



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

ASPECTOS DO BENEFICIAMENTO DE OURO ALUVIONAR

Série Tecnologia Mineral	Nº 41	Seção Beneficiamento	Nº 25	Brasília	1987
-----------------------------	-------	----------------------	-------	----------	------

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Antonio Aureliano Chaves de Mendonça - Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

José Belfort dos Santos Bastos - Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

Sylvio Baeta Neves - Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Hedda Vargas Figueira - Superintendente

Autores: Fernando Antonio Freitas Lins *
Leonardo Apparicio da Silva **

ASPECTOS DO BENEFICIAMENTO DE OURO ALUVIONAR

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

* Eng. Metalúrgico, M. Sc. Eng. Metalúrgica e de Materiais.
** Eng. Minas, M. Sc. Eng. Metalúrgica e de Materiais.

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral
Setor de Autarquias Norte
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061)1116
70-000 - Brasília (DF) - Brasil

Copyright 1987
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

Aspectos do beneficiamento de ouro aluvionar/F.A.F. Lins e L.A. da Silva. - Brasília, 1986.

...p. il. - (Brasil. DNPM. Série Tecnologia Mineral. 41. Seção Beneficiamento; 25).

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia Mineral, através do Convênio DNPM/CPRM."

Bibliogr.

1. Tecnologia Mineral - Brasil. I. Lins, Fernando A. F. II. Silva, Leonardo A. III. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro. IV. Título. V. Série.

CDD 622.7
CDU 622.2 (81)

AGRADECIMENTOS

Queremos manifestar nossos agradecimentos às empresas de mineração visitadas, pela atenção dispensada e pelas informações transmitidas. Igualmente estendemos este agradecimento ao DNPM, que, além do patrocínio, deu-nos o apoio necessário às visitas através dos 5º, 8º e 12º Distritos Regionais.

SUMÁRIO

PÁGINAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	01
2. CONCEPÇÃO BÁSICA E PROBLEMÁTICA DA CONCENTRAÇÃO GRA VIMÉTRICA DO OURO	03
3. PERFIL DA TECNOLOGIA EMPREGADA NO BRASIL	05
4. ANÁLISE CRÍTICA DA TECNOLOGIA EMPREGADA	07
5. CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS PRÉ-CONCENTRADOS	10
6. BREVE REVISÃO DE PROCESSOS ALTERNATIVOS/COMPLEMENTA RES	13
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	16
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

RESUMO

O Brasil apresentou um considerável aumento na sua produção de ouro durante os últimos anos, tornando-se em 1983 o 4º maior produtor mundial, com 53,7 toneladas, obtidas principalmente a través dos garimpos na Bacia Amazônica. Recentemente muitas em presas têm se interessado pela exploração de ouro aluvionar, na Região Amazônica particularmente, algumas delas sem experiência anterior de mineração de aluviões. Com o patrocínio do DNPM, o CETEM estudou a presente tecnologia através de visitas a algumas empresas na Amazônia. Caracterização de amostras de pré-concentrados foi realizada. Uma breve revisão da literatura técnica é apresentada. São sugeridos testes com equipamentos gravimétricos alternativos, assim como a possível utilização da flotação do pré-concentrado gravimétrico como alternativa à a malgamação, os quais deverão ser feitos na continuação do projeto.

ABSTRACT

Brazil has considerably increased its gold production during last years and in 1983 became the world's 4th largest producer with an output of 53,7 ton, obtained mostly through prospecting in the Amazon basin. Recently many mining companies have become interested in exploring alluvial gold, mainly in the Amazon Region, some of which lacking proper experience. CETEM, sponsored by DNPM, studied and evaluated the current technology of these alluvial mining operations, by visiting some of them. Analysis of pre-concentrate samples were carried out. A brief bibliographical review on the subject is presented. Suggestions are made to test alternative gravimetric equipments for the recovery of the gold and to determine whether flotation of pre-concentrate is a viable alternative to amalgamation, which is intended to be done in a second phase of the project.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil foi, em 1983, o 4º produtor mundial de ouro, totalizando oficialmente 53,7 toneladas, das quais 86,3% foram provenientes de garimpos, 13,2% de minas propriamente ditas (Mineração Morro Velho - 8,8%, Mineração Tejucana - 1,3%, Mineração Jacobina - 2,5% e outras - 0,6%), e apenas 0,5% do ouro total produzido naquele ano proveio de Guias de Utilização*.

Dos projetos envolvendo lavra experimental em depósitos auríferos em operação em 1983, a totalidade da capacidade instalada das usinas era superior a 325.000m³/mês, abrangendo onze empresas, localizadas, predominantemente, na Região Amazônica. Para 1984, os novos projetos dessa natureza envolveriam dezenove empresas, compreendendo uma capacidade instalada superior a 1.458.000m³/mês, atuando, também, predominantemente, na Região Amazônica. Tais projetos objetivam, principalmente, o beneficiamento de depósitos aluvionares e similares.

Tendo em vista a ainda baixa contribuição das Guias de Utilização na produção total de ouro no Brasil, a crescente "corrida" de empresas, algumas delas sem experiência em mineração de ouro aluvionar, e os constantes problemas de beneficiamento apresentados pela maioria dessas usinas de pré-concentração, o CETEM sentiu-se inclinado a tentar dar alguma contribuição à resolução dos problemas de beneficiamento. Com esse fim, criou-se o "Projeto Processamento de Minérios de Ouro", financiado pelo DNPM.

* Guias de Utilização são permissões dadas pelo DNPM a Empresas de Mineração com Pedidos de Pesquisa, para que, durante esta fase de pesquisa geológica, possam implantar lavra experimental em suas áreas, a fim de que já venham explorar o bem mineral antes da concessão de lavra propriamente dita (Portaria nº 380 de 15 de julho de 1943). Para cada tipo de minério é estabelecida uma quantidade máxima a ser explorada (no caso de minério de ouro, esse limite é de 10.000 toneladas por Guia de Utilização).

Imaginou-se que esse projeto seria de médio prazo, e em uma primeira fase se faria um trabalho de campo junto às usinas de pré-concentração, levantando-se seus fluxogramas, condições operacionais e principais problemas de ordem técnica. Assim, foram visitadas algumas empresas espalhadas pelo País e coletados pré-concentrados de cinco usinas de pré-concentração de minério aluvionar, localizadas na Amazônia, para estudos de caracterização mineralógica.

Seguem então, neste trabalho, a concepção básica do beneficiamento de minérios aluvionares de ouro, o perfil da tecnologia empregada no momento no Brasil, assim como uma análise crítica resumida dessa tecnologia. Após uma breve revisão dos processos alternativos e/ou complementares para o beneficiamento do ouro aluvionar, são apresentadas algumas sugestões a nível de fluxogramas, e experiências com equipamentos, algumas das quais o CETEM pretende desenvolver na continuação do projeto citado acima.

2. CONCEPÇÃO BÁSICA E PROBLEMÁTICA DA CONCENTRAÇÃO GRAVIMÉTRICA DO OURO.

Para o aproveitamento de aluviões auríferos e depósitos similares, existe um consenso mundial quanto ao fluxograma para a recuperação de ouro (1, 2), tal como apresentado na figura 1.

Por este fluxograma, as perdas substanciais do metal estariam nas lamas, relacionadas diretamente com o percentual de ouro superfino (-270 malhas) ocorrente no depósito. No retido da etapa de desagregação pode haver relativa perda, caso a ocorrência de argila seja substancial e a desagregação dos blocos argilosos não esteja sendo realizada eficientemente. As perdas nas operações de gravimetria (rejeitos) tendem, teoricamente, a ser mínimas, tendo em vista a minimização do efeito classificatório sobre o concentrativo, devido a classificação e deslamagem prévia das alimentações dessas operações. É comum, entretanto, a constatação de perdas consideráveis de ouro nos rejeitos das operações de gravimetria, devido a:

- . Condições operacionais inadequadas pelas variações da alimentação (heterogeneidade do depósito e metodologia de lavra) que tendem a apresentar grande flutuabilidade (teor, granulometria, taxa de alimentação, taxa de argila, etc), o que exigiria mudanças constantes nas condições operacionais, geralmente inviáveis na prática;

- . Frequentes mudanças nas percentagens de sólidos da alimentação da gravimetria, acarretando queda na eficiência de concentração (3, 4, 5, 6, 7), devido a alteração na viscosidade da polpa;

- . Deslamagem ineficiente, o que também acarreta queda na eficiência de concentração, devido a alteração da viscosidade (3, 4, 5);

- . Regime altamente turbulento, que ocorre em alguns tipos de equipamentos (ex: Jigues Yuba, Pan-American, etc), diminuindo a eficiência da concentração (8);

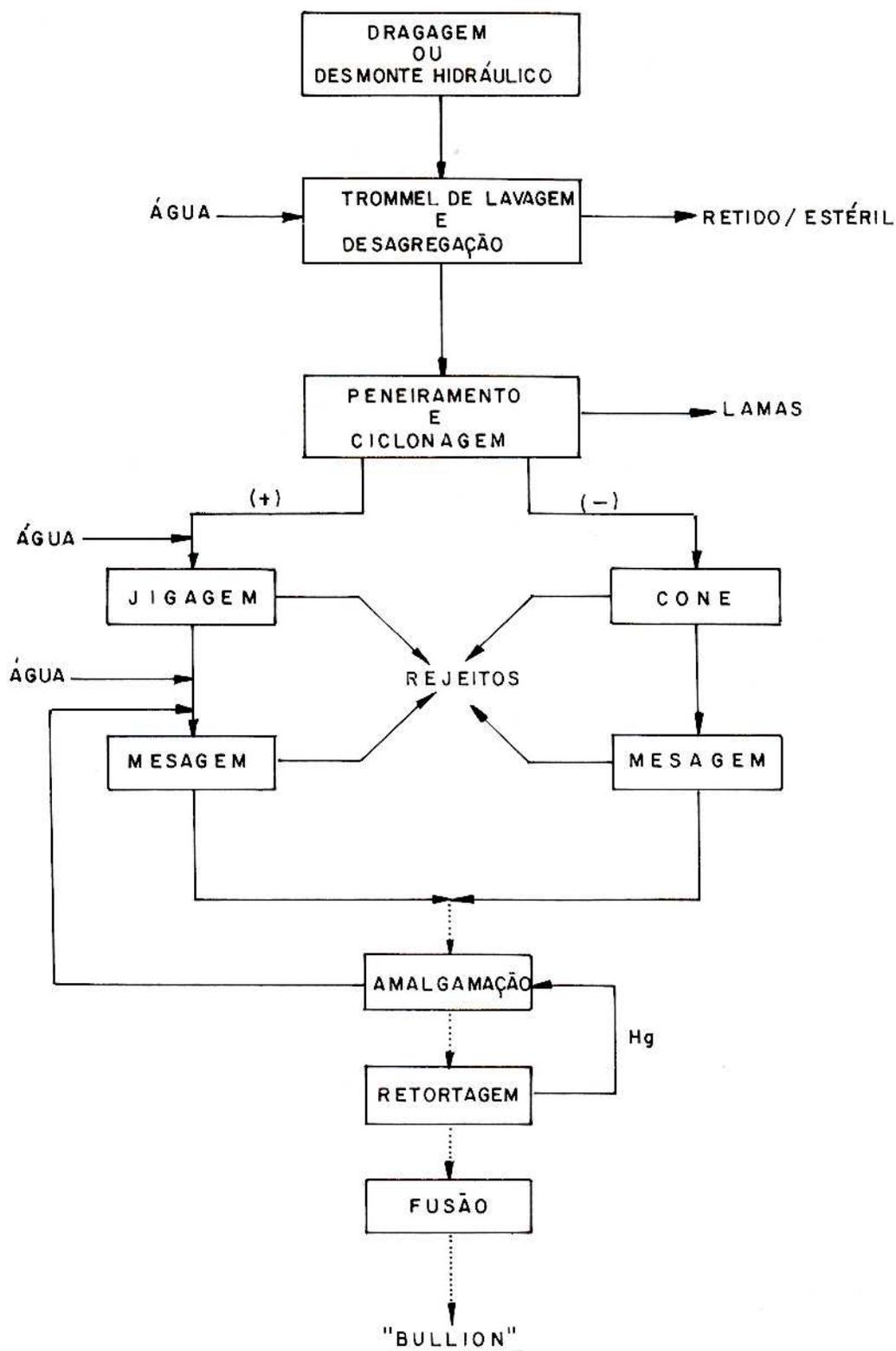


FIG. 1 — FLUXOGRAMA CLÁSSICO PARA O APROVEITAMENTO DE ALUVIÕES AURÍFEROS E SIMILARES

. Porosidade das partículas de ouro (9), o que diminui sua densidade efetiva;

. Fator forma: é comum a ocorrência de ouro nas formas placóide e lamelar, dificultando sua sedimentação na polpa (9) e

. Hidrofobicidade natural do ouro (9).

3. PERFIL DA TECNOLOGIA EMPREGADA NO BRASIL

Na figura 2, estão representadas as operações unitárias e as alternativas de equipamentos que estão sendo utilizadas no aproveitamento do ouro aluvionar no Brasil, segundo registramos nas visitas efetuadas. As diferenças ficam mais evidenciadas no método de lavra e nos equipamentos das diversas operações unitárias do que no processamento em si, ressaltando-se a variante da amalgamação contínua do concentrado secundário. A apuração final, adotada pela maioria das empresas, é descontínua, conforme indica a linha pontilhada.

Outras informações úteis que contribuem para esboçar o quadro geral desses empreendimentos auríferos são:

- Perda de Ouro Fino: rejeito do jigge primário (80-90%) e "overflow" do tanque deslamador (20-10%); nos minérios com argilas de difícil desagregação ocorre perda de ouro, por carreamento, através dos aglomerados presentes nas frações grosseiras do peneiramento.

- Consumo de Água por m³ de Minério: lavra por desmonte hidráulico, consumindo de 13 a 20m³; desagregação e peneiramento, 5m³; beneficiamento nas usinas fixas e móveis, 4 a 12m³; e nas "washing plants", 9 a 17m³.

- Consumo de óleo diesel: de modo geral, pode ser considerada a razão de 150 a 170 litros/HP/mês para todo o empreendimento mineiro; uma usina com capacidade de 40m³/h apresenta potência instalada de 100HP (exclusive a lavra). Um

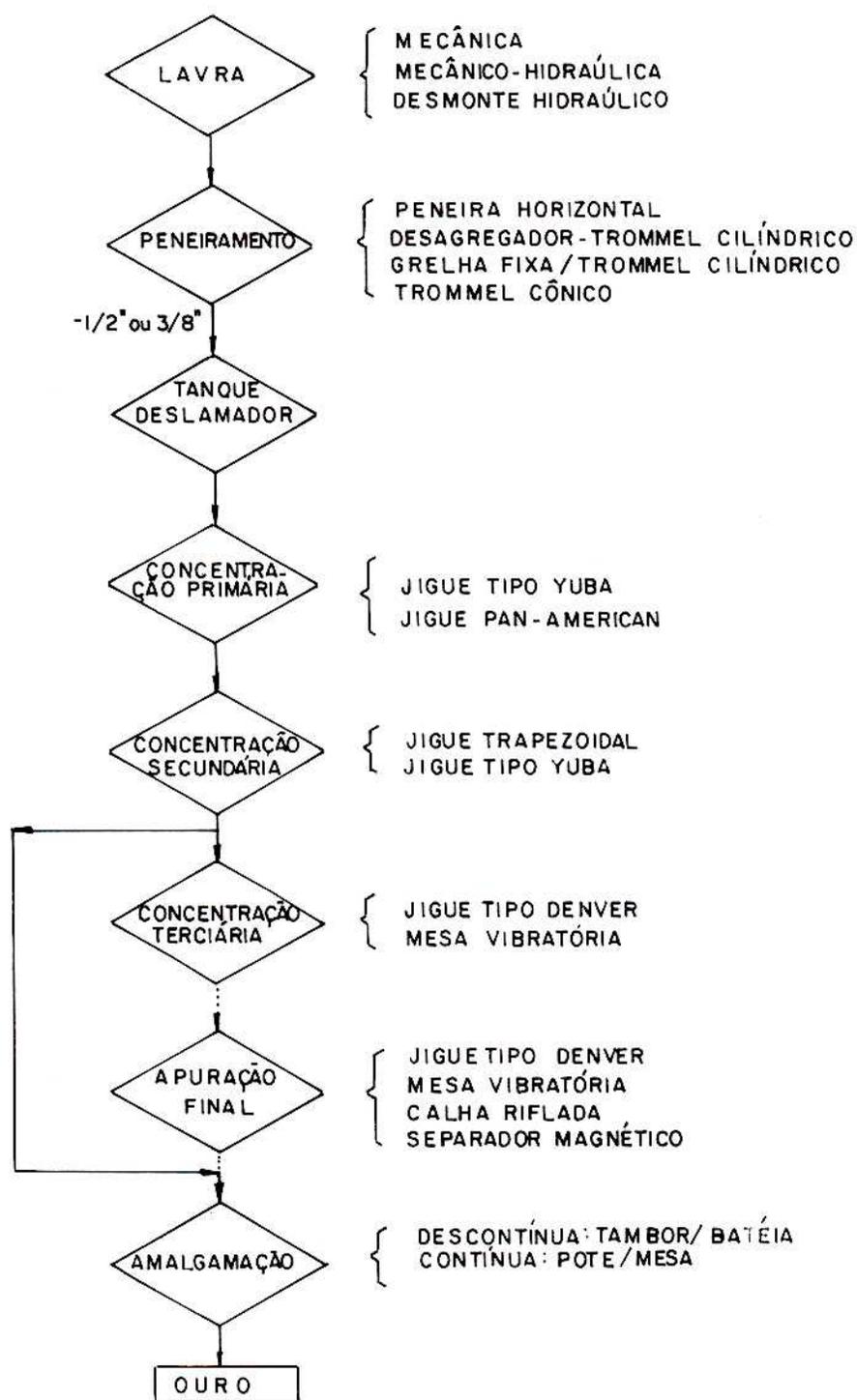


FIG. 2 — PERFIL DA TECNOLOGIA DE APROVEITAMENTO DO OURO ALUVIONAR NO BRASIL.

empreendimento desse porte consome cerca de 60.000 litros de óleo por mês, consumo esse responsável por mais da metade dos custos operacionais (em 1984).

- Pessoal: é comum numa lavra experimental o emprego de 50 a 60 pessoas nos três (ou dois) turnos de trabalho.

- Custo do Investimento: é da ordem de US\$ 1 milhão, do qual 40% são alocados em pesquisas, 40% em infraestrutura e 20% em equipamentos. O retorno se dá entre 1 e 3 anos. É considerada atraente uma reserva de pelo menos 1 milhão de m³ com 0,4g/m³ de ouro.

4. ANÁLISE CRÍTICA DA TECNOLOGIA EMPREGADA

Lavra: a metodologia de lavra adotada relaciona-se com a experiência de cada minerador, influenciada por sua experiência anterior com cassiterita em Rondônia e com pré-concentração empregada (usinas móvel, fixa e "washing plant"). No caso dos desmontes hidráulico e mecânico-hidráulico, são inevitáveis deposições de ouro nas tubulações que transportam a polpa, provocando variações na alimentação das usinas (prejudicando sua eficiência) e paradas periódicas para limpeza. Entretanto, a utilização dos monitores hidráulicos favorece a desagregação dos minérios argilosos. Só a experiência a ser acumulada indicará o método de lavra mais adequado e eficiente para cada situação.

Desagregação das Argilas: os aglomerados de argila, por suas propriedades aglomerantes, podem carrear partículas de ouro, tornando necessária a desagregação dos aglomerados do "oversize" do peneiramento. No caso de ocorrência de argilas de difícil desagregação e com perdas comprovadas de ouro nos aglomerados, é necessário melhorar o aproveitamento dos jatos d'água e da escrubagem através, por exemplo, da introdução de barras de ferro ou seixos de quartzo no interior dos "trom

mels". Em situações mais críticas, pode-se pensar na comunicação dos blocos de argilas em circuito fechado. Enfim, é um campo aberto às experiências industriais.

Peneiramento: realizado em peneira vibratória ou em "trommels", normalmente com telas de 1/2 ou 3/8" de abertura. Entretanto, poder-se-ia pensar em utilizar aberturas de 1/4" ou mesmo menores (de 1/8") nessa classificação. Isso estreitaria a faixa granulométrica da alimentação da jigagem primária, aumentando a eficiência de concentração, auxiliada também pela menor taxa de alimentação.

Tanque Deslamador: sua área merece atenção especial, pois deve atender a um compromisso entre os custos de superdimensioná-la (por considerar o fator forma, a porosidade, o percentual de ouro fino e a densidade da polpa), e as perdas de ouro, por ter uma área subdimensionada, como ocorre atualmente na maioria das usinas. Após essa deslamagem poder-se-ia utilizar ciclones, a fim de melhorar a eficiência da deslamagem e acentuar a constância na alimentação da jigagem primária.

Jigagem Primária: aqui ocorre a maioria das perdas de ouro. Por que não se testar o jigue trapezoidal na concentração primária? A diminuição da velocidade ao longo do deslocamento das partículas permitiria, em tese, recuperar mais ouro fino. Haveria, ainda, a vantagem de ocupar menos espaço que o jigue Yuba, para uma mesma capacidade (10, 11) e consumir metade da água (11). Uma característica comum em todas as usinas visitadas, ou em outras de nosso conhecimento, é a ausência de classificação prévia da alimentação para o tratamento gravimétrico em faixas granulométricas distintas, o que reforçaria o efeito de concentração (densidade) sobre o classificatório (tamanho). Isso talvez evitasse perdas de ouro, não necessariamente fino (como é dito), no rejeito da jigagem primária.

Concentração Secundária: na jigagem secundária, há predominância da utilização de jigue trapezoidal, que

parece ter correspondido satisfatoriamente aos objetivos pretendidos.

Concentração Terciária: o jigue tipo Denver, por requerer menor espaço, parece ser satisfatório, a despeito da superioridade da mesa vibratória na recuperação de finos. Para isso, estamos admitindo que uma partícula de ouro recuperada na jigagem primária (etapa mais "turbulenta") mais facilmente será recuperada na jigagem terciária.

Água para a Jigagem: a constância da água de câmara dos jigues é muito importante para um desempenho satisfatório. É de todo recomendável uma caixa d'água para o fornecimento dessa água aos jigues, por gravidade, o que não ocorre na maioria das usinas visitadas.

Dados Operacionais dos Jigues: existe a tendência do estreitamento da abertura da malha do jigue com o avanço da pré-concentração. Há também uma tendência de os cursos dos jigues diminuírem e as frequências aumentarem com o avanço da pré-concentração. As espessuras dos leitos artificiais dos jigues primário e secundário são semelhantes, e inferiores à do jigue terciário. A granulometria do leito deve ser o dobro da menor abertura do crivo, mas, em pelo menos uma das cinco minerações visitadas, isso não foi verificado.

Apuração Final: são várias as maneiras de tratamento do pré-concentrado terciário, com o objetivo de reduzir a massa para posterior amalgamação em tambor. O uso de jigue Denver e tratamento de seu rejeito por mesa vibratória seria talvez um processamento satisfatório, com os dois concentrados reunidos para a amalgamação.

Amalgamação: há dois procedimentos sendo utilizados. Na amalgamação contínua, em "jack-pot" e mesa amalgamadora, o pré-concentrado provém da jigagem secundária. Devido às perdas de mercúrio nos rejeitos (contaminando os igarapés) e à baixa eficiência de recuperação do ouro, pelo curto tempo de contato da polpa com o mercúrio (10), deveria ser evitado o

seu emprego. Na amalgamação descontínua, em barril ou tambor, utiliza-se o concentrado obtido na etapa de apuração final. A polpa amalgamada é bateada e o pesado submetido a retortagem. Este procedimento, amalgamação descontínua, com controle adequado de manuseio, retortagem e recuperação do mercúrio, deveria ser o único admitido, pelo menos enquanto não se comprove uma alternativa mais eficiente, técnica, econômica e socialmente. Falando-se de eficiência, a literatura (9) registra que, a baixo de $74\mu\text{m}$, a recuperação do ouro por amalgamação é inferior a 65%. A amalgamação descontínua em moinho, por ser mais eficiente que em tambor ou barril (10), é interessante naqueles casos em que as partículas de ouro ocorrem recobertas por películas que inibem a amalgamação, ou mesmo nos casos de uma liberação incompleta.

Consumo de Energia: na literatura consultada (12), faz-se referência à utilização de sistema geradores a diesel, para minas instaladas em locais remotos, que fazem uso de óleo residual e/ou Bunker C. Uma mineração do Chile teria reduzido seus custos energéticos em 40%, pela substituição dos geradores a diesel convencionais por tais unidades. No Brasil, onde o preço do óleo combustível é bem menor que o do óleo diesel, seria interessante investigar essa possibilidade.

5. CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS PRÉ-CONCENTRADOS

Durante as visitas ao campo foram trazidas a mostras dos pré-concentrados de cinco usinas: (A) Oca Mineração-PA, (B) Mineração das Onças-PA, (C) Monsa/CPRM-MA, (D) Mineração Porto Estrela-MT e (E) Mina Vagalume/Mineração Oriente Novo-RO. Os pré-concentrados das usinas A, C e E, foram obtidos da jigagem terciária; da usina B, da concentração terciária por mesa vibratória; e o da usina D, do jigue secundário (estágio final).

Através das técnicas usuais de estudos minera

USINA	GRANULOMETRIA (Malhas Tyler)					Teor Médio (g/t)	QUARTZO	FELDSPATO	LIMENITA	HEMATITA	MAGNESITA	OX. HIDR. FERRO	ZIRCONITA	RUTILIO	TURMALINA	CIANITA	OUTROS
	4/35	+48	+65	+100	+270												
A	Peso %	20	20	25	23	12	75	5	10	4	2	2	2	-	-	-	-
	Au dist. %	20	19	10	10	41											
B	Peso %	18	6	30	24	22	46	-	28	-	-	-	1	14	3	6	2
	Au dist. %	48	7	3	16	16											
C	Peso %	17	22	42	15	4	1	-	51	40	5	-	-	-	-	-	-
	Au dist. %	52	9	19	9	11											
D	Peso %	51	18	19	8	4	97	-	1,5	-	1	0,2	0,1	-	-	-	0,2
	Au dist. %	7	5	57	16	15											
E	Peso %	19	22	21	20	18	45	-	13	-	-	3	38	-	-	-	1
	Au dist. %	19	11	24	22	24											

Tabela 1 - Análise dos pré-concentrados: granulometria, distribuição de Au, teor de Au e composição mineralógica em peso (%).

lógicos, as composições mineralógicas dos pré-concentrados foram determinadas e estão apresentadas na tabela 1. Os dados sugerem, por exemplo, a viabilidade técnica de se obter um concentrado de rutilo da usina B e zirconita da usina E; não se entrará, entretanto, em considerações econômicas sobre o aproveitamento desses minerais.

Essas amostras foram peneiradas e dosou-se o ouro por faixa granulométrica, através de ensaio por fusão; os resultados também estão apresentados na tabela 1, juntamente com os teores de cada amostra (média de quatro análises). Pode-se notar que, do ponto de vista granulométrico, os concentrados estão totalmente contidos na faixa 4/270 malhas, indicando que o material, inclusive o ouro, menor que 270 malhas, foi rejeitado nas etapas anteriores, principalmente no tanque deslamador e jigge primário.

Quanto à distribuição do ouro recuperado, é pertinente comentar que a definição de ouro "fino" é bastante controversa. Na União Soviética fica na faixa 48/150, e no Canadá 10/40 malhas (9), usando-se outras denominações para tamanhos menores. Assim, em consonância com os resultados da tabela 1 e com a recuperação dos equipamentos gravimétricos clássicos (9, 19), sugere-se a seguinte classificação para o ouro, segundo seu tamanho:

<u>Denominação</u>	<u>Tamanho</u>		<u>Recuperação Média</u>
	<u>Malhas</u>	<u>µm</u>	
Grosseiro	+35	+417	80% em calhas rifladas
Médio	35x100	417x150	80% em jigues
Fino	100x270	150x53	80% em mesas vibratórias
Superfino		53x10	50% em mesas vibratórias
Ultrafino		-10	

Por essa classificação, verifica-se na tabela 1 que não existe ouro ultrafino recuperado. Quanto ao ouro fino e superfino, que é alimentado nas usinas e é perdido, não há informações disponíveis.

6. BREVE REVISÃO DE PROCESSOS ALTERNATIVOS/COMPLEMENTARES

Na África do Sul (13), o ouro fino é recuperado eficientemente em mesas planas, embora o equipamento que melhor permita a recuperação dos finos seja o hidrociclone de cone curto, cujos dados metalúrgicos comparam-se aos das mesas vibratórias. Os hidrociclones concentradores apresentam vantagens sobre as mesas vibratórias no tocante a maior capacidade e custos envolvidos (9, 13), mas com menor razão de concentração.

É reportada (9) a possibilidade de recuperação do ouro até $20\mu\text{m}$ em hidrociclones de 25mm, embora, na prática, o ouro possa ser recuperado até $40\mu\text{m}$. Para tal, semelhantes recuperações podem ser obtidas por: hidrociclones (25mm), mesa vibratória ("deck" para lama), concentradores centrífugos em geral e concentrador Bartles-Mozley. Outros autores (14) citaram a boa eficiência dos hidrociclones de 100mm, com razão de concentração de 2,3 e recuperação de 80%, para um minério com 70% abaixo de 200 malhas. Foi mostrado (3) que o ouro fino teria média de recuperação de 40% e, embora tal índice varie de autor para autor e de minério para minério, a recuperação do ouro fino (-200 malhas) em hidrociclones estaria entre 30 e 60%, com enriquecimento na faixa de 2 a 5 vezes.

Por consenso entre os autores e os estudiosos da gravimetria, os jiques não são apropriados para a recuperação de ouro "fino". Estes equipamentos, quando sofisticados (instrumentação), trabalhando sob condições especiais e superdimensionados, permitem a recuperação do ouro no máximo até 200 malhas (Peko Mines) (4). Entretanto, seriam excelentes con-

centradores para ouro médio (+100 malhas). Em estágios de desastes, há a sugestão (15) da utilização dos jigues circulares tipo Cleveland ao invés dos tipos Yuba, Pan-American e outros, pois os primeiros possuem o triplo da capacidade, além de outras vantagens (10, 11). Tem sido estudada a utilização do jigue Batac e do jigue tipo centrífugo para a recuperação do ouro fino (12); entretanto, nenhum resultado prático foi publicado até o momento.

Embora as mesas planas não apresentem índices metalúrgicos tão bons quanto os dos hidrociclones e mesas vibratórias, apresentam a grande vantagem de permitir elevadas capacidades (60t/h por metro de largura) e menores custos, com relativa eficiência (4). A mesa plana requer alta percentagem de sólidos na alimentação; cerca de 60%

O cone Reichert também opera com alta capacidade (60 a 80t/h), fato imprescindível no aproveitamento dos depósitos aluvionares da Região Amazônica. Trabalha com alta percentagem de sólidos (60 a 70%), o que exigiria o espassamento ou desaguamento por ciclones, quer para tratar o rejeito da jigagem primária, quer para tratar o minério lavrado diretamente. Os cones Reichert e os jigues (13) não permitem a extração do ouro "fino" eficientemente, embora alguns (4, 5 e 6) garantam a recuperação do ouro até 270 malhas. A grande vantagem do cone Reichert sobre as calhas ("sluices") é que, naquele, a polpa não está sujeita à influência das paredes, anulando possíveis efeitos que tenderiam a baixar a eficiência da concentração. São mencionados (4) excelentes resultados obtidos na África do Sul, onde o cone Reichert permitiu a recuperação total de 80% de ouro, com enriquecimento na faixa de 2,3 a 4 vezes. Foi relatado (4) que o cone Reichert é mais eficiente na recuperação do ouro, abaixo de 150 malhas, que espirais e mesas, provavelmente devido à menor turbulência; entretanto, com menor seletividade que estas. Outra grande vantagem do cone Reichert sobre as espirais (4) é a menor recirculação dos mistos quando o objetivo é a recuperação. Já foi também constata

da maior recuperação do ouro no cone Reichert do que em mesas (4). Entretanto, a grande vantagem do cone Reichert sobre os demais equipamentos gravimétricos é a maior capacidade por área utilizada, o que implica em menores custos unitários (17).

As espirais vêm sendo testadas com intensidade na recuperação do ouro "fino", existindo uma variedade de modelos (4, 7). Realizando testes com espirais Reichert Mark VII, já foi obtida recuperação de 90% do ouro compreendido entre 14 e 325 malhas, com enriquecimento de 50 vezes (16), e recuperação de 95% de pirita até 270 malhas (18). Em testes com um minério de ferro em espiral Humphreys, espiral GEC (passo maior), cone Reichert e mesa Deister (4), obtiveram-se recuperações aproximadas de 18, 26, 38 e 43%, respectivamente. Verificou-se que as espirais permitem menores recuperações em todas as frações, e que o cone Reichert fornece melhores recuperações para material acima de 45 μ m. A espiral GEC apresentou vantagens sobre a espiral Humphreys provavelmente porque, por ter maior declividade, requer menos água de lavagem, o que é benéfico para a recuperação das partículas finas.

Existem diversos tipos de calhas (4), que, de um modo geral, apresentam baixas capacidades, razão de enriquecimento entre 3 (Lamflo) e 10 (Wright Trays), e não recuperam bem o ouro considerado "fino" pois exigem, para uma boa eficiência, elevadas percentagens de sólidos na alimentação, o que dificulta a sedimentação dos finos.

O Endless-Belt é o aparelho ideal para a apuração de pré-concentrados de ouro obtidos no concentrador Johnson, possuindo capacidade média de 8t/h, permitindo um máximo de 70% de recuperação do ouro livre (4), não sendo mencionada, no entanto, a granulometria do ouro.

O Bartles-Mozley (4) é um equipamento apropriado para recuperação de material fino, com desvantagem de operar em batelada e ser muito sensível à influência da percentagem de sólidos. O Bartles Cross-Belt é um equipamento com movimento orbital, permitindo recuperação semelhante à das mesas

vibratórias com "deck" para lama, porém com teor baixo. A faixa granulométrica do material recuperado neste equipamento está entre 40 e 50 μ m

Outro processo tecnicamente viável no tratamento de aluviões auríferos é a flotação. Recuperação de ouro fino acima de 90% é facilmente obtida utilizando-se coletores comuns, como os xantatos (9, 20). Sua aplicação como método complementar ao tratamento gravimétrico é sugerida para os rejeitos de operações gravimétricas secundárias, para frações de lamas ricas em ouro (9) e na limpeza do concentrado gravimétrico final, como substituto da amalgamação (21). Nesta última aplicação, o concentrado com alto teor de ouro seguiria diretamente para a fusão, eliminando os aspectos nocivos inerentes à utilização do mercúrio (22). O custo operacional da flotação, estimado em US\$ 3/t (9), não a torna atraente para o tratamento da alimentação ou dos rejeitos principais devido aos baixos teores normalmente verificados.

A despeito de sua menor recuperação, particularmente para o ouro fino e superfino, os métodos gravimétricos continuarão sendo, por sua simplicidade e baixos custos operacionais, os mais aplicados para ouro aluvionar. No entanto, a flotação poderia substituir a amalgamação, uma vez que a fusão direta do concentrado (um teor de 2000g/t seria requerido) permite recuperar 99,9% do ouro, enquanto a amalgamação recupera cerca de 94%, diminuindo drasticamente no caso de ouro muito fino (9), sendo de 65% para ouro menor que 200 malhas.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Muito embora haja uma farta publicação de trabalhos concernentes aos equipamentos gravimétricos, a avaliação objetiva com o intuito de identificar aqueles potencialmente aplicáveis ao processamento de ouro, particularmente ouro fino e superfino, fica geralmente dificultada.

A dificuldade tem origem principalmente na ausência de dados complementares sobre a metodologia dos experimentos e os resultados obtidos. Assim, é comum a citação de recuperações metálicas sem alusão à recuperação em massa, sem expressá-las em função do tamanho da partícula ou deixando dúvidas sobre se a recuperação se refere ao equipamento concentrador ou a todo o circuito de concentração. É freqüente também a omissão a respeito da mineralogia do minério tratado e da metodologia de amostragem.

Apesar dessa dificuldade, a análise das informações contidas na literatura e a apreciação dos aspectos peculiares das atividades de mineração de ouro aluvionar no Brasil, principalmente na Amazônia, levam a acreditar que a adoção de equipamentos gravimétricos alternativos/complementares dependerá - além da eficiência - da facilidade de aquisição, operação e manutenção, simultaneamente com os baixos custos operacionais.

Tendo esses requisitos em conta, seriam potencialmente aplicáveis ao beneficiamento de ouro aluvionar os seguintes equipamentos gravimétricos: centrífugos, espirais, mesas planas estáticas, hidrociclones, cone Reichert. O concentrador centrífugo (ex.: Knelson) está sendo experimentado por algumas empresas (ex.: Mineração Oriente Novo), assim como a espiral Mark VII, testada pela Mineração Porto Estrela (Parapanema). Naturalmente, a comunidade mineral aguarda com interesse a publicação dos resultados.

O CETEM tem a intenção de testar a mesa plana estática para a concentração de partículas médias (+100 malhas) como uma alternativa à jigagem; para a fração fina (-100 malhas), pretende-se testar os hidrociclones classificadores, segundo o fluxograma apresentado na figura 3. Nessa, verifica-se uma classificação prévia, prática não constatada normalmente nas pré-concentrações de ouro aluvionar no Brasil. A ausência de classificação prévia contribui para perda de ouro não necessariamente fino, cuja recuperação, provavelmente, compen

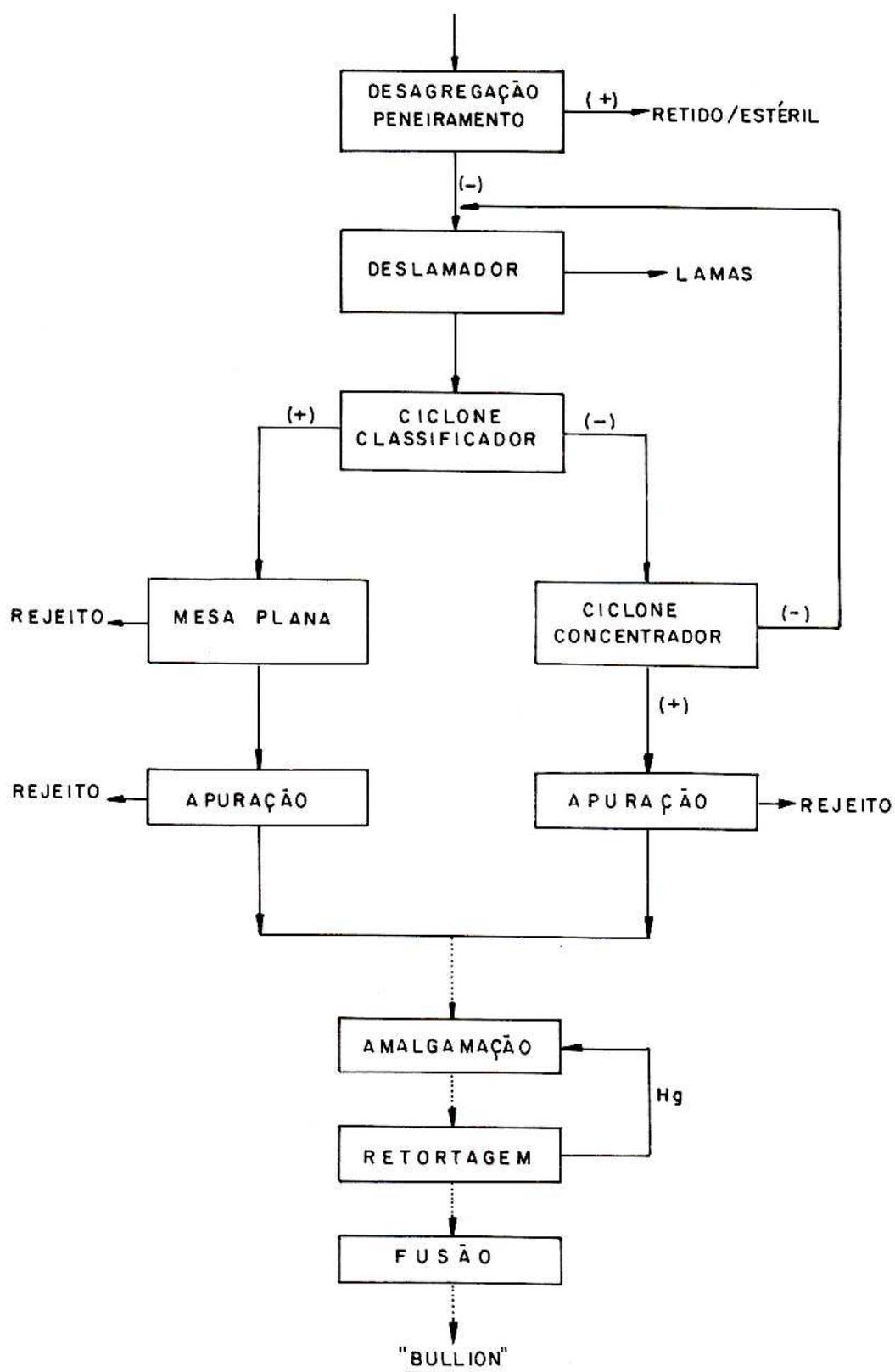


FIG. 3 — FLUXOGRAMA ALTERNATIVO

saria os custos adicionais decorrentes dessa classificação.

Espera-se que os resultados dessas experiências, juntamente com aqueles obtidos pelas empresas que testam con centradores centrífugos e espirais, permitam uma avaliação ob jetiva do desempenho de cada um, e, quiçá, contribuam para o melhor aproveitamento do ouro aluvionar.

o CETEM pretende, adicionalmente, empreender um estudo de flotação com amostras de pré-concentrados de alu vião, cotejando seus resultados com o processo de amalgamação, considerando os aspectos técnicos, econômicos e ecológicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. STEWART, A.L. Gold ore processing today, Part 1, International Mining, p.21-31, April 1984.
02. STEWART, A.L. Gold ore processing today, Part 2, International Mining, p.24-28, May 1984.
03. ZADKIN, T. The rand lease plane table. J.Chem. Metall. Min. Soc. of South Africa, p.292-297, Feb. 1954.
04. GUEST, R.A. Survey of the literature on gravity separation. National Inst. for Metallurgy, Report 2082, Oct. 1980.
05. MICHEL, F. B. & OSBORNE, D. G. Gravity concentration in modern mineral processing. Chemistry and Industry; Jan. 1975.
06. BURT, R. O. Gravity concentration - from bench scale to plant. In: CANADIAN MINERAL PROCESSORS OPERATOR CONFERENCE, 16. Preprints. Ottawa, CIM, 1984. Paper n.22.
07. WILLS, B.A. Gravity concentration. Mining Magazine, Oct. 1984.
08. ADMSON, R.J. Gold Metallurgy in South Africa. Chamber of Mines of South Africa. 1972.
09. WENQIAN, W. & POLING, G. W. Methods for recovering fine placer gold. CIM Bulletin, 76 (860): 47-56, Dec. 1983
10. BERALDO, J.L. & MASINI, E.A. Beneficiamento de Minério Aluvionar. In: CURSO organizado pelo IBRAM. set. 1984.
11. MONCRIEF, A. G. & LEWIS, P.J. Treatment of tin ores. In: GENERAL MEETING TIN: Mining, metallurgy and economics, December, 1976. (Revised version).
12. MICHAELIS, von HANS. Innovation in gold and silver recovery. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14. Preprints. Toronto, CIM, 1982. Session 11, p.1.1 - 1.25.

13. ZELENOV, V.I. et alii. Effective beneficiation methods for gold and silver ores. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14. Preprints. Toronto, CIM, 1982. Session II, p.9.1 - 9.18.
14. BATH, M. D. et alii. Some factors influencing gold recovery by gravity concentration. J.S. African Inst. Mining Metallurgy, p.363-378, Jun. 1973.
15. DOMINY, E.J. et alii. Pyrite recovery by jigs at Durban Roodepoort Deep. Limited. Journal of South African Institute and Metallurgy, p.199-205, Jan. 1980.
16. FERREE, T.J. Recovery of very fine gold. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECIOUS METALS RECOVERY, I. Reno, Nevada, 1984. p.XII.I - XII.10.
17. GUEST, R. & BRAINE, J. The recovery of pyrite from gold ore by gravity separation. National Institute. For Metalurgy Report 2092 D, May 1982.
18. GUEST, R. The recovery of pyrite from Witwatersrand gold ores. J.S. Afr. Inst. Mining Metallurgy, 103-105, Oct. 1975.
19. ZAMYATIN, O. V. & KONYUYOVA, A.T. Principles of the extraction of gold of various sizes from sand on a concentration table. Tsvet. Metl., n.2, p.78, 1970.
20. LEAVER, E.S. & WOOLF, J.A. Flotation of metallic gold: relation of particle size to floatability. US. Bureau of Mines, Report of Investigation, n.3226, p.9-17, 1934.
21. DE KOK, S. Gold concentration by flotation. J.A. Afr. Inst. Mining Metallurgy, p.139-141, Oct. 1975.
22. FRIGERS, L. & VOST, J. Mercury in the environment. Cleveland (Ohio), C.R. Chemical Rubber Company, 1972.