pedra Branca do Amapari Ltda	AP	MPBA	Ouro Lingote	2.662.628	2.662	99,976	2.999.185	2.849,22	95,000
Mineração Fazenda Brasileiro	BA	Usina CIP	Ouro Bullion	2.376.711	2.377	100,00	2.736.132	2.736,13	100,00
Jacobina Mineração e Comércio Ltda	BA	Itapicuru	Ouro Bullion	2.535.175	2.535	99,997	1.681.699	1.659,00	98,650

Fonte: Visualizador RAL 2007-2008 – DNPM, DIDEM, fonte primária do Anuário Mineral Brasileiro.

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

9. Comercialização

A demanda aurífera global é constituída por diversos setores diferenciados abrangendo desde segmentos industriais, de saúde e eletrônicos até os setores de joalheria e o financeiro, com finalidades especulativas. O consumo mundial efetuado pelos principais setores fabricantes de produtos que contêm ouro em sua composição registrou taxa de crescimento médio anual praticamente estável durante o período analisado acusando variação negativa de –0,6% a.a. na quantidade consumida.

A distribuição percentual do consumo aurífero pelos principais setores demandantes internacionais se comportou de forma bastante homogenia no período de 1995-2007. A indústria de jóias se caracterizou como o principal setor consumidor de ouro perfazendo cerca de 78-86% da absorção total, seguido pela indústria eletrônica que adquiriu volumes da ordem de 6-10%, moedas e medalhas entre 3-7%, outros fins industrias com variação de 2-3% e, finalmente, os serviços odontológicos com participação oscilando por volta de 2%.

CONSUMO MUNDIAL DOS PRINCIPAIS SETORES FABRICANTES DE PRODUTOS QUE CONTEM OURO EM SUA COMPOSIÇÃO NO PERÍODO DE 1995-2007

Toneladas

SETORES	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Joalheria	2.808	2.841	3.301	3.176	3.144	3.209	3.016	2.667	2.481	2.611	2.708	2.284	2.401
Eletrônica	204	208	234	227	248	284	198	207	235	261	281	308	311
Odontologia	67	68	71	64	66	70	68	69	68	68	63	61	58
Outros fins industriais	110	112	115	103	99	98	97	83	80	82	86	91	93
Moedas	101	79	119	147	155	77	83	96	105	112	111	129	137
Medalhas	20	18	24	26	25	28	29	26	26	30	37	59	73
TOTAL	**3.310**	**3.326**	**3.864**	**3.743**	**3.737**	**3.766**	**3.491**	**3.148**	**2.995**	**3.164**	**3.286**	**2.932**	**3.073**

Fonte: *Gold Fields Mineral Services LT – Gold 2008.*

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

No que concerne ao consumo de ouro bruto por países, este se mostrou praticamente estável no decorrer do período analisado, tendo apresentado um leve recuo na taxa média de crescimento anual de –0,45% a.a. Grande parte da demanda mundial tem se concentrado em três principais países, a citar: Índia, Estados Unidos e China, os quais absorveram,

aproximadamente, 50% das compras de ouro bruto realizadas durante os treze anos abordados.

PRINCIPAIS PAÍSES CONSUMIDORES DE JÓIAS DE OURO NO PERÍODO DE 1995-2007
Toneladas

PAÍSES	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Índia	376	409	572	658	630	620	598	459	442	517	587	521	555
China	313	289	339	243	215	206	203	200	201	224	241	245	302
EUA	296	301	317	350	374	387	389	386	355	351	349	309	261
Turquia	97	121	150	140	92	147	91	97	164	186	195	165	188
Arábia Saudita	174	178	227	187	169	170	163	139	128	136	146	104	118
Emirados Árabes	50	49	38	63	81	94	95	88	82	89	96	88	100
Rússia	-	28	34	30	23	26	32	38	47	55	65	70	82
Egito	65	74	132	135	138	128	116	82	66	73	75	60	67
Itália	116	106	113	112	101	92	90	86	82	77	71	64	59
Indonésia	120	113	91	42	110	87	98	93	82	84	78	58	55
Paquistão	39	51	73	53	64	54	47	48	56	60	65	55	52
Reino Unido e Irlanda	41	44	54	64	65	75	82	79	73	70	59	53	49
Japão	102	82	61	48	46	37	38	34	32	35	34	33	31
Brasil	**41**	**47**	**58**	**58**	**43**	**50**	**40**	**37**	**24**	**31**	**33**	**30**	**31**
Coréia do Sul	59	56	54	39	56	62	64	57	46	39	38	30	30
França	48	47	48	54	54	50	48	43	40	38	35	31	29
Alemanha	61	57	54	50	49	44	39	35	29	27	25	22	21
Vietnã	13	15	18	16	18	21	24	25	23	26	27	22	21
TOTAL MUNDIAL	**2.223**	**2.272**	**2.621**	**2.500**	**2.515**	**2.545**	**2.432**	**2.160**	**2.096**	**2.243**	**2.347**	**2.059**	**2.105**

Fonte: *Gold Fields Mineral Services LT – Gold 2008.*

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

Na tabela a seguir, estão descritas as cotações médias do ouro nos principais mercados financeiros internacionais (New York Spot Gold – NYSE e London Gold Fixing) e os preços praticados no Brasil, registrados na BM&F durante o período de 1995 até 2007. Cabe ressaltar que no Brasil, diferentemente dos demais mercados internacionais, as cotações do ouro são registrados em R$/gramas e estes valores foram devidamente convertidos em US$/oz para efeitos de comparação com os preços praticados nas bolsas estrangeiras.

COTAÇÕES DO OURO NOS MERCADOS FINANCEIROS INTERNACIONAIS E NACIONAL NO PERÍODO DE 1995-2007

Anos	New York Spot Gold NYMEX		London Gold Fixing		Bolsa de Mercadorias e Futuros – BM&F			
	US$/oz		US$/oz		US$/oz		R$/g	
	Preço Corrente	Preço Constante[1]	Preço Corrente	Preço Constante[1]	Preço Corrente	Preço Constante[1]	Preço Corrente	Preço Constante[2]
1995	384,05	282,25	384,41	282,52	383,16	281,60	11,35	4,84
1996	387,82	293,38	386,46	292,35	388,34	293,77	12,58	6,21
1997	330,98	256,23	329,56	255,13	333,45	258,14	11,57	6,11
1998	294,12	231,23	294,88	231,83	299,95	235,81	11,21	6,11
1999	279,86	224,83	279,88	224,85	284,43	228,51	16,94	9,68
2000	276,65	229,76	277,05	230,09	292,02	242,53	17,21	10,53
2001	271,16	231,57	271,08	231,50	276,05	235,74	20,89	13,65
2002	312,63	271,21	313,18	271,69	314,52	272,85	30,39	21,54
2003	367,92	326,42	367,77	326,29	366,12	324,83	35,93	29,21
2004	412,24	375,54	410,48	373,93	408,61	372,23	38,20	33,10
2005	448,23	422,18	448,94	422,85	450,43	424,25	34,84	32,27
2006	613,87	596,84	613,92	596,89	618,80	601,64	43,12	41,61
2007	705,34	705,34	704,19	704,19	732,72	732,72	45,19	45,19

Fonte: *Kitco Bullion Dealer* e BM&F – Boletim/Cotações e Volumes/Resumo Estatístico/Sistema Pregão/OZ1: Ouro 250g.
OBS.: Preços obtidos através da média aritmética das cotações do último dia útil de cada mês dos respectivos exercícios.
(1) Valores deflacionados pelo *Consumer Price Index – CPI do United States Bureau of Labor Statistics – USBLS* (ano base 2007 = 100).
(2) Valores deflacionados pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor – IBGE/SNIPC (ano base 2007 = 100).

Fonte: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988

O Brasil posiciona-se no mercado internacional como um tradicional centro produtor e exportador de ouro. Apesar de já ter possuído, em épocas passadas, maior expressão no cenário internacional como grande produtor aurífero, o Brasil, de forma mais modesta, ainda caracteriza-se como um tradicional pólo abastecedor de ouro para as nações mais desenvolvidas. Em virtude desta estruturação de mercado, o país sempre apresentou saldos superavitários na balança comercial do ouro tendo registrado a taxa de crescimento anual médio no saldo comercial de 3,6% a.a. na quantidade, de 6,9% a.a. no valor real (corrente) e de 9,7% a.a. no valor nominal (constante) ao longo da série analisada.

As exportações brasileiras apresentaram uma trajetória consideravelmente oscilante ao longo do período abordado, com taxa de crescimento médio anual de 1,1% a.a. na quantidade exportada, de 6,9% a.a. no valor real e de 9,7% a.a. no valor nominal.

10. Bibliografia

[1] TRINDADE, R.D.B.E.; FILHO, O.B. **Extração de ouro: Princípios, tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2002.

[2] LIDDELL, D.M. **Handbook of non-ferrous metallurgy**. 1st edition New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1926.

[3] MACDONALD, E.H. **Handbook of gold exploration and evauation**. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2007.

[4] CIMINELLI, V.S.T.; SALUM, M.J.G. **Extração de ouro: Fundamentos, prática e meio ambiente**. Belo Horizonte, Associação Brasileira de Tecnologia Mineral, 1992.

[5] PINTO, A.P. **Ouro**. 3ª edição Belo Horizonte, METAMIG, 1981.

[6] ARAÚJO, A.C.D. **Produção industrial de ouro, seu potencial poluidor e medidas de controle.** Belo Horizonte, 1991.

[7] DORR, J.V.N. **Cyanidation and concentration of gold and silver ores.** 1st edition New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1936.

[8}..Oliveira, M.L.d. **Ouro.** 2011 [cited 2011 12 outubro]; Available from: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3988.

[9] **Technolgy - Uses.** 2011 [cited 2011 12 outubro]; Available from: www.gold.org/technology/uses.