

**níquel**

**MSF**

## MINERAÇÃO SERRA DA FORTALEZA

Eduardo Augusto de Carvalho<sup>1</sup>

Antônio Odilon da Silva<sup>2</sup>

João Batista Reis Júnior<sup>3</sup>

Thomas Lafayette Brenner<sup>4</sup>

■ A Mineração Serra de Fortaleza (MSF) (Figura 1) está localizada a 5 km da sede do município de Fortaleza de Minas, região sudoeste de Minas Gerais a 360 km da capital, Belo Horizonte. Pertencente ao Grupo Rio Tinto do Brasil, iniciou suas atividades de lavra e processamento do minério de níquel, em 1998. Para a implantação do complexo industrial formado pelas minas subterrânea e a céu aberto, pelas usinas de concentração e metalúrgica, além da fábrica de ácido sulfúrico, foi realizado um investimento de aproximadamente US\$ 264 milhões de dólares.

Com uma reserva estimada em 5,7 milhões de toneladas de minério de níquel, a MSF tem uma capacidade instalada para processar 550.000 t/ano de minério bruto. A produção estimada em 150.000 t/ano de um concentrado sulfetado de Ni, Co e Cu, faz com que a empresa seja, atualmente, a maior produtora de níquel do Brasil.

O produto da usina de concentração é todo consumido pela metalurgia, onde se obtém um matte com 61% de níquel. O matte produzido, 20.000 t/ano, é negociado com a empresa Outokumpu (Finlândia), para produção de níquel metálico, além de cobre e cobalto. Entre as várias aplicações do níquel, destacam-se sua utilização na produção de aço inoxidável e fabricação de baterias.

### Geologia

O corpo mineralizado está localizado na porção basal de uma seqüência arqueana do tipo *greenstone belt*, onde rochas vulcânicas máficas e ultramáficas estão intercaladas com sedimentos químicos.

A jazida apresenta forma tabular com *strike* N 40° W e mergulho sub-vertical (70° a 90° SW) estendendo-se por 1.700 m em comprimento, até 700 m em profundidade e com espessura variando de 1 a 20 m, com valor médio de 5 m. A mineralização ocorre tipicamente entre o serpentinito na capa e uma formação ferrífera bandada na lapa.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Técnico Químico, CETEM

<sup>3</sup> Engenheiro, Mineração Serra da Fortaleza

<sup>4</sup> Geólogo, Mineração Serra da Fortaleza

Os sulfetos representam 30% do minério. A pirrotita ocorre como matriz para a pentlandita e a calcopirita, minerais de níquel e cobre, respectivamente.



**Figura 1: Vista parcial da mina a céu aberto em Serra da Fortaleza, MG.**

Na jazida ocorrem dois tipos de minério: o de baixo teor (abaixo de 2% Ni) e o de alto teor (acima de 2% Ni). O primeiro está encaixado no serpentinito (capa) ou na formação ferrífera (BIF – *banded iron formation* ou formação ferrífera bandada), apresentando, em média, teores entre 0,7 e 1,5% Ni. O minério de alto teor é tipicamente sulfeto maciço a semi-macioso, com teores médios entre 3 e 6% Ni.

O minério de Fortaleza de Minas foi classificado, da lapa para a capa, nos seguintes tipos:

- a) minério disseminado – (D);
- b) minério cisalhado – (U);
- c) minério intersticial - I;
- d) minério brechóide – (I);
- e) minério de BIF – (C).

Essa variedade de vários tipos de minérios pode ser agrupada em duas categorias: minério de alto teor (I,R) e minério de baixo teor (D,U,C).

## Minério de alto teor

O minério intersticial apresenta textura homogênea com espessura variando de fina a grossa; é constituído tipicamente de sulfetos (30%) com teor médio de 3,5% Ni, magnetita (8%) e ganga silicatada (62%), essa predominantemente antigorita BIF.

O minério brechóide é uma brecha com matriz de sulfeto maciço, com fragmentos de proporções e tamanhos variados de serpentinito e BIF. A composição do minério é de cerca de 70% de sulfetos, 10% magnetita e ganga silicatada em trono de 20%.

## Minério de baixo teor

O minério de baixo teor pode ser dividido de acordo com a rocha encaixante. Quando ocorre no serpentinito da capa, encontram-se presentes os minérios disseminado (D) e o cisalhado (U).

O minério tipo disseminado (D) com teor médio de 1% Ni, ocorre como fina disseminação de sulfeto no serpentinito e representa 7% do total do minério. Observa-se a presença também de magnetita (7%) e da ganga silicatada, antigorita (86%).

O minério tipo BIF ocorre na formação ferrífera da lapa e apresenta teores elevados de  $\text{SiO}_2$  e baixos teores de MgO, contrastando com os tipos hospedados no serpentinito, embora apresente teores de níquel semelhantes. É formado por disseminações em bandas e vênulos de sulfeto variando de 5 a 20% em média.

## Mineralogia

Os principais minerais da jazida são pirrotita, pentlandita e calcopirita na proporção 65:30:5. Também ocorrem, em menores proporções, cobaltita e minerais do grupo da platina e ouro em meio aos sulfetos. A Tabela 1 apresenta a granulometria e o teor dos minerais sulfetados que ocorrem na jazida.

**Tabela 1 - Mineralogia da jazida de níquel da Mineração Serra de Fortaleza.**

Minerais	Form. Química	Teor	Gran. ( $\mu\text{m}$ )	Observações
Pirrotita (Po)	(FeS)	<1% Ni	50-200	matriz para Pn, Cp.
Pentlandita (Pn)	(FeNi) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>	33-38% Ni	50-150	agregados, Cp como solução sólida.
Calcopirita (Cp)	(CuFeS <sub>2</sub> )	35% Cu	40-120	associação com Pn.
Cobaltita (Co)	(NiCoAsS)	17-23% Co 8-13% Ni	15-50	inclusão na Po, Pn e silicatos (30%).
PGM+Au	(vários)	-	3-25	inclusões na Cb, Po e silicatos.

PGM – Metais do grupo da platina

Antigorita, talco, magnetita e em menores proporções tremolita formam a ganga dos tipos de minério hospedados no serpentinito. Quartzo, actinolita, cummingtonita, magnetita e em menores proporções carbonato são encontrados na ganga do minério de BIF. A Tabela 2 apresenta a participação de cada tipo litológico na área da mina a céu aberto.

**Tabela 2 - Participação dos diversos materiais na mina a céu aberto.**

<b>Estéril</b>	<b>(%)</b>	<b>Minério</b>	<b>(%)</b>
Solo	4,5	Disseminado	1,1
Gossan	0,6	Intersticial	1,0
Serpentinito	18,0	Brechoide	2,1
Anfibólio/ piroxênio.	64,0	Minério de BIF	1,2
BIF	7,5	-	-
Total Estéril	94,6	Total Minério	5,4

## Beneficiamento

### Cominuição, classificação e flotação primária

A primeira etapa do processo de beneficiamento do minério de níquel da MSF consta de britagem primária, moagem semi-autógena, britagem secundária e terciária – em paralelo à moagem semi-autógena –, flotação em células unitárias instaladas no circuito de moagem e moagem em moinho de bolas (Figura 2).

Carregadeiras frontais (Figura 3A) retomam o minério no pátio de estocagem e fazem a homogeneização e alimentação da britagem primária, realizada em britador de mandíbulas NORDBERG 800 x 1000 (Figura 3B). O minério não deve ser mantido no pátio de estocagem por um período superior a 13 dias a fim de que não se oxide, o que é prejudicial ao processo de flotação.

A alimentação do britador primário é feita com minério abaixo de 50 cm. Para tanto, uma grelha com abertura retangular 50 x 100 mm garante a alimentação do britador abaixo dessa granulometria. Os blocos são fragmentados por meio de martelete mecanizado. O minério é britado a uma taxa de 140 t/h e o produto com granulometria inferior a 150 mm segue, por meio de um transportador de correia, até uma pilha cônica com capacidade para 9.650 t, onde apenas 2.100 t são realmente estocadas. A parte externa da pilha cônica, constituída de material estéril, serve como proteção dos sulfetos ao processo de oxidação. Um alimentador de sapatas retoma o minério da pilha cônica e alimenta um transportador de correia com balança integrada que o conduz até o moinho semi-autógeno (SAG – SEVEDALA – Figura 4A) com 5,4 x 1,9 m (diâmetro/comprimento). Na alimentação do moinho, de 50 a 75 t/h, existe um divisor de fluxo que, de acordo com o tipo de minério processado, desvia parte da alimentação para um transportador de correia, conduzindo o mesmo até uma britagem secundária (Figura 4B). Utiliza-se nessa etapa um britador cônico, tipo NORDBERG, modelo Symons Standard, cuja taxa de alimentação, pode variar de 25 a 55 t/h, gerando um produto com granulometria inferior a 37 mm.

A moagem semi-autógena opera com uma carga de bolas ( $f$  125 mm) que corresponde a 10% do volume interno do moinho e percentagem de sólidos na polpa de 60%. A abertura da grelha interna na seção de descarga do moinho é de 50 mm com uma área livre total da correspondente a 9,0% da área da seção reta do moinho. A velocidade do moinho é variável e, usualmente, corresponde a 68% da sua velocidade crítica.

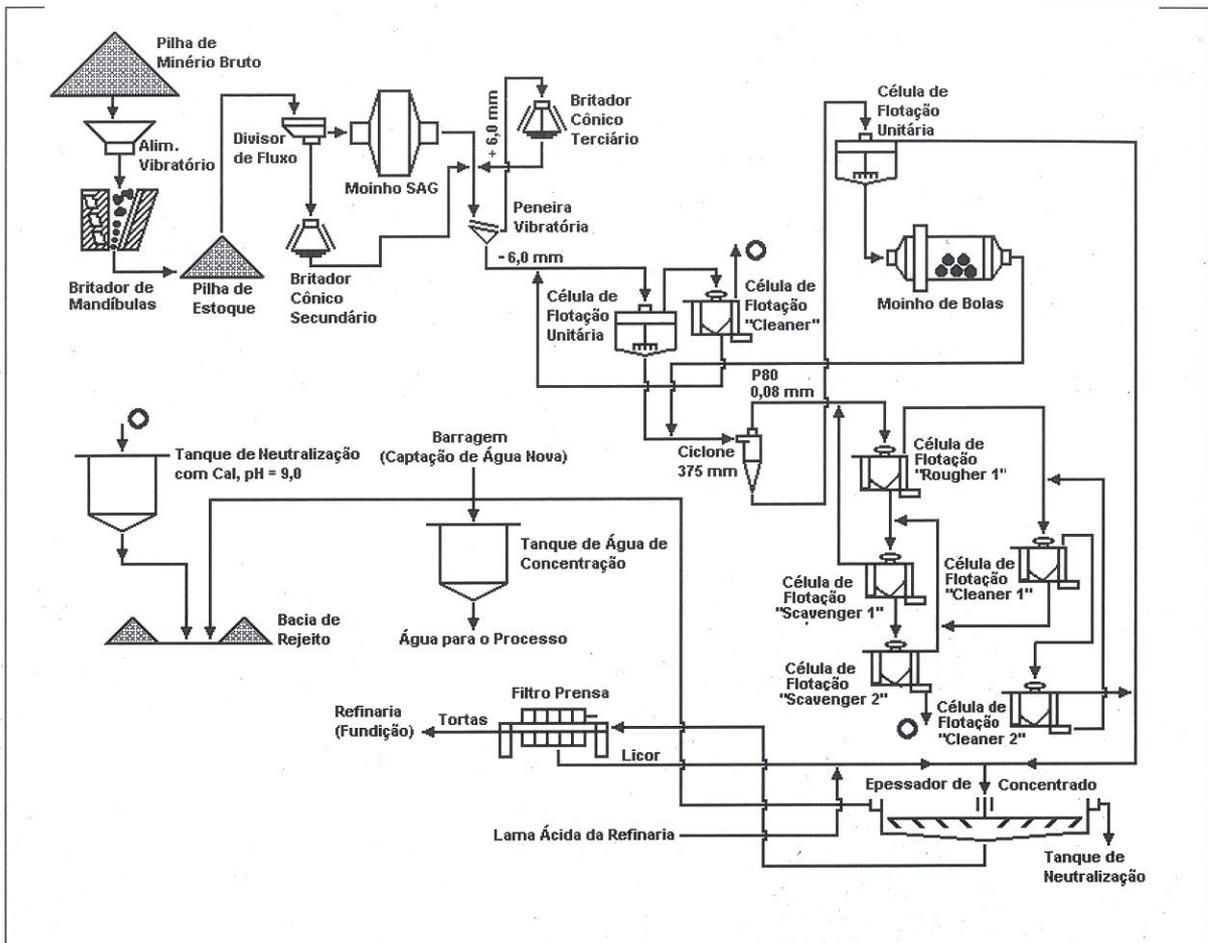


Figura 2: Fluxograma da usina de tratamento de minério de níquel da MSF

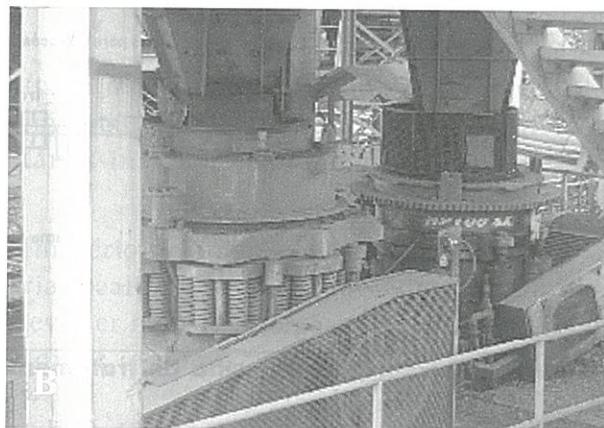
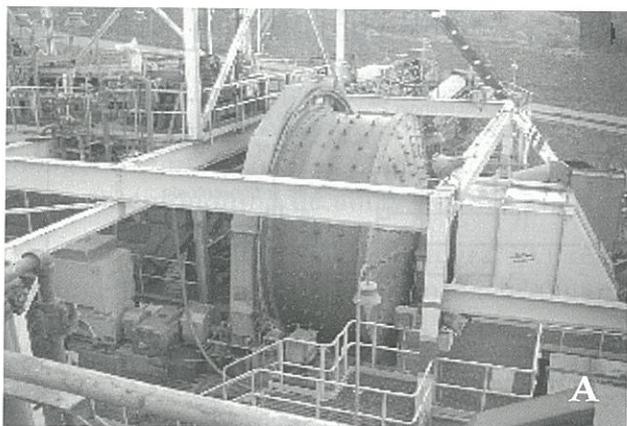
Os produtos da moagem semi-autógena e da britagem secundária alimentam uma peneira vibratória horizontal com abertura de 6 mm. Um transportador de taliscas conduz a fração retida até um silo de estocagem, responsável pela alimentação de um britador cônico terciário, tipo NORDBERG modelo HP 100 SX (Figura 4B).

A fração passante na peneira de 6 mm alimenta uma célula unitária de flotação (OUTOKUMPU SK 240) ((Figura 5A), com volume de 8 m<sup>3</sup>, onde ocorre a remoção da maior parte do talco presente no minério. Nessa etapa, utiliza-se uma polpa com 50% de sólidos e pH 8,5; o espumante metil-isobutil-carbinol (MIBC) é adicionado na proporção de 8,0 g/t de minério.

O talco flotado com 21% de sólidos segue para a barragem de rejeitos, enquanto o deprimido, contendo Ni, Cu e Co e 46% de sólidos passa por uma classificação granulométrica e densimétrica em hidrociclones convencionais, ENVIROTECH. A alimentação dos hidrociclones é realizada com uma pressão de 90 kPa, de modo a se obter um *underflow* com P<sub>80</sub> em torno de 80 μm. O *overflow* dos ciclones, com 38% de sólidos, segue para a flotação convencional de níquel a uma taxa de 65t/h.



**Figura 3: (A) Carregadeira frontal utilizada para alimentação dos britadores. (B) Instalações dos britadores de mandíbulas.**



**Figura 4: (A) Moinho semi-autógeno (SAG) (B) Britadores utilizados na britagem secundária**

Para que os sulfetos já liberados possam ser recuperados, o *underflow* dos hidrociclones, com 77% de sólidos, alimenta uma nova célula unitária de flotação, (OUTOKUMPU SK 240, Figura 4A). Amil xantato de potássio (50 g/t), mercatobenzotiazol (50 g/t) e o espumante MIBC (10 g/t). Com a adição de ácido sulfúrico corrige-se o pH da polpa para 6,8. O material flotado, a uma taxa de 8 t/h e com 24% de sólidos, apresenta um teor de Ni de 8%, constituindo parte do concentrado final a ser enviado ao espessador. O deprimido dessa célula, com 59% de sólidos, passa por um moinho de bolas (SVEDALA – 5,4 x 1,9 m – DXL, Figura 5B) junto com a fração do *underflow* do hidrociclone que não alimentou a célula unitária, de modo a liberar os sulfetos ainda presentes nesse produto.

O moinho, cuja carga de bolas ( $\phi$  60 mm) corresponde a 26% do seu volume interno e com uma polpa com 75% de sólidos, opera a 74% da velocidade crítica, gerando um produto que será classificado em ciclones junto com o deprimido da primeira célula unitária de flotação. O *overflow* do hidrociclone tem um  $P_{80}$  da ordem de 80  $\mu$ m. Na etapa de moagem utiliza-se sulfato de cobre e ácido sulfúrico (2 kg/t) com a finalidade de ativar a superfície dos minerais sulfetados, e o carboxi-metil-celulose (CMC) para deprimir os minerais de ganga (silicatos, tais como serpentina e talco).

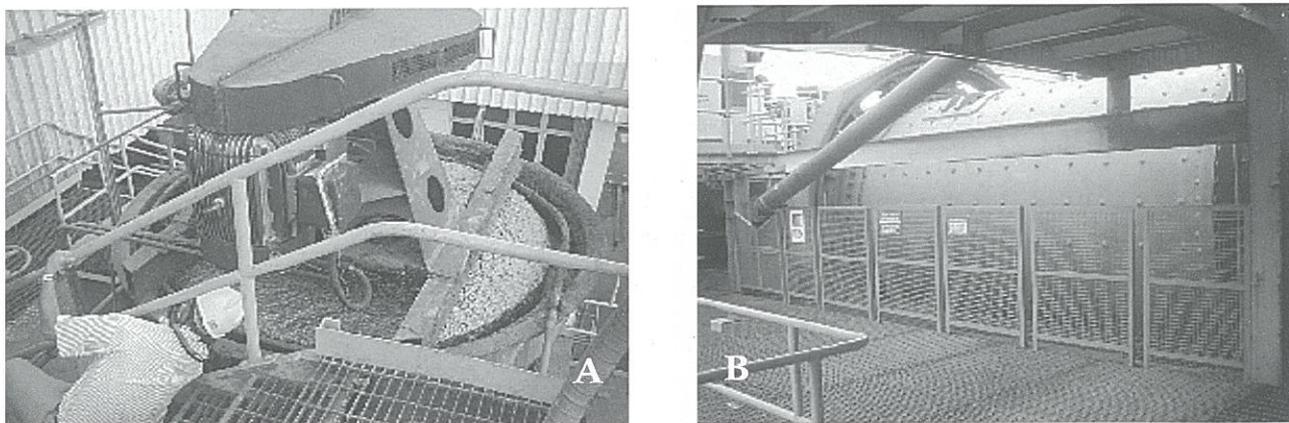


Figura 5: (A) Célula de flotação Outokumpu SK 240. (B) Moinho de bolas SVEDALA

## Flotação, Espessamento e Filtragem

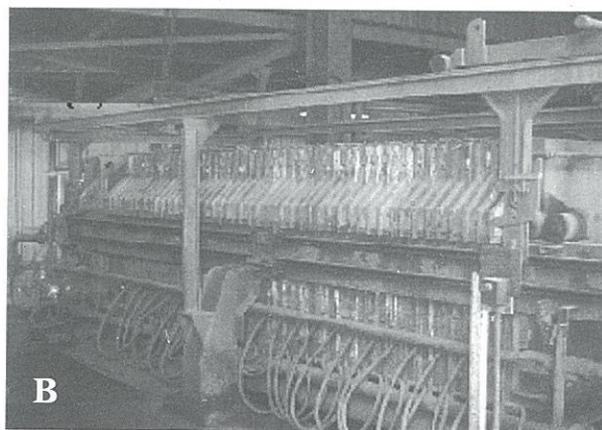
A flotação dos sulfetos de níquel, cobre e cobalto é realizada a partir do *overflow* da ciclonagem por um conjunto de 14 células (DORR-OLIVER) de 14 m<sup>3</sup> cada. Três etapas *rougher*, duas *scavenger* e duas *cleaner* proporcionam a obtenção de um concentrado final de sulfetos de níquel, cobre, cobalto com teor de níquel de 7,1%. O concentrado coletivo contém sulfetos de ferro (principalmente pirrotita) que, junto aos demais sulfetos metálicos, irão compor a carga de enxofre necessário ao forno *flash* e à fábrica de ácido sulfúrico existente no complexo industrial.

Durante a flotação, realizada com pH entre 6,5 - 7,0, são adicionados o espumante MIBC (25 g/t), coletores amil xantato de potássio (50 g/t) e o mercapto benzotiazole (50 g/t).

A etapa *rougher* 1 é realizada em duas células, cujo concentrado com 23% de sólidos segue para a etapa *cleaner* 1 a uma taxa de 23 t/h. O rejeito do *rougher* 1 é processado em quatro células *scavenger* 1. O concentrado dessa etapa, com 22% de sólidos, retorna à alimentação do *rougher* 1, ou, alternativamente, passa ao *cleaner* 1, cujo rejeito alimenta a etapa *scavenger* 1, realizada em 3 células. O concentrado obtido (20% de sólidos) no *scavenger* 2 retorna à alimentação da etapa *scavenger* 1, enquanto o rejeito, com 27% de sólidos, é descartado como rejeito final da flotação, seguindo a uma taxa de 51 t/h, para um tanque de neutralização onde se eleva o pH para 8,5, o que favorece a precipitação dos metais solubilizados antes do descarte final na barragem de rejeitos.

Na etapa *cleaner* 1, realizada em três células, o concentrado, com 23% de sólidos, é bombeado para a etapa *cleaner* 2. O rejeito (com 11% de sólidos) retorna às células da etapa *rougher* 1, a uma taxa de 11 t/h. Na etapa *cleaner* 2, realizada em duas células, obtém-se o concentrado final desta etapa da flotação, a uma taxa de 14 t/h, com 24% de sólidos. O processo de flotação permite a obtenção de um concentrado final de sulfetos com 7,1 % de Ni e recuperação global em torno de 86 %.

O concentrado final da flotação (22 t/h) segue para o espessador DORR-OLIVER (Figura 6A), de diâmetro igual a 19,8 m, com razão de sedimentação de 0,56 t/m<sup>2</sup>/dia. Para acelerar a velocidade de sedimentação da partículas adiciona-se (2 g/t) o floculante Superfloc-127. O *underflow* do espessador, com 60% de sólidos, é bombeado para um tanque pulmão, e em seguida para filtragem em dois filtros prensa, MININGTECH/EMCO, com 48 placas cada (Figura 6B), que operam em paralelo. A torta, com 90% de sólidos, é o produto final da usina de concentração, seguindo por transportador de correia até a unidade metalúrgica.



**Figura 6: (A) Espessador utilizado para remoção de parte da água presente no concentrado final. (B) Filtro-prensa MININGTECH utilizado na filtragem do concentrado final.**

O *overflow* do espessador ( $18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) junta-se ao filtrado e constitui a água de recirculação do processo. Esse volume de água representa cerca de 10% da água total consumida na usina.

O *underflow* do espessador de concentrado, também pode ser bombeado para uma bacia de estocagem, com capacidade de acumulação equivalente a 9 dias de operação, em condições normais. Essa bacia é revestida com lona de PVC e dotada de dispositivos para desmonte hidráulico e bombeamento da polpa de volta ao circuito normal. A principal razão dessa bacia é dotar o sistema de uma estocagem intermediária de concentrado para permitir paradas independentes das usinas de concentração e metalúrgica.

## Principais dados operacionais

A capacidade nominal de processamento da usina de beneficiamento e da mina é de 550.000 t/ano ( $63 \text{ t/h}$ ) de minério ROM.

A usina apresenta uma recuperação global de Ni da ordem de 86%, com o concentrado apresentando teores de 7,1% de níquel.

A usina utiliza no processo cerca de  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  de água, o que corresponde a  $2,86 \text{ m}^3/\text{t}$  de minério tratado, e dos quais 89% provêm do sistema de recirculação. O consumo de água é de  $0,32 \text{ m}^3/\text{t}$  de minério ROM processado. A água nova é captada nas proximidades da empresa, a cerca de 1,0 km da mina.

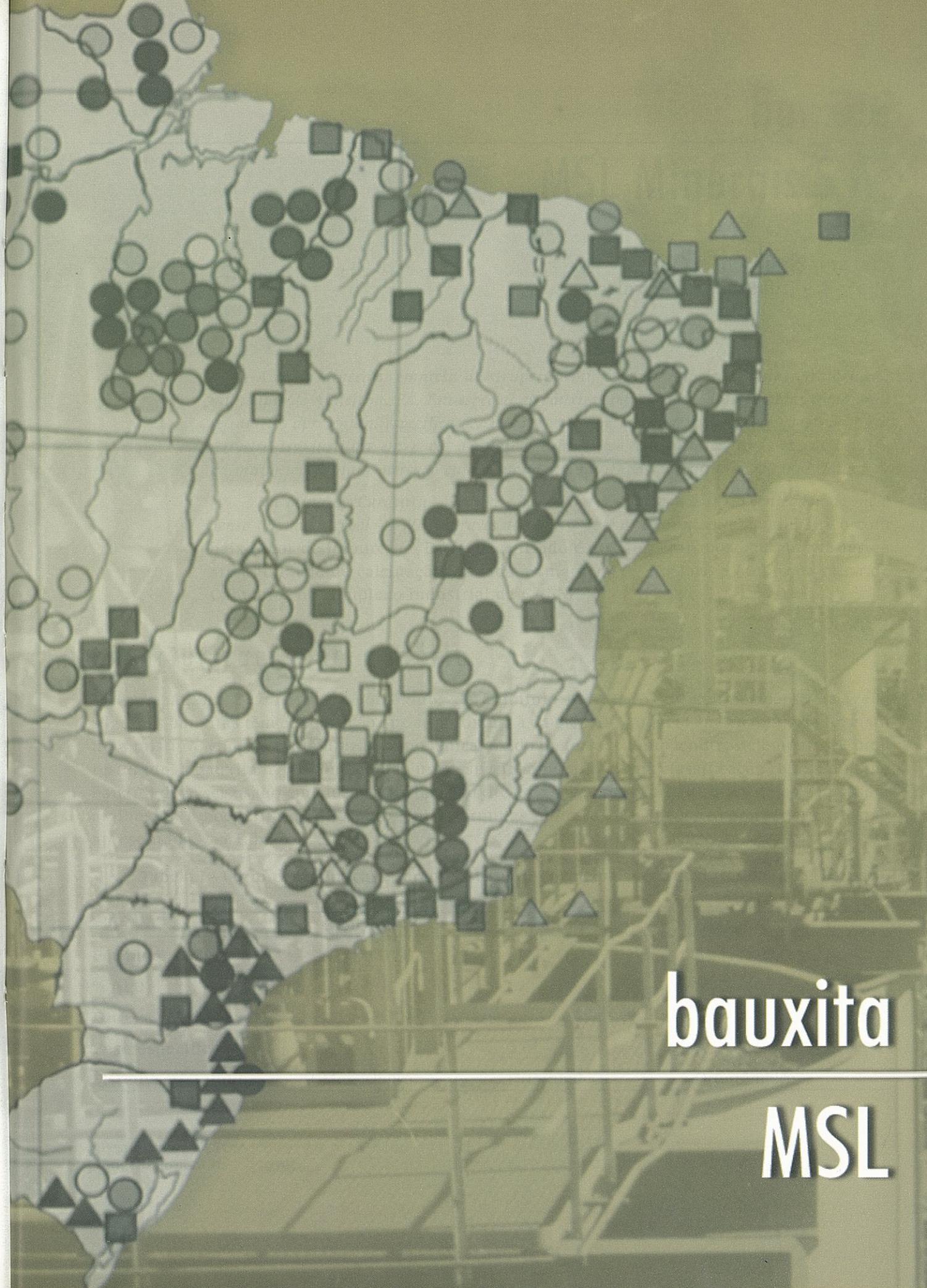
A moagem é responsável por cerca de 70% do consumo de energia da usina, 38% dos quais correspondem ao consumo do moinho SAG. O maior consumo de energia da usina (44%) está relacionado às operações de moagem secundária. O consumo total da usina é de  $38,0 \text{ kWh/t}$  de minério tratado; na lavra (extração) o consumo de energia é de aproximadamente  $10 \text{ kWh/t}$  de minério lavrado.

O consumo de bolas do moinho semi-autógeno é  $300 \text{ g/t}$ , enquanto que no moinho convencional é  $900 \text{ g/t}$ . O consumo de energia na moagem semi-autógena é de  $10 \text{ kWh/t}$  e na moagem convencional é de  $15 \text{ kWh/t}$ .

O tempo de residência na flotação é de 1,3 min. A razão de espessamento: 0,56 m<sup>2</sup>/t.dia. A carga circulante na moagem com bolas é de 300%.

O controle do processo é feito por meio de amostragem automática em 6 pontos críticos do circuito e manual nos demais, quais sejam: alimentação do minério, concentrado de talco, concentrado de sulfetos da célula unitária, *overflow* dos ciclones, concentrado *rougher* 1, rejeito *cleaner* 1, concentrado *cleaner* 2, concentrado final e rejeito final.

Transportadores de correia realizam o transporte do produto final da usina de beneficiamento até a metalúrgica. Após a redução, o produto final (*matte*) é embarcado em *containers*, sendo transportado por caminhão até o porto de Santos daí embarcado para a Outokumpu (Finlândia), única refinadora do *matte* produzido pela MSE.



**bauxita**

---

**MSL**

bauxita

# MSL Minerais S.A.

João Alves Sampaio <sup>1</sup>  
Carlos Henrique Babsky Neves <sup>2</sup>

■ A MSL Minerais, empresa do Grupo Caemi, é produtora de bauxita refratária no município de Almeirim, PA. Em especial as bauxitas refratárias, caracterizadas como grau refratário, apresentam especificações particulares que restringem as ocorrências na crosta terrestre. Isso justifica, em parte, a atuação de um grupo restrito de fornecedores, competindo há muito tempo num mercado cuja demanda não ultrapassa a cifra de 900.000 t/ano.

Na Mina de Caracuru, a bauxita lavrada é beneficiada por concentrador de meio denso (Dynawhirpool - DWP), através do qual se obtém um concentrado gibbsítico com baixo teor de impurezas. Esse concentrado é a seguir transportado por via férrea até a unidade de calcinação, situada às margens do rio Jari, a 80 km da mina de Caracuru, no complexo industrial da CAEMI.

## Caracterização do minério

A bauxita é constituída por óxidos de alumínio hidratados de composições variáveis. Algumas bauxitas têm composição que se aproxima à da gibbsita, todavia em sua maioria formam uma mistura, contendo impurezas como: sílica, óxido de ferro, titânio e outros elementos. Como resultado, a bauxita não é considerada uma espécie mineral e, numa classificação rígida, o nome bauxita deve ser usado em alusão à rocha (bauxito). Os principais constituintes dessa rocha são: a gibbsita, a boehmita e o diásporo, cujas fórmulas químicas e principais características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Fórmulas químicas e características dos principais constituintes da rocha bauxita.

	Gibbsita	Boehmita	Diásporo
Fórmula	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	$\alpha Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	$\beta Al_2O_3 \cdot H_2O$
% $Al_2O_3$	65,4	85	85
Dureza (Mohs)	2,3 – 3,5	3,5 – 5,0	6,5 – 7,0
Peso específico	2,3 – 2,4	3,01 – 3,06	3,3 – 3,5
Sistema cristalino	Monoclínico	Ortorrômico	Ortorrômico

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro, MSL

A concentração desses minerais varia principalmente em função da gênese dos depósitos. Na Europa (França, Grécia) predomina a bohemita, na China os jazimentos são formados predominantemente por diásporo. Nas regiões de clima tropical como Brasil, Guiana, Jamaica e alguns países africanos, os jazimentos são compostos predominantemente por gibbsita.

As reservas mundiais de bauxita totalizam hoje em torno de 23 bilhões de toneladas, e cerca de 95% de toda a bauxita lavrada no mundo é usada para a produção de alumina pelo processo Bayer. De 90% dessa produção é extraído o alumínio. O restante (10%) destina-se a outros fins, conforme apresentado na Tabela 2.

As características químicas desejáveis nas bauxitas para uso em refratários são mais rigorosas, comparadas às demais aplicações desta matéria-prima, e apenas uma pequena parcela das reservas mundiais é adequada à indústria de refratários. A Tabela 2 apresenta as especificações da bauxita para uso como refratário e outros.

**Tabela 2 – Usos da bauxita para outros fins que não a produção de alumínio pelo processo Bayer e suas especificações**

Usos	t/ano				
Refratários (calcinada)	1.200.000				
Abrasivos (calcinada)	900.000				
Cimentos argilosos	700.000				
Indústria química (principalmente sulfato de alumínio)	600.000				
Outros (anti-derrapante, retardador de chama, soldas, etc.)	600.000				

Especificações da bauxita utilizada em diversos setores da indústria					
Composição	Metalúrgica	Química	Cimentos	Abrasivos	Refratária
$Al_2O_3$ (%)	45 – 55	40 – 60	45 – 55	80 – 88	Mín. 85
$SiO_2$ (%)*	0 – 15	5 – 18	Máx. 6	Máx. 5	Máx. 11
$Fe_2O_3$ (%)	5 – 30	Máx. 4	20 – 30	2 – 5	Máx. 2,5
$TiO_2$ (%)	0 – 6	0 – 6	2 – 4	2 – 5	Máx. 3,5

\* sílica total

As reservas de bauxita tipo refratária localizam-se principalmente nos seguintes países: China, Guiana (25 Mt), Brasil (113 Mt), Índia e Rússia. Nestes dois últimos, a produção está voltada para o mercado interno e não compete com os três primeiros. A Tabela 3 apresenta as principais características das bauxitas refratárias.

As bauxitas refratárias devem ter um teor de  $Fe_2O_3$  de até 3% (base calcinada). Esse é considerado o limite máximo permitido, sendo que nos melhores minérios o teor máximo situa-se em torno de 2%.

O  $\text{TiO}_2$  é outra impureza com restrições rigorosas e o teor máximo fixado é de 3,5% (base calcinada). Em especial, a combinação dos óxidos  $\text{TiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  forma um composto de baixo ponto de fusão ( $<1.300^\circ\text{C}$ ).

O teor de  $\text{SiO}_2$  pode ser mais elevado (7 a 11%). A sílica combina-se predominantemente com o óxido de alumínio, formando a mullita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), que apresenta excelente resistência ao choque térmico.

Os óxidos alcalinos e alcalinos terrosos são impurezas que prejudicam a refratariedade dos produtos, promovendo o incremento da fase líquida, reduzindo a formação de mullita e, como consequência, aumentando a retração (deformação) e trincamento.

Após calcinada, as propriedades físicas mais importantes para a refratariedade do produto são: densidade específica aparente que deve ser maior que  $3,10 \text{ g/cm}^3$  e a porosidade aparente, inferior a 12%.

**Tabela 3 – Características das principais bauxitas refratárias dos maiores produtores.**

Países	Brasil	Guiana	China		
<b>Empresas</b>	MSL	Limine	Shanxi	Guizhou	Henan
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> (%)</b>	85,0 – 86,5	86,5 – 88,0	86 – 89	85 – 88	85-88
<b><math>\text{SiO}_2</math> (%)</b>	9,0 – 10,2	5,0 – 7,5	5 – 7	6 – 8	6 – 8
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math> (%)</b>	1,7 – 2,1	1,7 – 2,5	1,2 – 2,0	< 2	< 2
<b><math>\text{TiO}_2</math> (%)</b>	1,9 – 2,5	2,5 – 3,5	3 – 4	3 – 5	3 – 5
<b>Álcalis (%)</b>	< 0,02	< 0,04	0,1 – 0,2	0,5 – 0,6	1,0 – 1,2
<b>BSG (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	3,2 – 3,3	3,10 – 3,15	3,1 – 3,2	3,15 – 3,25	3,1 – 3,2
<b>Exp. Sec. a <math>1.500^\circ\text{C}</math> (%)</b>	+ 0,1	- 0,4	-	- 0,3 a - 0,8	-
<b>Exp. Sec. a <math>1.500^\circ\text{C}</math> Coríndon (%)</b>	55 – 65	65 – 70	-	65 – 70	-
<b>Mullita (%)</b>	30 – 35	15 – 20	-	15	-
<b>Tielita (%)</b>	0 – 2	6 – 8	-	8 – 10	-
<b>Glass (%)</b>	3 – 5	7 – 9	-	8 – 10	-

## Lavra da mina de Caracuru

A mina está localizada no município de Almeirim, PA, a 500 km de Belém e 300 km de Macapá, AP.

A bauxita refratária que ocorre na área é resultante da remoção por lixiviação de compostos de silício e ferro em soluções aquosas dos sedimentos pelíticos e psamíticos arcoseanos da formação Alter do Chão. Provavelmente, esses sedimentos foram depositados no plioceno, em ambiente flúvio-lacustre, sob condições climáticas de zonas tropicais úmidas. Com o rebaixamento

de nível da base das drenagens, resultaram platôs de encostas abruptas, que apresentam perfil de laterização, onde está inserido o horizonte de bauxita refratária, com um total de reservas medidas de 40 milhões de toneladas.

A mina de Caracuru, com reserva medida de 11,5 milhões de toneladas, consiste numa camada de bauxita com largura média de 1,0 km e espessura de 3,0 m. As características físicas e químicas do *run of mine* (ROM), com 60% de argila e 40% de bauxita, estão apresentadas na Tabela 4.

A lavra do minério é feita a céu aberto e utiliza o método de lavra por tiras, com frentes de lavra de 50 m de largura orientadas na direção NNE-SSW. A espessura do capeamento do minério varia entre 9 e 11 m e sua remoção é feita com *moto scrapers* que transportam o material para a tira adjacente já lavrada. Dessa forma, realizam-se as recomposições do solo e da topografia. Esse método de lavra foi selecionado a partir de estudos de viabilidade técnica e econômica.

A camada de bauxita é removida com auxílio de retroescavadeira e caminhões basculantes, que transportam o minério lavrado até a usina de beneficiamento, situada a 3 km da mina. São lavradas duas frentes simultaneamente, assim, é possível prover a usina com uma alimentação homogênea em termos de densidade, porosidade e composição química do minério. A capacidade nominal da usina é de 280.000 t/ano de bauxita beneficiada crua (BBC), enquanto a efetiva é de 255.000 t/ano.

**Tabela 4 – Características físicas e químicas do minério ROM da mina de Caracuru.**

<b>Compostos</b>	<b>(%) peso</b>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48 – 52	
SiO <sub>2</sub>	18 – 22	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5 – 5,5	
TiO <sub>2</sub>	<2	
Perda ao Fogo	>28	
<b>Distribuição granulométrica</b>		
<b>Fração (mm)</b>	<b>Percentagens</b>	
	<b>Retida</b>	<b>Passante</b>
+40	8,0	92
-40 +15	12,0	80
-15 +1,2	16,0	64
-1,2 +0,25	12,0	52
-0,25+0,147	2	50
-0,147	50	–
<b>Massa Específica</b>	2,3 g/cm <sup>3</sup>	
<b>Umidade</b>	14%	

## Beneficiamento

O processo consiste em três etapas: lavagem para remoção da argila, processamento da fração fina e concentração para remoção da laterita presente no minério.

Inicialmente, o minério lavrado, com granulometria máxima de 30 cm, é transportado até a usina onde abastece uma moega com capacidade de 30 m<sup>3</sup>. Um alimentador de sapatas retoma o minério da moega e alimenta o tromel desagregador (TD) com dimensões de 2,2 x 5,0 m (diâmetro/comprimento), operando com velocidade de 4,1 rpm, percentagem de sólido de 75% e carga de 11% do seu volume interno. Nessa operação, procede-se à desagregação do material aluminoso com granulometria grossa, acima de 1 mm. O material desagregado no tromel alimenta uma peneira vibratória (PV-01) de dois deques com 6 x 2,4 m. A fração acima de 12 mm alimenta o moinho de martelos (BM), que trabalha com abertura de 12 mm. A segunda fração, com granulometria entre 12 e 1 mm alimenta o lavador de cascalho (LC) (*log washer*). Finalmente, a fração abaixo de 0,2 mm segue para a barragem de rejeito, conforme se observa no fluxograma da Figura 1.

O produto do britador de martelos (BM), com granulometria abaixo de 12 mm, com a fração intermediária da peneira PV-01 alimentam o lavador de cascalho. Este equipamento opera com velocidade de 32 rpm e relação sólido/líquido igual a 4:3. A fração fina do lavador de cascalho é descartada na bacia de rejeito, enquanto a grossa e lavada segue para a peneira vibratória de dois deques PV-02. A fração acima de 9,5 mm, segue para o britador de rolos, que trabalha com abertura de 6,5 mm. A fração fina da peneira PV-02 junta-se ao produto do moinho de rolo e alimenta o classificador espiral (CH-01). A fração fina alimenta o circuito de finos e a grossa, a peneira desaguadora (PD-02). A fração grossa da PD-02 é estocada no silo intermediário, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

No circuito de finos, o material sofre uma classificação em um hidrociclone (HC-01), cuja fração fina segue para a barragem de rejeitos. A fração grossa segue para a peneira desaguadora, PD-01, e daí a fração retida é estocada na pilha de finos que alimenta o meio denso, enquanto a passante é descartada como rejeito final.

A concentração da bauxita é realizada em um concentrador de meio denso (tipo *dynawhirpool* - DWP). Nesta operação, obtém-se o concentrado gibbsítico (bauxita refratária), com baixo teor de impurezas, e um rejeito rico em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. O DWP possui dimensões de 394 x 1.170 mm (diâmetro x comprimento internos), e sua alimentação é feita com polpa de ferro-silício e magnetita ( $d = 2,51 \text{ g/cm}^3$ ). A operação é realizada com uma bomba de meio denso (BMD-01) operando com uma taxa de 50 t/h.

O material leve, concentrado gibbsítico do DWP, é conduzido à peneira estática (PE-02) e a fração grossa segue para o tanque TP-02 para reciclagem do ferro silício e magnetita, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. A fração fina do CH-02 é descartada na barragem de rejeito. O concentrado de bauxita segue para a unidade de calcinação, no complexo industrial da CAEMI e daí é comercializado nos mercados nacional e internacional.

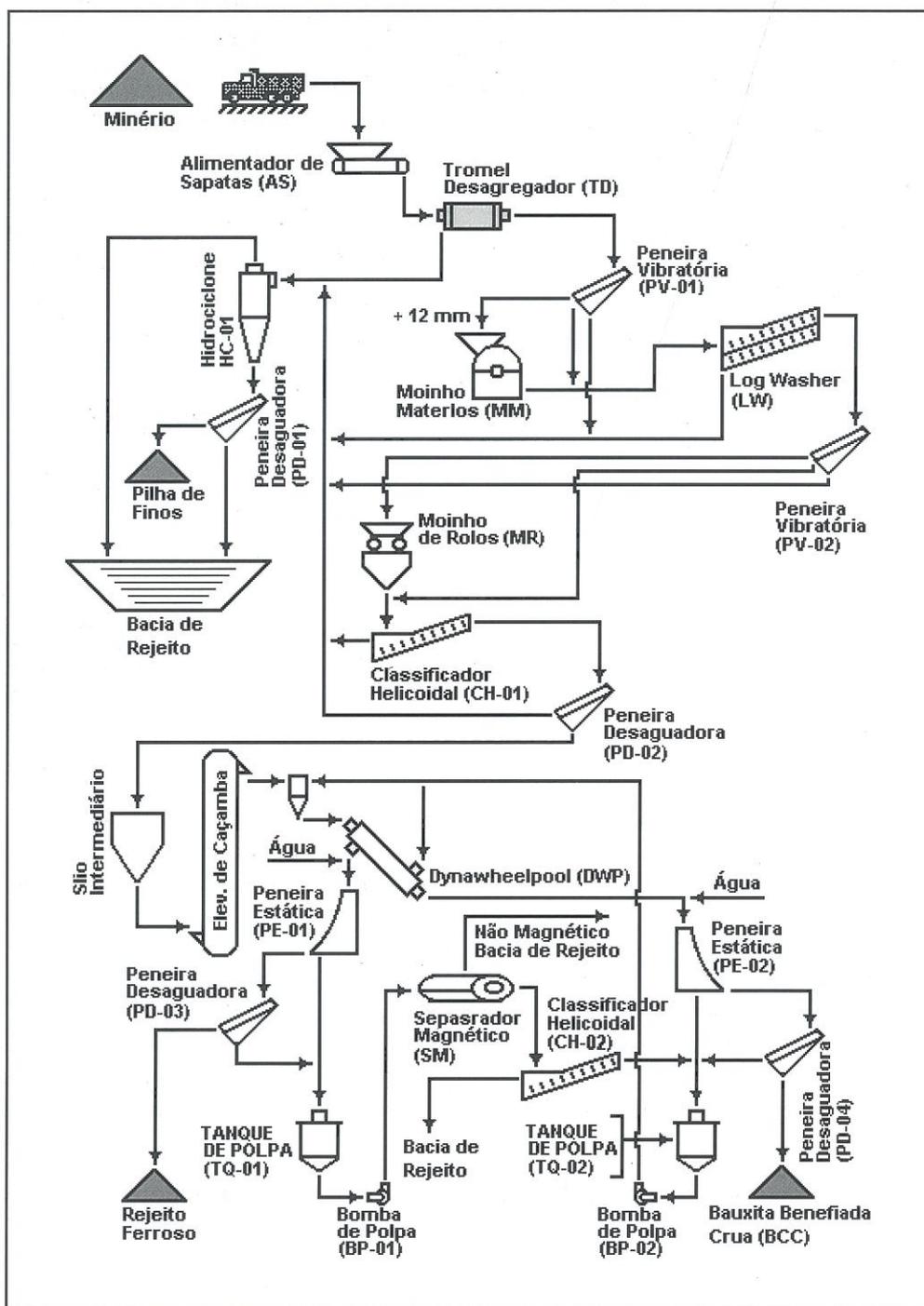


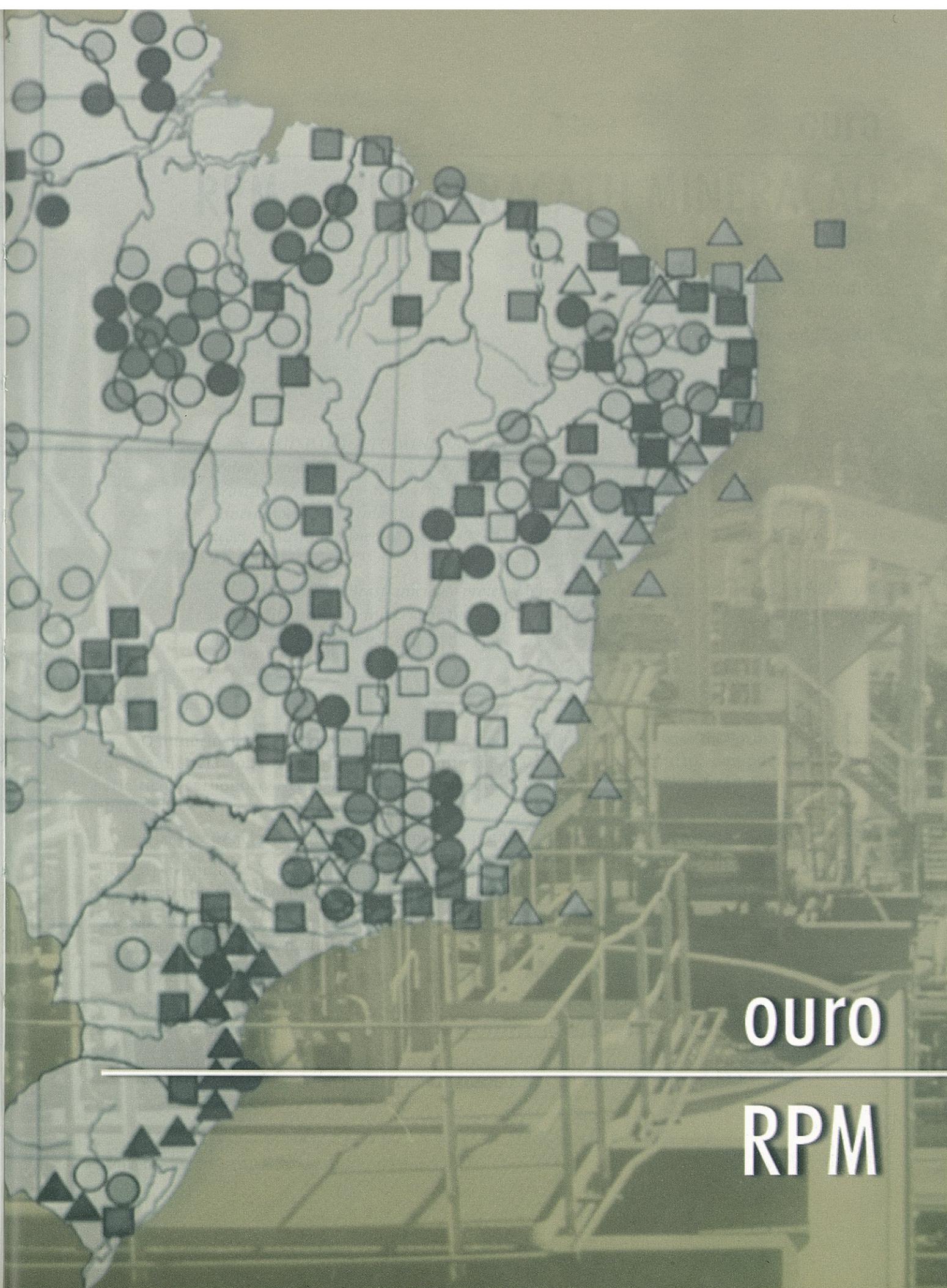
Figura 1: Fluxograma de beneficiamento de bauxita refratária da MSL Minerais S.A.

### Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento do minério de bauxita da mina Caracuru, MSL.

<b>Código:AS</b>	Equipamento: <b>Alimentador de sapatas</b> (AS-01)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDEN ALLIS Mod. MT45100; <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Dimensões da esteira:</b> C: 5,5 m; L: 0,93 m; <b>Tam. da alimentação:</b> < 20 cm; <b>Capacidade:</b> 180 t/h a 900 rpm; <b>Motor:</b> 7,5 CV / 1.770 rpm;	
<b>Código:PV 01</b>	Equipamento: <b>Peneira vibratória</b> (PE-01)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/ALLIS CHALMERS Mod. MHSD 60024/2A; <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Tamanho:</b> 2,4 X 6,0 m; <b>Abertura:</b> 1º deque 12,7 mm; 2º deque 1,0 mm; <b>Motor:</b> 40 CV / 1.770 rpm; <b>Dimensões:</b> 6,0 x 2,4 m	
<b>Código:LW</b>	Equipamento: <b>Log Washer (Lavador de Cascalho)</b> (LC-01)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/ALLIS CHALMERS <b>Tipo:</b> 7050; <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Dimensões:</b> C : 8,1 m;diâmetro 2,2 m; <b>Tam. da alimentação:</b> -12 +1,0 mm; <b>Capacidade:</b> 100 t/h; <b>Tipo de revest.:</b> Borracha 45 <i>shore</i> <b>Motor:</b> 75 CV / 1.185 rpm; <b>Relação sólido:água:</b> 4:3 (em volume)	
<b>Código:HC 02</b>	Equipamento: <b>Hidrociclone</b> (HC-01)
<b>Fabricante:</b> KREBS/CIMQA; <b>Modelo:</b> D20B-870 ; <b>Diâmetro interno:</b> 533,4 mm (nominal); <b>Apex:</b> 76,2 mm; <b>Vórtex:</b> 190,5 mm <b>Pressão de alimentação:</b> 2,0 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 208 µm; <b>Capacidade:</b> 6,0 t/h de sólidos (150 m <sup>3</sup> /h de polpa c/21% de sólidos) <b>Motor:</b> inexistente	
<b>Código:TD</b>	Equipamento: <b>Tromel desagregador</b> (TL-01)
<b>Fabricante:</b> TBM-NORDBERG; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões:</b> 2,2 x 5,0 m; <b>Motor:</b> 25 CV/1.770 rpm; <b>Capacidade:</b> 100 t/h c/ 80% de sólidos na polpa; <b>Volume interno da carga:</b> <15%	
<b>Código:MM</b>	Equipamento: <b>Moinho de Martelos</b> (MM-01)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDEN ALLIS; <b>Tipo:</b> MM 75100S; <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Dimensões:</b> D: 0,75 m; L: 1,0 m; <b>Tam. da alimentação:</b> < 200 mm; <b>Tam. do produto:</b> <12,7 mm; <b>Capacidade:</b> 50 t/h; <b>Tipo de revest.:</b> aço mangancês fundido/ aço SAE1045 laminado; <b>Motor:</b> 200 HP / 1.150 rpm; <b>Umidade:</b> < 20% <b>Abertura de descarga:</b> 12 mm; <b>Consumo de martelos:</b> 0,3 g/t.	
<b>Código:PD 01</b>	Equipamento: <b>Peneira desaguadora</b> (PE-08)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDEN ALLIS Mod. D 6 x 14" <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Tamanho:</b> 1,8 x 4,3 m; <b>Abertura:</b> 65 malhas (0,208 mm); <b>Motor:</b> 2 x 12,5 CV / 1750 rpm; <b>Capacidade:</b> 60 t/h.	
<b>Código:PV 02</b>	Equipamento: <b>Peneira vibratória</b> (PE-02)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDEN ALLIS Mod. MNS 30012/2A; <b>Quantidade:</b> 1;	
<b>Dimensões:</b> 1,2 x 3,0 m; <b>Abertura:</b> 1º deque : 9,5 mm; 2º deque: 1 mm (2 mm) <b>Motor:</b> 12,5 cv /1735 rpm <b>Capacidade:</b> 60 t/h	
<b>Código:MR</b>	Equipamento: <b>Britador de rolos</b> (BR-01)
<b>Fabricante:</b> MAROBRÁS Mod. SHAMPION RDR 5045; <b>Quantidade:</b> 1	
<b>Dim. dos rolos:</b> C:430mm x D:530 mm; <b>Consumo de rolos:</b> 0,008g/t; <b>Velocidade dos rolos:</b> 105 rpm; <b>Motor:</b> 2x 15cv/ 880 rpm; <b>Capacidade:</b> 7,5 t/h; <b>Abertura de descarga:</b> 6,5 mm.	
<b>Código:CH 01</b>	Equipamento: <b>Classificador espiral</b> (CE-01)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDENALLIS Mod. LD 24"; <b>Quantidade:</b> 1	
<b>Dimensões:</b> CXD 6,5 x 0,6 m x2; <b>Porcentagem de sólidos:</b> 75% <b>Velocidade:</b> 32 rpm <b>Motor:</b> 2x10HP/1.750 rpm; <b>Capacidade:</b> 100 t/h. <b>Corte:</b> 100 mesh	
<b>Código:PD - 02</b>	Equipamento: <b>Peneira desaguadora</b> (PE-03)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDEN ALLIS Mod. D 6'X14'; <b>Tamanho:</b> 1,8 x 4,3 m; <b>Abertura:</b> 1,0mm; <b>Motor:</b> 2x 12,5 CV / 1750 rpm <b>Capacidade:</b> 60 t/h	
<b>Código:DWP</b>	Equipamento: <b>Dynawhippool (Concentrador de meio denso)</b>
<b>Modelo:</b> WILMOT 15½" <b>Fabricante:</b> CIM <b>Diâmetro/Comprimento:</b> 15,5''(0,39m) / 46''(1,17m); <b>Alimentação:</b> 50 t/h; <b>Polpa:</b> pressão 0,8 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Porcentagem de sólidos:</b> 73%; <b>Vazão:</b> 310 m <sup>3</sup> /h <b>Consumo de sólidos:</b> 0,11 kg/t de FeSi ; 0,17 kg/t de magnetita	
<b>Código:PE - 01</b>	Equipamento: <b>Peneira estática / linha de rejeito</b> (PE-04)
<b>Fabricante:</b> INDUSTRIAL CONVENTOS Mod. SB R2036 B 1110; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões:</b> 1,1 x 1,96 m; <b>Abertura:</b> 0,8 mm; <b>Capacidade:</b> 230 m <sup>3</sup> /h <b>Alimentação:</b> 155 m <sup>3</sup> /h com 71% de sólidos (em peso)	
<b>Código:PD - 03</b>	Equipamento: <b>Peneira desaguadora de rejeito</b> (PE-06)
<b>Fabricante:</b> FAÇO/BOLIDE ALLIS Mod. D 6'x14"; <b>Tamanho:</b> 1,8 x 4,3 m; <b>Abertura:</b> 0,8 mm; <b>Motor:</b> 2x 12,5 CV / 1.750 rpm; <b>Capacidade:</b> 60 t/h.	

**Quadro I - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento do minério de bauxita da mina Caracuru, MSL**

<b>Código:BP 01</b>	<b>Equipamento:</b> Bomba de polpa (BP-02)
<b>Fabricante:</b> WARMAN/HERO; <b>Modelo:</b> Centrífuga Horizontal; <b>Sucção:</b> 13 cm; <b>Recalque:</b> 18 m; <b>Potência:</b> 25 CV; <b>Capacidade:</b> 130m <sup>3</sup> /h.	
<b>Código:SM</b>	<b>Equipamento:</b> Separador magnético (SM-01)
<b>Fabricante:</b> EQUIMAG/ ERIEZ MAGNETICS; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Tipo:</b> Co-corrente duplo; <b>Campo magnético:</b> 400 G; <b>Capacidade:</b> 103m <sup>3</sup> /h. (35% sólidos)	
<b>Código:CH - 01</b>	<b>Equipamento:</b> Classificador espiral (CE-02)
<b>Fabricante:</b> CIMAQ; Mod. CE1200 Passo duplo D48''-150 <b>Quantidade:</b> 1	
<b>Dimensões:</b> CXD 1,22 x 7,3 m; <b>Percentagem de sólidos:</b> 31,4% em peso; <b>Velocidade:</b> 5,7 rpm <b>Motor:</b> 5/1.715 CV / rpm; <b>Capacidade:</b> 100 m <sup>3</sup> /h. <b>Corte:</b> 74 mm	
<b>Código:PE - 02</b>	<b>Equipamento:</b> Peneira estática (linha de produto) PE-05)
<b>Fabricante:</b> INDUSTRIAL CONVENTOS Mod.SB R2036 B1110; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões:</b> 1,10 x 1,96 m (tela curva R=2,01m); <b>Abertura:</b> 0,8 mm; <b>Capacidade:</b> 175 m <sup>3</sup> /h (74% de sólidos, em peso)	
<b>Código:TA - 02</b>	<b>Equipamento:</b> Tanque de agitação (TP-01)
<b>Fabricante:</b> Fabricação própria; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Diâmetro/altura:</b> 5 m <sup>3</sup> (cônico); <b>Motor:</b> inexistente; <b>Velocidade da hélice:</b> inexistente	
<b>Código:BP 02</b>	<b>Equipamento:</b> Bomba de polpa
<b>Fabricante:</b> WARMAN/HERO; <b>Modelo:</b> Bomba centrífuga horizontal	
<b>Sucção:</b> 13 cm; <b>Recalque:</b> 16 m; <b>Potência:</b> 100 CV; <b>Capacidade:</b> 350 m <sup>3</sup> /h.	



ouro

RPM

---

# RPM – RIO PARACATU MINERAÇÃO

Marisa Bezerra de Melo Monte<sup>1</sup>

João Alves Sampaio<sup>1</sup>

Paulo Ferreira Gontijo<sup>2</sup>

Luís Albano Tondo<sup>2</sup>

■ A RIO PARACATU MINERAÇÃO S/A – RPM, está localizada no município de Paracatu, região Noroeste de Minas Gerais, distante cerca de 500 km de Belo Horizonte e 200 km de Brasília. O controle acionário da RPM pertence ao grupo Rio Tinto Brasil e à Autram Mineração. A Rio Tinto Brasil, subsidiária do grupo mundial Rio Tinto, detém 51% das ações. A Autram Mineração, com 49% das ações, faz parte do grupo TVXNA (TVX Normandy Américas).

A Rio Tinto Brasil iniciou o projeto Morro do Ouro em dezembro de 1987, viabilizando o aproveitamento do minério de rocha primária de mais baixo teor médio de ouro conhecido no mundo, na época 0,7 g/t.

## Geologia

O minério de ouro lavrado pela RPM é um metapelito situado na base da Formação Paracatu, cuja seqüência foi informalmente denominada Fácies Morro do Ouro, composta por filitos sericíticos carbonosos, com intercalações de até 8 m de quartzitos e ocorrência de *boudins* de quartzo.

Essa seqüência foi subdividida em três grandes unidades, da base para o topo:

- a) a unidade A constitui a lapa do minério, sendo representada por filitos carbonosos rítmicos sem ocorrência de *boudins* de quartzo, com teores de ouro inferiores a 0,1 g/t;
- b) a unidade B, grande portadora do ouro extraído da jazida, formada por filito sericítico e subdividida nas unidades B1 e B2;
- c) a unidade B1, base do minério lavrável, é constituída de minério grafitoso;
- d) unidade B2, rocha fresca, contém entre 3 e 5% de sulfetos (pirita e arsenopirita) disseminados ao longo da foliação da rocha e concentrados nos *boudins* de quartzo;
- e) a unidade C, do topo, caracteriza-se pela ausência de matéria carbonosa, constituindo a unidade mais rica do depósito com teores médios de ouro da ordem de 1,0 g/t.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro, RIO PARACATU MINERAÇÃO

A mineralização aurífera do Morro do Ouro pode ser atribuída à precipitação de fluídos hidrotermais da própria rocha encaixante, ricos em ouro, sulfetos, carbonatos e sílica.

O ouro ocorre sob diferentes formas:

- a) ouro livre disseminado na rocha e concentrado em *boudins* de quartzo;
- b) ouro residual resultante da decomposição dos sulfetos e carbonatos;
- c) ouro associado aos sulfetos e carbonatos na unidade B2, e
- d) ouro reconcentrado por processo laterítico.

As reservas de minério do Morro do Ouro são estimadas atualmente em 230 milhões de toneladas lavráveis, com um teor médio de ouro de 0,459 g/t.

A lavra do minério é a céu aberto, com bancadas de 8 m (Figura 1). Por se tratar de um minério friável, a RPM faz o seu desmonte sem a utilização de explosivos. As operações de lavra iniciam-se com o desmatamento e decapeamento da cobertura vegetal, utilizando trator CAT-D6E (uma unidade), seguido do desmonte com tratores CAT-D10N (três unidades) utilizando escarificador, carregamento com carregadeiras CAT-992D (três unidades) e transporte por caminhões CAT-777C (10 unidades) com capacidade de 85 t. O teor de corte da mina situa-se na faixa de 0,350 g/t. A alimentação da usina (Figura 2) é proveniente de duas frentes de lavra, cuja movimentação anual de ROM é de 21 milhões de toneladas, mantendo ainda um estoque de emergência de 400.000 t, para ser utilizado em épocas chuvosas (novembro a março). Atualmente, a RPM faz a lavra por blocos com NPV (*net present value*) positivo, não se importando com a qualidade do bloco, isto é, se é minério de transição CT, B1 ou B2.



Figura 1: Operação de carregamento em frente de lavra da RPM, em Morro do Ouro.

## Beneficiamento

O processo de beneficiamento do minério na usina da RPM inicia-se com a britagem, realizada em circuito aberto de dois estágios. O circuito de britagem é constituído por *quatro linhas paralelas, com capacidade de 1.000 t/h cada*. Após desmonte e transporte, os caminhões descarregam o minério na linha de britagem, sobre uma moega com capacidade de 100 m<sup>3</sup>, protegida por grelha horizontal. Duas retroescavadeiras removem os blocos de rocha. Em seguida, um alimentador de sapatas de 500 x 1.500 mm conduz o material a uma peneira primária (de escalpe), duplo deque, com abertura de 75 e 31 mm, respectivamente. O material passante no

segundo deque é conduzido por meio de transportador de correia para o silo de blendagem, seguindo para o circuito de moagem.

O material retido no primeiro e segundo deques da peneira primária alimenta um britador de impacto HAZEMAG. O produto britado é peneirado numa peneira vibratória secundária (deque único de 31 mm). O material retido alimenta um britador cônico, gerando um produto 100% passante em 10 mm. Os produtos da britagem secundária juntam-se ao material passante nas peneiras primária e secundária sendo conduzidos, por meio de transportadores de correia, para o silo de blendagem, com capacidade de 310 m<sup>3</sup>. Deste silo, por meio de transportadores de correia, o material é conduzido a outros dois silos do circuito de moagem.



**Figura 2: Vista parcial das instalações da usina da RPM**

A moagem é feita através de quatro linhas paralelas, constando cada uma, de um moinho com alimentador tipo *spout feeder*, trabalhando com 70% da velocidade crítica (14,1 rpm) e carga de corpos moedores correspondente a 35% do seu volume interno. Cada linha opera a uma taxa de 650 t/h, cuja granulometria de alimentação apresenta um valor de  $F_{80}$  igual a 7,43 mm, o que permite obter um produto final com 80% abaixo de 75 mm. A descarga de cada moinho é bombeada para um conjunto de duas baterias de dezesseis hidrociclones KREBS (oito ciclones por bateria), modelo D20B, com capacidade de 325 t/h por unidade. O overflow dos hidrociclones apresenta 92% do material passante em 147  $\mu\text{m}$  e alimenta a etapa de flotação nas células desbastadoras (*scavenger*). O underflow, cuja granulometria apresenta 25% passante em 147  $\mu\text{m}$ , segue para a etapa de flotação recuperadora (*rougher*) nas células unitárias. Uma parte desse fluxo é desviada para o circuito de jigagem. Os concentrados dos jigues, com teores de ouro de cerca de 25 g/t, são enviados diretamente para a unidade de hidrometalurgia, juntando-se aos concentrados finais do processo de beneficiamento. A Figura 3 apresenta um fluxograma simplificado do beneficiamento do minério aurífero da RPM.

## Flotação nas células unitárias

Este circuito é constituído por quatro células unitárias OUTOKUMPU para cada linha de moagem. Todas as células deste circuito apresentam a mesma capacidade, 8 m<sup>3</sup>. A polpa que alimenta essas células, provém das calhas coletoras do underflow dos hidrociclones. Em uma segunda etapa, são adicionados neste ponto o coletor mercaptobenzotiazol (30g/t) e o espumante metil-isobutil-carbinol MIBC (25 g/t). A seguir a percentagem de sólidos da flotação (25%) é ajustada, através da adição de água de diluição. Os produtos flotados nessas células são reprocessados no circuito das células limpadoras (*cleaner 1*). O não flotado retorna ao circuito de moagem. A recuperação de ouro nessa etapa é de 30% e de massa é 1,9%.

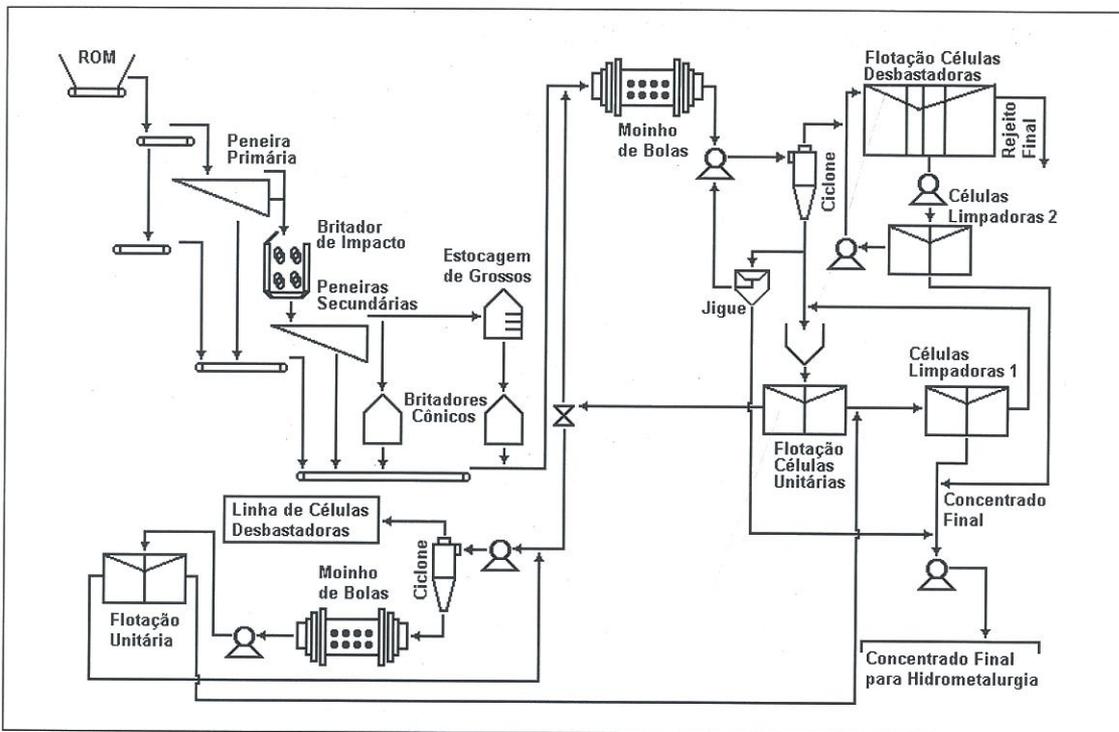


Figura 3: Fluxograma de beneficiamento do minério aurífero CT, B1 e B2 da RPM.

### Flotação nas células limpadoras 1 (*cleaner 1*)

Este circuito é constituído por duas baterias de oito células unitárias OUTOKUMPU retangulares de 8 m<sup>3</sup>. O produto flotado das células unitárias recuperadoras é a alimentação desse estágio, onde não é requerida a adição de reagentes. O concentrado obtido nas células limpadoras 1 constitui o produto final do beneficiamento, sendo bombeado para a unidade de hidrometalurgia. O rejeito obtido nessa etapa é reprocessado nas células unitárias recuperadoras.

### Flotação nas células desbastadoras

Este circuito é constituído de quatro linhas em paralelo, com capacidade de 500 t/h cada, totalizando oito células cilíndricas WEMCO, vinte unidades WEMCO retangulares e oito células OUTOKUMPU com capacidades de 127, 42,5 e 16 m<sup>3</sup>, respectivamente. A polpa com 35% de sólidos, *overflow* dos hidrociclones, é bombeada na vazão de 500 t/h para as células desbastadoras, onde é adicionada uma solução de 10% de CaO, ajustando-se o pH para 6,5. O coletor, mercaptobenzotiazol (10 g/t), os espumantes, MIBC (10 g/t), polipropileno glicol DOWFROTH (5,0 g/t) são, também, adicionados diretamente nas células. A seguir, é ajustada a percentagem de sólidos da flotação para 30% de sólidos, por meio da adição de água de diluição. Os produtos flotados, obtidos numa única etapa, são reprocessados no circuito das células desbastadoras limpadoras 2 (*cleaner 2*). O deprimido desta unidade constitui o rejeito final. Cerca de 50% do rejeito da flotação segue diretamente para a barragem de rejeitos, enquanto que a outra parte é conduzida por gravidade para dois espessadores, onde parte da água é recuperada. A recuperação de ouro nessa etapa é de 40% e a de massa é de 7%. O teor médio de ouro do rejeito é de 0,107 g/t.

## Flotação nas células limpadoras 2 (*cleaner 2*)

Este circuito é constituído por uma bateria de dez células retangulares WEMCO de 16 m<sup>3</sup> de capacidade. O produto flotado das células desbastadoras é a alimentação desse estágio, onde não é requerida a adição de reagentes. O concentrado obtido nas células limpadoras 2 constitui o produto final do beneficiamento, que é bombeado para a unidade de hidrometalurgia. O rejeito obtido nessa etapa é reprocessado nas células desbastadoras.

## Espessamento do rejeito das células desbastadoras

Cerca de 50% do rejeito proveniente das células desbastadoras é alimentação de dois espessadores MININGTECH de 75 m de diâmetro. A capacidade nominal de cada espessador do rejeito é de 490 t/h, com o *underflow* apresentando 45% de sólidos, e com uma velocidade de sedimentação igual a 120 cm/h. O *overflow* do espessador constitui a água de recirculação do processo. A RPM recupera 90% da água que é utilizada em toda a usina.

## Circuito de moagem do concentrado de flotação

A moagem do concentrado de flotação é necessária para adequar a granulometria do material ao processo de lixiviação. Esse circuito consta de um moinho cilíndrico ATLAS operando em circuito fechado com três hidrociclones KREBS (254 mm de diâmetro). A descarga do moinho é bombeada para esses hidrociclones, fechando o circuito. O moinho tem capacidade para processar 288 t/h, gerando-se um produto com 95% abaixo de 44 µm.

Parte do *underflow* do hidrociclone (acima de 44 µm) alimenta três centrifugadores Knelson, em série, que realizam a limpeza da fração mais grossa do concentrado de flotação. O concentrado gravítico (*Knelson*) obtido é enviado diretamente para o forno de indução.

## Espessamento do concentrado remoído

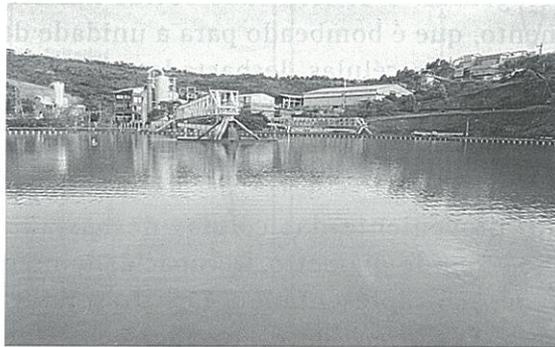
O *overflow* dos hidrociclones KREBS do circuito de moagem de concentrado é enviado por gravidade para dois espessadores de concentrado. Os dois espessadores da ENVIROTECH de 16 m de diâmetro processam, no total, 40 t/h. A adição de floculante, um polímero de alto peso molecular, proporciona uma velocidade de sedimentação de 120 cm/h. Toda a água recuperada nesta unidade (*overflow* dos espessadores) é recirculada e não sofre nenhum tratamento adicional. O teor mínimo de ouro para o concentrado a ser espessado é de 25 g/t. A Figura 4 apresenta uma vista dos espessadores de concentrado remoído.

## Hidrometalurgia

### Circuito CIL (*Carbon in Leach*)

O circuito de lixiviação consta de um tanque de pré-aeração e sete tanques CIL, dispostos em série, com capacidade nominal de 300 m<sup>3</sup> cada. O *underflow* dos dois espessadores de concentrado, com percentagem de sólidos de 40%, é bombeado para o primeiro tanque de lixiviação do circuito CIL, onde são adicionados cianeto de sódio na concentração de 0,08% e CaO, ajustando-

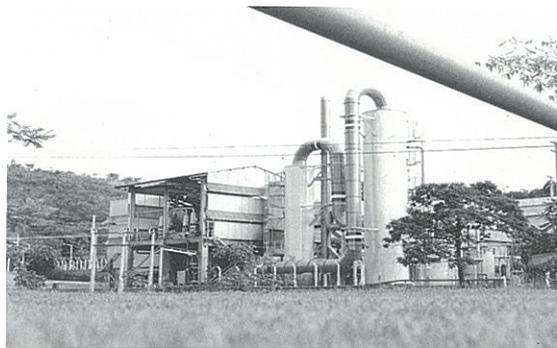
se o pH para uma faixa de 10,5 a 11,0. No oitavo tanque CIL é adicionado carvão ativado (30 g/t), necessário ao processo de adsorção do ouro, seguindo para os demais tanques em contracorrente com o fluxo da polpa.



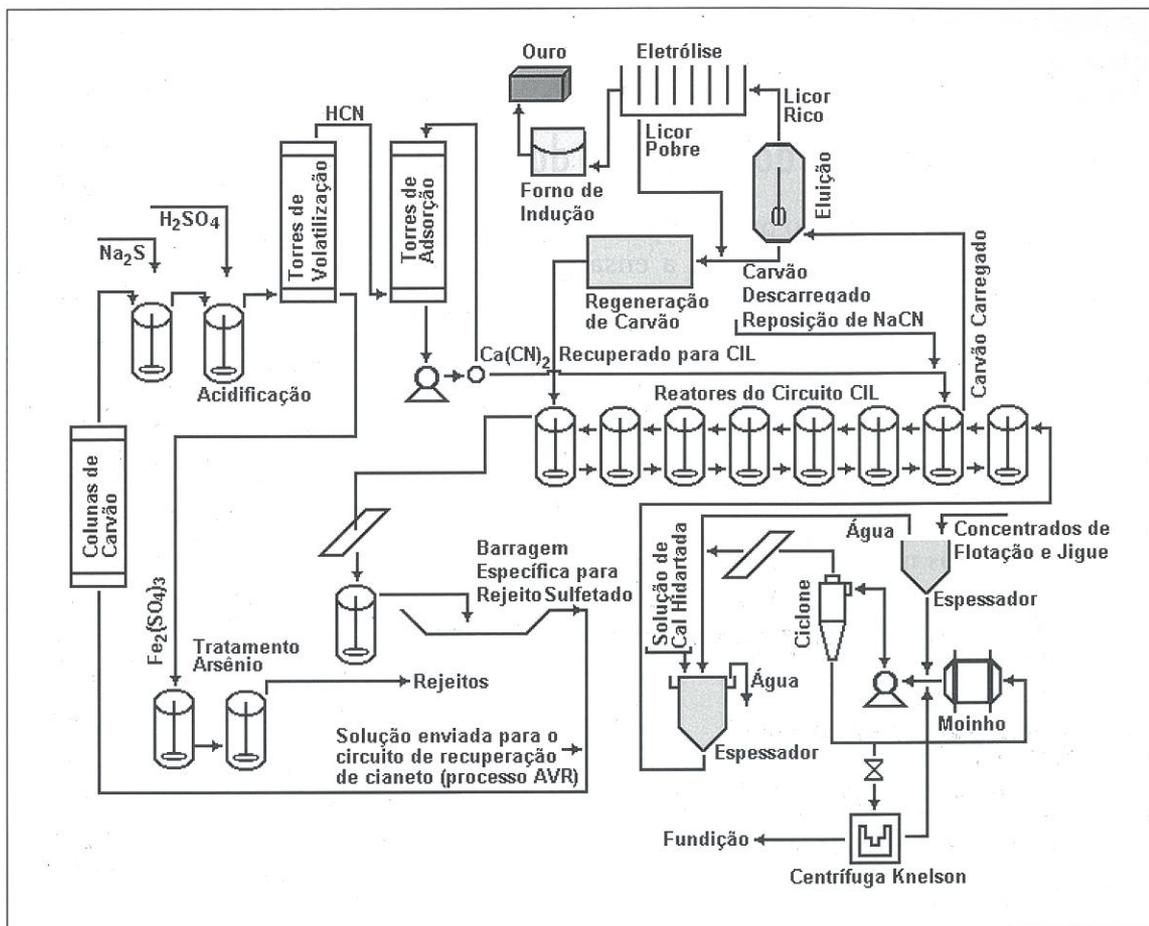
**Figura 4: Vista dos espessadores de rejeito da RPM**

Os tanques utilizados no processo de lixiviação e adsorção do ouro são agitados por ar comprimido. Após o tempo mínimo de 30 h de contato entre os sólidos e os reagentes químicos, a polpa do oitavo tanque CIL é transferida para um tanque específico de tratamento e precipitação de sólidos. A solução deste tanque é então bombeada para a unidade de recuperação de cianeto (processo AVR), onde parte do cianeto contido é recuperado e enviado novamente para o circuito de lixiviação. A solução remanescente é tratada em quatro tanques de 100 m<sup>3</sup> cada, com sulfato férrico, para precipitação de arsênio. Só então a solução é enviada para o canal de efluentes, após ser totalmente tratada. A recuperação de ouro na etapa do processo hidrometalúrgico é de 92%. O rejeito da cianetação apresenta um teor de ouro de 1,0 g/t. A Figura 5 apresenta uma vista parcial da unidade hidrometalúrgica.

O carvão ativado carregado com ouro, proveniente do segundo tanque, é transferido para a etapa de eluição, após ser lavado e peneirado. O processo de dessorção, denominado de Processo Zadra, consiste na recirculação de uma solução a 1% em peso de hidróxido de sódio a 140°C e a uma pressão de 3 kg/cm<sup>2</sup>, através de uma coluna de eluição e de uma célula de eletrodeposição, durante um período de 10 h. A solução rica em ouro, obtida no circuito de eluição, é transferida para as células eletrolíticas, para eletrodeposição do ouro nos catodos de lâ de aço. Após a saturação, os catodos são enviados para a fundição. O carvão regenerado é adicionado juntamente com o carvão novo, no oitavo tanque CIL. A recuperação de ouro total do processo é de 72%. A Figura 6 apresenta um fluxograma do processo hidrometalúrgico, eletrólise, refino e de tratamento de efluentes.



**Figura 5: Vista parcial da unidade hidrometalúrgica da RPM.**



**Figura 6: Fluxograma do processo hidrometalúrgico, eletrólise, refino e de tratamento de efluentes**

Todo o efluente final da unidade industrial (usina de beneficiamento e hidrometalurgia), exceto o rejeito sulfetado, é encaminhado através de um canal até a barragem de contenção de rejeitos. Conforme já mencionado, a polpa do oitavo tanque CIL é transferida para um tanque de tratamento e precipitação de sólidos. Esses sólidos, em vez de seguirem com o rejeito para a barragem, são colocados numa barragem específica, revestida com argila com alto grau de impermeabilidade e, portanto, grande capacidade de reter os elementos contaminantes. Um sistema de bombeamento transfere a solução remanescente dessa barragem para a etapa de recuperação de ouro residual, em duas colunas de carvão seguindo para o circuito de recuperação de cianeto (Processo AVR). Cerca de 60% do cianeto contido no rejeito é recuperado e retorna ao processo CIL, correspondendo a 15% do cianeto total consumido. Após a volatilização do ácido cianídrico dentro do processo AVR, a solução é tratada com sulfato férrico para precipitação de cianeto e arsênio e, a seguir, bombeada para o canal de efluentes.

Além do tratamento de efluentes, a RPM desenvolve projetos voltados para drenagem ácida e recuperação da área para a ocasião da desativação da mina.

## Fundição

Após a eletrodeposição, os catodos de lâ de aço são removidos manualmente das células eletrolíticas e preparados para a fundição em forno de indução de 50 kW. As impurezas metálicas

são removidas juntamente com a escória de bórax. As barras apresentam um teor médio de 80% de ouro e 15% de prata.

## Controle de qualidade do processo da usina da RPM

O controle de qualidade do processo é realizado com o auxílio de amostradores automáticos. As amostras coletadas são submetidas a ensaios físicos (análise granulométrica, percentagem de sólidos, densidade de polpa, umidade) e análises químicas (Au, Ag, S, As e Fe).

## Principais dados operacionais

A capacidade de processamento da usina de RPM é de 2.100 t/h (ROM) sendo a produção anual de ouro da ordem de 5.600 kg.

São consumidos na usina 4.200 m<sup>3</sup>/h de água, correspondendo a 2,0 m<sup>3</sup>/t de minério tratado. A vazão de água de recirculação é de 3.780 m<sup>3</sup>/h o que corresponde a 90% da água utilizada na usina; portanto o consumo de água nova é de 0,2 m<sup>3</sup>/t tratada.

### Circuito de moagem

Consumo de energia na moagem primária: 5,5 kWh/t

#### Percentagem da velocidade crítica do moinhos (%):

Moagem primária: 70

Moagem secundária: 70

#### Percentagem de sólidos (%):

Moagem primária: 70

Moagem secundária: 70

#### Consumo de bolas:

Moagem primária: 290 g/t

Moagem secundária: 100 g/t

### Circuito de flotação células unitárias recuperadoras

Percentual de sólidos: 25% na alimentação

#### Consumo de reagentes:

Mercaptobenzotiazol de sódio (solução 50% v/v ): 30 g/t

Regulador de pH (CaO): 220 g/t

Metil isobutil carbinol: 25 g/t

pH da flotação: 6-6,5

Tempo de residência do minério na flotação: 16 min

## Circuito de flotação células desbastadoras

Percentual de sólidos: 30% na alimentação

### Consumo de reagentes:

Mercaptobenzotiazol de sódio: 10 g/t

Metil isobutil carbinol: 15g/t

Dowfroth: 5g/t

pH da flotação 6,5

## Espessamento

### Razão de espessamento

Concentrado remoído: 0,209 m<sup>2</sup>/t/24h.

Rejeito: 0,187 m<sup>2</sup>/t/24h.

Teor de Au da alimentação : 0,48 g/t

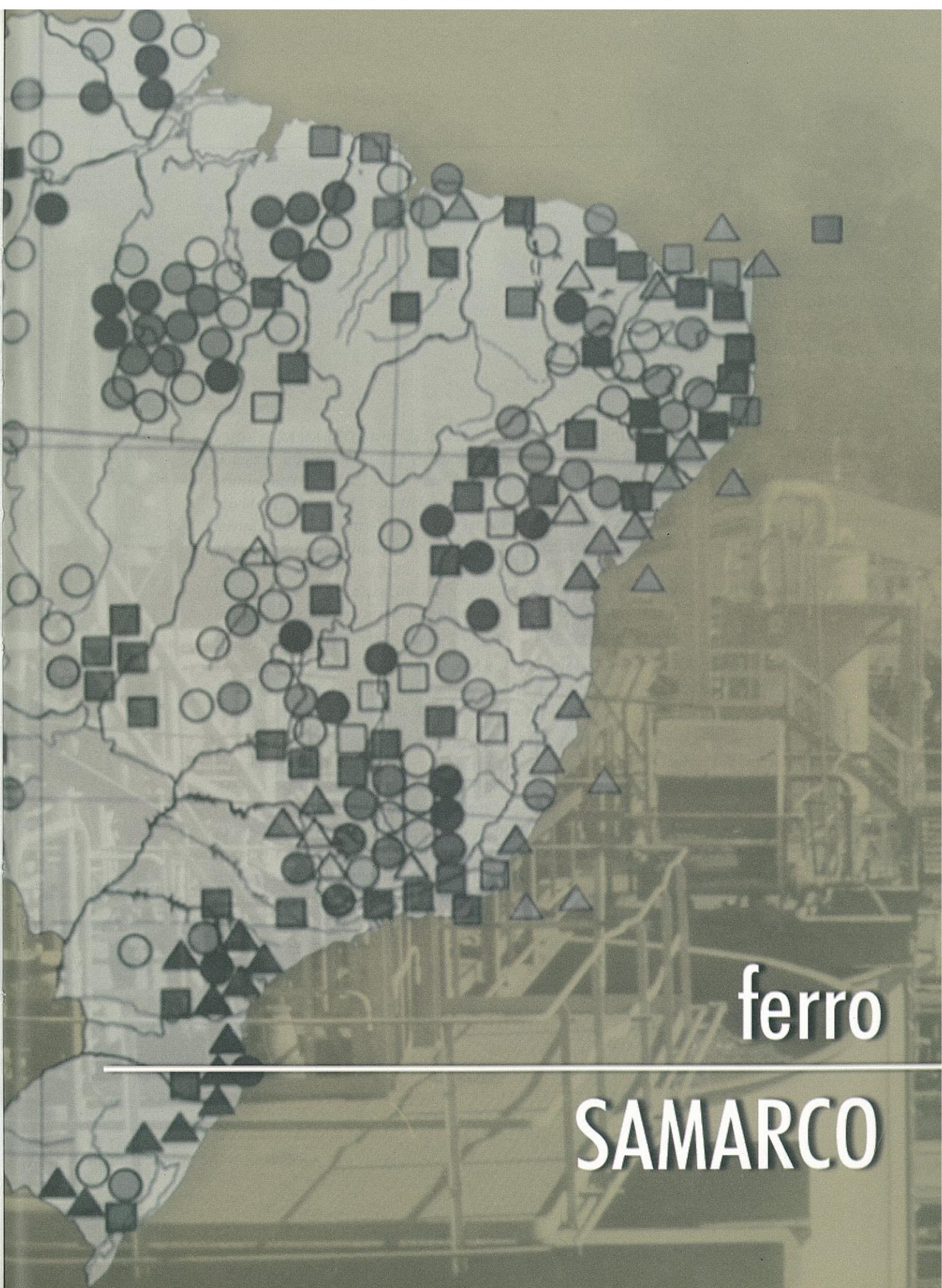
Teor de Au do rejeito: 0,107 g/t

Recuperação de Au na flotação unitária recuperadora: 30%

Recuperação de Au na flotação desbastadora: 40%:

Recuperação de Au no circuito de hidrometalurgia: 92,18%

Recuperação global de ouro nas usinas de beneficiamento e hidrometalúrgica: 71,84%



ferro

---

**SAMARCO**

# ferro

## SAMARCO

Marisa Bezerra de Mello Monte<sup>1</sup>  
João Alves Sampaio<sup>1</sup>  
Jurgen Schnellrath<sup>1</sup>  
Walter Ladeira<sup>2</sup>  
Clenice Galinari<sup>2</sup>

■ A SAMARCO Mineração S.A. é a pioneira no Brasil na concentração de itabirito por flotação, um minério que no passado não era explotado devido ao baixo teor de ferro e à granulometria fina. A empresa mantém usinas industriais em dois estados brasileiros. As atividades de lavra, beneficiamento, transporte, pelotização e embarque são realizadas de forma integrada entre a usina de Germano, município de Mariana, MG, e a usina industrial de Ponta do Ubu, em Anchieta, ES. Assim, o concentrado do minério de ferro é transportado, em forma de polpa, por um mineroduto de 396 km de extensão, ligando as duas usinas industriais. A localização da usina de pelotização, no litoral, permite que a empresa mantenha e opere um porto próprio por onde escoa sua produção de pelotas, destinada aos clientes na Europa, Ásia, África, Oriente Médio e Américas.

O controle acionário da SAMARCO pertence à CVRD – Companhia Vale do Rio Doce e a BHP Brasil, que faz parte do grupo australiano The Broken Hill Proprietary Company Limited. Cada companhia detém 50% das ações.

O processo de produção da SAMARCO, que resulta em 12 milhões de toneladas de concentrado por ano, começa na usina de Germano, onde o itabirito é lavrado na mina de Alegria, com reservas estimadas em mais de 5 bilhões de toneladas. O ferro ocorre em uma espessa seqüência de formações ferríferas sedimentares metamorfizadas em itabirito. Os principais minerais de ferro são hematita, goethita (limonita), hematita especular e magnetita. O quartzo e os silicatos foram removidos da superfície por intemperismo, devido à lixiviação preferencial da sílica, e levou, conseqüentemente, à concentração dos óxidos de ferro no minério residual. A Tabela 1 apresenta a composição mineralógica do minério da mina de Alegria. Desde a lavra, as principais características químicas, físicas e mineralógicas do minério são monitoradas, a fim de garantir as características requeridas para o concentrado.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro, SAMARCO

## Lavra

A lavra do minério é a céu aberto, com bancadas de 16x15 m, e a relação esteril-minério é 0,40:1. Por se tratar de um minério friável, o desmonte é feito principalmente por tratores e carregadeiras frontais de grande porte. O teor de corte da mina situa-se na faixa de 40% de Fe. Conforme o planejamento de lavra, os tipos de minério das frentes de lavra são blendados (teor médio de Fe igual a 48%) passando, a seguir, por um alimentador de correia com grelha fixa, de abertura igual a 24,5 cm. A fração abaixo dessa granulometria alimenta uma peneira vibratória com abertura de 15,24 cm. O material passante é conduzido através de transportadores de correia até a pilha pulmão. É um sistema de correias, com 4 km de extensão, que transporta o minério da pilha pulmão até a usina de beneficiamento.

**Tabela 1 - Composição mineralógica do minério de ferro – Mina de Alegria.**

Principais minerais	Fórmula Química	Distribuição (%)
Hematita especular	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,0
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,0
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1,0
Goethita	FeO(OH)	19,8
Limonita	FeO(OH).nHO	2,2
Quartzo	SiO <sub>2</sub>	24,0

## Beneficiamento

O processo de beneficiamento do minério na usina de Germano inicia-se com a britagem, realizada em circuito fechado de dois estágios, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. Na etapa seguinte, o minério segue para a unidade de concentração, cujo processo consta de moagem em dois estágios, pré-primária e primária; classificação/deslamagem; flotação convencional; remoagem; flotação em coluna; um circuito de flotação de finos (colunas *re-cleaner*), finalizando com a operação de espessamento. A Figura 2 apresenta o fluxograma da usina de concentração da SAMARCO. A concentração conta com quatro linhas idênticas e paralelas, excetuando-se a moagem pré-primária (dois moinhos), circuito de flotação em coluna, circuito de flotação em coluna de finos e espessamento (dois para o concentrado e dois para o rejeito de finos).

### Britagem Primária

O minério ROM, que alimenta a unidade de britagem, procede da pilha-pulmão e da mina Alegria 9. O minério da pilha de estoque, com granulometria abaixo de 160 mm, é conduzido através de transportador de correia desde a mina até a unidade de britagem a uma distância de 4 km. Na unidade de britagem, o minério junta-se ao de Alegria 9, constituindo a alimentação do peneiramento primário, realizado numa bateria de peneiras vibratórias (FAÇO - 2,5 x 6,1 m) onde é feita uma separação a seco em três frações, conforme fluxograma da Figura 1.

A fração grossa, acima de 12,5 mm, alimenta a pilha reguladora, enquanto que a fração fina, abaixo de 12,5 mm, segue para a pilha *tripper-car*, que alimenta a moagem pré-primária na unidade de concentração.

O material da pilha reguladora segue para o peneiramento secundário a úmido, também realizado em três faixas granulométricas.

A primeira, acima de 30 mm, alimenta a britagem primária, realizada em britadores giratórios NORDBERG com capacidade de 300 t/h, trabalhando com abertura de 19 mm. A operação é feita em circuito fechado com peneira vibratória de abertura de 30 mm.

A segunda fração, -30 +8 mm, alimenta a britagem secundária, realizada em britadores cônicos BARMAC (três unidades) com capacidade de 300 t/h por unidade, trabalhando em circuito fechado com peneiras de 8,0 mm.

A terceira fração, com granulometria abaixo de 1 mm, constitui a alimentação parcial da etapa de ciclonação, realizada em uma bateria de ciclones ( $\phi$  360 mm). Essa classificação apresenta um  $d_{50}$  igual a 15 mm e produtos, com valores do  $P_{80}$  iguais a 297 e 37 mm, respectivamente para o *underflow* e *overflow*, conforme mostrado no fluxograma da Figura 1.

A descarga dos britadores secundários é também separada em três frações utilizando peneiras vibratórias com classificação a úmido. A primeira fração, com granulometria acima de 8,0 mm, retorna à britagem secundária, fechando o circuito.

A segunda fração, -8,0 + 1,0 mm, passa por nova separação numa peneira vibratória de 0,8 mm, cuja fração grossa (-8,0 + 0,8 mm) é estocada na pilha *tripper-car* e a fração fina (-1 mm) segue para a ciclonação juntamente com a fração de mesma granulometria proveniente do peneiramento secundário.

Como se observa no fluxograma da Figura 1 são obtidos dois produtos na unidade de britagem. O primeiro, com granulometria -12,5 mm, que, junto com a fração (-8,0 mm + 1,0 mm), é estocado na pilha do *tripper-car* e alimenta a unidade de moagem pré-primária. A fração fina, *overflow* da etapa de ciclonação, com valor do  $P_{80}$  igual a 37  $\mu$ m, segue para o circuito de flotação de finos.

## Moagem Pré-primária

A moagem pré-primária é realizada a úmido, em dois moinhos de bolas FULLER em circuito aberto. Cada moinho tem capacidade nominal de 1.112 t/h, opera com 73,7% da velocidade crítica (13,9 rpm) e carga de bolas correspondente a 37% do seu volume interno. O minério, com granulometria abaixo de 12,5 mm, é conduzido a cada linha do circuito de moagem pré-primária, através de transportadores de correia. O produto da moagem, com 100% do material abaixo de 9,5 mm e 70% abaixo de 149  $\mu$ m alimenta a moagem primária na mesma percentagem de sólidos (80%) utilizada no estágio anterior.

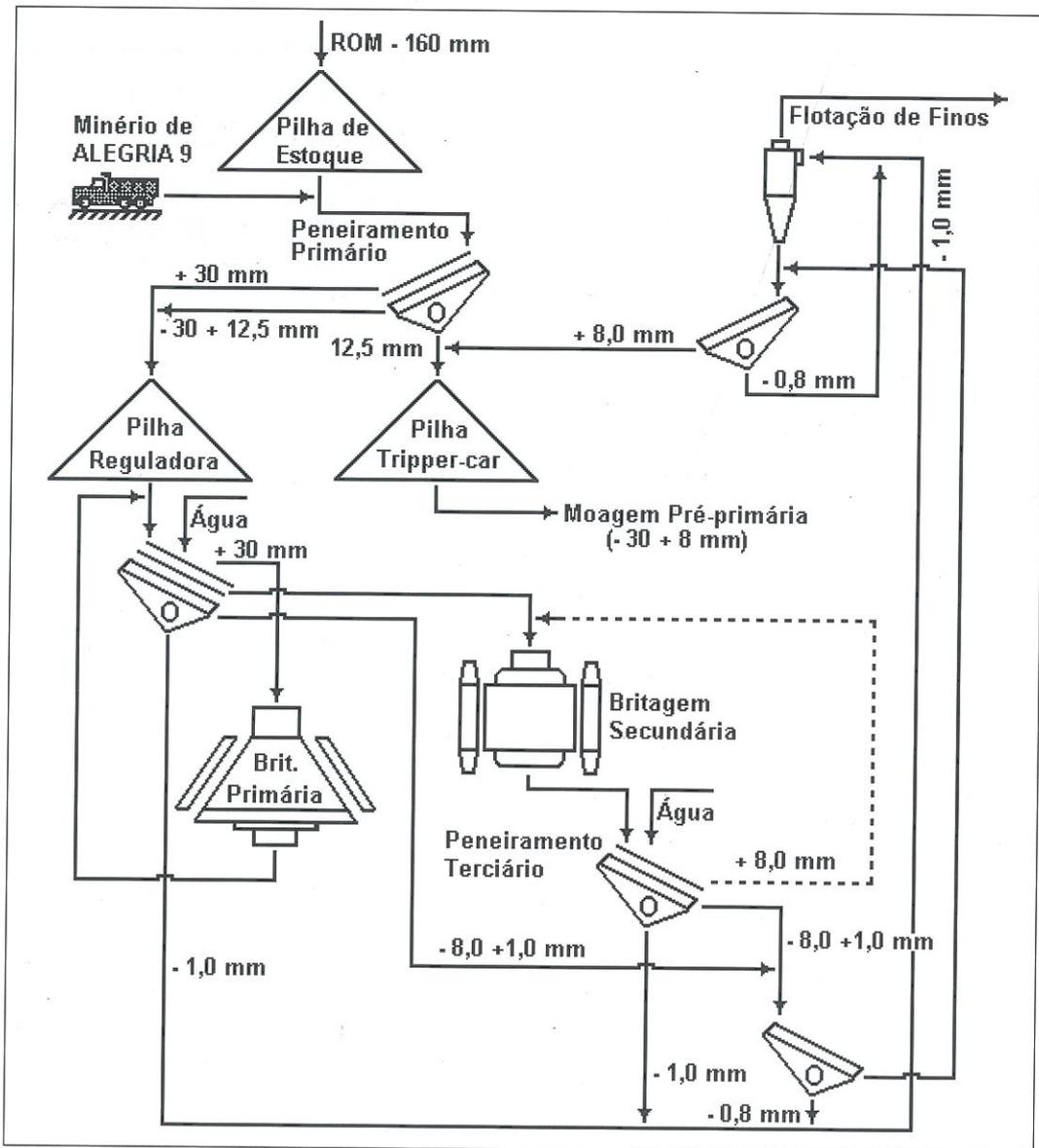


Figura 1: Fluxograma de britagem de minério de ferro da usina de Germano, SAMARCO

## Moagem primária

A moagem primária é feita em circuito fechado reverso através de quatro linhas paralelas, constando cada uma, de um moinho KOPPERS e seis hidrociclones KREBS. Cada linha tem capacidade de 556 t/h e é alimentada pelo produto da moagem pré-primária, cujo  $P_{80}$  é igual a 300 mm. O *overflow* dos hidrociclones, produto final da moagem primária, apresenta 94% do material passante em 149  $\mu$ m e alimenta as etapas de deslamagem. O fluxograma da usina da SAMARCO com o balanço de massas está apresentado na Figura 2.



## Concentração por flotação convencional

O método de concentração utilizado na usina de Germano é a flotação reversa dos minerais de ferro. O circuito é constituído de uma bateria de quatro células *rougher*, uma bateria de três células *cleaner*, uma bateria de quatro células *scavenger* primárias e uma bateria de três células *scavenger* secundárias. Todas as células do circuito apresentam a mesma capacidade, 14 m<sup>3</sup>. A Figura 3 apresenta o fluxograma da flotação convencional.

O minério moído e deslamado (fração acima de 10 µm) segue por bombeamento para o primeiro condicionador (15 m<sup>3</sup>), onde é adicionado hidróxido de sódio, para controle de pH, e amido gelatinizado para deprimir os óxidos e hidróxidos de ferro. O pH da flotação é 10,5. Na segunda etapa de condicionamento é adicionado o coletor, acetato de eteramina, e ajustada a percentagem de sólidos da flotação (40–50%), através da adição de água de diluição. Os produtos flotados nas células *rougher* e *cleaner* são reprocessados no circuito das células *scavenger*, em dois estágios, primário e secundário. O deprimido ou misto das células *scavenger* retorna ao circuito *rougher*. O flotado do segundo estágio das células *scavenger* constitui o rejeito (13% de Fe) que segue por gravidade para a barragem de rejeitos.

O deprimido da operação *cleaner*, que constitui o concentrado da flotação, passa por uma classificação secundária em hidrociclones de 254 mm), com capacidade de 1.364 t/h.

## Classificação secundária

O concentrado *cleaner* da flotação convencional (1.364 t/h) alimenta os hidrociclones secundários. O *overflow* destes (87% < 44 µm) alimenta o circuito de flotação em colunas. O material acima de 44 µm fecha o circuito, retornando à moagem secundária. Após a flotação em colunas, o concentrado é submetido a uma nova etapa de classificação, denominada dupla classificação, em hidrociclones (φ 254 mm). O *underflow* dessa classificação é alimentado a dois moinhos. O *overflow* é produto final e alimenta os espessadores de concentrado. O balanço de massas é apresentado no fluxograma da Figura 2.

## Moagem Secundária

Duas razões básicas justificam a remoagem do concentrado:

- a) possibilitar o transporte através do mineroduto;
- b) obter a superfície específica (1.800 cm<sup>2</sup>/g) adequada ao processo posterior de pelotização.

A moagem secundária é constituída por seis linhas, constando cada de um moinho cilíndrico FULLER em circuito fechado com dez hidrociclones (φ 254 mm). A descarga do moinho é bombeada para esses ciclones, fechando o circuito. Cada moinho tem capacidade para processar 343 t/h, possibilitando a obtenção de um produto com 87% abaixo de 44 µm.

Um dos moinhos da linha é utilizado para remoer o concentrado proveniente da SAMITRI. Nesta etapa são remoídas 240 t/h de concentrado em circuito fechado e parte do material da dupla classificação. Após a remoagem, o concentrado SAMITRI alimenta o espessador de concentrado.

Uma das linhas do circuito de moagem secundária é utilizada na remoagem de parte do concentrado da coluna de flotação (limpadora). Mais detalhadamente, o concentrado da coluna

limpadora passa por hidrociclones de dupla classificação em 46 ciclones ( $\phi$  254 mm) e, então, o material que apresenta uma granulometria acima de 44  $\mu\text{m}$ , é remoído em duas das linhas do circuito de moagem secundária.

## Circuito de flotação em coluna

A fração proveniente da remoagem, com 86% abaixo de 44  $\mu\text{m}$  alimenta a primeira bateria de células de flotação em coluna (Figura 3). Esse circuito é constituído de três colunas *rougher*, retangulares, de 13,6 m de altura e seção de 6 x 3 m; duas colunas *scavenger*, retangulares, de 13,6 m de altura e seção de 4,5 x 3 m, e quatro colunas limpadoras de 13,6 m de altura e seção circular de 3,66 m de diâmetro (Figuras 4A e 4B).

Nesse circuito é adicionado apenas o amido, diretamente nas células *rougher* e *scavenger*. O pH na polpa de flotação varia entre 10,2 e 11,2 e sua percentagem de sólidos, entre 30 e 45%.

Os produtos flotados nas células *rougher* e *cleaner* são reprocessados no circuito das células *scavenger*. O deprimido *scavenger* retorna ao circuito das células *rougher*. O flotado *scavenger* constitui o rejeito final (13% de Fe), seguindo para a barragem de rejeitos.

O não-flotado *cleaner* constitui o concentrado final, a seguir submetido à classificação em ciclones de dupla classificação ( $\phi$  254 mm). A fração acima de 44  $\mu\text{m}$  volta à remoagem em duas das linhas do circuito de moagem secundária. A fração abaixo de 44  $\mu\text{m}$  é bombeada para o espessador de concentrado.

A faixa de vazão nominal de ar é de 150 a 250  $\text{Nm}^3/\text{h}/\text{coluna}$  *rougher*, 100 a 200  $\text{Nm}^3/\text{h}/\text{coluna}$  *scavenger* recuperadora e 150 a 200  $\text{Nm}^3/\text{h}/\text{coluna}$  *cleaner*. A pressão de operação varia entre 6 e 7  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ .

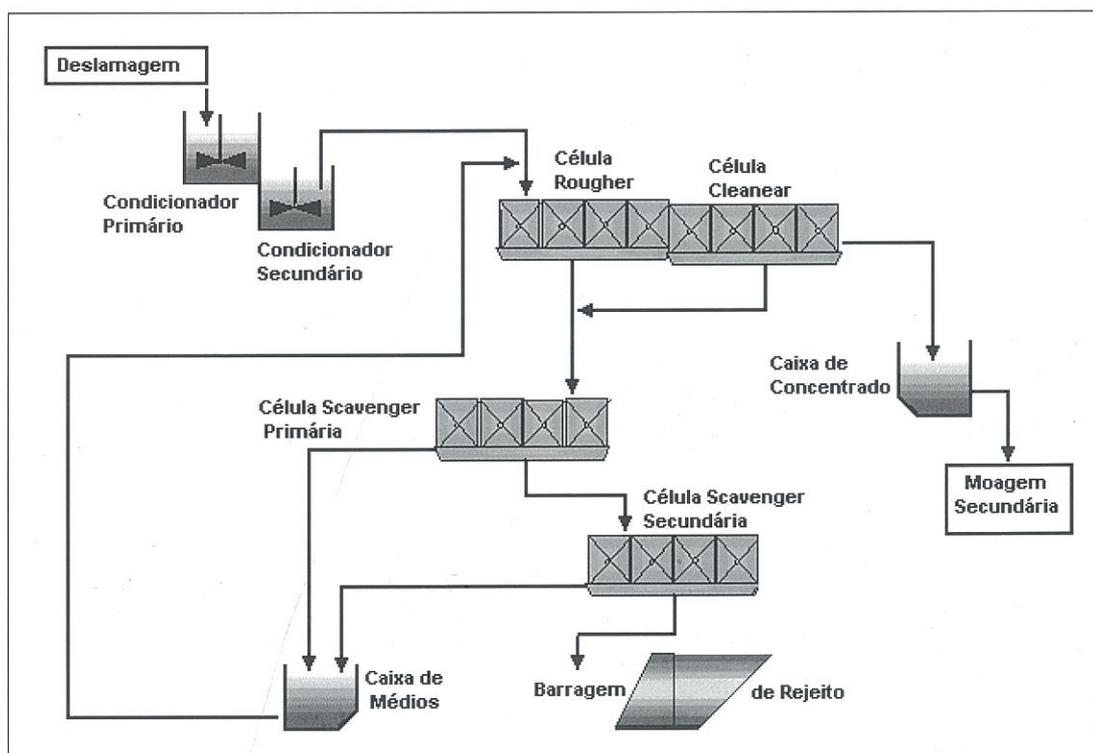


Figura 3: Fluxograma da flotação convencional da usina de Germano, SAMARCO

## Circuito de flotação de finos em coluna

Este circuito tem por finalidade recuperar os finos presentes nas lamas ( $- 44 \mu\text{m}$ ) geradas na deslamagem da moagem primária, ou seja, *overflow* dos ciclones limpadores e deslamadores, juntamente com os finos da rebitagem. O produto final é o concentrado por flotação em coluna.

Este circuito conta com trezentos e sessenta ciclones ( $\phi 100 \text{ mm}$ ) que recebem 240 t/h de finos, 40% dos quais provenientes da unidade de britagem e o restante da deslamagem. A flotação em coluna recebe como alimentação o *underflow* dos ciclones. O *overflow* desses ciclones é encaminhado por gravidade, através de tubulação, para o espessador de lamas.

Um condicionador de  $400 \text{ m}^3$  recebe o *underflow* (64 t/h) dos ciclones ao qual é adicionado amido gelatinizado na proporção de 650 g/t de minério. Do condicionador, a polpa é bombeada para o distribuidor de alimentação da coluna *rougher*. No recalque do bombeamento é feito o ajuste da percentagem de sólidos (35%), através da introdução controlada de água na tubulação. Nesse mesmo ponto é adicionado, também, o coletor amina, sendo a dosagem (100 g/t) controlada por uma bomba dosadora. O pH da polpa igual a 10,5.

A coluna *rougher* é alimentada por gravidade, a partir do distribuidor. Trata-se de uma coluna de seção retangular (3 x 4 m) e 12 m de altura, dividida em seis compartimentos, cada um alimentado individualmente, em correspondência às saídas do distribuidor (Figura 4B). O rejeito desse estágio é considerado rejeito final e encaminhado, por gravidade, para o espessador de lamas.

O concentrado da célula *rougher* é bombeado para o distribuidor de alimentação do estágio *cleaner*. Neste estágio, a coluna também é retangular (2 x 3 m) e 12 m de altura, dividida em quatro compartimentos, cada um alimentado individualmente, de acordo com a vazão de saída do distribuidor. O concentrado final (*cleaner*) é bombeado para os espessadores de concentrado. O rejeito *cleaner* é recirculado para a alimentação da coluna *rougher*. A faixa de vazão nominal de ar é de 80 a  $100 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{coluna rougher}$  e 50 a  $80 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{coluna cleaner}$ . A pressão de operação varia entre 6 e  $7 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ .

## Espessamento do concentrado

O *overflow* dos hidrociclones da dupla classificação, o concentrado *cleaner* do circuito de flotação de finos, o concentrado SAMITRI remóido e o *underflow* da dupla classificação remóido,

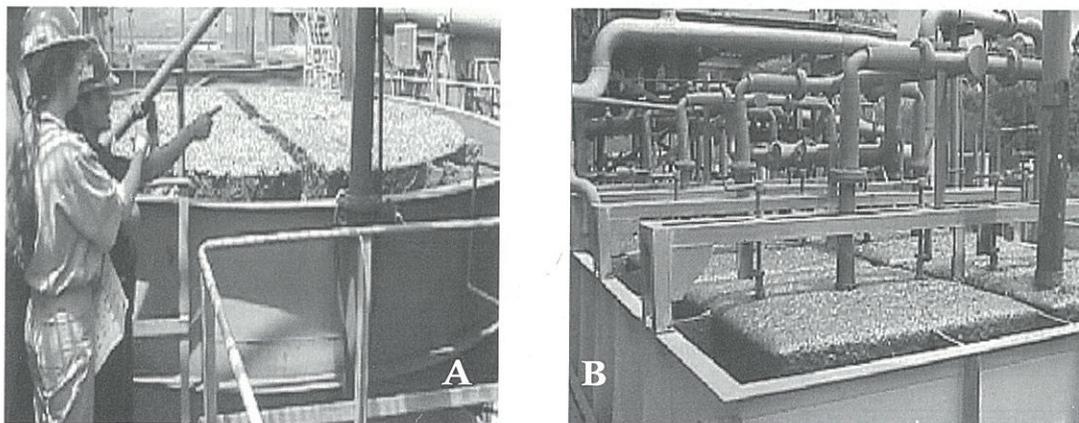


Figura 4: (A) Topo da coluna de flotação de seção circular. (B) Topo da coluna retangular

alimentam os espessadores de concentrado (duas unidades) de 41 m de diâmetro. A capacidade nominal de cada espessador do concentrado é de 800 t/h. O produto final, com 66% de sólidos, tem uma velocidade de sedimentação igual a 120 cm/h. Para acelerar o processo de sedimentação são utilizados como flocculantes o amido e um polímero de alto peso molecular. O *overflow* do espessador constitui a água de recirculação do processo.

O concentrado é transportado em forma de polpa com 66% de sólidos. O bombeamento é monitorado através da sala de controle da estação de bombas, em Germano. O mineroduto apresenta uma disponibilidade de 99% e impacto ambiental menor do que outras formas de transporte. A tubulação passa por 21 municípios, vencendo distâncias e relevos acidentados. Duas estações de bombas e duas válvulas regulam o fluxo dentro do mineroduto. O concentrado atinge uma velocidade média de 6 km/h e vazão de 1.200 m<sup>3</sup>/h. A Figura 5 apresenta detalhes da operação de espessamento da usina .

## Espessamento de lamas

O *overflow* dos ciclones da unidade de processamento de finos é bombeado para os espessadores de rejeito. Os dois espessadores da ENVIROTECH de 71,6 e 59 m de diâmetros processam, no total 176 t/h. O sistema de reagentes utilizados na floculação é o mesmo utilizado no espessamento do concentrado; a água recuperada no *overflow* também é recirculada, sem tratamento adicional.



**Figura 5: Detalhes do circuito de flotação e espessamento das lamas e, ao fundo, vista parcial da barragem de rejeitos.**

## Controle de qualidade do processo da usina de Germano

O controle de qualidade do processo é realizado com o auxílio de 22 amostradores automáticos. As amostras coletadas são submetidas a ensaios físicos (análise granulométrica, densidade de polpa, umidade e área específica – *Blaine*) e análises químicas (Fe, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P e PF).

## Principais dados operacionais

A capacidade de beneficiamento da usina de Germano é de 2.224 t/h (ROM). A produção anual de concentrado é da ordem de 13,3 milhões de toneladas por ano das quais 2,0 milhões de toneladas representam o concentrado proveniente da SAMITRI, que é apenas remóido, adequando sua granulometria e área específica *Blaine* às especificações do processo de pelotização.

O consumo de água nova é de 2.800 m<sup>3</sup>/h, correspondendo a 1,26 m<sup>3</sup>/t de minério tratado. A vazão da água de recirculação é de 6.200 m<sup>3</sup>/h o que corresponde a 69% da água utilizada na usina.

### Circuito de moagem

*Work Index* do minério: 7,7 kWh/t

#### Consumo de energia na moagem (kWh/t)

Moagem pré-primária: 3,24

Moagem primária: 2,20

Moagem secundária (remoagem do concentrado): 14,8

#### Percentagem da velocidade crítica dos moinhos (%):

Moagem pré-primária: 73,7

Moagem primária: 71,25

Moagem secundária: 71

#### Percentagem de sólidos (%):

Moagem pré-primária: 80

Moagem primária: 80

Moagem secundária: 72-78

### Circuito de flotação convencional

Percentual de sólidos: 40-50% na alimentação

#### Consumo de reagentes

Amido gelatinizado: 450 g/t

Regulador de pH (hidróxido de sódio): 180 g/t

Acetato de eteramina primária: 40 g/t

pH da flotação: 10-10,5

### Circuito de flotação em coluna

Percentual de sólidos: 38% na alimentação

#### Consumo de reagentes

Amido gelatinizado: 50 a 70 g/t

Acetato de eteramina primária: sem adição de coletor

pH da flotação: 10,2 – 11,2

## Circuito flotação de finos

Percentual de sólidos: 35% na alimentação

### Consumo de reagentes

Amido gelatinizado: 650 g/t

Regulador de pH (hidróxido de sódio): 180 g/t

Acetato de eteramina primária: 100 g/t

pH da flotação: 10,4

## Espessamento

Área unitária de espessamento

Concentrado: 0,0688 m<sup>2</sup>/t/24h.

Lamas: 1,51 m<sup>2</sup>/t/24h.

Velocidade de sedimentação do concentrado: 120 cm/h

## Características da alimentação e dos produtos da usina

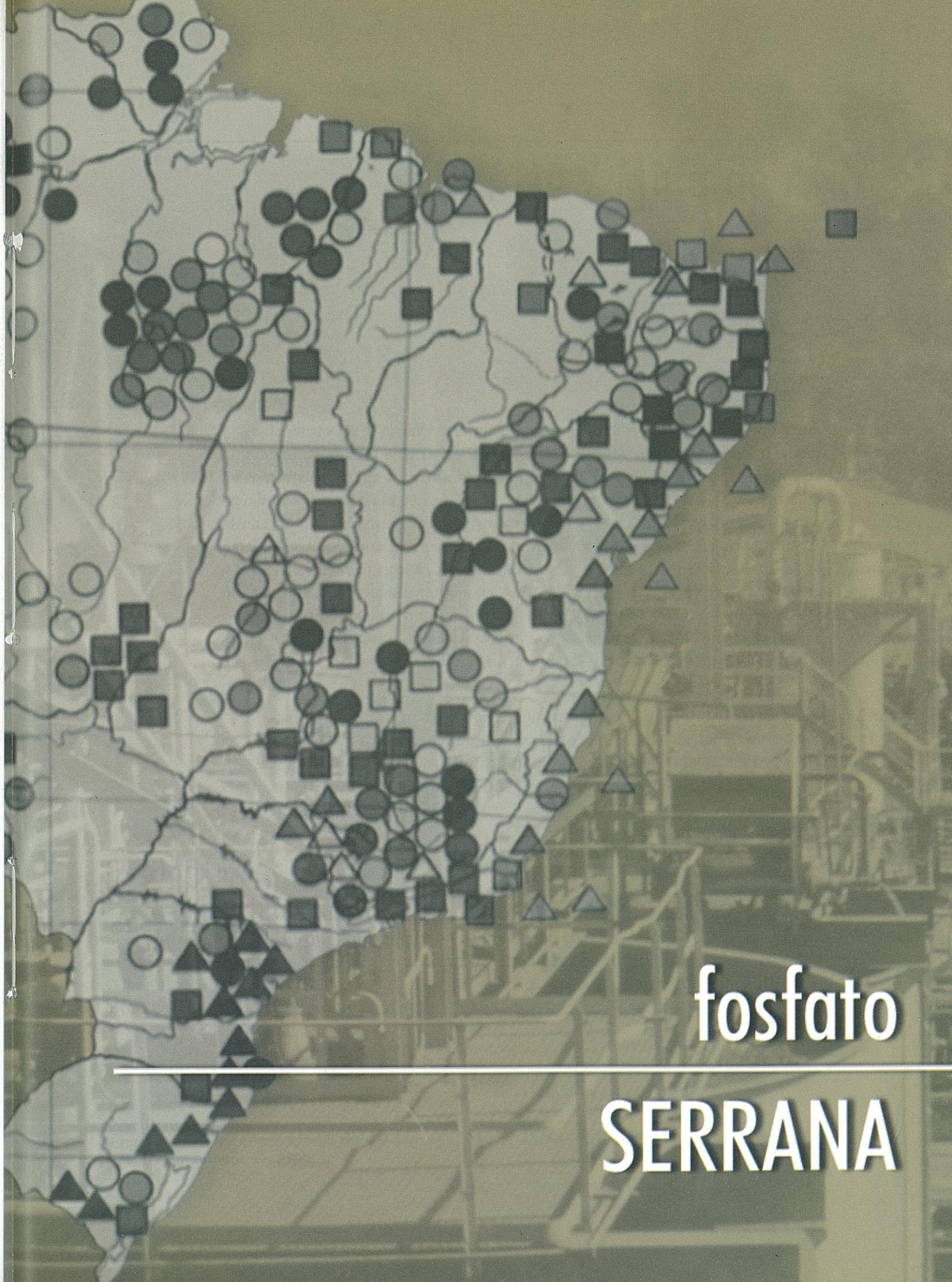
Características do Produtos da Usina					
Alimentação da Usina	Teor (%)				Malha (<100)
	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	PF	
	51%	32%	0,052%	2,9%	55%
Concentrado	Teor (%)			Granulometria (<325)	SE (cm <sup>2</sup> /g)
	Fe	SiO <sub>2</sub>	P		
	66-64%	1,8-1,1%	<0,052%	88,8%	1.824
Balanço Metalúrgico da Usina					
Produtos	Peso (%)	Fe			
		Teor (%)	Dist. (%)		
Alimentação	100	51	100		
Concentrado	65,4	66	84,6		
Rejeito	34,6	22,64	15,4		

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da SAMARCO.

MOAGEM SECUNDÁRIA	
<b>Código:</b>	Equipamento: Moinho de Bolas
<b>Modelo:</b> D15B; com cyclostack	<b>Fabricante:</b> NORDBERG. <b>Capacidade Efetiva:</b> 300 t/h; <b>Quantidade:</b> 2
<b>Código:</b>	Equipamento: Britadores secundários
<b>Modelo:</b> 9600 Duopactor	<b>Fabricante:</b> BARMAC. <b>Capacidade Efetiva:</b> 300 t/h; <b>Disponibilidade:</b> Quantidade: 3
PENEIRAMENTO PRIMÁRIO	
<b>Código:</b>	PV 01 Equipamento: Peneira Vibratória
<b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Quantidade:</b> 8; <b>Dimensão:</b> 2,45 x 6,10 m; <b>Abertura de tela:</b> 3,18 cm; <b>Motor:</b> 40 HP; <b>número de decks:</b> 2, <b>inclinação:</b> 20°	
PENEIRAMENTO NO CIRCUITO DE BRITAGEM	
<b>Equipamento:</b> Ciclones da Usina de Britagem	
<b>Modelo:</b> D15B; com cyclostack	<b>Fabricante:</b> KREBS. <b>Diâmetro:</b> 380 mm; <b>Apex:</b> 80 mm. <b>Vortex:</b> 150 mm. <b>Capacidade Efetiva:</b> 180 t/h das quais, 15 e 85% saem, respectivamente, no <i>overflow</i> e <i>underflow</i> .
MOAGEM PRÉ-PRIMÁRIA	
<b>Código:</b>	Equipamento: Moinho de Bolas
<b>Trabalho:</b> 24 h, com 95% de utilização. <b>Carga de bolas:</b> 300 t; <b>Regime de das bolas:</b> 70% 63,5 mm; 30% 76,2 mm <b>Material da bola:</b> aço;	
<b>Enchimento:</b> 37%; <b>Tipo de revestimento do moinho:</b> Onda simples	<b>Espessura inicial do revestimento:</b> 90 mm; <b>Espessura limite do revestimento:</b> 30 mm;; <b>Motor:</b> 2 x 3000 CV; <b>Capacidade:</b> 1 112 t/h por unidade de moagem.
MOAGEM PRIMÁRIA	
<b>Código:</b>	Equipamento: Moinho de Bolas
<b>Fabricante:</b> KOPPERS; <b>Quantidade:</b> 04; <b>Dimensão:</b> 4,3X5,2 m; <b>Carga de bolas:</b> 100 t; <b>Diâmetro das bolas:</b> 80% 50,8 mm e 20% 63,5 mm;	
<b>Material da bola:</b> aço; <b>Enchimento:</b> 35%; <b>Tipo de revestimento do moinho:</b> Ferro fundido branco de alto cromo com onda dupla; <b>Espessura inicial do revestimento:</b> 85 mm; <b>Espessura limite do revestimento:</b> 30 mm; <b>Motor:</b> 2000 HP; <b>Capacidade:</b> 556 t/h por equipamento.	
MOAGEM SECUNDÁRIA	
<b>Código:</b>	Equipamento: Moinho de Bolas
<b>Fabricante:</b> FUELLER; <b>Quantidade:</b> 04; <b>Dimensão:</b> 5,2 X 10,4 m; <b>Carga de bolas:</b> 400 t; <b>Diâmetro das bolas:</b> 100% de 25 mm;	
<b>Material da bola:</b> bolas de aço cromo; <b>Enchimento:</b> 38%; <b>Tipo de revestimento do moinho:</b> Ferro fundido branco de alto cromo com onda tripla; <b>Espessura inicial do revestimento:</b> 75 mm; <b>Espessura limite do revestimento:</b> 30 mm; <b>Motor:</b> 6.000 CV; <b>Capacidade:</b> 343 t/h por equipamento.	
CICLONES PRIMÁRIOS	
<b>Código:</b>	Equipamento: Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> KREBS; <b>Modelo:</b> D26B; <b>Diâmetro interno:</b> 660 mm; <b>Vortex:</b> 203 mm ; <b>Apex:</b> 114 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 0,8 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 0,149 mm; <b>Quantidade:</b> 24	
CICLONES RASPADORES	
<b>Código:</b>	Equipamento: Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> KREBS; <b>Modelo:</b> D15BB ; <b>Diâmetro interno:</b> 381 mm; <b>Vortex:</b> 114 mm; <b>Apex:</b> 76,2 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 1,3 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 0,74 mm; <b>Quantidade:</b> 32	
CICLONES LIMPADORES	
<b>Código:</b>	Equipamento: Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> KREBS; <b>Modelo:</b> D10LB; <b>Diâmetro interno:</b> 250 mm; <b>Vortex:</b> 63,5 mm; <b>Apex:</b> 51 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 1,7 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 25 µm ; <b>Quantidade:</b> 52	
CICLONES DESLAMADORES	
<b>Código:</b>	Equipamento: Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> AKW; <b>Modelo:</b> ; <b>Diâmetro interno:</b> 101 mm; <b>Vortex:</b> 37 mm; <b>Apex:</b> 14 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 2,1 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 10 µm; <b>Quantidade:</b> 288	

**Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de minério de ferro da SAMARCO.**

CICLONES SECUNDÁRIOS	
<b>Código:</b> ES01	<b>Equipamento:</b> Espessador do concentrado
<b>Fabricante:</b> ENVIROTECH; <b>Modelo:</b> <b>Quantidade:</b> 02;	
<b>Dimensões:</b> 41 m de diâmetro; <b>Capacidade:</b> 800 t/h.	
<b>Código:</b> ES02	<b>Equipamento:</b> Espessador do rejeito
<b>Fabricante:</b> ENVIROTECH; <b>Modelo:</b> <b>Quantidade:</b> 02;	
<b>Dimensões:</b> 71,6 e 59 m de diâmetros; <b>Capacidade:</b> 106 t/h e 70 t/h, respectivamente.	
CICLONES DUPLA CLASSIFICAÇÃO	
<b>Código:</b>	<b>Equipamento:</b> Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> KREBS; <b>Modelo:</b> D10B; <b>Diâmetro interno:</b> 250 mm; <b>Vortex:</b> 76,2 mm; <b>Apex:</b> 44,5 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 2,2 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 37 μm; <b>Quantidade:</b> 60	
CICLONES DA USINA DE FINOS	
<b>Código:</b>	<b>Equipamento:</b> Hidrociclone
<b>Fabricante:</b> MOSLEY; <b>Modelo:</b> ; <b>Diâmetro interno:</b> 101 mm; <b>Vortex:</b> 29 mm; <b>Apex:</b> 11 mm; <b>Pressão de alimentação:</b> 2,5 kg/cm <sup>2</sup> ; <b>Corte:</b> 5 μm; <b>Quantidade:</b> 360	



fosfato

---

**SERRANA**

## SERRANA / Mina de Araxá

Jurgen Schnellrath<sup>1</sup>  
Júlio Cesar Guedes Correia<sup>1</sup>  
Rogério Contato Guimarães<sup>2</sup>  
Sebastião Hipólito A. Teixeira<sup>3</sup>

■ Já em 1925, os primeiros estudos petrográficos feitos por Djalma Guimarães revelavam a presença de apatita e barita no Complexo Carbonatítico do Barreiro, em Araxá, MG. Mas foi somente após uma intensa campanha de sondagem, iniciada em 1965, que a viabilidade econômica dessa jazida se confirmou. Já nessa época, a CAMIG (Companhia Agrícola de Minas Gerais), detentora dos direitos minerários na região, extraía a rocha como fosfato natural, sem nenhum processo de concentração. A ARAFERTIL foi criada em 1971 visando a lavra, o beneficiamento da rocha fosfática e a fabricação de fertilizantes. Em 1972 firmou um contrato de arrendamento com a CAMIG. Em 1974, após uma fase experimental, iniciou-se a construção da usina industrial. Em 1977, concluídas as obras da britagem, a ARAFÉRTIL passou a fornecer brita fosfática à CAMIG. Em 1978 foi inaugurado oficialmente o Complexo Industrial de Araxá, marcando o início da fase operacional propriamente dita.

A mina de fosfato de Araxá teve como acionistas iniciais o BNDES, o grupo Santista e a Companhia de Cimento Itaú. Ao longo de sua existência tem tido participações da PETROFERTIL e do Grupo de Petróleo Ipiranga. A ARAFERTIL pertence atualmente à Fertilizantes Serrana S/A (Grupo Bunge), proprietária também de uma outra mina de fosfato em Cajati, SP, também retratada neste livro.

### Geologia

O Complexo Carbonatítico do Barreiro está situado em Araxá, distante 340 km a oeste de Belo Horizonte. Tem forma aproximadamente circular com 4,5 km de diâmetro, sendo possível individualizá-lo em três anéis. A Serrana explora uma concessão situada na parte NW do complexo. O perfil geológico da jazida, resultante da ação do intemperismo, consiste de três zonas de alteração a seguir discriminadas.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro de Processo, SERRANA

<sup>3</sup> Técnico em mineração, SERRANA

## Capeamento estéril

Praticamente não possui fosfato apatítico. A cobertura superficial, com uma espessura máxima de 20 m e cor avermelhada escura, é constituída de óxidos hidratados de ferro e argilo-minerais. No estéril propriamente dito, com espessuras locais de até 60 m e cor marrom-amarelada, predominam óxidos hidratados de ferro, quartzo, argilo-minerais, magnetita, hematita, brookita, anatásio, barita, pandaíta e fosfatos secundários, como a gorceixita.

A zona portadora de apatita pode ser dividida em três tipos de minérios (Tabela 1):

a) minério oxidado – corresponde ao tipo atualmente em lavra, contendo elevados teores de apatita e óxidos de ferro, e baixo teor de carbonatos, pode ainda ser classificado em dois subtipos, argiloso e cimentado; o minério mais argiloso é friável e possui teores de  $P_2O_5$  apatítico em torno de 10% o minério cimentado é mais coeso, possui teores de  $P_2O_5$  apatítico acima de 15% e é freqüentemente recortado por veios de barita;

b) minério micáceo e carbonático – contém elevada percentagem de minerais do grupo da mica (vermiculita, hidrobiotita e clorita)

c) minério carbonático – contém tanto calcita quanto dolomita.

Os dois últimos tipos de minérios não são lavrados atualmente.

**Tabela 1 – Composições mineralógicas médias (%) dos diferentes tipos de minério da mina de Araxá, SERRANA**

Minerais	Minério Oxidado	Minério Micáceo	Minério Carbonático
Apatita	32,5	24,3	26,6
Barita	7,1	0,2	2,3
Carbonatos	2,9	3,0	18,7
Óxidos de Ferro	27,4	21,5	15,6
Micas	10,0	37,3	26,2
Outros	20,1	13,7	10,6

## Rocha matriz

Apresenta menor teor de  $P_2O_5$  (em média 5%), sendo constituída por glimerito (rocha composta essencialmente de minerais micáceos de coloração amarronzada com carbonatos e filossilicatos verdes subordinados) e carbonatito (rocha de coloração esbranquiçada a amarelada rica em calcita e dolomita).

As reservas de minério oxidado, de 72 milhões de toneladas com teor médio de 11,9% de  $P_2O_5$  apatítico, garantem ao empreendimento uma vida útil de 18 anos, ao ritmo atual de produção de 4 milhões de t/ano de minério ROM. Estudos e pesquisas são realizados para o aproveitamento de 48 milhões de toneladas de minério micáceo-carbonático com 11,5% de  $P_2O_5$  apatítico. Os estudos serão utilizados também para avaliar novas áreas dentro da chaminé alcalina.

## Lavra

A produção anual da mina é de 4 milhões de toneladas de minério e 2,5 a 3 milhões de toneladas de estéril. A lavra (Tabela 2) é feita em bancadas de 10 m de altura (Figura 1A), utilizando tratores de esteira e retroescavadeiras para o desmonte, devido à baixa consistência do minério. A utilização de explosivos é restrita a áreas de materiais mais consistentes. Para o carregamento são utilizadas carregadeiras frontais sobre pneus ou retroescavadeiras, enquanto o transporte é realizado por caminhões de 30 t de capacidade (Figura 1B).

**Tabela 2 – Principais equipamentos de lavra utilizados na mina de Araxá, SERRANA**

Quantidade	Descrição do equipamento	Função
32	Volvo NL-10 (22 x 310, 5 x 320 EDC e 5 x 320EDC GODL)	Transporte
4	Retro-escavadeiras (1X974; 942; 1 CAT-320 e 1 CAT-330)	Escavação
5	Tratores (2 x D-65 e 3 x D-73)	Corte
3	Carregadeiras frontais (2 x L-90 e 1 x L-120)	Apoio
3	Retro-escavadeiras (1 x 580-H e 2 x PC-150)	Apoio
2	Patrol (1 x 120 B e 1 x 140 H)	Apoio
1	Carreta CF-09	Apoio
3	Pipa (1 x 10.000 L e 2 x 15.000 L)	Apoio



**Figura 1: (A) Vista panorâmica da mina de Araxá. (B) Carregamento e transporte de minério.**

## Usina de concentração

### Britagem primária e secundária, peneiramento e homogeneização

O minério proveniente da mina é descarregado numa moega com alimentador de sapatas e conduzido a uma grelha vibratória com abertura de 10 cm.

A fração compacta do minério, retida nessa grelha, alimenta um britador de mandíbulas, que reduz os blocos a uma granulometria abaixo de 25 cm. O passante na grelha se junta ao produto do britador de mandíbulas, que é então conduzido por transportador de correia até a instalação de britagem secundária.

Antes da britagem secundária, o minério é peneirado em duas peneiras vibratórias paralelas (Figura 2A), com abertura de 5 cm. O passante nessa malha segue para a torre de amostragem e pilha de homogeneização. A fração retida em 5 cm é encaminhada a uma pilha intermediária, de onde é retomada, para alimentar um britador (Figura 2B). A seguir, o produto da britagem é peneirado em peneiras vibratórias com telas de 5 e 1,27 cm. O produto maior que 5 cm é denominado bitolado 28, devido ao fato de conter 28% de  $P_2O_5$  e é enviado para a MITSUI, via COMIG (ex-CAMIG), para a produção de termofosfato. O produto intermediário é denominado bitolado 24 (24% de  $P_2O_5$ ) e é enviado para a COMIG para a produção de fosfato natural.

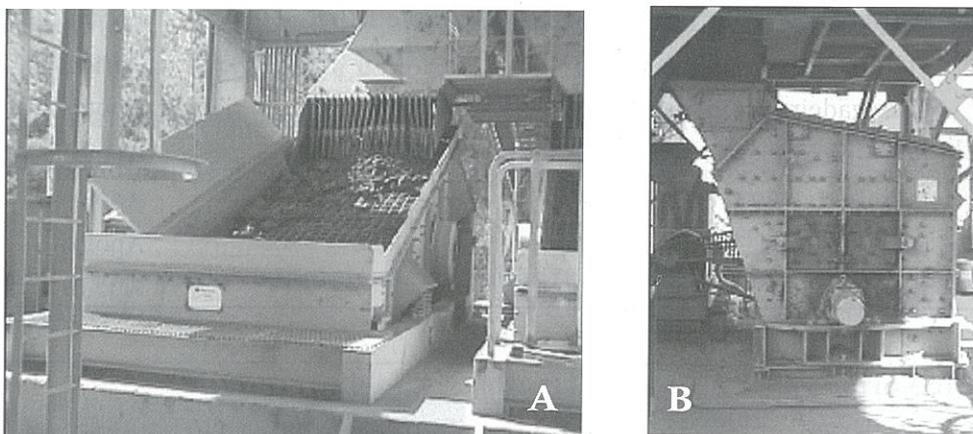


Figura 2: (A) Peneira vibratória. (B) Retomador de minério da pilha.

As pilhas de homogeneização, preparadas por empilhadeira *stacker* (Figura 3A), estão localizadas numa área com capacidade para estocagem de 84.000 t de minério com umidade média de 18%. O minério homogeneizado é retomado (Figura 3B) e conduzido por transportador de correia para a usina de concentração.

## Moagem, separação magnética e classificação

A capacidade de processamento da usina, cujo fluxograma está apresentado na Figura 4, é de 500 t/h, sendo beneficiadas anualmente cerca de 3,5 milhões de toneladas de minério. A moagem primária do minério é feita num circuito constituído de um moinho de barras (Figura 5A) operando em circuito aberto. O produto da moagem segue para a separação magnética (Figura 5B) a úmido de baixa intensidade (800 a 900 G). O produto magnético, constituído essencialmente de magnetita, é desviado e estocado numa barragem e o não magnético segue no circuito para a pré-classificação. Esta é realizada por duas baterias de hidrociclones ( $\phi$  66 cm) em circuito contracorrente. O *underflow* segue para a moagem secundária e o *overflow* para a deslamagem que antecede a flotação dos finos naturais.

A moagem secundária é realizada em moinho de bolas e opera em circuito fechado com uma bateria de quatro hidrociclones classificadores ( $\phi$  61 cm). O *underflow* retorna ao moinho, enquanto o *overflow* vai para a deslamagem que antecede a flotação da barita.

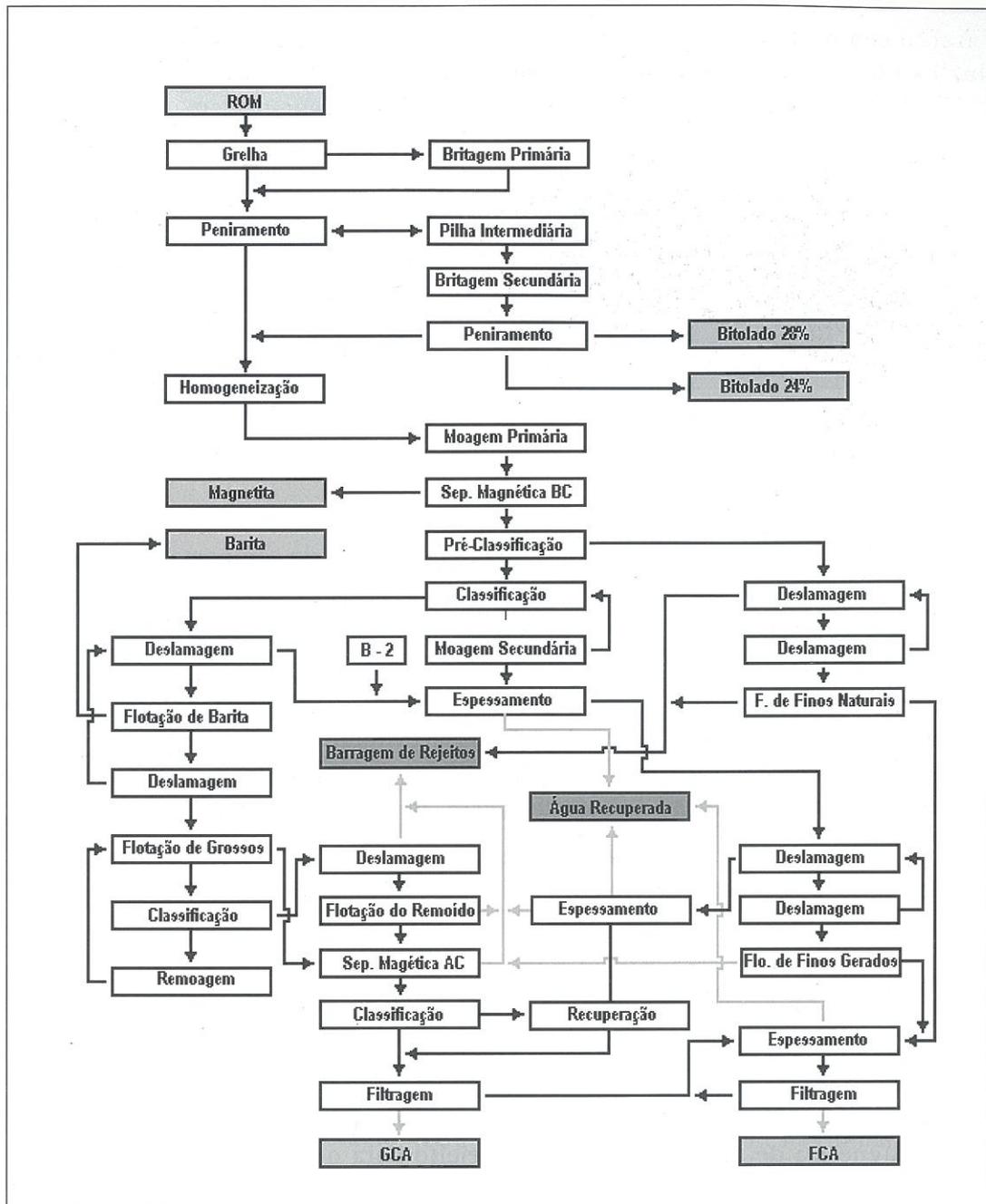


Figura 4: Fluxograma da usina de beneficiamento de rocha fosfática da mina de Araxá, SERRANA

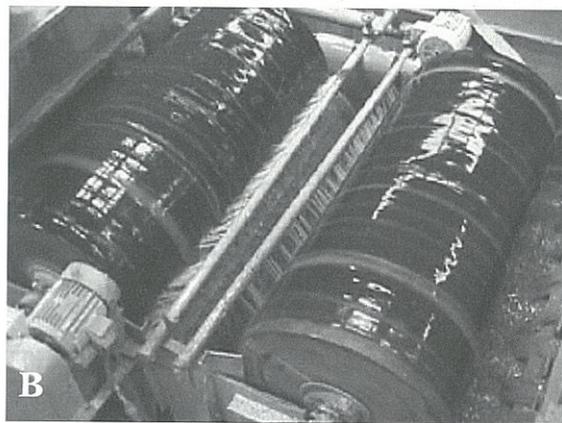
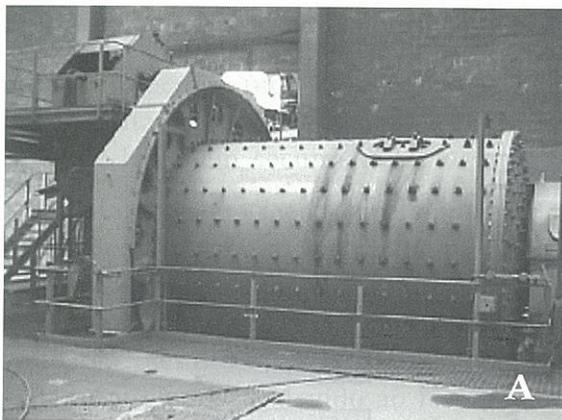


Figura 5: (A) Moagem primária em moinho de bolas. (B) Separação magnética de baixa intensidade

## Flotação de barita

O *overflow* da moagem secundária é deslamado numa bateria composta de cinco hidrociclones ( $\phi$  50 cm). O *overflow* dessa deslamagem segue para o circuito de flotação de finos gerados, indo o *underflow* para um condicionamento em pH em torno de 9,5, seguido da adição de espumante e coletor, conforme apresentado na Tabela 3.

A flotação de barita é realizada num único estágio, em coluna de flotação. O flotado (concentrado de barita) é desaguado e levado para estoque. O deprimido vai para uma outra etapa de deslamagem em hidrociclones ( $\phi$  50 cm) (Figura 6A). O *underflow* dessa nova deslamagem segue para a flotação de apatita grossa, indo o *overflow* realimentar a primeira etapa de deslamagem.

## Flotação de apatita grossa e remoagem

O *underflow* da deslamagem do deprimido do circuito de flotação de barita segue para uma primeira etapa de condicionamento, onde são adicionados o amido de milho, como depressor de ganga, numa taxa de 376 g/t, e soda cáustica, como regulador de pH, que deve situar-se em torno de 11,5. Em seguida, noutro condicionador é adicionado o coletor de apatita. A flotação em colunas é realizada em duas colunas paralelas, indo o concentrado flotado das duas colunas para a separação magnética de alta intensidade e o rejeito para o circuito de remoagem.

A remoagem é realizada num moinho de bolas (Figura 6B) em circuito fechado com uma bateria de quatro hidrociclones ( $\phi$  50 cm). O *underflow* dessa classificação retorna ao moinho e o seu *overflow* vai para o circuito de flotação de remoído.

## Flotação de apatita remoída

O *overflow* do circuito de remoagem segue para uma etapa de deslamagem em hidrociclones ( $\phi$  25 cm). O *underflow* dessa deslamagem segue para um condicionador, onde são adicionados o depressor e o modulador de pH (11,6). Em seguida, a polpa vai para outro condicionador, onde é adicionado o coletor. A flotação em coluna é realizada em estágio único, indo o concentrado flotado, juntamente com o concentrado de apatita grossa, para a separação magnética de alta intensidade. O rejeito dessa flotação, após desaguamento, segue para a barragem de rejeitos.

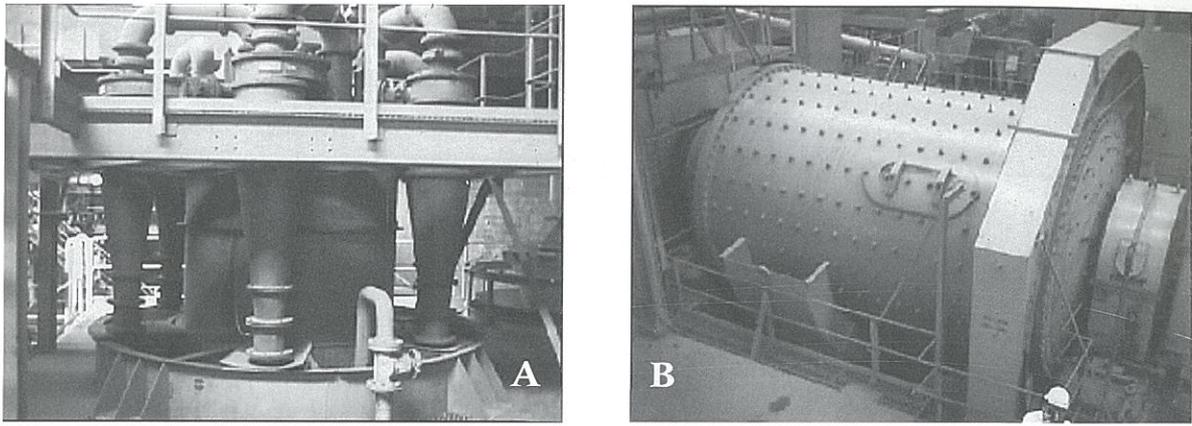


Figura 6: (A) Conjunto de hidrociclones para deslamagem. (B) Moinho de remoagem.

## Flotação de apatita fina

A flotação de apatita fina consta de dois circuitos bastante semelhantes: flotação de finos naturais e de finos gerados nos processos de cominuição. “Finos naturais” é a denominação dada ao *overflow* da pré-classificação e que portanto passou apenas pela moagem primária, enquanto os “finos gerados” correspondem ao *overflow* da deslamagem do circuito de flotação de barita, tendo passado pela etapa de moagem secundária.

O *overflow* da pré-classificação vai para dois estágios de deslamagem em série e contracorrente, em hidrociclones ( $\phi$  40 mm), constituídos de sete baterias, no primeiro, e de duas baterias no segundo estágio. O *overflow* do primeiro estágio é descartado para a barragem de rejeitos e o *underflow* alimenta o segundo estágio de deslamagem. O *overflow* desse retorna ao primeiro estágio de deslamagem, fechando o circuito, e o *underflow* vai para o circuito de flotação dos finos naturais de apatita.

O *overflow* da deslamagem do circuito de barita, juntamente com a lama de uma antiga barragem de deposição de finos (B-2, 30-35 t/h), vai, após uma etapa de espessamento, para dois estágios de deslamagem em série e contracorrente, em hidrociclones ( $\phi$  40 mm), constituídos de quatro baterias no primeiro e de três baterias no segundo. O *overflow* do primeiro estágio é espessado para a recuperação de água (Figura 7A) e o *underflow* alimenta o segundo estágio. O *overflow* desse retorna ao primeiro estágio, indo o *underflow* do segundo estágio para o circuito de flotação de finos gerados.

A flotação, tanto dos finos naturais (Figura 7B) quanto dos finos gerados, é realizada de forma bastante semelhante, constituindo-se no condicionamento com depressor, condicionamento com coletor (óleo de arroz) e flotação em coluna em estágio único, com pH 12. Os flotados dos dois circuitos seguem para a etapa de espessamento e filtragem, e os respectivos rejeitos são descartados como rejeito final.

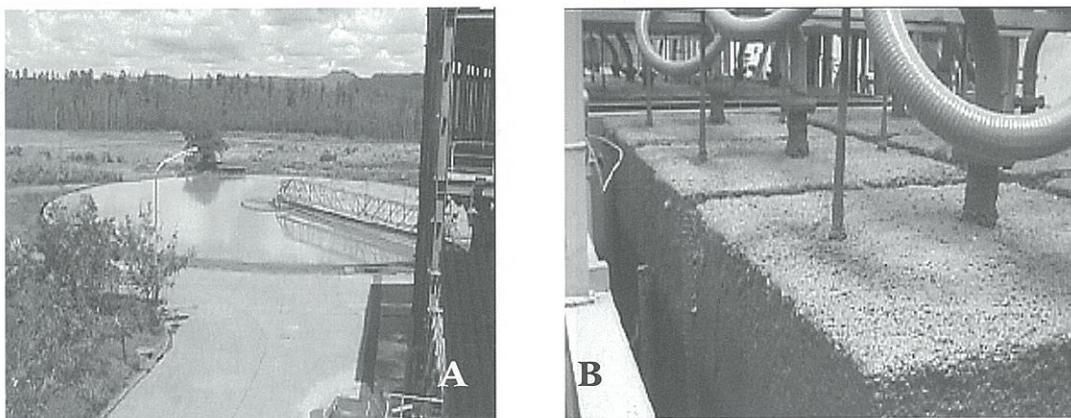


Figura 7: (A) Espessador de lamas. (B) Flotação dos finos naturais.

### Separação magnética de alta intensidade, classificação, filtragem e secagem de GCA – concentrado apatítico grosso

Os concentrados das flotações de apatita grossa e remoída passam por uma separação magnética de alta intensidade (16.000 G, Figura 8A), visando a remoção dos principais minerais contaminantes, que são essencialmente os hidróxidos de ferro (limonita e goethita) não seletivos na flotação. O produto magnético é descartado para a barragem de rejeitos. O produto não magnético é desaguado numa bateria de hidrociclones ( $\phi$  50 cm). O *overflow* desses hidrociclones desaguadores passa por uma segunda etapa de ciclonação para a recuperação de finos, constituída por uma bateria de microciclones ( $\phi$  50 mm). O *underflow* desta etapa de recuperação mais o *underflow* do desaguamento, segue para a filtragem em filtro plano (Figura 8B). O produto seco resultante, denominado GCA, com 36% de  $P_2O_5$ , 3,2% de  $Fe_2O_3$ , 1,2% de  $SiO_2$  e 77% retido em 43  $\mu m$ , é um dos produtos finais da concentração e vai para um galpão de homogeneização, podendo alimentar ou não, em função do seu destino, um secador do tipo *flash dryer* (Figura 9A).

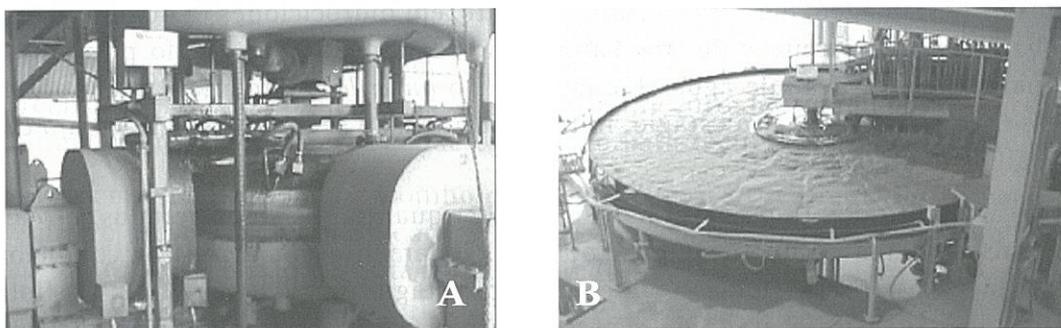


Figura 8: (A) Separador magnético de alta intensidade. (B) Filtro plano.

## Espessamento e filtragem de FCA

Os concentrados apatíticos das flotações de finos naturais e gerados, após espessamento e recuperação de água, alimentam um filtro de tambor (Figura 9B), gerando assim o produto final da concentração denominado FCA (concentrado apatítico fino).

O FCA, com 34,5% de  $P_2O_5$ , 5,5% de  $Fe_2O_3$ , 1,0% de  $SiO_2$  e apenas 5% retido em  $43 \mu m$ , não passa por processo de secagem, sendo principalmente utilizado na fabricação de fertilizantes no próprio Complexo Industrial da Serrana, em Araxá. Parte é também vendido a terceiros, com 16% de umidade.

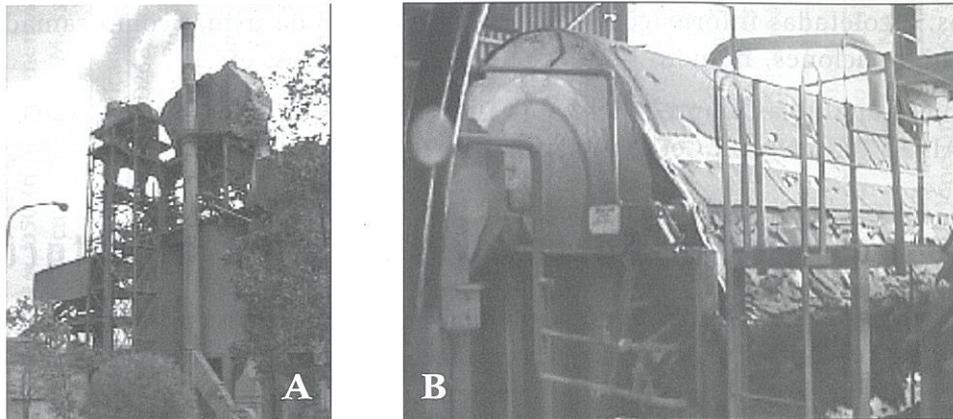


Figura 9: (A) Secador do tipo *flash dryer*. (B) Filtro de tambor

## Produtos e subprodutos da mina

Na instalação de britagem secundária são produzidos os bitolados com 28 e 24% de  $P_2O_5$ , servindo, respectivamente, para a produção de termofosfato da MITSUI e de fosfato natural da própria COMIG.

A capacidade de produção de concentrados de apatita, com uma recuperação mássica em torno de 24% e de apatita de aproximadamente 60%, é de 830.000 t/ano, com uma partição de aproximadamente 70% para GCA (78 t/h) e 30% para FCA (34 t/h). Esses concentrados são matérias-primas para a produção de fertilizantes fosfatados por meio de solubilização com ácido sulfúrico.

Além dos concentrados apatíticos são também produzidos concentrados de barita (4% da alimentação da usina), com teor médio de 80% de  $BaSO_4$ , e um concentrado de magnetita (5% em massa da alimentação da usina).

## Controle do processo e da amostragem

Os pontos de amostragem do circuito são os seguintes:

a) minério – torre de amostragem do passante das peneiras do circuito de britagem secundária (teores) e as lamas da antiga barragem B-2, adicionadas ao circuito de flotação de finos gerados;

b) flotação – alimentação, concentrado e rejeito de todos os circuitos (teores);

c) produtos – GCA e FCA, além dos bitolados 28 e 24 (teores e granulometria).

Além disto são verificados rotineiramente: pH, percentagem de sólidos, vazão de coletores, dentre outros, e coletadas informações relativas à operação da usina: como camada de espuma, pressão dos hidrociclones, número de hidrociclones entupidos, etc.

As técnicas analíticas empregadas são a fluorescência de raios X ( $P_2O_5$ , CaO,  $Fe_2O_3$ ,  $BaSO_4$ ,  $SiO_2$ , MgO,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $CeO_2$ ) e via úmida.

## Consumo de água e de reagentes para a flotação

Dos 3.879 m<sup>3</sup>/h de consumo total de água na usina, apenas 30% (1.147 m<sup>3</sup>/h) são recuperados nos três espessadores existentes e 2.732 m<sup>3</sup>/h representam alimentação nova. Portanto, o consumo d'água na usina é de 5,46 m<sup>3</sup>/t de minério processado. A Tabela 3 apresenta os reagentes utilizados na flotação, o consumo e fornecedores.

**Tabela 3 – Tipos e consumo de reagentes utilizados na usina de beneficiamento de rocha fosfática da mina de Araxá**

Reagentes	Nomes	Fornecedores	Preparação	Consumo (g/t)
Espumante	Flotanol D14	Clariant	Dosado puro	9,6
	AdecomM537	Adecom		
	EPE 123/93			
Coletor de barita	Flotisor S72	Clariant	Diluição em água (3% p/p)	26,9
	Sulfofon F55B	Cognis		
Depressor de ganga	Amido de milho não convencional	Refinaria Alto Parnaíba	Gelatinizado com soda	435
Coletor de apatita	Óleo de arroz Promofloat	Diversos (SGS) Sulima	Pré Saponificação	74,4
Modulador de pH	Soda cáustica líquida (50% de NaOH)	Salgema, Solvay	Diluição em água (10%)	1.800
Aditivo	Emulgin IT30	Cognis	Dosado puro	5,5
	Fongraflot P-4	Clariant		
	Ultrafloat F1048	Oxiten		

### Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de rocha fosfática da mina de Araxá, SERRANA

<p><b>Equipamento:</b> Moinho de Barras (moagem primária)</p> <p><b>Fabricante:</b> ALLIS CHALMERS; <b>Diâmetro:</b> 11 pés; <b>Comprimento:</b> 16 pés <b>Potência (HP-Kw):</b> Total: 950-698; Absor: 785-611; <b>RPM:</b> 15,6; <b>VC (%)</b>: 68; <b>Revestimento:</b> ONE WAVE, Liga ESCO 33F DUR 600-750 HB, <b>DESGASTE (mm/t):</b> 7,8 10(-7); <b>Vida útil (h):</b> 40.000; <b>Corpo Moedor (barras):</b> diâmetro: 3" - 3 1/2"; liga: Aço SAE- 1095; <b>Consumo (kwh/t):</b> 30; <b>Carga(t):</b> 80; <b>Distribuição:</b> 3 1/2" - 70%, 3" - 30%; <b>Reposição:</b> 70% - 3 1/2", 30% - 3"; <b>GE (%)</b>: 34; <b>Porcentagem de sólidos na alimentação:</b> 81%; <b>Porcentagem de sólidos no produto:</b> 57%; <b>F80 (mm):</b> 15208; <b>P80 (mm):</b> 584; <b>Rr:</b> 26; <b>Energia (Kwh/t):</b> 1,41; <b>W.I.(Kwh/t):</b> Projeto: 7,0, <b>Operacional:</b> 4,1; <b>Alimentação (t/h):</b> 433</p>	<p><b>Equipamento:</b> Separador Magnético</p> <p><b>Tipo:</b> SMAC; <b>Fabricante:</b> TBM - BOXMAG; <b>Modelo:</b> HWI-4; <b>Número:</b> 3; <b>Circuito:</b> Rougher; <b>Campo magnético (Gauss):</b> 17000; <b>Vazão(t/h):</b> Total: 87,3; <b>Por polia:</b> 29,1; % de sólidos: <b>Alimentação:</b> 30,3; <b>Magnético:</b> 8,6; <b>Não Magnético:</b> 39,0; <b>D50 (mm):</b> Alimentação: 69; <b>Magnético:</b> 69; <b>Não Magnético:</b> 70; <b>Recuperação (%)</b>: Massa: 8,1; <b>Apatita:</b> 7,3; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 32,0</p>
<p><b>Equipamento:</b> Moinho de Bolas (remoagem)</p> <p><b>Fabricante:</b> ALLIS CHALMERS; <b>Diâmetro:</b> 12,5 pés; <b>Comprimento:</b> 17 pés; <b>Potência (HP-Kw):</b> Total: 1200; Absor: 1150; <b>RPM:</b> 16; <b>7 VC (%)</b>: 75; <b>Revestimento:</b> ONE WAVE, Liga ESCO 33F DUR 650 HB, <b>DESG (mm/t):</b> 11,5 10(-6); <b>Vida útil (h):</b> 30000; <b>Corpo Moedor (bolas):</b> diâmetro: 25 - 30 mm.; liga: Aço 18% Cr; <b>Consumo (kwh/t):</b> 13; <b>Carga(t):</b> 105; <b>Distribuição:</b> 75%- 25 mm, 25%- 30mm; <b>Reposição:</b> 100% - 25 mm; <b>GE (%)</b>: 45; <b>Porcentagem de sólidos na alimentação:</b> 68%; <b>Porcentagem de sólidos no produto:</b> 68%; <b>F80 (mm):</b> 709; <b>P80 (mm):</b> 183; <b>Rr:</b> 3,87; <b>Energia (Kwh/t):</b> 4,34; <b>W.I.(Kwh/t):</b> Projeto: 7,0, <b>Operacional:</b> 11,93; <b>Alimentação (t/h):</b> 268; <b>CC (%)</b>: 352</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones pré-classificadores</p> <p><b>Circuito:</b> PRE I; <b>Modelo:</b> D26B; <b>Fornecedor:</b> Krebs; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; <b>No. CIC-BAT:</b> 4; <b>No.CIC Func.:</b> 4; <b>ORIF (pol)- DC:</b> 26; <b>Do:</b> 6,5; <b>Du:</b> 4,5; <b>Di:</b> 7,6; <b>H:</b> 64; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 1,10; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 1805; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 451; <b>Total:</b> 1505; <b>Ciclone:</b> 376; <b>D50(mm):</b> 225; % Sólidos: <b>Alimentação:</b> 23,5; <b>UD:</b> 49,2; <b>OV:</b> 11,5; <b>By pass (%)</b>: 21,1; <b>RM (%)</b>-Estágio: 66,6; <b>Rec.Apat. (%)</b>: Estágio: 81,7; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 50,4; % <b>UD:</b> -400#: 12,1</p>
<p><b>Equipamento:</b> Moinho de bolas (moagem secundária)</p> <p><b>Fabricante:</b> KVS; <b>Diâmetro:</b> 13 pés; <b>Comprimento:</b> 26 pés <b>Potência (HP-Kw):</b> Total: 1840; Absor: 1300; <b>RPM:</b> 16; <b>VC (%)</b>: 75; <b>Corpo Moedor (bolas):</b> diâmetro: 30-60 mm; liga: Aço 18% Cr; <b>Consumo (kwh/t):</b> 15; <b>Carga(t):</b> 120; <b>Distribuição:</b> 10%-60 mm; 42%-50 mm; 38%-40 mm; 10%-30 mm; <b>Reposição:</b> 50%-60 mm e 50%-50 mm; <b>GE (%)</b>: 30; <b>Porcentagem de sólidos na alimentação:</b> 77%; <b>Porcentagem de sólidos no produto:</b> 74%; <b>F80 (mm):</b> 209; <b>P80 (mm):</b> 78; <b>Rr:</b> 2,68; <b>Energia (Kwh/t):</b> 8,32; <b>W.I.(Kwh/t):</b> Operacional: 18,88; <b>Alimentação (t/h):</b> 119; <b>CC (%)</b>: 425</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclone pré-classificadores</p> <p><b>Circuito:</b> PRE II; <b>Modelo:</b> D20B; <b>Fornecedor:</b> Krebs; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; <b>No. CIC-BAT:</b> 4; <b>No.CIC Func.:</b> 2; <b>ORIF (pol)- DC:</b> 20; <b>Do:</b> 6,5; <b>Du:</b> 4,0; <b>Di:</b> 5,2; <b>H:</b> 68; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 1,62; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 760; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 253; <b>Total:</b> 560; <b>Ciclone:</b> 187; <b>D50(mm):</b> 248; % Sólidos: <b>Alimentação:</b> 37,2; <b>UD:</b> 58,8; <b>OV:</b> 4,70; <b>By pass (%)</b>: 39,4; <b>RM (%)</b>-Estágio: 94,9; <b>Global:</b> 65,4; <b>Rec.Apat. (%)</b>: Estágio: 97,7; <b>Global:</b> 81,3; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 89,3; <b>Global:</b> 47,5; % <b>UD:</b> -400#: 7,6</p>
<p><b>Equipamento:</b> Separador Magnético de baixo campo</p> <p><b>Tipo:</b> SMBC; <b>Fabricante:</b> SALA INTERNA; <b>Diâmetro (pol.):</b> 36; <b>Comprimento (mm):</b> 1800; <b>Número:</b> 8; <b>Circuito:</b> Rougher; <b>Campo magnético (Gauss):</b> 900 (2"); <b>Vazão(t/h):</b> Total: 432,6; <b>Por polia:</b> 54; % de sólidos: <b>Alimentação:</b> 42,9; <b>Magnético:</b> 34,6; <b>Não Magnético:</b> 43,5; <b>D50 (mm):</b> Alimentação: 119; <b>Magnético:</b> 309; <b>Não Magnético:</b> 96; <b>Recuperação (%)</b>: Massa: 5,2; <b>Apatita:</b> 2,3; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 14,7</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores</p> <p><b>Circuito:</b> Alimentação da flotação de barita; <b>Modelo:</b> D20B; <b>Fornecedor:</b> Krebs; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; <b>No. CIC-BAT:</b> 6; <b>No.CIC Func.:</b> 3; <b>ORIF (pol)- DC:</b> 20; <b>Do:</b> 6,5; <b>Du:</b> 4,5; <b>Di:</b> 5,2; <b>H:</b> 68; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 1,90; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 1342; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 268; <b>Total:</b> 1138; <b>Ciclone:</b> 228; <b>D50(mm):</b> 89; % Sólidos: <b>Alimentação:</b> 21,5; <b>UD:</b> 58,3; <b>OV:</b> 6,2; <b>By pass (%)</b>: 15,6; <b>RM (%)</b>-Estágio: 79,5; <b>Rec.Apat. (%)</b>: Estágio: 80,2; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 75,2; % <b>UD:</b> -400#: 15,3</p>

### Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de rocha fosfática da mina de Araxá, SERRANA

<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores</p> <p><b>Circuito:</b> Afundado da flotação de barita; <b>Modelo:</b> D20B; <b>Fornecedor:</b> Krebs;</p> <p><b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 20; <b>Do:</b> 6,5; <b>Du:</b> 4,5; <b>Di:</b> 5,2; <b>H:</b> 68; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 1,00; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 750; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 250; <b>Total:</b> 600; <b>Ciclone:</b> 200; <b>D50(mm):</b> 113; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 28,2; <b>UD:</b> 60,8; <b>OV:</b> 4,7; <b>By pass(%):</b> 22,9; <b>RM(%)-Estágio:</b> 90,4; <b>Rec.Apat.(%):</b> Estágio: 88,9; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 95,8; % <b>UD:</b> -400#: 6,1</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores 1º estágio</p> <p><b>Circuito:</b> Flotação de finos naturais ; <b>Modelo:</b> C109; <b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 17; <b>Du:</b> 9,4; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 3,52; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 1550; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 4,04; <b>Total:</b> 1413; <b>Ciclone:</b> 3,7; <b>D50(mm):</b> 19,1; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 12,9; <b>UD:</b> 36,2; <b>OV:</b> 5,5; <b>By pass(%):</b> 17,5; <b>RM(%)-Estágio:</b> 67,2; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 77,4; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 55,2; % <b>UD:</b> -400#: 80,8; -10mm: 23,7 ; -5mm: 13,1.</p>
<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores</p> <p><b>Circuito:</b> Remoagem; <b>Modelo:</b> D20B; <b>Fornecedor:</b> Krebs; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 4; No. CIC Func.: 3; <b>ORIF(pol)-DC:</b> 20; <b>Do:</b> 6,5; <b>Du:</b> 4,5; <b>Di:</b> 5,2; <b>H:</b> 68; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 2,46; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 1269; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 423; <b>Total:</b> 828; <b>Ciclone:</b> 276; <b>D50(mm):</b> 102; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 49,3; <b>UD:</b> 68,4; <b>OV:</b> 22,5; <b>By pass(%):</b> 36,3; <b>RM(%)-Estágio:</b> 80,9; <b>Rec.Apat.(%):</b> Estágio: 82,2; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 82,3; % <b>UD:</b> -400#: 5,4</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores 2º estágio</p> <p><b>Circuito:</b> Flotação de finos naturais; <b>Modelo:</b> C109;</p> <p><b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6;</p> <p>No. CIC Func.: 3; <b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 17; <b>Du:</b> 8,0; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 3,94; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 398; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 4,2; <b>Total:</b> 306; <b>Ciclone:</b> 3,2; <b>D50(mm):</b> 24,3; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 33,7; <b>UD:</b> 55,6; <b>OV:</b> 21,1; <b>By pass(%):</b> 23,2;</p> <p><b>RM(%)-Estágio:</b> 57,1; <b>Global:</b> 54,0 ; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 62,4; <b>Global:</b> 68,2; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 54,8; <b>Global:</b> 38,2; % <b>UD:</b> -400#: 72,7 ; -10mm: 14,9 ; -5mm: 8,2</p>
<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores</p> <p><b>Circuito:</b> Alimentação da flotação de remoído; <b>Modelo:</b> C109; <b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3; <b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 14,3; <b>Du:</b> 9,4; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 3,37; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 610; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 4,24; <b>Total:</b> 526; <b>Ciclone:</b> 3,65; <b>D50(mm):</b> 46; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 19,5; <b>UD:</b> 46,0; <b>OV:</b> 3,6; <b>By pass(%):</b> 25,2; <b>RM(%)-Estágio:</b> 88,5; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 86,4; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 88,3; % <b>UD:</b> -400#: 36,5</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores 1º estágio</p> <p><b>Circuito:</b> Flotação de finos gerados; <b>Modelo:</b> C109; <b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 14,3; <b>Du:</b> 9,4; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 3,80; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 1173; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 3,05; <b>Total:</b> 1095; <b>Ciclone:</b> 2,85; <b>D50(mm):</b> 11,4; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 9,8; <b>UD:</b> 20,9; <b>OV:</b> 5,0; <b>By pass(%):</b> 26,4; <b>RM(%)-Estágio:</b> 64,1; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 70,5; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 54,6; % <b>UD:</b> -400#: 96,1; -10mm: 45,5 ; -5mm: 28,7</p>
<p><b>Equipamento:</b> Ciclones classificadores</p> <p><b>Circuito:</b> Separação magnética - Filtragem GCA; <b>Modelo:</b> D20B; <b>Fornecedor:</b> Krebs; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 3; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 20; <b>Do:</b> 4,5; <b>Du:</b> 3,5; <b>Di:</b> 5,2; <b>H:</b> 68; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 1,62; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 330; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 110; <b>Total:</b> 274; <b>Ciclone:</b> 91,3; <b>D50(mm):</b> 75; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 24,3; <b>UD:</b> 62,5; <b>OV:</b> 3,0; <b>By pass(%):</b> 17,7; <b>RM(%)-Estágio:</b> 92,1; <b>Rec.Apat.(%):</b> Estágio: 92,5; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 85,1; % <b>UD:</b> -400#: 11,6</p>	<p><b>Equipamento:</b> Ciclones deslamadores 2º estágio</p> <p><b>Circuito:</b> Flotação de finos gerados; <b>Modelo:</b> C109; <b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 14,3; <b>Du:</b> 9,4; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 3,66; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 412; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 3,22; <b>Total:</b> 362; <b>Ciclone:</b> 2,83; <b>D50(mm):</b> 14,5; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 17,8; <b>UD:</b> 43,2; <b>OV:</b> 8,7; <b>By pass(%):</b> 18,2;</p> <p><b>RM(%)-Estágio:</b> 64,0; <b>Global:</b> 53,4; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 66,4; <b>Global:</b> 61,4; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 57,8; <b>Global:</b> 41,1; % <b>UD:</b> -400#: 94,0; -10mm: 32,0 ; -5mm: 16,2 .</p>
<p><b>Equipamento:</b> Ciclones recuperadores</p> <p><b>Circuito:</b> Separação magnética - Filtragem GCA; <b>Modelo:</b> C109; <b>Fornecedor:</b> Mozley; <b>Quantidade:</b> No. Baterias: 1; No. CIC-BAT: 6; No. CIC Func.: 3;</p> <p><b>ORIF(pol)-DC:</b> 2; <b>Do:</b> 4,5; <b>Du:</b> 4,5; <b>Di:</b> 9,9; <b>H:</b> 440; <b>P (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> 2,81; <b>Vazão (t/h):</b> Total: 212; <b>Ciclone (m<sup>3</sup>/h):</b> 2,2; <b>Total:</b> 207; <b>Ciclone:</b> 2,2; <b>D50(mm):</b> 21; % <b>Sólidos:</b> Alimentação: 3,0; <b>UD:</b> 24,8; <b>OV:</b> 0,80; <b>By pass(%):</b> 7,0; <b>RM(%)-Estágio:</b> 75,4; <b>Rec. Apat.(%):</b> Estágio: 77,1; <b>Rec. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> Estágio: 51,2; % <b>UD:</b> -400#: 81,6; -10mm: 16,1; -5mm: 7,5 .</p>	

### Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de rocha fosfática da mina de Araxá, SERRANA

<p><b>Equipamento:</b> Coluna de flotação de finos naturais</p> <p><b>Fabricante:</b> Quantidade: 1; <b>Altura(m):</b> 14,5; <b>Seção (mxm):</b> 3,0x4,5;</p> <p><b>Compartimentos:</b> 6; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 13,5; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> Total: 195,8; <b>Útil:</b> 176,9; <b>CA (t/hm<sup>2</sup>):</b> 1,46; <b>LL (kg/hm) Sólido:</b> 546; <b>m<sup>3</sup>/hm Polpa:</b> 1,70; <b>TR (min.):</b> 39; <b>BIAS (cm/s):</b> +0,08; <b>% de Sólidos:</b> Alimentação: 21; <b>Concentrado:</b> 26; <b>Rejeito:</b> 19; <b>Veloc. Ar (cm/s):</b> 0,90; <b>MX (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> 6,0; <b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h):</b> 420; <b>Ar (Nm<sup>3</sup>/t):</b> 21,4; <b>Água:</b> m<sup>3</sup>/h: 90; <b>cm/s:</b> 0,19; <b>m<sup>3</sup>/t:</b> 4,6; <b>Espuma (cm):</b> 70; <b>Recuperação (%):</b> Massa: 25,7; <b>Apatita:</b> 79,1; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 5,6</p>	<p><b>Equipamento:</b> Coluna de flotação de remoído</p> <p><b>Fabricante:</b> Quantidade: 1; <b>Altura(m):</b> 14,5; <b>Seção (mxm):</b> 3,0x4,5; <b>Compartimentos:</b> 6; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 13,5; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> Total: 195,8; <b>Útil:</b> 176,9; <b>CA (t/hm<sup>2</sup>):</b> 1,46; <b>LL (kg/hm) Sólido:</b> 546; <b>m<sup>3</sup>/hm Polpa:</b> 1,70; <b>TR (min.):</b> 39; <b>BIAS (cm/s):</b> +0,08; <b>% de Sólidos:</b> Alimentação: 21; <b>Concentrado:</b> 26; <b>Rejeito:</b> 19; <b>Veloc. Ar (cm/s):</b> 0,90; <b>MX (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> 6,0; <b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h):</b> 420; <b>Ar (Nm<sup>3</sup>/t):</b> 21,4; <b>Água:</b> m<sup>3</sup>/h: 90; <b>cm/s:</b> 0,19; <b>m<sup>3</sup>/t:</b> 4,6; <b>Espuma (cm):</b> 70; <b>Recuperação (%):</b> Massa: 25,7; <b>Apatita:</b> 79,1; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 5,6</p>
<p><b>Equipamento:</b> Coluna de flotação de finos gerados</p> <p><b>Fabricante:</b> Quantidade: 1; <b>Altura(m):</b> 14,5; <b>Seção (mxm):</b> 3,0x4,5;</p> <p><b>Compartimentos:</b> 6; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 13,5; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> Total: 195,8; <b>Útil:</b> 176,9; <b>CA (t/hm<sup>2</sup>):</b> 1,67; <b>LL (kg/hm) Sólido:</b> 628; <b>m<sup>3</sup>/hm Polpa:</b> 2,16; <b>TR (min.):</b> 61; <b>BIAS (cm/s):</b> +0,05; <b>% de Sólidos:</b> Alimentação: 17; <b>Concentrado:</b> 24; <b>Rejeito:</b> 14; <b>Veloc. Ar (cm/s):</b> 0,90; <b>MX (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> 6,0; <b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h):</b> 420; <b>Ar (Nm<sup>3</sup>/t):</b> 18,6; <b>Água:</b> m<sup>3</sup>/h: 90; <b>cm/s:</b> 0,19; <b>m<sup>3</sup>/t:</b> 4,0; <b>Espuma (cm):</b> 70; <b>Recuperação (%):</b> Massa: 48,1; <b>Apatita:</b> 85,9; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 15,5</p>	<p><b>Equipamento:</b> Espessador de concentrados finos e filtrados</p> <p><b>Modelo/Fabricante:</b> B-7/EIMCO <b>Quantidade:</b> 1;</p> <p><b>Diâmetro:(Ft):</b> 70, (m): 21,3; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 358 <b>Altura Lat (Ft):</b> 8; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> 2.156; <b>Vazão (m<sup>3</sup>/h):</b> Alim: 338; <b>UD:</b> 207,5; <b>OV:</b> 130,5; <b>TR (h):</b> 6,4; <b>% de Sólidos:</b> Alim: 16,5; <b>UD:</b> 25,08; <b>OV:</b> 0,33; <b>Rec. água OV:</b> (m<sup>3</sup>/h): 130,5; <b>%:</b> 39; <b>Rec. Sólidos UD (%)</b>: t/h: 62,9; <b>%:</b> 99,9; <b>Rake (rpm):</b> 0,27.</p>
<p><b>Equipamento:</b> Coluna de flotação de barita</p> <p><b>Fabricante:</b> Quantidade: 1; <b>Altura(m):</b> 14,5; <b>Seção (mxm):</b> 3,0x4,5;</p> <p><b>Compartimentos:</b> 6; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 13,5; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> Total: 195,8; <b>Útil:</b> 176,9; <b>CA (t/hm<sup>2</sup>):</b> 1,35; <b>LL (kg/hm) Sólido:</b> 507; <b>m<sup>3</sup>/hm Polpa:</b> 0,84; <b>TR (min.):</b> 24; <b>BIAS (cm/s):</b> +0,08; <b>% de Sólidos:</b> Alimentação: 37; <b>Concentrado:</b> 42; <b>Rejeito:</b> 36; <b>Veloc. Ar (cm/s):</b> 0,94; <b>MX (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> 6,5; <b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h):</b> 455; <b>Ar (Nm<sup>3</sup>/t):</b> 24,9; <b>Água:</b> m<sup>3</sup>/h: 65; <b>cm/s:</b> 0,13; <b>m<sup>3</sup>/t:</b> 3,6; <b>Espuma (cm):</b> 26; <b>Recuperação (%):</b> Massa: 7,95; <b>Apatita:</b> 1,1; <b>Barita:</b> 75,6; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 1,4</p>	<p><b>Equipamento:</b> Espessador de lamaz</p> <p><b>Modelo/Fabricante:</b> CXT-230/EIMCO; <b>Quantidade:</b> 1;</p> <p><b>Diâmetro:(Ft):</b> 250, (m): 76,2; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 4560; <b>Altura Lat (Ft):</b> 14; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> 26.000; <b>Vazão (m<sup>3</sup>/h):</b> Alim: 1049; <b>UD:</b> 363; <b>OV:</b> 686; <b>TR (h):</b> 24,8; <b>% de Sólidos:</b> Alim: 4,0; <b>UD:</b> 10,9; <b>OV:</b> 0; <b>Rec. água OV:</b> (m<sup>3</sup>/h): 686; <b>%:</b> 65; <b>Rec. Sólidos UD (%)</b>: t/h: 42,8; <b>%:</b> 100,0; <b>Rake (rpm):</b> não possui.</p>
<p><b>Equipamento:</b> Coluna de flotação de grossos</p> <p><b>Fabricante:</b> Quantidade: 2; <b>Altura(m):</b> 14,5; <b>Seção (mxm):</b> 3,0x4,5;</p> <p><b>Compartimentos:</b> 6; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 13,5; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> Total: 195,8; <b>Útil:</b> 176,9; <b>CA (t/hm<sup>2</sup>):</b> 2,66; <b>LL (kg/hm) Sólido:</b> 998; <b>m<sup>3</sup>/hm Polpa:</b> 1,25; <b>TR (min.):</b> 50; <b>BIAS (cm/s):</b> +0,12; <b>% de Sólidos:</b> Alimentação: 30; <b>Concentrado:</b> 51; <b>Rejeito:</b> 24; <b>Veloc. Ar (cm/s):</b> 0,97; <b>MX (kgf/cm<sup>2</sup>):</b> 5,9; <b>Vazão (Nm<sup>3</sup>/h):</b> 944; <b>Ar (Nm<sup>3</sup>/t):</b> 13,1; <b>Água:</b> m<sup>3</sup>/h: 90; <b>cm/s:</b> 0,19; <b>m<sup>3</sup>/t:</b> 1,25; <b>Espuma (cm):</b> 60; <b>Recuperação (%):</b> Massa: 14,9; <b>Apatita:</b> 34,4; <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:</b> 3,1</p>	<p><b>Equipamento:</b> Espessador de finos</p> <p><b>Modelo/Fabricante:</b> C60/B2-125; <b>Quantidade:</b> 1;</p> <p><b>Diâmetro:(Ft):</b> 125, (m): 38,1; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> 1140 <b>Altura Lat (Ft):</b> 10; <b>Volume (m<sup>3</sup>):</b> 5.000; <b>Vazão (m<sup>3</sup>/h):</b> Alim: 1126; <b>UD:</b> 796; <b>OV:</b> 330; <b>TR (h):</b> 4,4; <b>% de Sólidos:</b> Alim: 7,4; <b>UD:</b> 10,3; <b>OV:</b> 0; <b>Rec. água OV:</b> (m<sup>3</sup>/h): 330; <b>%:</b> 29; <b>Rec. Sólidos UD (%)</b>: t/h: 88; <b>%:</b> 100,0; <b>Rake (rpm):</b> 0,065.</p>
<p><b>Equipamento:</b> Filtro de disco horizontal</p> <p><b>Fabricante:</b> ENVIROTECH; <b>Tipo:</b> TAMBOR; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> Total: 46,7; <b>Útil:</b> 37,4; <b>Capac. (t/hm<sup>2</sup>):</b> 0,62; <b>Umid. Torta (%)</b>: 17; <b>Elem. Filtrante:</b> material: polip., filam.: mono; <b>permeabilidade (m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>):</b> 190-200; <b>D50 (mm):</b> 21; <b>% de Sólidos:</b> Alim: 39; <b>Filtrado:</b> 8</p>	<p><b>Equipamento:</b> Filtro de disco horizontal</p> <p><b>Fabricante:</b> DORR OLIVER; <b>Tipo:</b> UCEGO; <b>Área (m<sup>2</sup>):</b> Total: 35,3; <b>Útil:</b> 25,5; <b>Capac. (t/hm<sup>2</sup>):</b> 2,9; <b>Umid. Torta (%)</b>: 13; <b>Elem. Filtrante:</b> material: polip., filam.: mono; <b>permeabilidade (m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>):</b> 558; <b>D50 (mm):</b> 75; <b>% de Sólidos:</b> Alim: 63</p>

# SERRANA / Mina de Cajati

Jurgen Schnellrath<sup>1</sup>  
Antônio Odilon da Silva<sup>2</sup>  
Nelson Takessi Shimabukuro<sup>3</sup>

■ A mina de fosfato da Serrana está situada no município de Cajati-SP, a 230 km da capital. A empresa, que atua na área de fertilizantes, pertence ao grupo Bunge e desde 1946 produz fosfato nessa região, controlando desde a lavra da rocha fosfática até a aplicação dos produtos no campo.

No início da operação da mina, lavrou-se a camada superficial do minério resultante da lixiviação natural dos carbonatos e constituída de apatita, magnetita e argilo-minerais. Esse tipo de minério, denominado de residual, era beneficiado simplesmente por operações de desagregação, deslamagem e separação magnética de baixa e média intensidades.

Decorridos 15 anos, as reservas do minério residual aproximavam-se da exaustão, o que levou a empresa a desenvolver, entre 1962 e 1965, um processo de flotação capaz de separar, com recuperação de 70% de  $P_2O_5$ , a apatita dos carbonatos, viabilizando assim o beneficiamento do minério primário com apenas 5% de  $P_2O_5$ . O baixo teor de  $P_2O_5$  no rejeito da flotação, conjugado ao baixo teor de MgO (5,5% no máximo), permitiu ainda o seu uso parcial como matéria-prima para a produção de cimento, resultando no aproveitamento global da jazida. Recentemente, fez-se uma expansão da usina, objetivando o aumento da sua capacidade de processamento, recuperação da apatita e melhoria da qualidade do concentrado. Essas alterações permitiram elevar a recuperação total de  $P_2O_5$  para 78%. Para tanto, foram feitas as seguintes modificações:

- a) instalação de um sexto moinho com capacidade de 200 t/h;
- b) instalação de duas baterias de hidrociclones ( $\phi$  5 cm) para recuperação da fração ultrafina de apatita, por meio de flotação em coluna nas etapas de cleaner e recleaner.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Técnico Químico, CETEM

<sup>3</sup> Engenheiro de Processo, SERRANA

## Geologia

A jazida, localizada na parte central da chamine alcalina de Jacupiranga, é constituída de carbonatito e circundada por jacupiranguitos, tem forma oval, com dimensões de aproximadamente 400 por 1.000 m, e direção principal NS.

O carbonatito foi formado por intrusões, resultando numa complexa distribuição de MgO e  $P_2O_5$ , com zonas de carbonatitos variando de calcíticos a dolomíticos. As composições química e mineralógica do minério atualmente em lavra estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Composições química e mineralógica do minério atualmente em lavra na mina de Cajati, SERRANA**

Composição Química		Composição Mineralógica	
Compostos	Teor (%)	Mineral	Peso (%)
$P_2O_5$	5,0	Apatita	12,0
CaO	45,0	Calcita	57,0
MgO	4,0	Dolomita	21,0
$CO_2$	38,0	Magnetita	7,0
$Fe_2O_3$	6,0	Flogopita	2,0
$SiO_2$	1,0	Outros	1,0
Outros	1,0	–	–

As reservas lavráveis são de 100 milhões de toneladas de minério apatítico com 4,7% em média de  $P_2O_5$ , que, ao ritmo atual de produção de 5 milhões de toneladas de minério bruto, permite uma vida útil da mina de 20 anos.

## Lavra

O método de lavra empregado é a céu aberto, com bancadas de alturas entre 10 e 20 m (Figura 1A). A relação estéril/minério é de 1,4:1 e o teor de corte é de 3% de  $P_2O_5$ . Parte do estéril da mina é britado e classificado em circuito à parte, servindo de brita para a pavimentação de estradas. Devido à alta relação estéril/minério é necessária a remoção contínua de grandes quantidades de estéril, para a abertura da cava (até 600.000 t/mês). Atualmente o topo da cava situa-se na cota 160 m e o seu piso a -60 m em relação ao nível do mar. Na exaustão da jazida, deve-se chegar à cota -300 m. A fim de obter maior homogeneidade do minério, a lavra é feita simultaneamente em duas ou mais frentes. O desmonte é feito com explosivos em malha de detonação de 3 x 5 m.

Os equipamentos utilizados no desmonte e carregamento do minério lavrado são os seguintes:

- a) três perfuratrizes ( $\phi$  90 mm) da ATLAS COPCO;
- b) dois tratores CATERPILLAR (D6K e D8K);

- c) quatro carregadeiras frontais CATERPILLAR (modelos 980 e 950);
- d) três escavadeiras hidráulicas *shovel* e uma retroescavadeira (todas LIEBHERR).

Caminhões basculantes com capacidade de 30 t transportam o minério da frente de lavra para a britagem primária.

Um britador giratório com abertura de 140 mm, instalado próximo à cava (Figura 1B), faz a britagem primária do minério em blocos de dimensão de até 1 m. Em seguida o minério é transferido a uma pilha intermediária, de onde segue para a rebitagem e peneiramento.

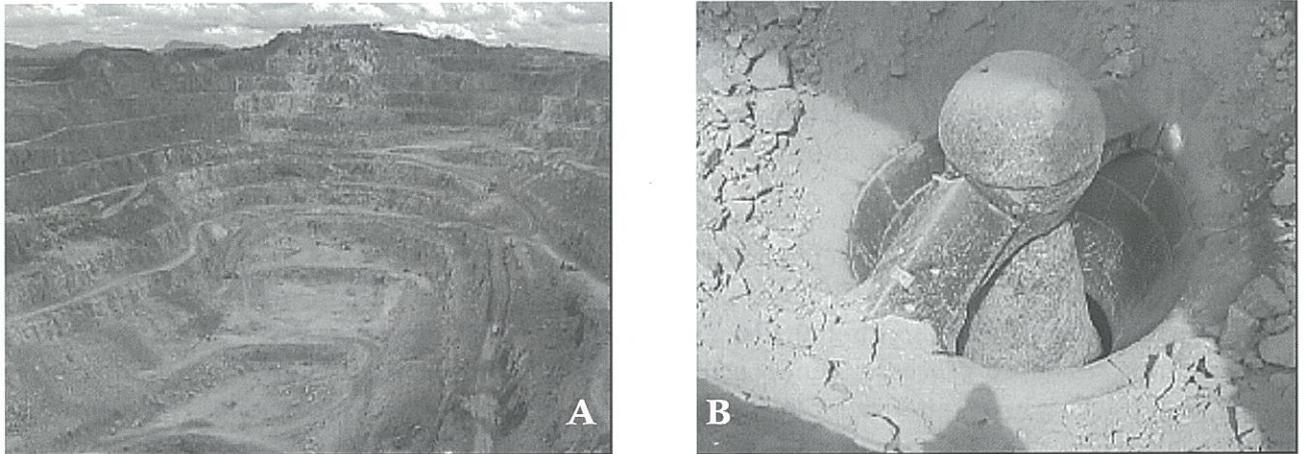


Figura 1: (A) Vista geral da cava da mina Cajati. (B) Vista de cima do britador giratório primário

## Usina de concentração

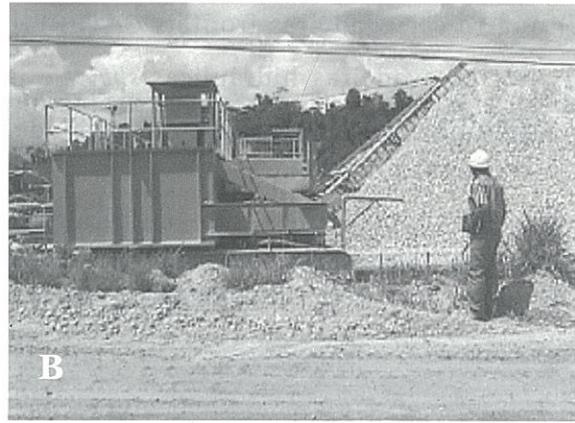
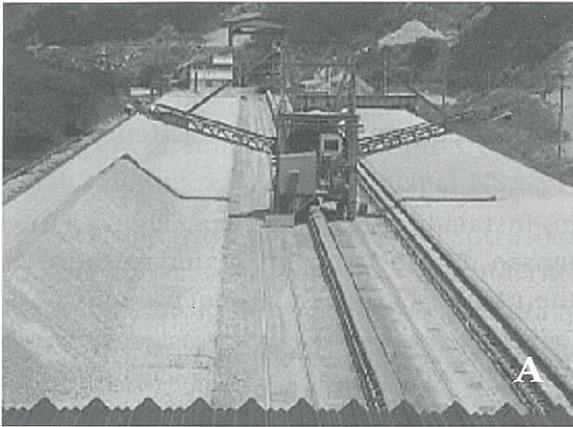
### Britagem primária e secundária, peneiramento e homogeneização

O minério da pilha intermediária é classificado a seco, em dois fluxos paralelos, em peneiras vibratórias de dois deques com aberturas de 120 e 45 mm e inclinação de 20°. A fração retida no primeiro deque alimenta um britador cônico com abertura de 40 mm, que opera em circuito fechado com uma peneira vibratória com abertura de 45 mm e 20° de inclinação. A fração intermediária retida no segundo deque das peneiras primárias segue para os britadores cônicos com abertura de 25 mm, em circuito fechado com as mesmas. O produto da britagem (abaixo 45 mm) segue para as pilhas de homogeneização.

O pátio de homogeneização opera com duas pilhas de 360 m de comprimento e capacidade de 24 mil toneladas cada. As pilhas são preparadas pelo método *chevron* alternadamente por uma empilhadeira de duas lanças (Figura 2A) com capacidade de 800 t/h. A retomada da pilha é feita em sua seção transversal por meio de uma retomadora de grade dentada (Figura 2B).

### Moagem, separação magnética, classificação e deslamagem

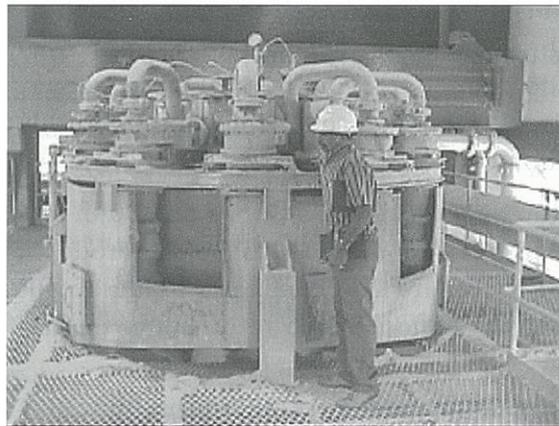
O minério proveniente das pilhas de homogeneização é dividido, por meio de uma calha divisória instalada na torre de transferência, em dois fluxos: parte alimenta o novo moinho de barras de número 6, com capacidade para 200 t/h, e o restante segue pela correia *tripper* até os



**Figura 2: (A) Vista parcial da empilhadeira de duas lanças. (B) Retomadora de grade dentada.**

silos, para alimentar os outros cinco moinhos de barras, com capacidade de 110 t/h cada. As seis linhas de moagem são independentes e trabalham em paralelo. A descarga dos moinhos passa por separadores magnéticos de tambor, de baixa intensidade (um para cada moinho de 110 t/h e dois para o moinho de 200 t/h) para a retirada da magnetita. Este concentrado é um dos produtos finais do processo, sendo utilizado parcialmente como corretivo, na indústria do cimento. A fração não-magnética (95% em peso) é bombeada para os hidrociclones classificadores ( $\phi$  660 mm)(Figura 3), com partição em massa para o *underflow* de 62%, fechando assim os circuitos de moagem.

O *overflow* dos sete hidrociclones classificadores (- 0,80 mm) segue para uma etapa de deslamagem em hidrociclones ( $\phi$  250 mm). Uma primeira bateria, constituída de trinta hidrociclones, é alimentada pelo *overflow* correspondente aos moinhos 1 a 5, e a outra, constituída de apenas dez hidrociclones, pelo material correspondente ao moinho 6. O corte da deslamagem é de 30  $\mu$ m e a partição em massa para o *underflow* é de 84%. O *overflow* dos hidrociclones deslamadores é enviado para o espessador de lamas, onde é feita a recuperação dos ultrafinos, e o *underflow* segue para o circuito de flotação de grossos.



**Figura 3: Conjunto de ciclones deslamadores.**

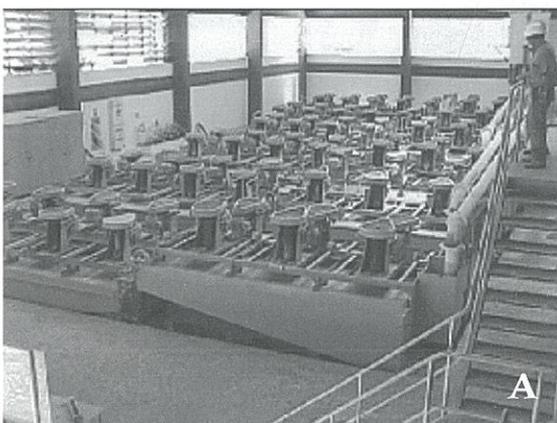
## Flotação de grossos

O condicionamento da fração grossa é realizado em cinco condicionadores com um volume total de 45 m<sup>3</sup>, porcentagem de sólidos de 70% e pH 10,6. Como depressor é utilizado o amido de milho gelatinizado, na proporção de 100 g/t e tempo de condicionamento de 6 min. Como coletor e espumante é adicionado, na última etapa do condicionamento, o reagente Berol (Akzo Nobel), numa dosagem de 50 g/t e tempo de condicionamento de 30 s.

A flotação de grossos é realizada num circuito composto por células mecânicas e colunas de flotação. Oitenta e quatro células mecânicas (Figura 4A) executam as etapas de flotação *rougher* e *scavenger*, distribuídas em doze bancos constituídos de três células *rougher* e quatro células *scavenger* cada. A porcentagem de sólidos na alimentação da etapa *rougher* é 50% e os tempos de residência nas etapas *rougher* e *scavenger* são 4 e 7 min, respectivamente. O rejeito *scavenger*, com menos de 1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, deixa o circuito e, dependendo da sua composição química, pode ser utilizado:

- a) como matéria-prima na produção de cimento (80 a 100.000 t/mês), fosfato bicálcico (fosfálcio) e nutriente animal, quando se trata do rejeito calcítico (MgO < 5,5%);
- b) como corretivo de solo, a partir do beneficiamento de minério dolomítico (MgO > 10%);
- c) pode ainda ser estocado em bacias de decantação para eventual aproveitamento futuro, no caso de valores intermediários de MgO.

O concentrado *scavenger* retorna à alimentação da flotação *rougher*. O concentrado *rougher* segue, com 30% de sólidos, para a flotação em colunas (Figura 4B), onde passa por uma etapa *cleaner*, com tempo de residência de 9 min, e o concentrado dessa, com uma porcentagem de sólidos de 40%, por uma etapa *re-cleaner*, com tempo de residência de 7 min. Os rejeitos *cleaner* e *re-cleaner* retornam à etapa *rougher* nas células mecânicas. O concentrado *re-cleaner*, constitui-se no concentrado apatítico final (grosso) com 35% de sólidos, que é encaminhado para um circuito de hidrociclones desaguadores, filtragem e secagem. A Tabela 2 apresenta a composição química média do concentrado apatítico.grosso obtido na etapa *re-cleaner*.



**Figura 4:** (A) Vista parcial do circuito de células de flotação das etapas *rougher* e *scavenger*. (B) Colunas de flotação.

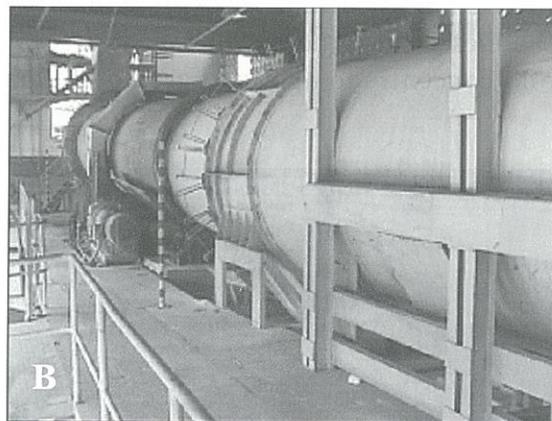
**Tabela 2 – Composição química do concentrado apatítico grosso produzido pela SERRANA, em Cajati – SP**

Composição Química			
Compostos	Peso (%)	Compostos	Peso (%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35,5	K <sub>2</sub> O	0,2
CaO	52,5	Na <sub>2</sub> O	0,2
MgO	1,4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	F	1,4
SiO <sub>2</sub>	0,4	P.P.C.	7,7

PPC: perda por calcinação

### Desaguamento, filtragem e secagem de grossos

Dois hidrociclones ( $\phi$  250 mm) executam o desaguamento do concentrado apatítico grosso. O *overflow* do primeiro estágio alimenta o segundo, cuja fração fina abastece o circuito de flotação de ultrafinos em coluna. O *underflow* da ciclonagem alimenta, por gravidade, dois filtros de correia (Figura 5A), resultando numa torta com 8 a 10% de umidade. Caminhões basculantes transportam o produto da filtragem desde a pilha cônica até a fábrica de ácido fósfórico situada na área do Complexo Industrial de Cajati. Outra opção de processo para esse produto é seguir para secagem em secador rotativo (Figura 5B), e daí para a expedição, onde é vendido às empresas do setor de fertilizantes. A estocagem é feita em três silos de 1.800 t de capacidade cada. O forno rotativo realiza também a secagem do rejeito calcítico, que pode seguir para a expedição ou para a usina de nutrição animal.



**Figura 5: (A) Vista lateral do filtro de correia. (B) Secador horizontal rotativo.**

No complexo químico, o concentrado apatítico grosso é utilizado na produção de ácido fosfórico. Esse processo de produção utiliza 1.800 t/dia de ácido sulfúrico e produz grande quantidade de vapor, que é utilizado na geração de energia elétrica suficiente para suprir 65% da necessidade do Complexo Industrial e da Mineração de Cajati.

Parte do ácido fosfórico obtido é purificado por extração por solvente, resultando num produto comercial, denominado de FOSBRASIL (50.000 t/ano), utilizado na fabricação de refrigerantes tipo cola e como conservante de alimentos. O ácido fosfórico não purificado pode ainda, após reação com o rejeito calcítico da flotação devidamente seco, resultar no fosfato bicálcico denominado Foscálcio (200.000 t/ano), que é utilizado como nutriente animal, misturado ao sal ou como componente de rações, .

## Espessamento e recuperação de ultrafinos

O *overflow* dos hidrociclones deslamadores ( $\phi$  250 mm) segue para o espessador de lamas , cujo *overflow*, por sua vez, constitui-se na água de recirculação do processo. O *underflow* do espessador de lamas segue para dois estágios de ciclonagem em hidrociclones ( $\phi$  50 mm) com corte em 6 mm. No primeiro estágio, constituído de 300 hidrociclones, o *overflow* é descartado como lama para a barragem de rejeitos. O *underflow* da ciclonagem alimenta o segundo estágio com 240 hidrociclones. O *overflow* dessa etapa retorna ao espessador de lamas e o *underflow* é encaminhado para o condicionamento de ultrafinos, para flotação mais o *overflow* do hidrociclone desaguador de concentrado apatítico grosso.

## Flotação de ultrafinos

No condicionamento da fração ultrafina também é adicionado o amido de milho gelatinizado como depressor (300 g/t). São utilizados três condicionadores com um volume total de 50 m<sup>3</sup>, processando-se uma polpa com 35% de sólidos, com tempo de condicionamento de 30 min e pH 10,9. No último estágio de condicionamento são adicionados novamente o coletor e o espumante Berol (Akzo Nobel) na proporção de 100 g/t, tempo de condicionamento de 60 s e pH 10,6.

A flotação de ultrafinos é feita em três colunas, duas maiores nas etapas *rougher* e *scavenger* e uma menor na etapa *cleaner* (Figura 6A). O rejeito *rougher* alimenta a etapa *scavenger* e os concentrados *rougher* e *scavenger* alimentam a etapa *cleaner*. O concentrado *cleaner* é o produto final, que passa pela etapa de espessamento e filtragem (Figura 6B). O rejeito *scavenger* constitui o rejeito final do processo, bombeado à barragem de rejeitos.

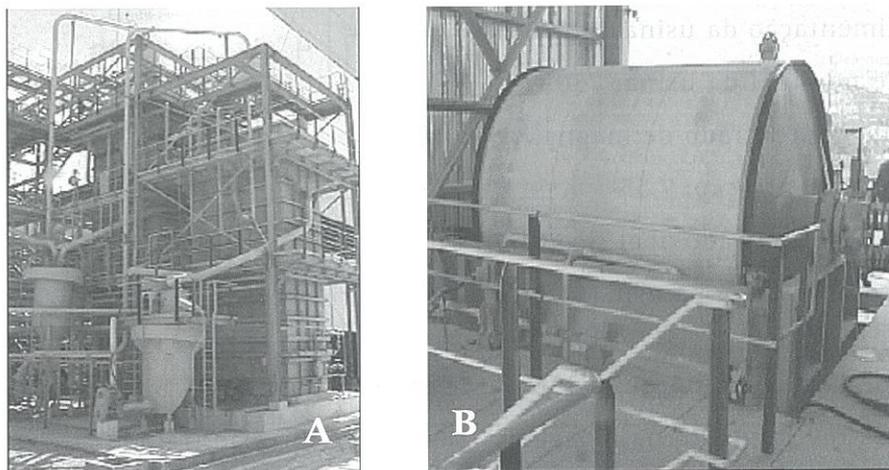


Figura 6: (A) Circuito de flotação em colunas para ultrafinos. (B) Filtro de Tambor

## Produtos e subprodutos da usina

O fluxograma da figura 7 apresenta as etapas de concentração da usina de Cajati. A Tabela 3 apresenta os balanços de massas e metalúrgico da usina de beneficiamento.

**Tabela 3 – Balanços de massa e metalúrgico da usina de beneficiamento da SERRANA, em Cajati – SP**

Produto	Peso (%)	Teor de $P_2O_5$	Distribuição (%)
Alimentação	100,0	5,3	100,0
Magnético	5,0	1,5	1,4
Lamas	15,0	3,4	9,6
Concentrados Fosfatados	11,0	36,6	76,0
Calcário	69,0	1,0	13,0

## Controle do processo

No controle do processo, são amostrados, para análises físicas e químicas, os seguintes pontos do circuito: descarga dos moinhos (% de sólidos), magnetita ( $P_2O_5$ , MgO), *overflow* dos hidrociclones classificadores ( $P_2O_5$  e granulometria), *overflow* dos hidrociclones deslamadores ( $P_2O_5$ ), condicionamento de grossos e ultrafinos (pH), concentrado da flotação de grossos ( $P_2O_5$ , MgO), rejeito da flotação de grossos ( $P_2O_5$ , MgO), *underflow* do espessador de lamas (% sólidos,  $P_2O_5$ ), *overflow* do primeiro estágio de microciclonagem de recuperação (% sólidos,  $P_2O_5$ ), *underflow* do segundo estágio de microciclonagem de recuperação (% sólidos,  $P_2O_5$ ), alimentação da flotação de ultrafinos ( $P_2O_5$ ), concentrado da flotação de ultrafinos ( $P_2O_5$ , % < 74  $\mu\text{m}$ ), rejeito da flotação de ultrafinos ( $P_2O_5$ ) e *underflow* do espessador de concentrado ( $P_2O_5$ , % < 74  $\mu\text{m}$ ).

## Dados operacionais

Taxa de alimentação da usina 14.900 t/d.

Capacidade nominal da usina: 750 t/d.

Produção de concentrado de magnetita 1.040 t/d

Relação de concentração: 7,55

Produção de concentrado apatítico 1.570 t/d.

Consumo total de água na usina: 3,6 m<sup>3</sup>/t de minério tratado, do qual 40% correspondem à água de recirculação.

Consumo de barras na moagem: 130 g/t de minério tratado.

Consumo de revestimento na moagem: 0,005 g/t de minério tratado.

Consumo total de energia da usina: 5.097.440 kWh/mês = 11,40 kWh/t de minério tratado.

Consumo total de energia na britagem: 358.906.666 kWh/mês = 0,80 kWh/t de minério tratado.

Consumo total de energia na moagem 1.199.913,7 kWh/mês = 2,68 kWh/t de minério tratado.

Área do filtro de tambor: 23,34 m<sup>2</sup>.

Área do filtro horizontal: 12 m<sup>2</sup>.

Razão de filtragem do filtro horizontal: 2,5 t/m<sup>2</sup>/h.

Diâmetro do espessador de concentrado de grossos: 12,2 m.

Diâmetro do espessador de concentrado de ultrafinos: 5,5 m.

Diâmetro do espessador de lamas: 30,5 m.

Razão de espessamento de concentrado: 6,2 t/m<sup>2</sup>

Consumo de coletor (Berol): 60 g/t.

Consumo de amido: 85 g/t

Consumo de NaOH: 10 g/t.

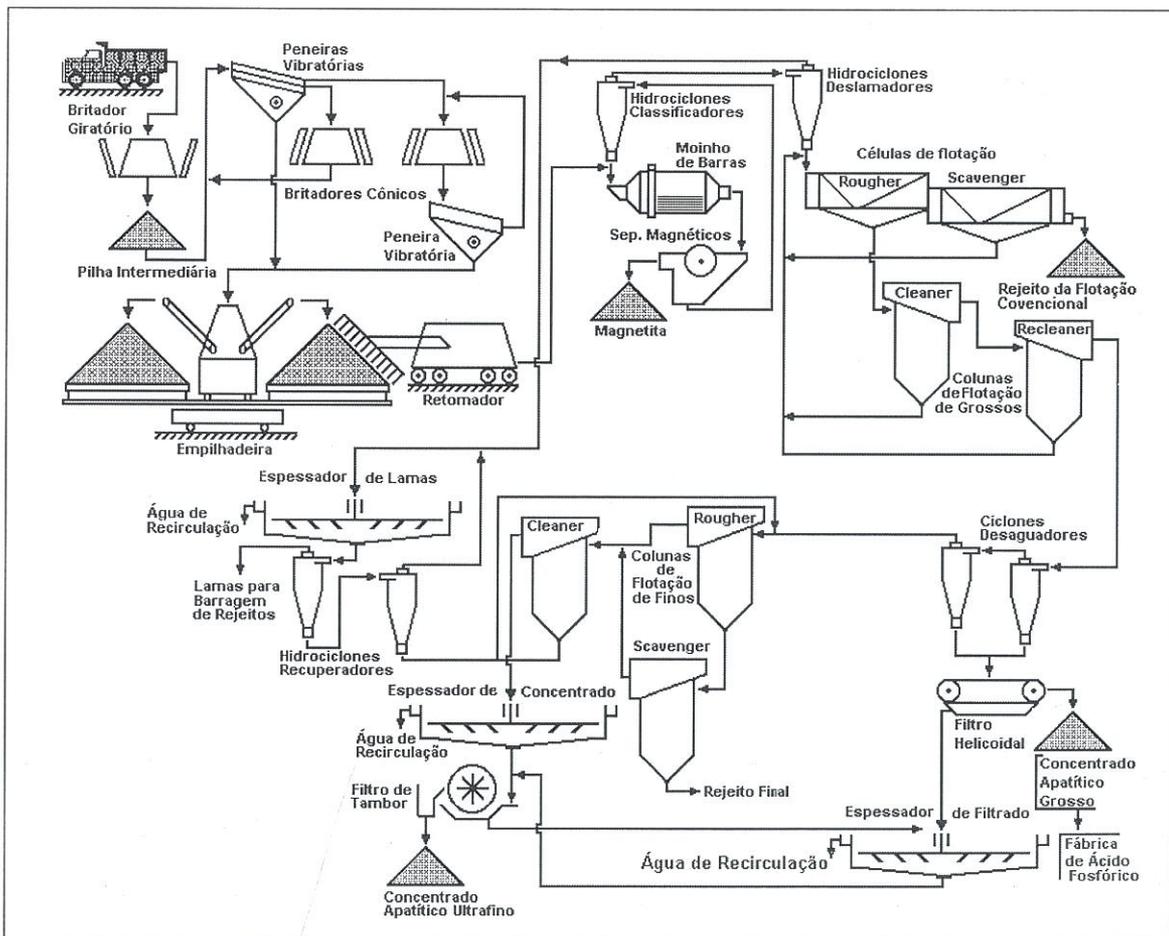


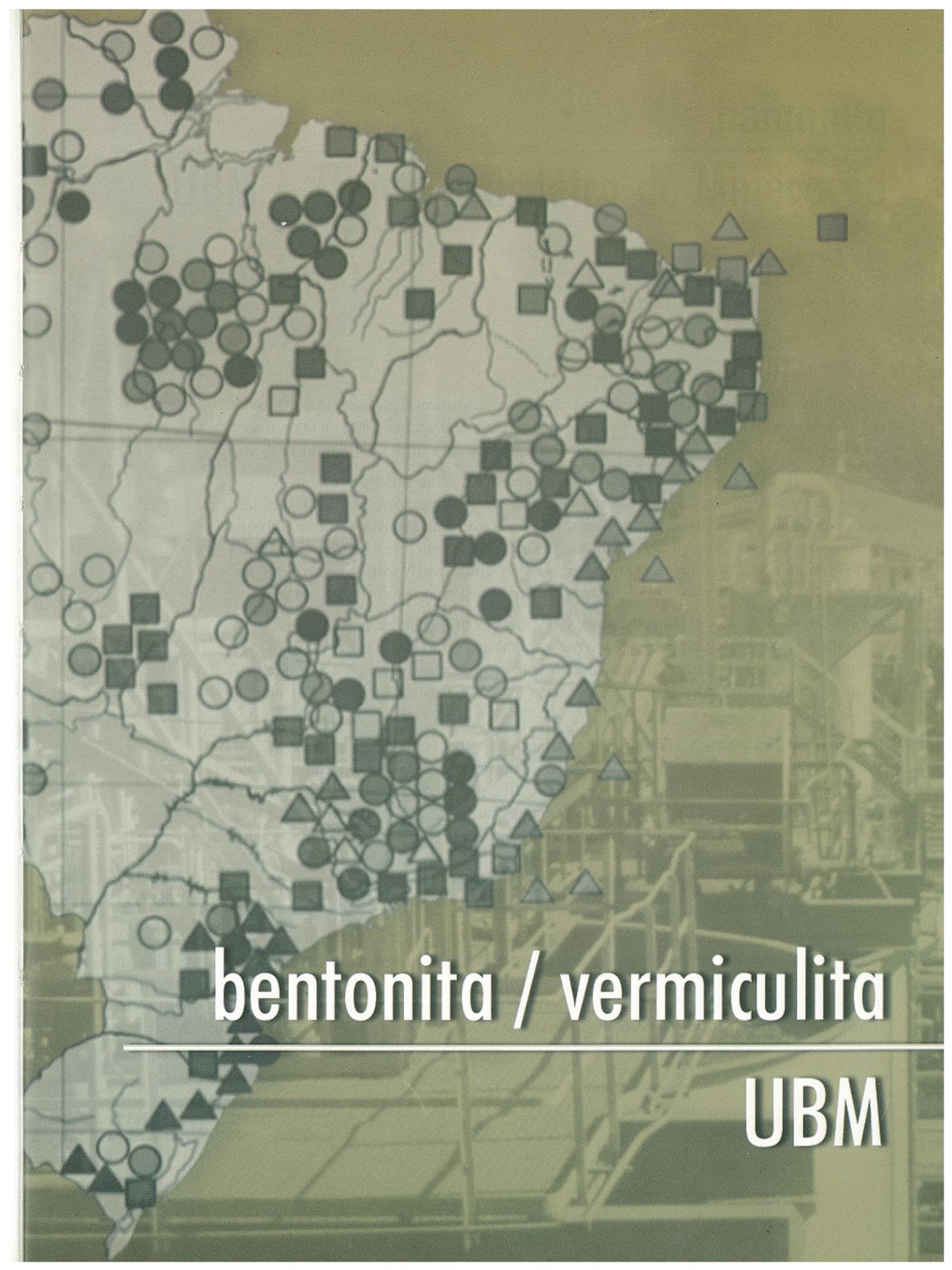
Figura 7: Fluxograma de beneficiamento de rocha fosfática da mina de Cajati, SERRANA

### Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de rocha fosfática da mina de Cajati, SERRANA

<b>Equipamento:</b> Britador primário	<b>Equipamento</b> Hidrociclones classificadores
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> ALLIS CHALMERS 4265; <b>Tipo:</b> giratório;	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> CIRCULATION BED CLASSIFIER - CBC;
<b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões:</b> 60" de abertura na entrada e 89" no cone;	<b>Quantidade:</b> 7; <b>Diâmetro:</b> 26"; <b>Apex:</b> 6"; <b>Vortex finder:</b> 10"; <b>Pressão de Trabalho:</b> 15 psi
<b>Topsize da alimentação:</b> 42"; <b>Tamanho do Produto:</b> 5½";	
<b>Capacidade:</b> 1000 t/h; <b>Motor:</b> 350 cv / 885 rpm	
<b>Equipamento</b> Britador secundário	<b>Equipamento</b> Hidrociclones deslamadores
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> ALLIS CHALMERS 1051; <b>Tipo:</b> cônico;	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> KREBS; <b>Quantidade:</b> 2 baterias, uma com 30 ciclones e outra com 10; <b>Diâmetro:</b> 10"; <b>Apex:</b> 1½"; <b>Vortex finder:</b> 3½";
<b>Quantidade:</b> 2; <b>Dimensões:</b> 7" de abertura de entrada e 36" no cone;	<b>Pressão de Trabalho:</b> 30 psi
<b>Topsize da alimentação:</b> bitolado entre 4¾" e 1¾"; <b>Tamanho do Produto:</b> 1¾"; <b>Capacidade:</b> 200 t/h; <b>Motor:</b> 125 cv / 1180 rpm	
<b>Equipamento</b> Britador secundário	<b>Equipamento</b> Células mecânicas de flotação (rougher)
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> TELSMITH 6614S; <b>Tipo:</b> cônico;	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> WENCO; <b>Tipo:</b> Open Flow ; <b>Quantidade:</b> 12 bancos com 3 células cada; <b>Volume:</b> 1,7 m³; <b>Motores:</b> 10 cv; <b>Rotor (f):</b> 290 mm
<b>Quantidade:</b> 1; <b>Topsize da alimentação:</b> 4¾"; <b>Tamanho do Produto:</b> 1¾"; <b>Capacidade:</b> 300 t/h; <b>Motor:</b> 300 cv / 1100 rpm	
<b>Equipamento</b> Peneira vibratória	<b>Equipamento</b> Células mecânicas de flotação (scavenger)
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> FAÇO - ALLIS CHALMERS 4265; <b>Tipo:</b> vibratória duplo deck; <b>Quantidade:</b> 3; <b>Dimensões (L x C):</b> 7' x 16';	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> WENCO; <b>Tipo:</b> Open Flow ; <b>Quantidade:</b> 12 bancos com 4 células cada; <b>Volume:</b> 1,7 m³; <b>Motores:</b> 10 cv; <b>Rotor (f):</b> 290 mm
<b>Capacidade:</b> 350 t/h; <b>Motor:</b> 40 cv / 1770 rpm; <b>Inclinação:</b> 20 graus	
<b>Equipamento</b> Moimho de barras (moagem de liberação)	<b>Equipamento</b> Coluna de flotação (circuito de grossos/cleaner)
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> FAÇO - ALLIS CHALMERS; <b>Tipo:</b> de barras; <b>Quantidade:</b> 5; <b>Dimensões (φ x C):</b> 9' x 15'; <b>Capacidade:</b> 110 t/h/moimho; <b>Motor:</b> 600 cv / 200 rpm; <b>Barras:</b> 100% ACESITA, (f x C): 90 x 4470 mm; <b>Consumo de barras:</b> 17.5 g/t/moimho, <b>Enchimento:</b> 43% do volume total do moimho; <b>Consumo de energia:</b> 4.5 kWh/t/moimho, <b>Velocidade:</b> 65% da velocidade crítica; <b>Consumo do revestimento:</b> 3.5 g/t/moimho	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> TBM/COMINCO; <b>Tipo:</b> Canadense; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (L1 x L2 x H):</b> 3 x 4.5 x 14 m; <b>Capacidade:</b> 323 m³/h
<b>Equipamento</b> Moimho de barras (moagem de liberação)	<b>Equipamento</b> Coluna de flotação (circuito de ultrafinos/rougher)
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> MARCY; <b>Tipo:</b> de barras; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (f x C):</b> 12' x 16'; <b>Capacidade:</b> 200 t/h; <b>Motor:</b> 1268 cv / 240 rpm; <b>Barras:</b> 100% ACESITA, (φ x C): 90 x 4670mm; <b>Consumo de barras:</b> 18 g/t; <b>Enchimento:</b> 43% do volume total; <b>Consumo de energia:</b> 4.68 kWh/t, <b>Velocidade:</b> 65% da velocidade crítica; <b>Consumo do revestimento:</b> 3.7 g/t.	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> TBM/COMINCO; <b>Tipo:</b> Canadense; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (L1 x L2 x H):</b> 3 x 4.5 x 14 m; <b>Capacidade:</b> 295.3 m³/h
<b>Equipamento</b> Separador magnético de baixa densidade	<b>Equipamento</b> Coluna de flotação (circ. de ultrafinos/scavenger)
<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> ERIEZ; <b>Tipo:</b> rolo simples; <b>Quantidade:</b> 7; <b>Dimensões (φ x C):</b> 1.2 x 3.0 m; <b>Campo magnético:</b> 2000 Gauss	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> TBM/COMINCO; <b>Tipo:</b> Canadense; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (L1 x L2 x H):</b> 3 x 4.5 x 14 m; <b>Capacidade:</b> 310.1 m³/h
	<b>Equipamento</b> Coluna de flotação (circuito de ultrafinos/cleaner)
	<b>Características:</b> <b>Fabricante:</b> TBM/COMINCO; <b>Tipo:</b> Canadense; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (L1 x L2 x H):</b> 3 x 4.5 x 10 m; <b>Capacidade:</b> 62.5 m³/h

**Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o beneficiamento de rocha fosfática da mina de Cajati, SERRANA**

<b>Equipamento</b> Hidrociclones recuperadores de ultrafinos	<b>Equipamento</b> Espessador de filtrado
<b>Características:</b> Fabricante: MOZLEY; <b>Quantidade:</b> primeiro estágio com 300 ciclones e segundo com 240; <b>Diâmetro:</b> 2"; <b>Apex:</b> 9 mm; <b>Vortex finder:</b> 11 mm ; <b>Pressão de Trabalho:</b> 30 psi	<b>Características:</b> Fabricante: EIMCO; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Diâmetro:</b> 40'
<b>Equipamento</b> Hidrociclones desaguadores de concentrado	<b>Equipamento</b> Espessador de concentrado ultrafino
<b>Características:</b> Fabricante: KREBS; <b>Quantidade:</b> 2; <b>Diâmetro:</b> 10"; <b>Apex:</b> 2"; <b>Vortex finder:</b> 3 1/2"; <b>Pressão de Trabalho:</b> 1,5 kg/cm <sup>2</sup>	<b>Características:</b> Fabricante: BAKER PROCESS/EIMCO; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Diâmetro:</b> 5.5 m
<b>Equipamento</b> Filtro horizontal	<b>Equipamento</b> Espessador de lamas
<b>Características:</b> Fabricante: EIMCO; <b>Tipo:</b> plano de correia à vácuo; <b>Quantidade:</b> 2; <b>Dimensões (C X L):</b> 8 x 1,5 m	<b>Características:</b> Fabricante: EIMCO; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Diâmetro:</b> 100'
<b>Equipamento</b> Filtro de tambor	<b>Equipamento</b> Forno rotativo
<b>Características:</b> Fabricante: BAKER PROCESS; <b>Tipo:</b> de tambor à vácuo; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (φ x L):</b> 8' X 10'; <b>Área Filtrante:</b> 23.34 m <sup>2</sup>	<b>Características:</b> Fabricante: Mecanica Pesada/Kennedy Van Salin; <b>Quantidade:</b> 1; <b>Dimensões (C x φ):</b> 12,1 x 2,1 m; <b>Combustível:</b> lenha picada; <b>Rotação:</b> 3,5 rpm

A map of Argentina is overlaid on a background image of an industrial facility. The map features a grid of latitude and longitude lines and is populated with numerous sampling points. These points are represented by various symbols: solid circles, open circles, solid squares, open squares, solid triangles, and open triangles. The symbols are distributed across the country, with a high concentration in the northern and central regions. The background image shows a large industrial complex with multiple buildings, pipes, and structural elements, likely a processing plant for minerals.

**bentonita / vermiculita**

**UBM**

## UBM – União Brasileira de Mineração

Adão Benvindo da Luz<sup>1</sup>  
João Alves Sampaio<sup>1</sup>  
Massilon André Araújo Neto<sup>2</sup>

■ A UBM produz bentonita a partir de uma mina de argila montimorilonítica, denominada de Mina de Lages, situada no município de Boa Vista – PB, a cerca de 7 km da sede desse município e a 50 km de Campina Grande.

Bentonita é o nome dado a uma argila plástica e coloidal, constituída essencialmente pelo argilo mineral montimorilonita, formada por desvitrificação seguida de alterações químicas de um material vulcânico. A bentonita pode ser cálcica ou sódica. Esta última foi identificada pela primeira vez na localidade denominada Fort Benton, nos EUA. A bentonita tem uma característica física muito particular: quando em contato com a água expande várias vezes o seu volume, formando géis tixotrópicos.

As bentonitas de Boa Vista são cálcicas e para serem utilizadas industrialmente, ou seja, transformadas em sódicas, precisam ser ativadas com carbonato de sódio (barrilha). Esse processo foi desenvolvido e patenteado na Alemanha, no ano de 1933, pela empresa Erbsloh & Co. e é atualmente utilizado pelos países que não dispõem de bentonita sódica natural.

A argila lavrada pela UBM é transportada por caminhões, num percurso de 50 km, para a unidade industrial, em Soledade - Fazenda Vilu, PB. Nessa unidade da UBM, localizada à margem da rodovia BR 230, a cerca de 50 km de Campina Grande, na direção de Patos, sertão da Paraíba, além da bentonita são obtidos outros produtos industriais tais como barita, caulim, calcita, feldspato, atapulgita, etc.

## Geologia

As argilas montimorilonítica das minas de Boa Vista se apresentam cobertas por uma camada de solo argiloso, variando entre 0,3 a 1,5 m onde predomina uma vegetação escassa, constituída, principalmente, de cactáceas. Nos níveis onde é feita a lavra, as argilas se apresentam em camadas de cores variadas, por vezes formando estratificações ou zonas uniformes. Localmente essas argilas de cores variadas (Figura 1) recebem as denominações de 'chocolate', 'verde lodo', 'vermelha', 'sortida' ou 'mista' e 'bofe' ou 'leve'.

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro, UBM

Os principais usos industriais da bentonita são os seguintes:

- a) como agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e água subterrânea, e também na pelotização de minérios de ferro;
- b) como aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição;
- c) no descoramento de óleos vegetais, minerais e animais;
- d) como carga de borracha, papéis, sabões, tintas;
- e) como clarificante de caldo de cana de açúcar e bebidas em geral;
- f) como carga detergente e na clarificação de águas;
- g) como impermeabilizante de barragens, canais e solos;
- h) em produtos cerâmicos e refratários;
- i) como suspensor de inseticidas e fertilizantes.

## Lavra e beneficiamento

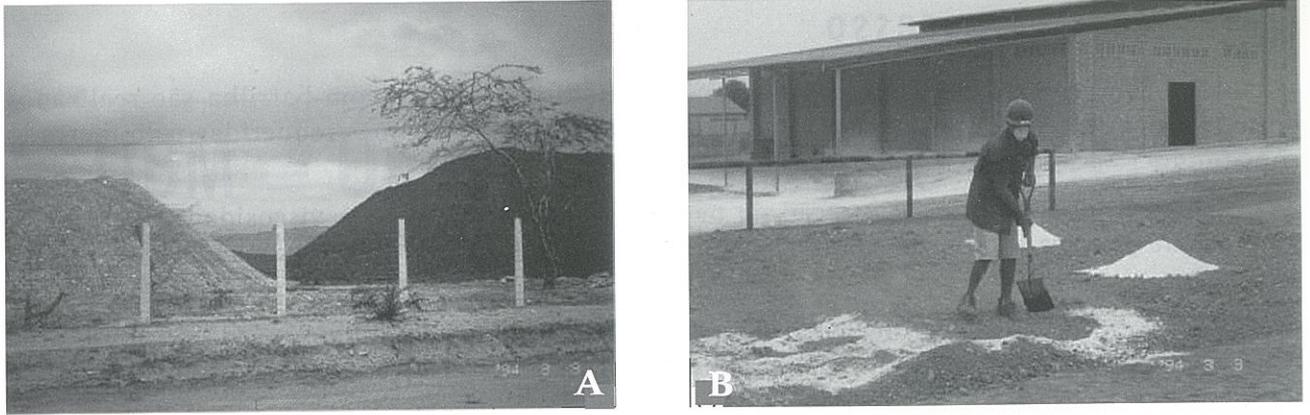
A preparação das frentes de lavra tem início com a remoção do capeamento, realizado com tratores e carregadeira frontal. O estéril da mina é transportado por caminhões fora-de-estrada, para locais onde comprovadamente não exista bentonita.

Na mina de Lages, bem como nas demais da região, a lavra é feita a céu aberto, em bancadas que atingem no máximo 2,5 m. As operações de desmonte e carregamento são executadas com o auxílio de carregadeira frontal de esteira, tipo CATERPILLAR – 955. A bentonita é lavrada e transportada por caminhões fora-de-estrada para pilhas de estoque localizadas próximas à mina (Figura 1A). Esse procedimento deve-se ao fato de que, na estação chuvosa, algumas vezes, as atividades de lavra são paralisadas devido às condições operacionais inadequadas da mina. A inconsistência do material argiloso provoca deslizamentos, impossibilitando o tráfego de caminhões na mina.

Dependendo da natureza do produto que se deseja obter (fluido de perfuração, pelotização, areia de fundição etc), os mineradores de bentonita da região têm bastante experiência sobre qual tipo de argila deve ser processada (chocolate, verde lodo, etc). Em algumas situações faz-se necessária a blendagem dessas argilas, em função também do produto que se deseja obter.

O beneficiamento das bentonitas cálcicas consta das seguintes etapas: desintegração, adição de 2,5 a 3% em peso de barrilha, homogeneização, laminação ou extrusão, cura (2 a 10 dias), secagem, moagem, classificação e ensacamento.

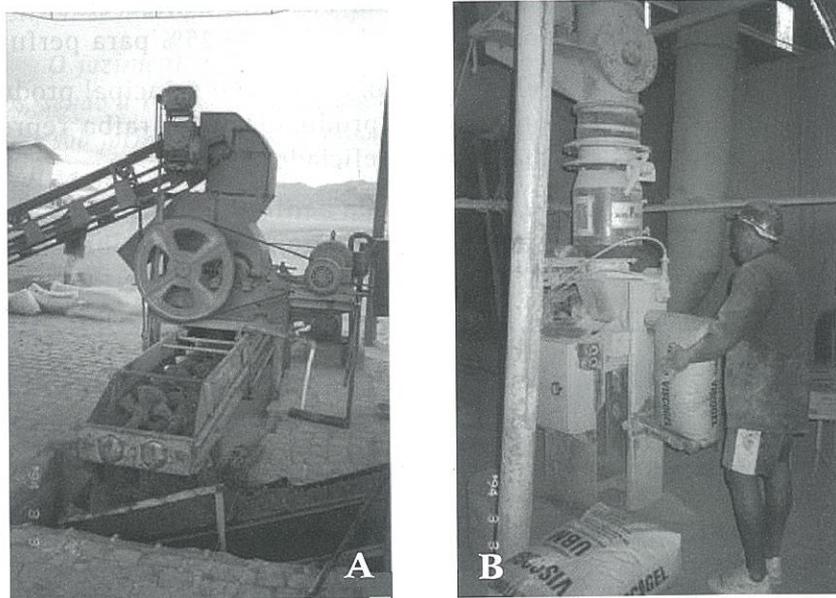
A bentonita produzida atualmente pela UBM destina-se, na sua maioria, ao mercado de fundição. O beneficiamento se inicia com a adição à bentonita de 3% em peso de barrilha espalhamento no pátio de homogeneização. No caso da UBM esse procedimento é realizado manualmente com o auxílio de pás (Figura 1B), sendo o material homogeneizado transferido para uma moega de alimentação na usina. Um alimentador retira o material da moega, a uma taxa de 4 t/h, e descarrega em um desintegrador de rolo, localmente chamado de pé-de-cabra. Deste equipamento a bentonita segue por transportador de correia para outro misturador. Em seguida a bentonita homogeneizada vai para um misturador de parafuso para adição de água (Figura 2A). A mistura, com umidade em torno de 34%, tem a finalidade de promover maior contato da barrilha com a montmorilonita. Todos os equipamentos são de fabricação da MAQUINOR.



**Figura 1: (A) Pilhas de estoque de bentonita. (B) Ativação da bentonita com barrilha – UBM**

Do misturador de parafuso a bentonita segue por transportador de correia para um laminador de rolos; daí é enviada por transportador de correia para o pátio de cura e secagem ao sol por um período de 48 a 180 horas. Quando a bentonita ativada atinge o nível de umidade em torno de 12%, segue para a etapa seguinte de moagem.

A bentonita ativada e seca é alimentada em um moinho pendular, tipo *Raymond*, de fabricação MAQUINOR. Injeta-se uma corrente de ar na parte inferior do moinho, a fim de levar o produto da moagem para um classificador pneumático. O *underflow* deste constitui o produto



**Figura 2: (A) Misturador de parafuso usado na homogeneização da bentonita. (B) Ensacamento de bentonita para expedição.**

da moagem, e é acondicionado em sacos de 50 kg (Figura 2B). No *overflow*, parte do fluxo volta ao moinho e os finos são coletados em um filtro de mangas. As etapas de beneficiamento estão esquematicamente apresentados no fluxograma da Figura 3.

## Controle de processo

Para avaliar o desempenho das bentonitas calcínicas ativadas com barrilha são realizados ensaios físicos e análises químicas, visando controlar as especificações requeridas pelo mercado consumidor específico ao qual o produto é destinado.

No caso de fluido de perfuração de petróleo são determinados a viscosidade aparente, a viscosidade plástica, o filtrado API, o resíduo em 74  $\mu\text{m}$  e a umidade (Normas PETROBRÁS 1675a e N-1676a ).

Para pelletização de minério de ferro são determinados: umidade, perda ao fogo, área específica, pH, resíduo em 43  $\mu\text{m}$ , inchamento, capacidade de absorção de água e análise química para CaO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>.

Quando a bentonita se destina ao uso em clarificação de óleos, ao invés de ativação com barrilha é feita uma ativação ácida com ácido clorídrico ou sulfúrico. O produto dessa ativação é submetido a ensaios de capacidade de troca catiônica, para avaliar o seu poder de descoloramento. Este também poderá ser avaliado através de ensaios de descoloramento de óleo mineral, fazendo-se a medição do óleo descolorado em colorímetro tipo *Hellige*, munido de discos com cores na escala ASTM. No caso da utilização da bentonita ativada ácida, em ensaios de descoloramento de óleos vegetais, as leituras dos óleos descolorados são realizadas com tintômetro com escala *Lovibond*.

## Mercado e produção

O mercado interno da bentonita ativada com barrilha atinge cerca de 160 mil t/ano, distribuindo-se em 35% para pelletização, 40% para fundição e 25% para perfuração.

Segundo o DNPM, o estado da Paraíba tem sido, até hoje, o principal produtor de bentonita bruta e beneficiada. Em 1997, a bentonita bruta produzida na Paraíba representou 84% do mercado em material bruto e 93% em material beneficiado.

A UBM produz atualmente cerca de 500 t/mês de bentonita destinadas ao mercado interno de fundição. Várias empresas atuam na produção de bentonita na Paraíba, sendo as principais a Bentonit União do Nordeste – BUN, BENTONISA, DOLOMIL, UBM e NERCON.

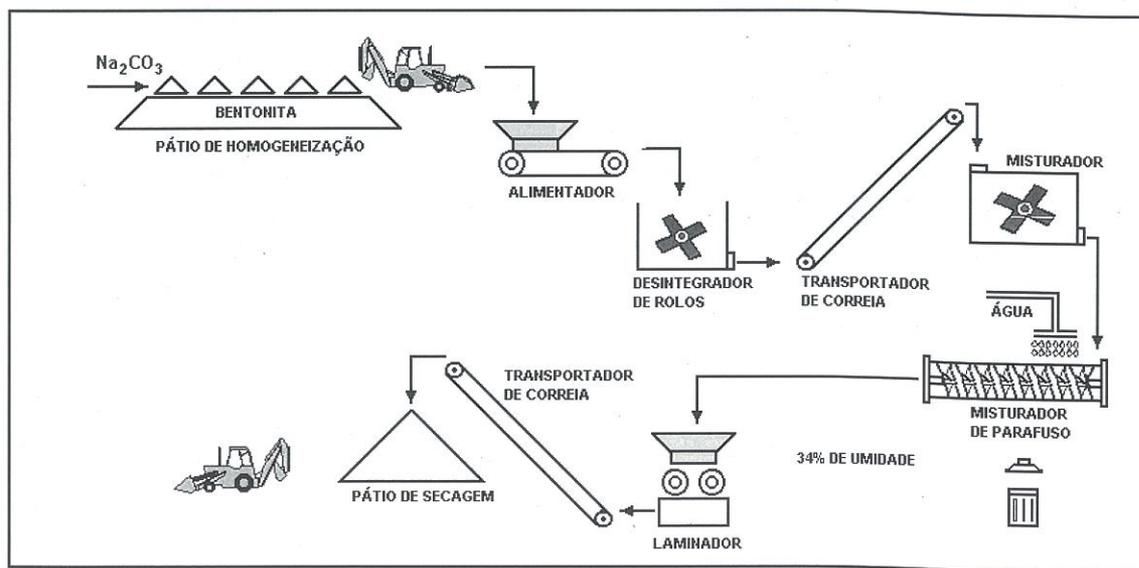


Figura 3: Fluxograma das operações de ativação da bentonita na UBM

vermiculita

# UBM – União Brasileira de Mineração

Adão Benvindo da Luz<sup>1</sup>  
João Alves Sampaio<sup>1</sup>  
Sílvia Cristina Alves França<sup>1</sup>  
José Albérico de Oliveira<sup>2</sup>  
Oscar E. Gonzales Castro<sup>3</sup>

■ *A mina do Sítio Serrote Branco está localizada no município de Santa Luzia – PB. O acesso à mina, de propriedade da UBM – União Brasileira de Mineração, é feito através da BR-230, que liga o sertão paraibano à João Pessoa. A mina situa-se no flanco noroeste da anticlinal de Santa Luzia, distando 300 m da BR-230 e 3 km da usina de beneficiamento,*

*A região de Santa Luzia faz parte da faixa cristalina da Borborema, formada por metassedimentos dobrados do ciclo brasileiro, com relictos do embasamento cristalino mais antigo e que afloram em alguns núcleos de grandes anticlinais. Os dobramentos menores mostram-se mais intensos e complexos nas rochas incompetentes, como micaxitos e anfibólios.*

*O jazimento de Santa Luzia apresenta um teor de vermiculita natural da ordem de 25%, sendo a reserva total pesquisada de 661.000 t e a medida de 366.000 t. A vermiculita ocorre sob forma de bolsões alongados com espessura média de 9,0 m e está em contato com o biotita-gnaïsse xistoso, cuja identificação é feita através das técnicas de expansão da vermiculita, pois os dois minerais são semelhantes.*

## Caracterização do minério

Vermiculita é um mineral do grupo das micas e constitui-se num silicato hidratado de magnésio, ferro e alumínio. Tem porosidade elevada e baixa densidade. A sua estrutura cristalina comporta uma molécula d'água que, ao sair com o aquecimento (800-1.100°C), resulta numa esfoliação de suas palhetas. Esse processo é denominado de expansão ou esfoliação e pode provocar um aumento de até 30 vezes no seu volume. O produto expandido tem baixa densidade e baixa condutividade térmica, elétrica e acústica. Essas características conferem à vermiculita uma variedade de aplicações industriais, tais como:

- a) na construção civil, como agregados leves para concreto e argamassas, isolante térmico e acústico, etc;

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Técnico em Mineração, UBM

<sup>3</sup> Engenheiro, UBM

b) na agricultura, como condicionador de solos, como veículo para macro e micro nutrientes;

c) na indústria, como isolante térmico para alta e baixa temperaturas, no esfriamento lento de moldes de fundição, como cobertura de tanques de galvanoplastia, na fabricação de lonas de freio, etc.

Normalmente os principais minerais e rochas associados à vermiculita são: biotita, piroxênio, apatita, anfibólio, sienito, serpentinito, flogopita, diopsídio, clorita, talco e argilas. No caso da mina de Serrote Branco, segundo informações obtidas, a estratigrafia do depósito apresenta material argiloso no capeamento e micaxisto no contato da encaixante. Essas condições permitem uma lavra seletiva do minério, com elevado teor de vermiculita.

As condições que garantem a viabilidade comercial do depósito de vermiculita são as seguintes:

- a) teor de vermiculita natural na massa do minério bruto acima de 20% em relação à massa total;
- b) elevado grau de expansão da vermiculita, quando aquecida;
- c) baixo teor, de preferência ausência, de biotita, que prejudica significativamente o processo de concentração;
- d) predominância de grandes placas acima de 150 mm, tamanho mínimo exigido pelo mercado a que se destina.

A mina de Santa Luzia atende a todas essas exigências, justificando a sua viabilidade econômica.

## Método de lavra

O minério de vermiculita é lavrado a céu aberto com desmonte mecânico usando trator de esteira (Figura 1) para escarificação do minério; uma carregadeira frontal, com capacidade de 1,5 m<sup>3</sup>, retoma o minério bruto e alimenta os caminhões basculantes que o transportam até a usina de concentração. As bancadas, com largura média de 3,0 m e talude de 30°, permitem a operação dos equipamentos de desmonte e transporte. Tal procedimento pode variar de acordo com a espessura da camada de minério no jazimento.



**Figura 1: Mina de vermiculita do Sítio Serrote Branco, Santa Luzia-PB**

## Beneficiamento

O processo de beneficiamento de vermiculita da UBM em Serrote Branco é a seco. Inicialmente, o minério lavrado é transportado para um pátio de paralelepípedos, onde é depositado em uma camada fina e exposto ao sol para secagem, até atingir a umidade máxima de 4%. Após essa secagem o minério é retomado com carregadeira frontal que alimenta a moega MO101 na usina de beneficiamento. O fluxograma da Figura 2 ilustra as etapas de beneficiamento da vermiculita na mina de Serrote Branco.

A taxa de alimentação da usina é de 15 t/h e o teor médio de vermiculita no minério é de 25%. A moega possui uma abertura de grade de 100 mm para evitar a entrada de blocos de material estéril. Um alimentador vibratório, AV102, instalado abaixo da moega, permite manter constante a taxa de alimentação da usina. A correia TC103 transporta o minério para uma peneira de dois deques, PV106 - tipo MN30012, com aberturas de tela de 6,35 e 0,5 mm. O minério retido no primeiro deque segue para o moinho de martelos, MO107, com abertura de 10 mm de diâmetro. A fração retida no segundo deque da peneira PV106 junta-se à descarga do moinho e segue para o elevador de caçamba EC108. Um divisor de fluxo (*splitter*) na saída do elevador de caçamba divide o fluxo em partes iguais, que alimentam as peneiras vibratórias PV109A e B, equipadas com telas de 0,5 mm. A fração fina (pó) abaixo de 0,5 mm é descartada do circuito através da correia transportadora TC110A e B e TC111.

O minério retido na tela de 0,5 mm é transportado pelo elevador de caçamba EC112 para alimentar duas peneiras vibratórias horizontais, PV113A e B, com abertura de tela de 2,3 mm. A fração acima de 2,3 mm constitui o minério médio, o qual segue, por gravidade, para o silo intermediário SI116C. O passante em 2,3 mm alimenta a segunda etapa de peneiramento, que é realizada nas peneiras vibratórias de dois deques, PV114A, B e C. A fração retida no primeiro deque, com tela de 1,2 mm de abertura consiste no minério fino, o qual segue por gravidade para o silo intermediário SI116B. A fração retida no segundo deque (-1,2 + 0,5 mm) segue para a próxima etapa do peneiramento, realizada nas peneiras circulares PV115A, B e C, com abertura de tela de 0,5 mm. Nessa etapa, a fração retida constitui o minério superfino, que segue, por gravidade, para o silo intermediário SI116A. O material passante (-0,5 mm), pó, é descartado do circuito pela correia TC130. Dessa forma, tem-se nos silos intermediários (SI116) três tipos de minério com um teor de vermiculita ainda abaixo de 70% e que deverão ser concentrados na próxima etapa do processo, conforme fluxograma mostrado na Figura 2.

As correias TC117A, B e C retomam, separadamente, os três tipos de minérios a partir dos silos intermediários e alimentam os elevadores de caçamba EC118A, B e C, os quais conduzem os minérios até os silos de dosagem SI119A, B e C. Desses silos, as calhas alimentadoras CA120A, B e C, alimentam os classificadores pneumáticos (*winovers*).

O processo possui quatro classificadores pneumáticos, sendo que dois (CP121A e B) operam com o minério superfino, pois este material é mais difícil de separar e possui maior volume de produção. Os produtos fino e médio são obtidos a partir dos classificadores CP121C e D, respectivamente. As frações leves dos classificadores pneumáticos constituem os produtos finais: superfino, fino e médio, que são conduzidos à etapa de ensacamento pelos elevadores de caçamba EC128A, B e C, respectivamente. A Figura 3 mostra classificadores pneumáticos e peneiras vibratórias da usina de beneficiamento de vermiculita.

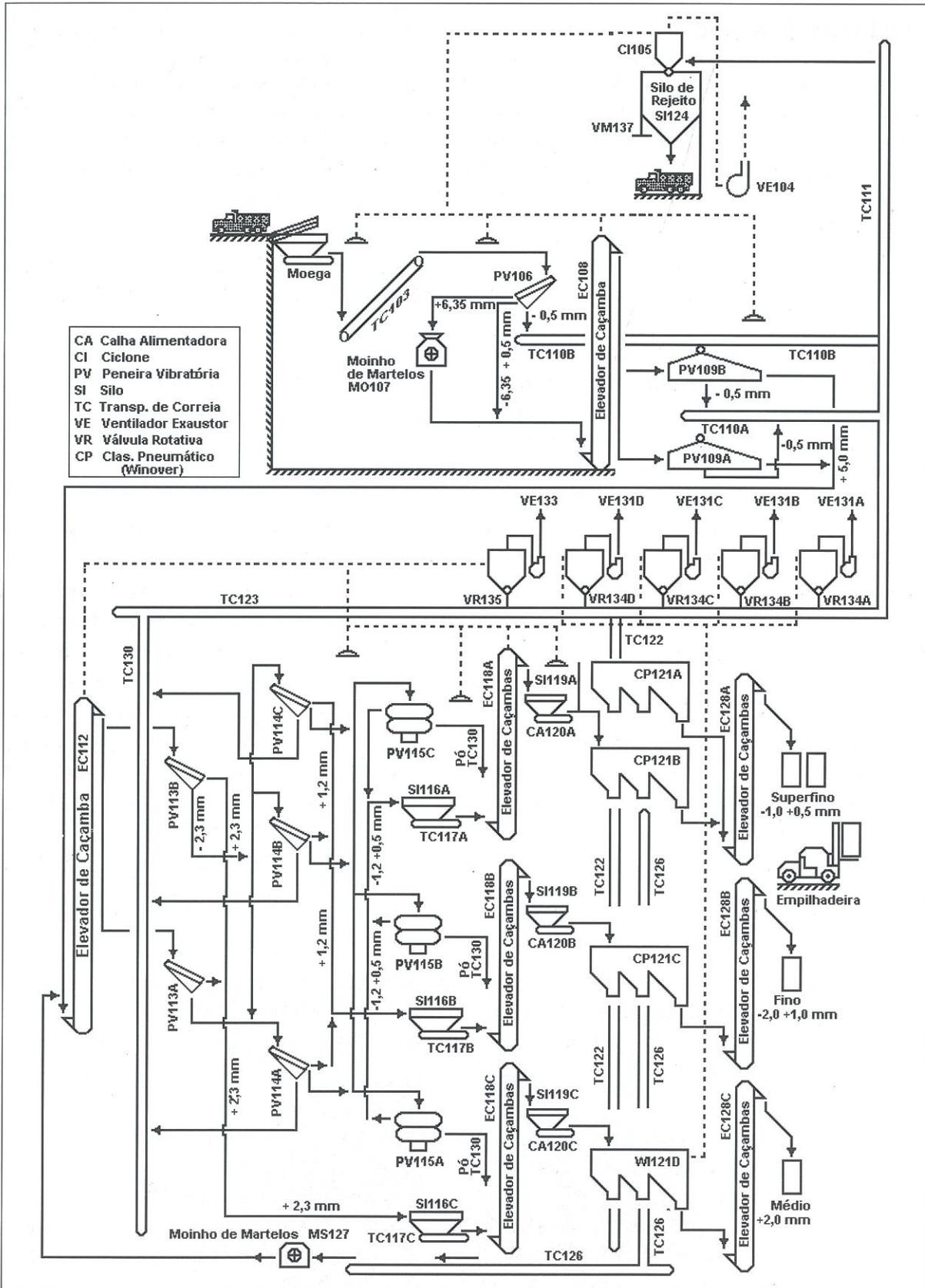


Figura 2: Fluxograma da usina de beneficiamento de vermiculita da UBM, Santa Luzia-PB

A primeira fração do classificador pneumático – ganga ou material não expansível – é descartada como rejeito final por meio das correias transportadoras TC122 e TC123. A fração mista ou intermediária do classificador pneumático é constituída por um minério com teor de vermiculita de 25%. Esse material segue pela correia transportadora TC126 até o moinho de impacto, MS127, onde sofre uma redução granulométrica abaixo de 4,0 mm. Na etapa seguinte o material retorna ao circuito de concentração por meio do elevador de caçamba EC112.

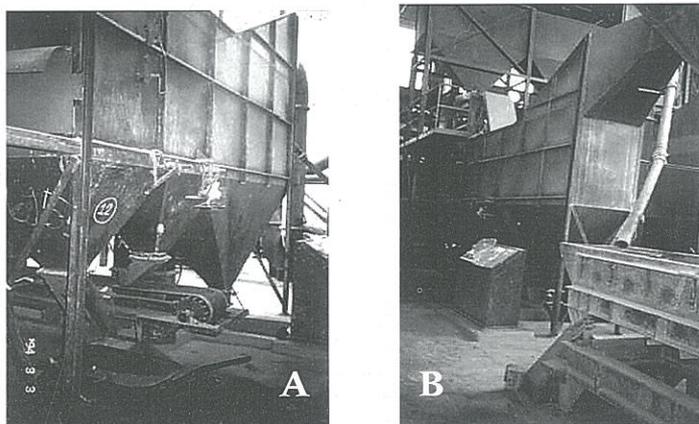
O ar dos separadores pneumáticos é produzido por uma bateria de ventiladores VE131A, B, C e D. Cada ventilador tem um ciclone separador de pó e uma válvula rotativa sob ele (CII130 A e VR134A, CII130B e VR134B, CII130C e VR134C e finalmente CII130D e VR134D). A correia TC123 coleta o pó retido nas válvulas e alimenta a TC111 que segue para o silo de rejeitos SII24.

Nessa etapa do processo são obtidos os produtos finais, assim classificados:

- a) superfino, com granulometria entre 1,0 e 0,5 mm e teor de vermiculita de 85-90%;
- b) fino, com granulometria entre 2,0 e 1,0 mm e teor de vermiculita de 95%;
- c) médio, com granulometria entre 2,0 e 4,0 mm e teor de vermiculita de 95%; esse é considerado o produto nobre.

A usina dispõe de dois circuitos coletores de pó. O primeiro coleta os finos gerados na moagem primária (MO107) e no peneiramento inicial (PV106); o sistema é constituído por dutos de captação, um ciclone CI105, uma válvula rotativa VR136 e um ventilador exaustor VE104. O pó coletado é depositado na correia TC111 e dali levado para o silo SII24. A retirada do pó e dos rejeitos contidos no silo é feita através do acionamento da válvula manual VM137, que libera o material sobre a caçamba de um caminhão basculante, que o transporta até o bota-fora.

O segundo sistema coletor de pó capta os finos gerados dentro dos silos intermediários e daí em diante todos os equipamentos têm um coletor, conforme mostrado no fluxograma da Figura 2. Além dos dutos o sistema está composto de um ciclone CII132, uma válvula rotativa VR135 e um ventilador exaustor VE133. Da mesma forma que no sistema anterior, o pó coletado é depositado na correia TC123 e dali para a TC111, silo de rejeito, SII24, VM137 e caminhão de retirada para o bota-fora. O sistema está representado no fluxograma da Figura 2 por meio de linha tracejada.



**Figura 3: (A) Classificador pneumático. (B) Peneira vibratória de três deques**

A usina dispõe de dois galpões para estocagem de produto final. Ao todo são 1.000 m<sup>2</sup> que permitem armazenar 2.000 t de produto em sacos de juta de 1,0 m<sup>3</sup> cada, os quais são pesados e numerados para controle de estoque. A empilhadeira dispõe os sacos em duas camadas e os retoma quando do embarque do produto para exportação ou para o mercado nacional.

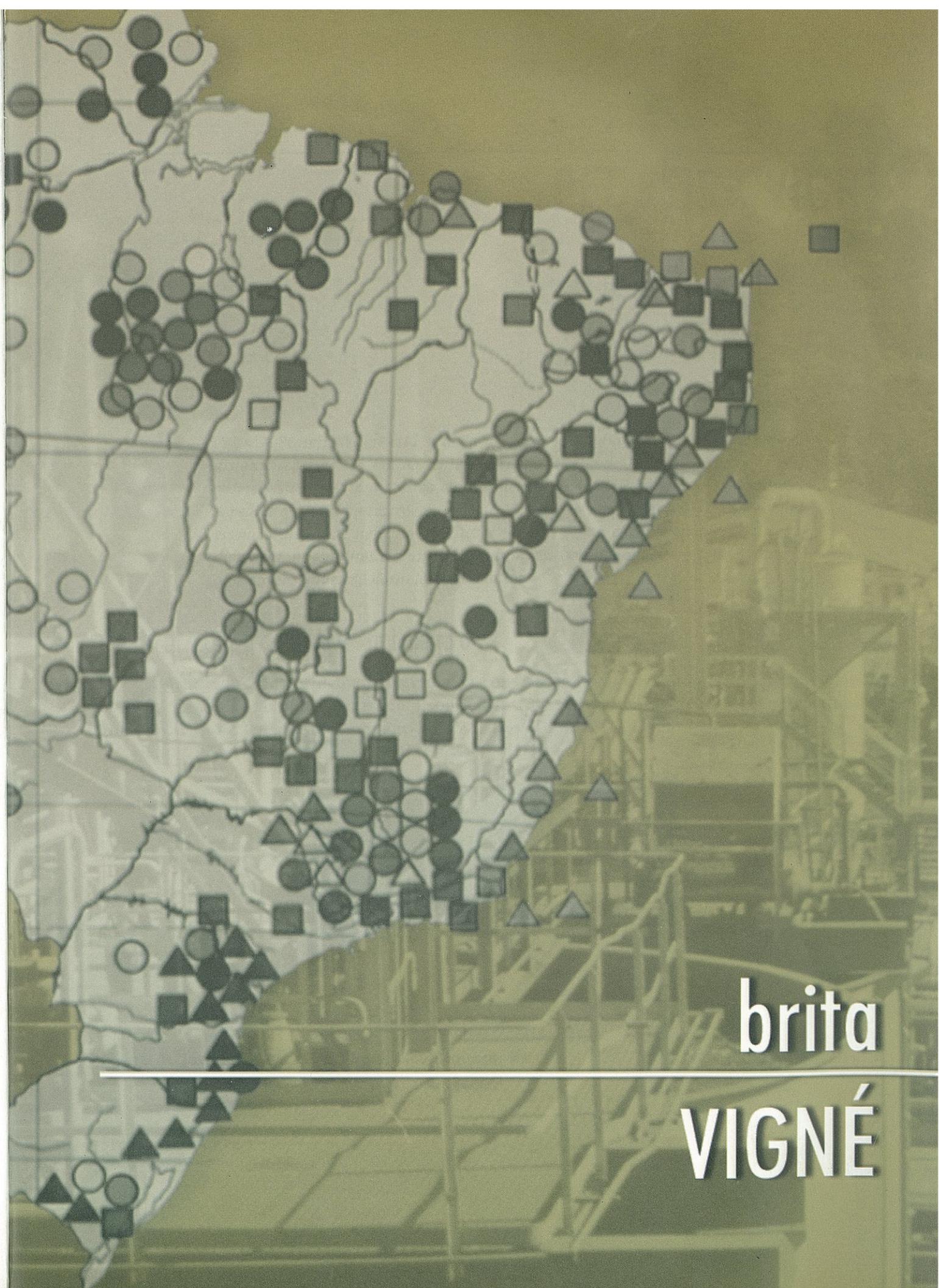
## Dados operacionais da Usina

Taxa de alimentação do *run of mine*: 15 t/h.

Produção do concentrado: 3,1 t/h.

Consumo de martelo do moinho: 19 g/t de minério processado.

Consumo de energia da usina: 70 kwh/t de minério processado.



brita  
**VIGNÉ**

# brita

---

# PEDREIRA VIGNÉ

João Alves Sampaio<sup>1</sup>  
Eduardo Augusto de Carvalho<sup>1</sup>  
Bernardo Piquet<sup>2</sup>

■ *A Pedreira Vigné está situada na Serra de Madureira, Município de Nova Iguaçu, RJ, distante cerca de 35 km do centro da cidade do Rio de Janeiro. O início de suas atividades ocorreu em 1949, numa área cuja principal atividade econômica era o cultivo de laranjas. A pedreira tem uma reserva medida de 22,3 milhões de metros cúbicos de rochas constituídas essencialmente de nefelina-sienitos e foaítos, sendo encaixadas em gnaisses leptníticos e dioríticos, migmatitos e granitos. Sua composição mineralógica é constituída de microclina, oligoclásio, quartzo, hornblenda e biotita.*

## Caracterização do minério

A brita é um dos principais insumos da construção civil, chegando a representar mais de 60%, em média, do volume construído. É obtida através da cominuição de rochas do tipo granitos, gnaisses, basaltos, diabásios, migmatitos, calcários e dolomitos (Figura 1).



**Figura 1: Jazida da Pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ.**

<sup>1</sup> Pesquisador, CETEM

<sup>2</sup> Engenheiro de minas, Consultor

Em relação à granulometria, a brita é classificada em britas 1, 2 e 3, pedrisco e pó de pedra. A brita 3 é utilizada como lastro ferroviário; a brita 2 como agregado em grandes volumes de concreto e como brita classificada na formação de base e sub-base de pavimentos. A brita 1 constitui-se no produto mais nobre e é aplicada, essencialmente, em concretos esbeltos e bombeados. O pedrisco e o pó de pedra são aplicados, basicamente, como matérias-primas de massas asfálticas. A Tabela 1 apresenta a classificação requerida pelo mercado consumidor e utilizada pela Pedreira Vigné, de acordo com as dimensões nominais máximas e mínimas das faixas granulométricas.

**Tabela 1 – Classificação das britas comercializadas pela Pedreira Vigné.**

Brita	Faixa Granulométrica (mm)		Usos
	Mínimo	Máximo	
3	32	63	Lastro ferroviário
2	22	32	Agregado em concreto, composição de brita para base e sub-base de pavimentos
1	11	22	Concreto esbelto e bombeado
Pedrisco	4,8	11	Massa asfáltica
Pó de Pedra	-	4,8	Massa asfáltica
Bica Corrida	-	25	Aterros, etc.

## Método de lavra

É empregado o método de lavra a céu aberto com bancadas de 20 m de altura. O capeamento estéril é constituído de solo argiloso e possui espessura inferior a 1 m, sendo portanto desprezível em relação à jazida. Após a remoção do estéril, procede-se ao desmonte da rocha com explosivo em perfuração primária com 63 mm de diâmetro. O material desmontado que apresenta dimensões superiores a 0,8 x 1,1 m é novamente fragmentado com explosivos através de fogachos (Figura 2A). Na etapa seguinte, todo o material é retomado com carregadeira frontal e transportado em caminhões fora-de-estrada (Figura 2B) até o pátio de alimentação da usina.

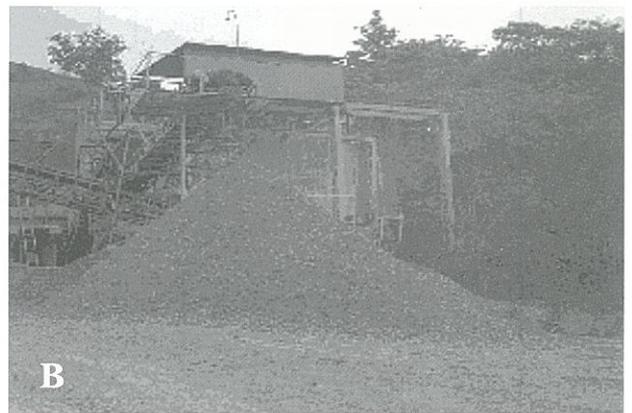
## Beneficiamento

A alimentação da usina é feita com auxílio de carregadeira frontal e caminhões, que retomam o material no pátio e o descarregam num alimentador vibratório com grelha de 50 mm. A fração grossa segue para a britagem primária num britador de mandíbulas (Figura 3A). A fração fina é classificada em uma peneira vibratória com abertura de 25 mm. Junto ao produto da britagem primária, segue para a pilha de estoque a fração acima de 25 mm, que alimenta o circuito da usina responsável pela produção das britas 1, 2 e 3. A fração abaixo de 25 mm é conduzida para uma pilha cônica (Figura 3B), constituída principalmente de material fino e de parte do solo remanescente do capeamento. Esse material é utilizado na pavimentação de estradas e, dependendo da qualidade do material lavrado, poderá retornar ao processo, conforme mostra o fluxograma da Figura 4.

A partir da pilha de estoque, o material é retomado através de transportador de correia até uma peneira vibratória com abertura de 100 mm. A fração acima de 100 mm alimenta o segundo estágio de britagem constituído por um britador cônico com abertura regulada para obter todo o produto passante em 100 mm. A fração abaixo de 100 mm da peneira PV-2 junta-se ao produto da britagem secundária, para alimentar uma peneira vibratória de três deques, com telas de 63, 32 e 22 mm de abertura.



**Figura 2: (A) Fragmentação, utilizando martetele, dos blocos com dimensões de 0,8 x 1,1 m. (B) Carregamento de caminhões basculantes para alimentar a grelha vibratória.**



**Figura 3: (A) Britador de mandíbulas utilizado para fragmentar o material com tamanho superior a 50 mm. (B) Fração abaixo de 25 mm, denominada 'bica corrida'.**

A fração acima de 63 mm passa pelo terceiro estágio de britagem em um britador cônico com regulagem hidráulica em circuito fechado com a peneira vibratória de três deques acima citada (Figura 5). A fração entre 63 e 32 mm, é denominada de brita 3 (Figura 6). Dependendo do nível de estoque e da exigência do mercado, a fração obtida como brita 3 poderá ser direcionada para a produção de britas 2 e 1, pedrisco e pó de pedra. Para tal, o material sofre uma britagem quaternária em um britador cônico com regulagem hidráulica, que o reduz a uma granulometria abaixo de 32 mm. O material abaixo de 32 mm é separado em uma peneira vibratória de 3 deques com telas de 22, 11 e 4,8 mm em circuito aberto. O britador quaternário poderá ser também alimentado pelo excedente da demanda de brita 2, tendo em vista ser mais nobre a comercialização de brita 1 e pedrisco.

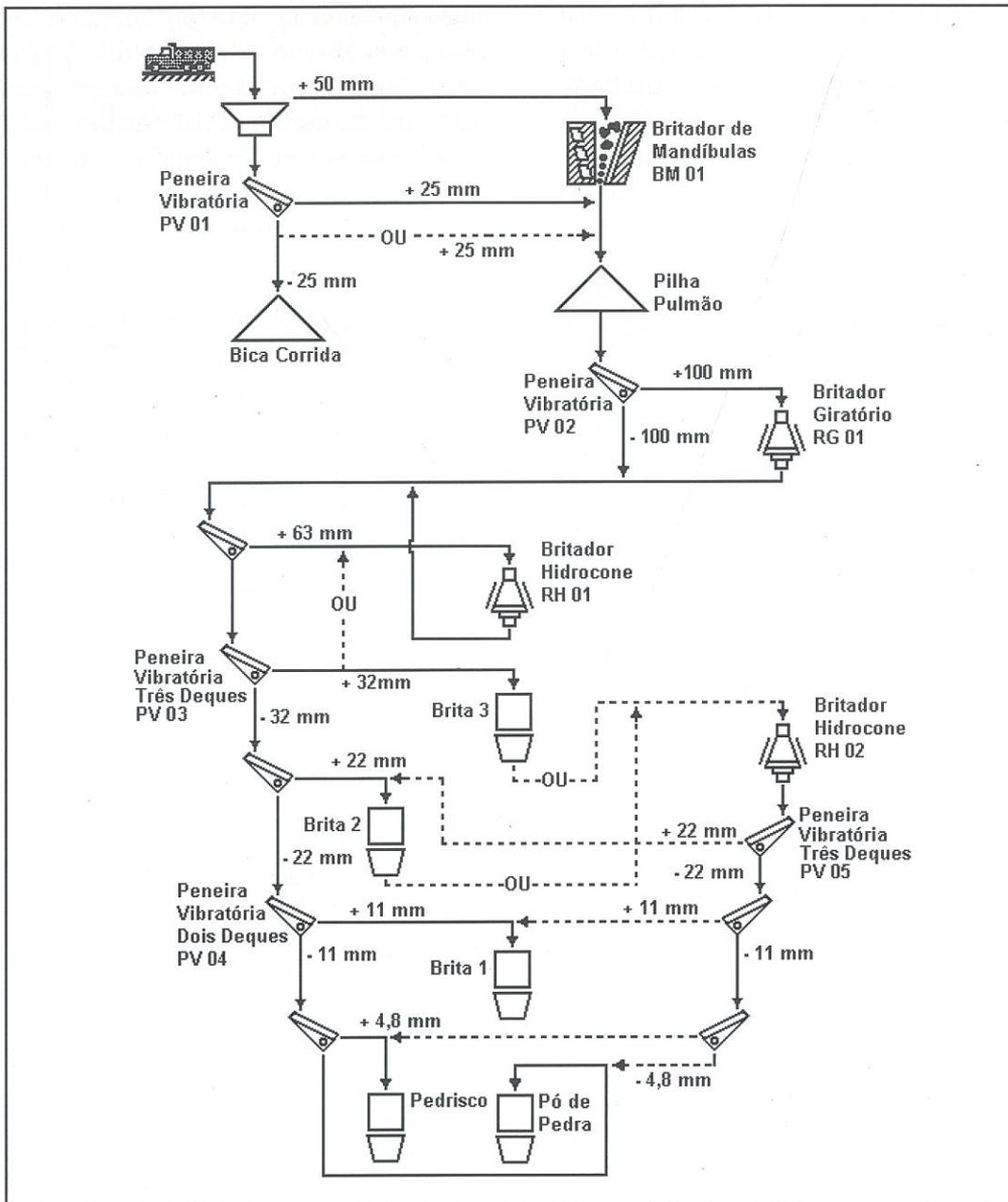


Figura 4: Fluxograma de beneficiamento da Pedreira Vigné

A fração retida na tela de 22 mm, oriunda da peneira vibratória de 3 deques, é estocada por transportador de correia no silo de brita 2. O passante na tela de 22 mm é separado nas granulometrias 11 e 4,8 mm. A brita 1, produto retido em 11 mm, o pedrisco, material entre 11 e 4,8 mm e por último o pó de pedra, produto passante na tela de 4,8 mm, são estocados em silos de concreto com descarga inferior para carregamento dos caminhões de entrega aos clientes.

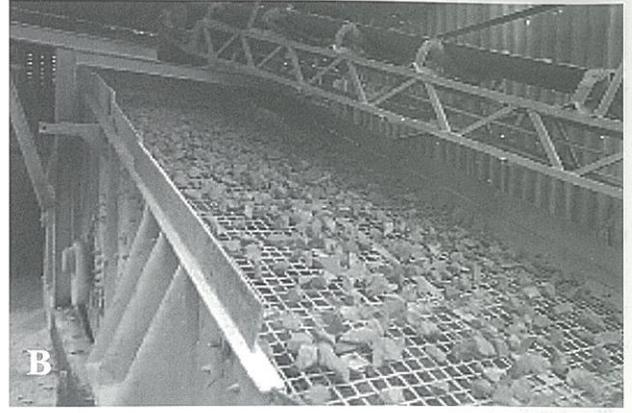
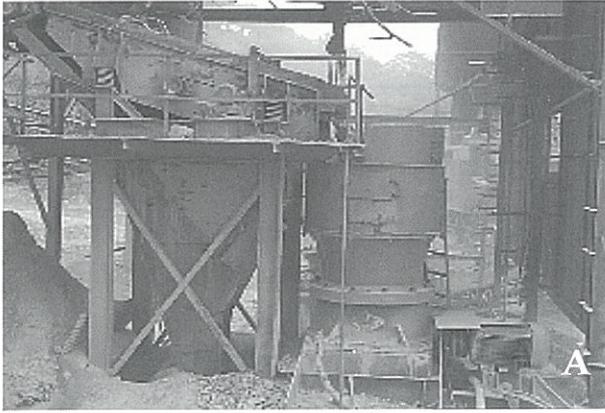


Figura 5: (A) Britador cônico utilizado para fragmentação das partículas acima de 100 mm. (B) Peneira vibratória de 3 deques, utilizada para peneirar o produto do rebritador cônico.



Figura 6: Pilhas dos produtos de brita 2 (à esquerda) e brita 3.

Projeto 1 - Características dos sedimentos orgânicos  
180. Características dos sedimentos orgânicos  
200 mm Características dos sedimentos orgânicos  
Módulo: 1020-C Espécies: 17/00 Características dos sedimentos orgânicos  
CCoqto: 17/01 Edifício: 17/01/01

Quadro 1 - Características dos equipamentos utilizados para o processamento de brita da PEDREIRA VIGNÉ.

<b>cCódigo:</b> BM 01	<b>Equipamento:</b> Britador de Mandíbulas	<b>RH 01</b>	<b>Equipamento:</b> Rebritador Cônico
<b>Modelo:</b> 11080-C; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 0-800 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-330 mm; <b>Regime de trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Capacidade:</b> 200 m <sup>3</sup> /h; <b>Consumo de Revestimento:</b> 30 g/m <sup>3</sup> ; <b>Tipo de Revestimento:</b> Aço / Manganês; <b>Potência:</b> 150 CV; <b>Razão de redução:</b> 1 / 2,42; <b>Dimensões:</b> 1,10 x 0,80 m;			
<b>Código:</b> PV 01	<b>Equipamento:</b> Peneira Vibratória	<b>PV 04</b>	<b>Equipamento:</b> Peneira Vibratória Classificatória
<b>Modelo:</b> MNS 25010; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Capacidade:</b> 10 m <sup>3</sup> /h; <b>Dimensões:</b> 2,5 x 1,0 m; <b>Regime de Trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 0-50 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-25 mm; <b>Potência:</b> 7,5 CV; <b>Ângulo de Inclinação:</b> 18°			
<b>Código:</b> PV 02	<b>Equipamento:</b> Peneira Vibratória Intermediária	<b>PV 05</b>	<b>Equipamento:</b> Peneira Vibratória Classificatória
<b>Modelo:</b> MN 30012; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Capacidade:</b> 200 m <sup>3</sup> /h; <b>Dimensões:</b> 3,0 x 1,2 m; <b>Regime de Trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 0-330 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-100 mm; <b>Potência:</b> 7,5 CV; <b>Ângulo de Inclinação:</b> 18°			
<b>Código:</b> RG 01	<b>Equipamento:</b> Rebritador Giratório	<b>RH 02</b>	<b>Equipamento:</b> Rebritador Cônico
<b>Modelo:</b> S3000; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 100 x 330 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-100 mm; <b>Regime de trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Capacidade:</b> 150 m <sup>3</sup> /h; <b>Consumo de Revestimento:</b> 20 g/m <sup>3</sup> ; <b>Tipo de Revestimento:</b> Aço Manganês; <b>Potência:</b> 150 CV; <b>Razão de redução:</b> 1 / 3,3;			
<b>Código:</b> PV 03	<b>Equipamento:</b> Peneira Vibratória Classificatória	<b>RH 02</b>	<b>Equipamento:</b> Rebritador Cônico
<b>Modelo:</b> 60024-2A; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Capacidade:</b> 200 m <sup>3</sup> /h; <b>Dimensões:</b> 6,0 x 2,4 m; <b>Regime de Trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 0-100 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-22 mm, 22-32 mm e 32-63 mm; <b>Potência:</b> 50 CV; <b>Ângulo de Inclinação:</b> 18°			
<b>Modelo:</b> H4000; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 63 a 100 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-57 mm; <b>Regime de trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Capacidade:</b> 120m <sup>3</sup> /h; <b>Consumo de Revestimento:</b> 20 g/m <sup>3</sup> ; <b>Tipo de Revestimento:</b> Aço / Manganês; <b>Potência:</b> 250 CV; <b>Razão de redução:</b> 1 / 1,75; <b>Carga Circulante:</b> 110%			
<b>Modelo:</b> 40015-3A; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Capacidade:</b> 70 m <sup>3</sup> /h; <b>Dimensões:</b> 4,0 x 1,5 m; <b>Regime de Trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 0-32 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-4,8 mm, 4,8-11 mm e 11-22 mm; <b>Potência:</b> 7,5 CV; <b>Ângulo de Inclinação:</b> 18°; <b>Quantidade:</b> 1			
<b>Modelo:</b> 436; <b>Fabricante:</b> FAÇO; <b>Granulometria da Alimentação:</b> 25 a 57 mm; <b>Granulometria do Produto:</b> 0-25 mm; <b>Regime de trabalho:</b> 8 h/dia; <b>Capacidade:</b> 70 m <sup>3</sup> /h; <b>Consumo de Revestimento:</b> 20 g/m <sup>3</sup> ; <b>Tipo de Revestimento:</b> Aço Manganês; <b>Potência:</b> 125 CV; <b>Razão de redução:</b> 1 / 2,28;			

# COMENTÁRIOS GERAIS

---

*A moagem autógena ainda é muito pouco utilizada nas usinas de beneficiamento de minério do país. O uso dessa técnica requer um bom conhecimento das características de moabilidade do minério. Quando da realização de ensaios de moagem autógena em escala piloto, visando o levantamento de dados para o dimensionamento de moinho industrial, é necessário que se tenham amostras representativas dos diferentes tipos de minério da jazida. Diferente da moagem convencional que absorve, com maior facilidade, as variações nas características do minério, a moagem autógena tem pouco grau de liberdade. Esta permite no máximo a sua transformação em moagem semi-autógena ou o recurso de controle automático através de grelhas de saída para a retirada de tamanho crítico e a sua britagem posterior. Prevê-se que para as novas minas, a moagem autógena seja avaliada como um processo alternativo à moagem convencional, principalmente no que diz respeito aos custos operacionais.*

*Nos últimos dez anos, a flotação em coluna foi introduzida praticamente em quase todas as usinas de beneficiamento de minério de ferro e fosfato que usam flotação convencional. As razões para tal são atribuídas, no caso de minério de ferro, ao interesse da empresa em obter produtos com mais baixo teor de sílica (1%) destinados ao processo da redução direta. No caso de minério de fosfato, deveu-se, principalmente, à necessidade de melhorar a recuperação metalúrgica do processo, principalmente das frações finas do minério.*

*Observou-se que as usinas implantadas, mais recentemente, apresentam layouts mais compactos, possibilidades de expansão pela duplicação de circuitos e maior flexibilidade no manuseio de fluxos.*

*Uma parte significativa das usinas de beneficiamento, principalmente as de ferro e fosfato, usam softwares para operar suas usinas. Algumas destas fazem amostragem automática e análise química on-line. As usinas de beneficiamento de ferro, pela necessidade de colocar os seus produtos num mercado cada vez mais competitivo, passaram a instrumentar cada vez mais as suas usinas visando um melhor controle e maior uniformidade nas características tecnológicas dos produtos, bem como a redução dos custos operacionais.*

*Atualmente, a maioria das minerações está consciente da importância de preservar o meio ambiente. Isto tornou-se mais intenso, a partir do final da década de 80, com a exigência de aprovação de licença ambiental (Relatório de Impacto Ambiental – RIMA) pelos órgãos controladores, para novos empreendimentos mineiros. Algumas companhias já obtiveram a certificação ISO 14000 que diz respeito às normas e procedimentos para o controle ambiental, em todas as operações (lavra, tratamento de minério, etc.) do complexo mineiro metalúrgico.*

*Observou-se ainda em algumas empresas um avanço significativo na área de meio ambiente contemplando a recuperação de áreas degradadas, recirculação de água, controle de efluentes, especialmente, metais pesados. O controle na degradação de reagentes de flotação, em algumas empresas, é levado a efeito com o propósito de não poluir os mananciais de água, bem como melhorar a qualidade de água de recirculação, permitindo sua reutilização no processo. Adicionalmente, observou-se cuidados especiais com*

*os contaminantes químicos, tipo, As, Pb, etc, presentes nos efluentes das usinas de processamento de ouro e até mesmo nos estéreis das minas. Todavia, pouco se ouviu falar em desativação de minas, somente para algumas empresas onde há um planejamento global das atividades de mineração.*

*Há mais de dez anos, a produção de caulim para cobertura de papel restringia-se praticamente à CADAM – Caulim da Amazônia S.A. Hoje, com a entrada em operação de duas outras grandes empresas produtoras de caulim – IMERY - Rio Capim Caulim S.A. e Pará Pigmento S.A. – PPSA, o Brasil passa a ocupar o terceiro lugar do mundo na produção de caulim.*

*A pesquisa e desenvolvimento de processos e produtos foram constatados até mesmo nas médias empresas. A busca por processos mais eficientes, de baixo consumo de energia e de novos produtos obrigaram as empresas investirem em P&D. Neste contexto, surgiu o profissional melhor qualificado, com mestrado ou doutorado, fato inexistente há 15 anos, ocasião da primeira edição deste livro.*

**A<sub>80</sub>**  
Abertura pela qual passam 80% da alimentação.

## **Antigorita**

Silicato básico de magnésio, do grupo das serpentinas. Monoclínico, micácio, de coloração variando de marron para verde

## **Abatimento de poeiras**

É a recuperação de finos gerados nos processos minero-metalúrgico normalmente por meio de filtros de manga

## **Área específica**

É a relação entre a superfície total das partículas (minerais) e sua massa total

## **Barbotina (cerâmica)**

O nome atribuído a uma suspensão constituída de água e de minerais cerâmicos, finamente moídos

## **Backfill (mina)**

É o rejeito usado como enchimento de galerias nas minas subterrâneas e cava das minas a céu aberto.

## **Big-bags**

Sacos, normalmente de fibra, de grande capacidade (500 a 1000 kg) para acondicionamento do produto

## **Biscoito (cerâmica)**

É a sub-base obtida pelo processo de prensagem de uma mistura adequada de minerais cerâmicos sobre o qual, após secagem, é aplicado o esmalte

## **Blaine (metalurg.)**

Em pelotização de minério de ferro é o nome dado á área específica quando se usa o medidor tipo Blaine

## **Blendagem**

Mistura de matérias primas em proporções preestabelecidas

## **Boudinage (geol.)**

Estrutura desenvolvida durante a deformação de

um corpo rochoso que, em seção, tem-se uma série de elipses ligadas entre si, pelos seus eixos maiores. Cada corpo rochoso de seção elíptica e alongado longitudinalmente, é designado *boudin*.

## **Brecha (geol.)**

Material rochoso, de forma irregular, que se acumula ao longo de uma linha de falhas; brecha de atrito, brecha de fricção.

## **Britador de impacto**

Equipamento constituído de martelos, utilizado na redução granulométrica de minérios ou materiais e opera em circuito aberto, ou seja não há grelha na câmara de britagem

## **Cable bolting (mina)**

Escoramento de teto com parafusos

## **Câmara (mina)**

É um salão subterrâneo, sinônimo de galeria subterrânea, próximo às frentes de lavra

## **Capa (geol.)**

Em geologia é a denominação dado pelos geólogos como sinônimo de camada. Na lavra é a parte superior do corpo mineralizado

## **Carvão energético**

Carvão usado nas termelétricas para geração de energia, na indústria cerâmica, indústria cimenteira

## **Carvão metalúrgico**

É o carvão com propriedades coqueificantes usado na siderurgia, fundição

## **Carvão vapor**

Carvão que não tem propriedades coqueificantes e normalmente utilizado para fins energéticos nas termoelétricas, indústria cimenteira, indústrias cerâmicas, para aquecimento de residências etc.

## **Chaminé (mina)**

Poço vertical aberto numa mina subterrânea com a função de promover a ventilação das galerias

**Chevron**

Pilha em V invertido usada para homogeneização de minério.

**CIC (metalurg.) *Carbon in Column***

Carvão em coluna e consiste na adsorção do ouro em coluna de leito fixo de carvão ativado.

**CIL (metalurg.) *Carbon in Leaching***

Adsorção de ouro no carvão ativado durante o processo de cianetação.

**CIP (metalurg.) *Carbon in Polp***

Carvão em polpa e consiste na adsorção do ouro em carvão ativado, após a cianetação

**Cleaner**

Operação de limpeza, usada nos seguintes processos de concentração: flotação, separações magnética e gravítica.

**Clínquer**

Na indústria de cimento é o produto resultante da calcinação de uma mistura, convenientemente proporcionada, de matérias-primas minerais tais como calcários, marga, argilas, óxidos de ferro, sienitos etc.

**Concentrado**

É o produto resultante da etapa de concentração do minério.

**Cylpebs**

Nos processos de moagem de minérios é o nome dado ao meio moedor que tem o formato de cilindro.

**d<sub>50</sub>**

Tamanho ou diâmetro mediano da partição real num processo de classificação, ou seja, tamanho ou diâmetro de uma partícula que tem igual probabilidade de dirigir-se ou para a fração grossa ou para a fração fina.

**Deprimido (Flotação)**

No processo de flotação, o material não flotado chama-se deprimido.

**Desaguador de rodas de caçamba (*Sand Wheel*)**

Também chamado de roda de areia, consiste de uma roda levando raspadores perfurados na periferia, com a função de desaguar materiais (polpa) contidos em uma caixa em forma de V.

**Scavenger**

Estágio de relavagem dos rejeitos de qualquer operação de tratamento de minérios, objetivando o aumento do teor de concentrado. Em flotação, reserva-se esse termo para o reprocessamento do material não-flotado nos estágios das células recuperadoras e limpadoras, sejam estes o concentrado ou o rejeito.

**Delaminação**

Determinados minerais como a caulinita podem ocorrer empilhadas na forma de *Booklets*; no processamento de caulim, a etapa para desmanchar esse empilhamento é chamada delaminação.

**Deslamagem**

É a etapa que consiste na retirada dos finos (normalmente abaixo de 20  $\mu\text{m}$  por meio de hidrociclonação ou por sedimentação.

**Despoeiramento**

É a etapa de recuperação de finos produzidos na cominuição por meio de filtros de manga.

**Dique (geol.)**

Intromissão de mágma em forma alongada, através das camadas da crosta terrestre.

**Dispersante**

Produto químico adicionado a uma suspensão, com a função de promover a dispersão das partículas sólidas.

**Diâmetro de corte ( $d_{95}$ )**

É a abertura onde passam 95% do produto.

**Dump ore**

Pilha de minério.

**Emboque (mina)**

Passagem estreita; entrada da galeria.

**Escalpe**

Retirada dos finos antes de uma operação de britagem.

**Esmalte**

Substância transparente ou colorida com óxidos metálicos, aplicável em estado líquido sobre a superfície da massa cerâmica (biscoito), e que, após a secagem, produz película brilhante, dura e aderente, de aspecto vítreo. O esmalte é obtido a partir de uma mistura de frita e argila moída a úmido em moinho de bolas a uma granulometria abaixo de 70  $\mu\text{m}$ , cuja polpa fina é adicionada sobre a superfície dos biscoitos cerâmicos.

**Estéril (mina)**

A rocha desmontada e explorada que não contém minerais de importância econômica é denominado de estéril e descartada para um local denominada, de bota-fora.

**Exploração (mina)**

É a retirada ou extração do bem mineral após o seu desmonte.

**Extrusão**

Ato ou efeito de extrudar. É um processo de aglomeração usado com a torta da filtragem, com a função de aumentar a área superficial para auxiliar no processo de secagem

**Fácies (geol)**

Conjunto de caracteres litológicos e paleontológicos exibidos por depósito mineral, visto como critério das condições que determinaram sua formação. Exemplos: aluvial, litoral, glacial, etc.

**Farinha (cimento)**

Insumos minerais moídos, antes da calcinação

**Filito (do grego *phyllon* = folha)**

Rochas argilosas, metamórficas, de estrutura cristalina, intermediárias entre argilitos e micaxistos

**Flotado (Flotação)**

É o material que flutua com a espuma durante a flotação.

**Floculante**

Substância polimérica adicionada a uma suspensão, com a função de promover a agregação das partículas finas

**Foliação**

Qualquer tipo de paralelismo de minerais ou massas minerais em rocha ígnea ou metamórfica. A foliação é uma propriedade fundamental. A clivagem é uma propriedade derivada. Xistosidade implica existência de ambas.

**Flame-jet**

Na indústria de rochas ornamentais, é um processo de acabamento de superfície de placas visando sua decoração ou troná-la anti-derrapante

**Flotação**

Flotação é um processo físico-químico de superfície, usado na concentração de minérios, que dá origem à formação de um agregado, partícula mineral e bolha de ar; esse em meio aquoso, flutua sob forma de espuma.

**Footwall (mina)**

Piso da Galeria.

**Frita (cerâmica)**

Material cerâmico que consiste de uma mistura de matérias-primas em proporções apropriadas e são levadas ao forno de fusão em temperaturas de até 1.371°C por um período de uma a três horas. Após a fusão o produto é lançado à água fria, estilhaçando-se em partículas friáveis, resultando no produto denominado "frita".

**Forno**

Em metalurgia, é o equipamento utilizado para operações de calcinação, ustulação, fusão etc e normalmente opera a temperaturas acima de 400°C e por isso tem que ser revestido de refratários.

**Fundente (metalurg.)**

Em metalurgia ou indústria cerâmica é o nome atribuído a determinada carga mineral (feldspato, fluorita etc) com a função de baixar o ponto de fusão do processo

**Galeria (mina)**

Túneis abertos na rocha com a finalidade de dar acesso ao corpo mineralizado, visando a sua lavra

**Glimerito (geol.)**

Biotitito. Rocha ígnea ultramáfica composta quase inteiramente de biotita

**Grés (geol.)**

Termo francês que significa arenito.

**Granulado**

No processamento de minério de ferro, é o nome dado ao concentrado com granulometria de 6 e 18 mm.

**Gossan (geol.)**

Produto intemperizado contendo ferro, recobrindo um depósito de sulfeto

**Hanging wall (mina)**

Limite do minério na parte superior do corpo mineralizado

**Hidrosseparador**

Também chamado de classificador hidráulico é utilizado para separação e classificação de partículas de diferentes densidades.

**Hidrotermal (geol)**

Relacionado à água quente, especialmente com respeito à ação de dissolver, redepositar ou outros processos semelhantes, produzindo mudanças na crosta terrestre.

**Levigamento**

Ato ou efeito de levigar, flutuar

**Lapa (mina)**

Denominação dada em alguns estados do país, às cavidades ou grutas que aparecem nas encostas das montanhas. Usa-se, também, essa denominação para o chão (piso) de uma mina em atividade. O teto da mina chama-se capa e as partes laterais, pés direitos. O termo lapa é usado ainda para designar, por vezes, o afloramento de rochas de superfície chata que aparecem na borda do litoral, nas marés vazantes.

**Laterito (geol.)**

Produto vermelho originado da decomposição metassomática das rochas contendo feldspatos e compostos ferruginosos. O laterito, cujo nome vem do latim *latus*, terra para tijolo, é um produto geológico característico das regiões tropicais. O laterito forma, em geral uma capa contínua de um vermelho vivo que endurece facilmente sobre as regiões basálticas. No laterito, predomina a alumina, que a distingue de argila comum, na qual predomina a sílica.

**Lavra (mina)**

É a etapa da mineração que consiste no desmonte seguido da exploração do bem mineral.

**Log washer**

Equipamento utilizado no processamento de minérios com duas funções: a) desintegrar argilas e areias argilosas; b) separar finos desintegrados de fragmentos de rocha (*lump*).

**Micronização**

Em cominuição é o nome atribuído à moagem em granulometria fina (abaixo de 30  $\mu\text{m}$ ).

**Lump**

Fragmento, pedaço, bloco

**Mineral**

É todo corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre.

**Mineral de ganga**

Mineral ou conjunto de minerais não aproveitados no minério

**Mineral de minério**

É o mineral valioso ou de importância econômica contido no minério

**Minério**

Mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, possíveis de serem aproveitados economicamente.

**Moinho de martelos**

Equipamento utilizado na redução granulométrica de minérios ou materiais e opera

com uma grelha fixa na descarga do moinho, resultando em produto com granulometria abaixo da abertura da grelha.

**Moinho *Raymond***

No Brasil, esse tipo de moinho é denominado moinho pendular. É bastante usado na moagem, a seco, de minerais industriais e é constituído de grande anel metálico, no interior do qual dois rolos de diâmetro relativamente pequeno pressionam e rolam contra as paredes do anel, cominuído as partículas minerais introduzidas no moinho.

***Natural pellet ore***

No processamento de minério de ferro, é o minério fino natural para a pelotização.

***Overflow***

No hidrocilone, é o fluxo que contém a fração fina da classificação.

P<sub>80</sub>

Abertura pela qual passam 80% do produto.

**Painel (mina)**

É uma extensa frente preparada para a lavra a céu aberto ou subterrânea

***Paste fill (mina)***

Pasta de enchimento.

***Pellet feed***

No processamento de minério de ferro é o minério que constitui a alimentação do processo de pelotização.

**Pilar (mina)**

No método de lavra denominado câmaras e pilares é a parte do corpo da rocha que não é desmontado e tem a função de dar sustentação ao teto das câmaras.

**Pisolítico (geol.)**

Diz respeito a pisolito. Concreções de granulação próxima ao de um grão de feijão ou de ervilha e muito comum nos calcários e em rochas ferruginosas.

**Podzólico (geol.)**

Relativo a podzol (solo). Grupo zonal de solos de coloração cinza, com uma camada orgânica e um mineral lixiviado e descorado, assentando sobre um horizonte fluvial marron enriquecido em óxido de ferro, alumina e matéria orgânica. Este tipo de solo ocorre nas florestas temperadas.

**Poço (mina)**

Abertura vertical de seção cilíndrica ou retangular com a função de permitir o acesso ao corpo mineralizado da mina.

***Pushers***

Empurrador

***Pusher-scraper***

Empurrador do raspador

**Queima (cerâmica)**

Constitui a etapa de calcinação

***Rake***

Ancinho

***Recleaner***

Na flotação, é a segunda etapa de limpeza.

**Rejeito**

É o material descartado numa operação de tratamento de minérios, sem importância econômica

**Rocha (geol.)**

Agregado natural e compacto formado de substâncias minerais ou mineralizadas, resultante de um processo geológico determinado, que constitui parte essencial da litosfera.

**Rougher**

Na flotação, é a primeira etapa de concentração.

***Run of mine (ROM)***

Minério tal qual, minério bruto, minério lavrado que não sofreu nenhum tipo de processamento;

**Saprólito (geol.)**

É uma rocha decomposta, mole, terrosa, rica em argila e formada, *in situ*, pelo intemperismo químico de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas

**Scavenger do cleaner**

Etapa da flotação do rejeito do *cleaner*

**Scavenger do rougher**

Etapa da flotação do rejeito do *rougher*

**Secador**

Equipamento utilizado para retirar a água de um determinado material e opera abaixo de 400°C

**Serigrafia**

Processo de reprodução de imagens e letreiros sobre superfícies planas ou curvas de papel, vidro, metal, massa cerâmica etc.

**Sill (geol.)**

Em petrologia, significa intrusões ígneas tabulares concordantes com as camadas ou foliações de rochas sedimentares ou metamórficas, respectivamente.

**Sinter feed**

No processamento de minério de ferro, é o minério que constitui a alimentação do processo de sinterização.

**Sinterização (metal.)**

Processo de aglomeração de finos onde este é submetido a temperaturas que promovam a fusão incipiente de alguns componentes, de forma a promover a sua aglomeração.

**Skip (mina)**

Caixa metálica, tipo vagonete, usada no transporte vertical de minério ou em plano inclinado, tanto na mina como na usina.

**Slurry**

Suspensão constituída de minério mais água, polpa.

**Shrinkage (mina)**

Retração, contração, encolhimento.

**Spray dryer**

Secador atomizador.

**Strike (geol.)**

Em geologia estrutural significa a direção ou inclinação tomada por uma superfície estrutural.

**Sublevel caving (mina)**

Método de lavra subterrânea de elevado grau de mecanização que consiste no desenvolvimento de uma série de subníveis para desmonte e exploração do minério, começando no topo do corpo mineralizado. É feita inicialmente uma abertura vertical e a seguir inicia-se com os subníveis.

**Sublevel stopping (mina)**

Método de lavra subterrânea utilizado para corpos de minério regular onde a rocha requer pouco suporte durante as atividades da lavra.

**Talha-bloco**

Equipamento usado na indústria de rochas ornamentais com a finalidade de serrar blocos para a obtenção de placas.

**Tear**

Equipamento usado na indústria de rochas ornamentais para serrar blocos de mármore e granitos e produzir placas a partir de blocos de rocha provenientes da etapa de lavra.

**Trommel**

Peneiras cilíndricas revolvedoras usadas; i) para desintegrar argilas ou cascalho cimentado; ii) para classificação de cascalho e pedra britada, na construção civil.

**Underflow**

No hidrocilone, fluxo que contém a fração grossa da classificação.

**Vênula**

Veia muito fina que percorre a rocha.

**Washed lump ore**

Minério granular lavado.

**Windrow**

Amontoado de qualquer coisa feito pelo vento.

**Yellowness**

Cor amarelada determinada por fotômetro, amarelidez.