

RICARDO NEVES DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO

NÃO-CONVENCIONAL EM BENEFICIAMENTO MINERAL:

A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mineral

São Paulo, 1988

FD-1019

RICARDO NEVES DE OLIVEIRA

Eng. Minas, Escola Politécnica da USP, 1977

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO

NÃO-CONVENCIONAL EM BENEFICIAMENTO MINERAL:

A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mineral

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno, Depto. Eng. Minas

São Paulo, 1988

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
SÍMBOLOS UTILIZADOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
<hr/>	
1. INTRODUÇÃO	1
2. SISTEMAS DE FLOTAÇÃO	2
3. CÉLULAS DE FLOTAÇÃO	4
4. O CONCEITO DA CÉLULA PNEUMÁTICA	11
5. OPERAÇÕES INDUSTRIAIS DA SERRANA S/A DE MINERAÇÃO EM JACUPIRANGA, SP	17
6. A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA	20
7. ESTUDOS EM ESCALA PILOTO COM A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA	25
7.1. Testes em escala piloto.	
7.2. Resultados experimentais	
8. ENSAIOS SEMI-INDUSTRIAIS COM CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA	32
8.1. Critérios de "scale-up"	
8.2. Ensaios semi-industriais	
8.3. Avaliação dos ensaios	
8.4. Proposição de continuidade	
9. CÉLULAS SERRANA DE GRANDE CAPACIDADE	47
10. COMPARAÇÃO DA CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA COM A FLOTAÇÃO CONVENCIONAL EM CÉLULA MECÂNICA	65

	11
11. PERSPECTIVAS	70
12. ANEXOS	72
A. Atividades de mineração da Serrana S.A. de Mineração, em Jacupiranga, SP (1988)	73
B. Resultados dos ensaios-piloto "rougher"	83
C. Resultados dos ensaios-piloto "cleaner"	97
D. Dimensionamento da célula "rougher" do Circuito Semi- Industrial	103
E. Dimensionamento da célula "cleaner" do Circuito Semi- Industrial	108
13. BIBLIOGRAFIA	114

RESUMO

São apresentados os trabalhos de desenvolvimento da Célula Serrana de Flotação Pneumática e a sua aplicação à separação de minerais no sistema apatita/ganga carbonática, executados na Serrana S.A. de Mineração, com o carbonatito apatítico de Jacupiranga, SP.

É característica da flotação em células convencionais que as recuperações das partículas cujas dimensões estejam próximas dos extremos da distribuição granulométrica, sejam inferiores às recuperações das partículas de tamanhos intermediários. Entre os vários fatores que contribuem para este comportamento, tem destaque a concepção mecânica da máquina de flotação. No tipo de célula aqui apresentado, favorece-se o contato partícula-bolha, pelo maior controle das variáveis envolvidas no processo; o ar é injetado, produzindo bolhas menores e de tamanho controlado, o que possibilita melhor recuperação das partículas mais grossas e mais finas.

Os estudos com a alimentação normal do circuito de flotação convencional da Usina de Concentração da Serrana (Usina 320), iniciaram-se em janeiro de 1983, em escala-piloto, culminando com a instalação de circuitos semi-industrial e industrial; em setembro de 1983 e janeiro de 1985, respectivamente, com cargas de alimentação nova de 30t/h e 140t/h de sólidos.

Os resultados obtidos se traduzem por significativo aumento de recuperação de fosfato, 2 a 4%, importante redução de consumo de energia, menor complexidade de fluxograma de processo e menores custos operacionais.

ABSTRACT

The work results of the Serrana's Pneumatic Flotation Cell and its application to the separation process of apatite from carbonated gangue are presented and discussed. The development was carried out at Serrana S/A de Mineração, with the Jacupiranga's apatite carbonatite, at Jacupiranga, São Paulo state.

Utilizing mechanical cell for the mineral flotation, the particle recoveries of the granulometric distribution extremes are normally worse than of those particles of intermediate sizes. Among several reasons, the main factor relies on the mechanical conception of that flotation machine. In the flotation cell presented here, the contact particle-bubble is promoted, for its bigger control of the variables involved in the process: the air is forced in, producing bubbles of smaller and controlled sizes, thus improving the coarser and finer particle recoveries.

The studies with the natural feed of the Serrana's Concentration Plant Flotation Circuit began on January, 1983, in a pilot scale, gathering with the installation of semi-industrial and industrial circuits, on September, 1983 and January, 1985, accordingly. The fresh ore feeds were 30 t/h (33 st/h) and 140 t/h (154 st/h).

The results achieved imply on expressive phosphate recovery increase, 2 to 4%, significant energy reduction, less complexity in process flowsheet and reduction on operational costs.

Dedico este trabalho à memória
de meu pai, que tanto se deu a
seus filhos.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno pelo apoio e orientação deste trabalho.

Ao eng. Marcelo Chamma da Serrana S.A. de Mineração pela orientação, amizade e apoio durante todo o transcorrer dos trabalhos experimentais.

À Direcção e aos demais companheiros da Serrana S.A. de Mineração que tornaram possível a realização e divulgação dos estudos aqui apresentados, em especial ao eng. Remo Scalabrin, diretor da empresa.

Aos professores Dr. Wildor Theodoro Hennies, Dr. Arthur Pinto Chaves e Dr. José Luiz Beraldo que tanto têm influenciado minha carreira, mestres e guias de minha vocação mineralúrgica.

Ao prof. Dr. Albert Bahr, da Universidade de Clausthal, pelos ensinamentos e pela minha iniciação no estudo das células pneumáticas.

SÍMBOLOS UTILIZADOS

a	-	razão da área de elemento poroso por vazão de polpa (cm ² .h/m ³)
al	-	alimentação (adimensional, t/h para sólidos, ou m ³ /h, para polpa)
ci	-	cilindro de célula (adimensional)
co	-	concentrado (adimensional, t/h para sólidos, ou m ³ /h, para polpa)
cn	-	cone (adimensional)
Ø	-	diâmetro de bolhas (micrometro)
Øc	-	diâmetro da célula "cleaner" (m)
Ør	-	diâmetro da célula "rougher" (m)
h	-	altura (m)
hes	-	altura de espuma (cm)
Msol	-	massa de sólidos (t/h)
msol	-	massa específica de sólidos (t.h/m ²)
Zsol	-	porcentagem de sólidos em peso (%)
Zsolv	-	porcentagem de sólidos em volume (%)
Qar	-	vazão de ar (m ³ /h)
Qpp	-	vazão de polpa (m ³ /h)
Qsol	-	vazão de sólidos (m ³ /h)
rj	-	rejeito (adimensional, t/h para sólidos, ou m ³ /h, para polpa)
Rm	-	recuperação em massa (%)
RP205	-	recuperação em P205 (%)
rc	-	razão de área para "cleaner" (adimensional)
rr	-	razão de área para "rougher" (adimensional)
Sc	-	área de célula "cleaner" (m ²)
t	-	tempo (min)

tal	-	teor de alimentação (%P205)
tco	-	teor de concentrado (%P205)
trj	-	teor de rejeito (%P205)
v	-	velocidade de polpa (m/s)
V	-	volume (m ³)
Vci	-	volume de cilindro (m ³)
Vcn	-	volume de cone (m ³)
vr	-	velocidade da polpa no aerador "rougher" (m/s)
vc	-	velocidade da polpa no aerador "cleaner" (m/s)

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1.	- CÉLULA DE FLOTAÇÃO MECÂNICA (WEMCO)	5
3.2.	- SEPARADOR DE ESPUMA (CÉLULA FLOTAIRE DA DEISTER) (86)	7
3.3.	- CÉLULA DE COLUNA (COLUMN FLOTATION OF CANADA), (15)	9
4.1.	- CÉLULA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA, (1)	13
4.2.	- AERADOR OU REATOR DE CÉLULA PNEUMÁTICA, (3)	14
4.3.	- AERADOR TIPO VENTURI	16
5.1.	- FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PARQUE INDUSTRIAL DE JACUPIRANGA - SERRANA S/A DE MINERAÇÃO, JACUPIRANGA, SP	18
6.1.	- CÉLULA SERRANA - UNIDADE PILOTO	23
6.2.	- AERADOR DA CÉLULA PILOTO	24
7.1.	- A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA - UNIDADE PILOTO	26
7.2.	- CÉLULA PILOTO, EM OPERAÇÃO	27
7.3.	- DETALHE DA ESPUMA DO CONCENTRADO "ROUGHER" E DA INSTRUMENTAÇÃO DA UNIDADE PILOTO (DIÂMETRO DA CÉLULA = 0,30m)	28
8.1.	- BALANÇO DE MASSAS, DE ÁGUAS E METALÚRGICO PREVISTO PARA O CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL DE CÉLULAS PNEUMÁTICAS, 1983	34
8.2.	- TIPOS DE CIRCUITOS TESTADOS CONTINUAMENTE COM CÉLULAS SEMI-INDUSTRIAIS	35
8.3.	- CONJUNTO SEMI-INDUSTRIAL DE CÉLULAS "ROUGHER"/ "CLEANER", ESQUERDA/DIREITA, RESPECTIVAMENTE. NOTAM-SE OS ANÉIS QUE PERMITEM ALTURAS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO	36

- 8.4. - CONJUNTO SEMI-INDUSTRIAL, VISTO DE OUTRO ÂNGULO. 37
AO LADO DIREITO, BANCO No. 1 DE CÉLULAS MECÂNICAS
"ROUGHER"/"SCAVENGER", CÉLULAS COM VOLUMES UNITÁRIOS
DE 1,7m³
- 8.5. - DETALHE DO AERADOR DA CÉLULA "ROUGHER", COM ENTRADAS 38
PERPENDICULARES DE AR (MANGUEIRAS NEGRAS)
- 8.6. - DETALHE DA CÉLULA "ROUGHER", COM A DESCARGA DE 39
MATERIAL FLOTADO. NOTA-SE A SAÍDA CENTRAL DE ESPUMA,
DIMINUINDO A DISTÂNCIA MÉDIA DAS PARTÍCULAS À CALHA
DE CONCENTRADO
- 8.7. - OUTRA VISTA DO CONCENTRADO "ROUGHER", NOTANDO-SE A 40
SUPERFÍCIE BASTANTE TRANQUILA DA ZONA DE ESPUMA
- 8.8. - VÁLVULA AUTOMÁTICA DE REJEITO: O CONTROLE DA INTERFACE 41
ESPUMA/POLPA É FEITO PELA ABERTURA/FECHAMENTO DA
VÁLVULA DE MANGOTE BI-PARTIDO, ALIVIANDO OU INJETANDO
AR NA CÂMARA INTERNA DA VÁLVULA
- 8.9. - DETALHE DO AERADOR DA CÉLULA "CLEANER" 42
- 8.10.- SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE CADA UMA DAS CÉLULAS 45
PNEUMÁTICAS DO CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL
- 9.1. - CIRCUITO INDUSTRIAL DE CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO 48
PNEUMÁTICA, USINA 320 - SERRANA, JANEIRO DE 1985
- 9.2. - CIRCUITO INDUSTRIAL, COM DUAS CÉLULAS SERRANA. EM 50
PRIMEIRO PLANO, CÉLULA "SCAVENGER"; EM SEGUNDO,
CÉLULA "ROUGHER"
- 9.3. - VISTA DE FRENTE DO CIRCUITO, COM AS DUAS CÉLULAS DE 51
ALTURA TOTAL (TANQUE + DISTRIBUIDOR DE POLPA) DE 5,2m
E DIÂMETRO DE 3,7m, VOLUME ÚTIL DE 37m³/CADA. ABAIXO,
VÊEM-SE OS CONJUNTOS DE AERAÇÃO (AERADORES), CADA
CÉLULA COM OITO UNIDADES (EM VERMELHO)

- 9.4. - VISTA DA PARTE SUPERIOR; EM PRIMEIRO PLANO, A CÉLULA "SCAVENGER" 52
- 9.5. - DETALHE DA ZONA DE ESPUMA DA CÉLULA "ROUGHER"; A DESCARGA CENTRAL DE CONCENTRADO MINIMIZA O TEMPO DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS COLETADAS, IMPORTANTE CARACTERÍSTICA PARA ESTA OPERAÇÃO, COM ESPUMA DE ALTA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E ALTA VISCOSIDADE 53
- 9.6. - CONJUNTOS DE AERAÇÃO DAS DUAS CÉLULAS 54
- 9.7. - DETALHE DOS AERADORES, NOTANDO-SE A DISTRIBUIÇÃO DO AR PARA UMA DAS OITO UNIDADES DE CADA CÉLULA. A POLPA ESTÁ FLUINDO PERPENDICULARMENTE À INJEÇÃO DE AR, DE BAIXO PARA CIMA 55
- 9.8. - OUTRO DETALHE DOS AERADORES DAS CÉLULAS PNEUMÁTICAS 56
- 9.9. - AMBAS AS CÉLULAS SÃO ALIMENTADAS POR BOMBAS DE POLPA CENTRÍFUGAS DE 0,25m X 0,20m (10" X 8"), REVESTIDAS DE BORRACHA. VÊ-SE A CAIXA DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DO "SCAVENGER", COM DETALHE DO SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DA CAIXA: BÓIA + VÁLVULA DE CONTROLE DE ÁGUA (AZUL) 57
- 9.10. - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CÉLULA "SCAVENGER", ACIONADA POR VARIADOR HIDRÁULICO DE VELOCIDADE DE 75kW (100 HP) DE POTÊNCIA. A ROTAÇÃO DA BOMBA É AJUSTADA POR CONTROLE REMOTO, NA SALA DE CONTROLE DA FLOTAÇÃO DA USINA DE CONCENTRAÇÃO 58
- 9.11. - TUBULAÇÃO DE DESCARGA DO REJEITO. DETALHE DA VÁLVULA DE CONTROLE DE VAZÃO, QUE É PNEUMÁTICA, DE MANGOTE: FUNCIONA PELO ESVAZIAMENTO OU ENCHIMENTO DA CÂMARA INTERNA DE AR 59
- 9.12. - SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DA CÉLULA PNEUMÁTICA: TUBO DE TORQUE, COM BÓIA LONGA E SAÍDA DE SINAL DE 4 A 20mA, CONFORME POSIÇÃO DA INTERFACE ESPUMA/POLPA 60

- 9.13.- DETALHE DOS DOIS CONTROLADORES DE NÍVEL, P + I + D, 61
PARA CADA UMA DAS CÉLULAS
- 9.14.- CONTROLE MANUAL DA VAZÃO DE AR DE CADA UM DOS DOIS 62
CONJUNTOS DE OITO AERADORES
- 9.15.- SISTEMA DE AR-COMPRESSIDO: UM COMPRESSOR DE PARAFUSOS 63
(AO FUNDO), COM SISTEMA RESERVA DE COMPRESSORES DE
PISTÃO (EM PRIMEIRO PLANO). A PRESSÃO NECESSÁRIA NÃO
PASSA DE 0,1 MPa (1kgf/cm²), CONSIDERANDO ATÉ OS
AERADORES, QUE TRABALHAM COM 0,07 A 0,1 MPa (0,7 A
1,0 kgf/cm²)
- 9.16.- LINHA DE AR PARA ALIMENTAÇÃO DOS AERADORES. EM DETALHE, 64
O FILTRO DE LINHA (AZUL), GARANTINDO RETENÇÃO DE
PARTÍCULAS DE ATÉ 1 MICROMETRO E RESFRIADOR DE AR (EM
VERDE) PARA QUE A TEMPERATURA DO AR NÃO PASSE DE
50 GRAUS CELSIUS
- 10.1.- COMPORTAMENTO MALHA A MALHA - CÉLULAS PNEUMÁTICAS 69
VERSUS CÉLULAS MECÂNICAS, MINÉRIO CALCÍTICO. PERÍODO:
OUTUBRO '87 A JUNHO '88
- A.1. - CIRCUITO DE MOAGEM E DESMAGNETIZAÇÃO (5 LINHAS), 77
USINA 320, SERRANA (1988)
- A.2. - CIRCUITO DE DESLAMAGEM, USINA 320, SERRANA (1988) 78
- A.3. - CIRCUITO DE CÉLULAS MECÂNICAS, USINA 320, SERRANA 81
(1988)
- A.4. - CIRCUITO DE CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA, 82
USINA 320, SERRANA (1988)

ÍNDICE DE TABELAS

6.1.	- BALANÇO GRANULOMÉTRICO, CIRCUITO DE FLOTAÇÃO - USINA 320, SERRANA (1983)	22
7.1.	- ENSAIOS DE FLOTAÇÃO "ROUGHER" EM ESCALA PILOTO COM ALIMENTAÇÃO DA FLOTAÇÃO	30
7.2.	- ENSAIOS DE LAVAGEM EM ESCALA PILOTO - MATERIAL: CONCENTRADO "ROUGHER", USINA 320	31
9.1.	- PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS PNEUMÁTICAS INDUSTRIAIS	49
10.1.	- COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS CIRCUITOS DE FLOTAÇÃO - CÉLULAS MECÂNICAS E CÉLULAS PNEUMÁTICAS, PERÍODO: OUTUBRO '87 A JUNHO '88	68
A.1.	- DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PRODUTO DA BRITAGEM - USINA 320, SERRANA (1988)	75
A.2.	- DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PRODUTO DO CIRCUITO DE MOAGEM - USINA 320, SERRANA (1988)	76
A.3.	- CONSUMOS ESPECÍFICOS DE REAGENTES - USINA 320, SERRANA (1988)	79
A.4.	- CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA ALIMENTAÇÃO DA FLOTAÇÃO - USINA 320, SERRANA (1988)	79
A.5.	- BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO DA USINA 320, SERRANA (1988)	83
A.6.	- RECUPERAÇÕES EM MASSA E EM P205 - USINA 320, SERRANA (1988)	83
D.1.	- PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA SEMI-INDUSTRIAL "ROUGHER"	104
D.2.	- ARRANJOS DO TANQUE DE FLOTAÇÃO "ROUGHER" - CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL	106

E.1. - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA SEMI-INDUSTRIAL "CLEANER"	109
E.2. - ARRANJOS DO TANQUE DE FLOTAÇÃO "CLEANER" - CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL	112

1. INTRODUÇÃO

Desde seu aparecimento na indústria de mineração, no início deste século, a flotação tornou-se uma das operações unitárias mais empregadas no beneficiamento de minérios. Todavia, devido ao grande número de variáveis envolvidas e à complexidade dos fenômenos que tomam parte da mesma, até agora não foram elaboradas teorias de modelo satisfatórias, que permitam uma concepção mais racional das máquinas de flotação, (29)*, (30). As pesquisas se dedicaram mais aos aspectos químicos do processo (em particular, à escolha dos coletores), ao passo que os aspectos físicos e mecânicos ainda não estão bem dominados.

Daí decorre que as atuais máquinas de flotação são na maioria das vezes, fruto de uma abordagem pragmática e inventiva; a sua diversidade mostra que nesse domínio tal tecnologia ainda não alcançou sua maturidade. Há campo para procurar novos progressos, particularmente no setor de flotação de partículas finas, ultra-finas e grossas, na obtenção de melhor seletividade, na redução de consumo de energia por tonelada de concentrado, etc.

Nas operações industriais da Serrana, em Jacupiranga, SP, a liberação grosseira da apatita - mineral de fósforo, em relação à ganga carbonática, implica numa granulometria desfavorável para as máquinas convencionais de flotação: cerca de 17% do material é retido em malha de 35 mesh - 420 μ m.

Este fato incentivou o estudo de diversos equipamentos alternativos para a consecução da necessária separação por flotação, com a realização de trabalhos experimentais em alguns equipamentos pré-selecionados.

* os números entre parênteses correspondem às citações da lista de Bibliografia, item 13, página 121 e seguintes.

2. SISTEMAS DE FLOTAÇÃO

A flotação em espuma ou simplesmente flotação é um processo de separação de minerais ou de fases líquidas (graxas, óleos, etc.) em que se utiliza da diferença de hidrofobicidade das fases a serem separadas, para se alcançar este objetivo. É um processo de mais de 70 anos (70), que se desenvolveu para a separação e recuperação de minerais não-processáveis por métodos gravíticos de beneficiamento.

Simplificadamente, a flotação pode ser dividida em 4 fases:

- a) condicionamento da polpa;
- b) aeração da polpa;
- c) adsorção partículas sólidas/bolhas de ar; e,
- d) separação dos agregados sólidos/bolhas da polpa, em forma de fase espumosa.

Quanto à aeração da polpa, a flotação de minerais é realizada basicamente de três maneiras, (9), (27), (35), (47), (49), (65), (69), (70), (71), (73), (76), (84):

- a) por ar induzido/aspirado;
- b) por ar disperso; e,
- c) por ar dissolvido.

No primeiro caso, as bolhas geradas são de grande tamanho (1mm), sendo introduzidas na polpa de duas maneiras: i) por sopradores, de forma direta, ou ii) por aspiração, devido à criação de uma zona de baixa pressão no giro dos rotores (células mecânicas).

Na flotação por ar disperso, a remoção de partículas hidrofóbicas se faz forçando-se ar na polpa, através de placas, ou aspersores, ou tubos venturi, com diâmetros de bolhas, $\phi < 500$ ou $< 100 \mu\text{m}$.

Na flotação por ar dissolvido, as bolhas ($\phi = 30$ a $120 \mu\text{m}$) são formadas por nucleação nas partículas, envolvendo compressão e saturação da polpa com ar ou pela adsorção de bolhas de gás geradas por eletrólise da água. Neste caso, apesar do maior custo do processo, obtém-se contato bolha-partícula mais eficiente.

3. CÉLULAS DE FLOTAÇÃO

Na maioria das vezes, os minerais submetidos à flotação recebem uma preparação mecânica e um condicionamento prévios, visando conferir-lhes as propriedades físicas e químicas superficiais necessárias à flotação. O material preparado dessa forma é a seguir introduzido numa máquina de flotação, cujas principais funções são as seguintes:

- a) manter as partículas minerais em suspensão, evitando sedimentação e permitindo contato com bolhas de ar;
- b) introduzir e dispersar ar em forma de bolhas na suspensão, pondo em contato as partículas sólidas e aquelas; e,
- c) separar, em forma de espumas mineralizadas (mistura trifásica sólido/líquido/ar), as partículas hidrofóbicas arrastadas pelas bolhas de ar; as demais partículas são retiradas com a maior parte da água, fazendo parte do fluxo de partículas não coletadas.

Os equipamentos de flotação podem ser divididos em cinco classes, (85), (70):

1. Célula Mecânica:

É o tipo mais comum, caracterizando-se por um rotor acionado mecanicamente que agita a polpa e dispersa ar na mesma (figura 3.1.).

As células mecânicas têm duas sub-classes:

- a) em relação ao fluxo de polpa, podem ser "cell-to-cell", quando fechadas e de "fluxo contínuo", quando, abertas lateralmente; e,
- b) em relação à aeração, podem ter aeração forçada (soprador), ou com aeração natural, na aspiração causada pelo movimento do rotor.

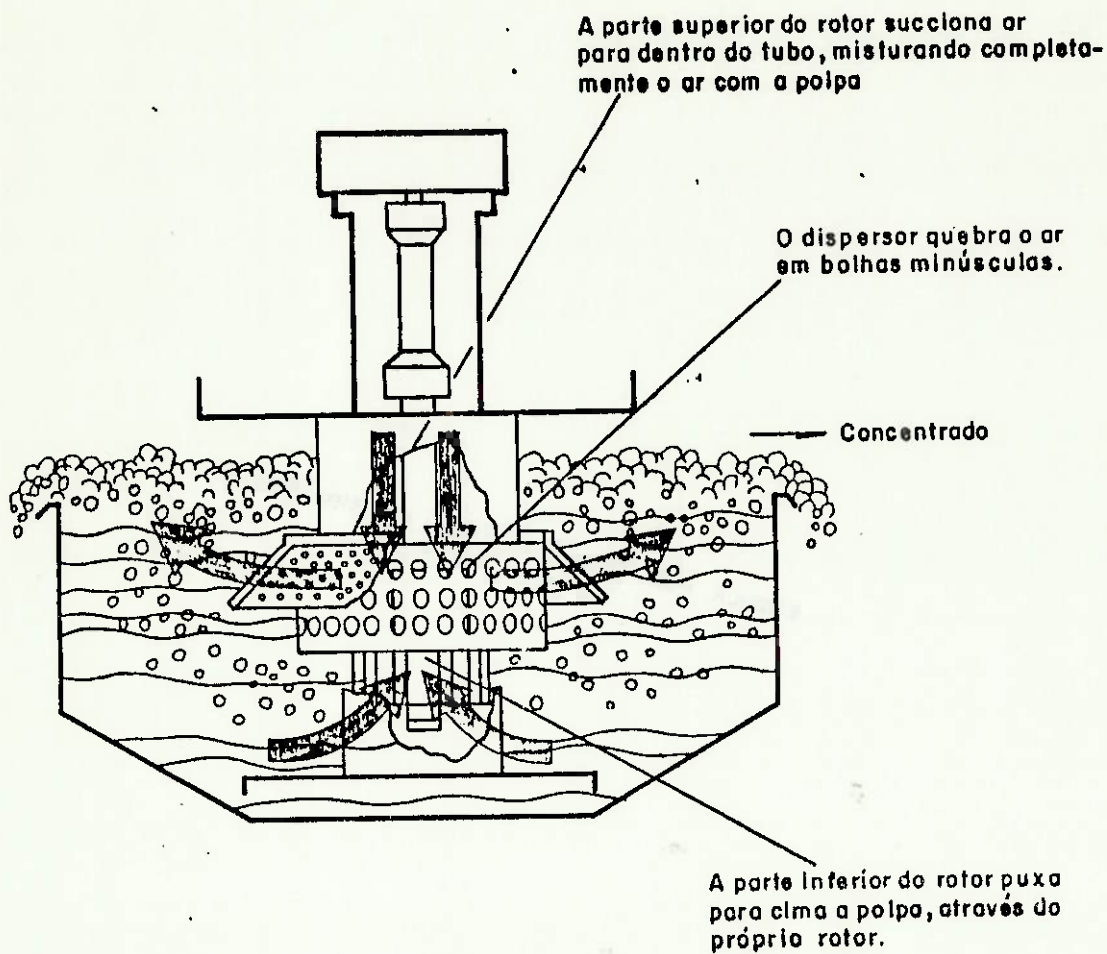


FIGURA 3.1. - CÉLULA DE FLOTAÇÃO MECÂNICA (WEMCO)

2. Célula Pneumática, (1), (3):

É um equipamento sem agitação mecânica, cujo movimento e/ou aeração da polpa é obtido pela injeção de ar comprimido. Será discutida em detalhes no capítulo 4.

3. Separador de espuma:

Neste tipo de equipamento, a alimentação de polpa é feita por cima, na zona de espuma e não na zona de polpa.

Embora os tipos mais tradicionais sejam soviéticos (39), a célula Flotaire da Deister (figura 3.2.), (11), (86), é um exemplo que pode ser enquadrado nesta classe de células.

São equipamentos que tornam possível a flotação de partículas extremamente grossas (cinco a seis vezes o tamanho flotável em células mecânicas, (39)).

4. Célula de coluna, (5), (10), (12), (13), (16), (21), (23), (24), (25), (26), (28), (31), (38), (40), (41), (42), (43), (46), (48), (50), (51), (66), (67), (72), (74), (75), (78), (79), (80), (81), (82), (83):

É uma máquina cuja principal característica é a existência de fluxos de polpa e bolhas de ar, ou de polpa e água de lavagem, sempre em condição de contra-corrente (figura 3.3.).

Suas características são:

- a) tamanho controlado de bolha;
- b) menor tempo de retenção;
- c) alta taxa de enriquecimento (um estágio pode equivaler a mais de quatro estágios de células mecânicas); e,
- d) facilidade de automação (instrumentação) do equipamento.

5. Célula de gás dissolvido:

De menor importância na indústria mineral, é utilizada em processos químicos, e na indústria de recuperação/limpeza de resíduos. Utiliza ar pressurizado, com geração de bolhas de

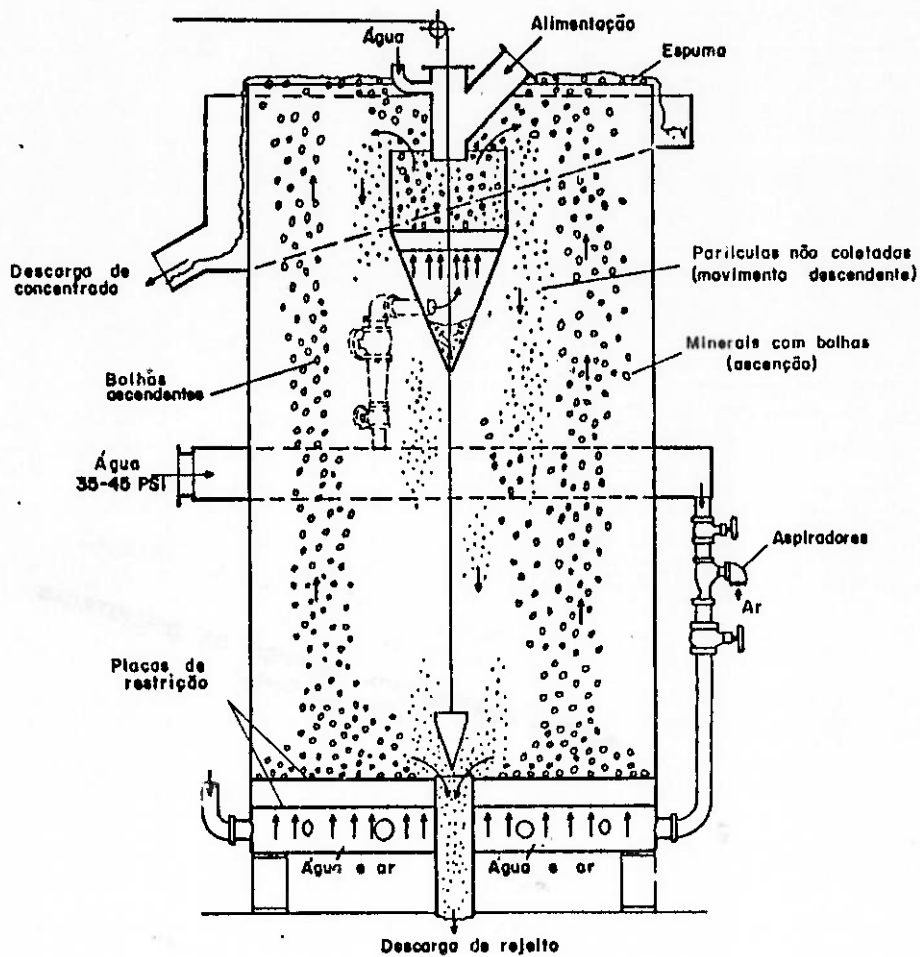


FIGURA 3.2. - SEPARADOR DE ESPUMA (CÉLULA FLOATAIRE DA DEISTER),

(86)

tamanho reduzido (normalmente menor que 100 μm , (70)).

Outras classificações diferem da apresentada, por mera condução de similaridades/diferenças de modo de agitação e/ou tipo de transporte da polpa, assim como de que maneira se processa a aeração. Vale mencionar a classificação de Polgarie, (55).

Embora as células mecânicas ainda dominem o mercado, vislumbra-se uma diminuição de sua utilização, justificada pelas seguintes considerações:

1. As células pneumáticas parecem se adaptar muito bem a minérios com granulometrias muito grossas ou muito finas ou minerais de alta densidade;
2. As células de coluna têm apresentado excelente desempenho quando há dificuldades de lavagem de concentrados no processo, e/ou maior presença de partículas finas ($\phi < 30 \mu\text{m}$); e,
3. Os separadores de espuma têm apresentado melhores resultados metalúrgicos para granulometrias grosseiras.

Existem diversos desenvolvimentos específicos de equipamentos, encaixando-se numa das classes mencionadas. Alguns modelos merecem citação:

- a) a coluna centrífuga de Miller, (34), (44), (45), (57) e (68);
- b) a célula centrífuga de Kalthoff et alii, (61);
- c) a célula de flotação com difusor de ar acoplado, de Weber e Forsyth, (63);
- d) a célula de flotação com difusor de ar acoplado, de Gruea et alii, (60);
- e) injetor de ar de projeto específico, de Shweiss et alii, (59);
- f) a máquina de flotação pneumática com aerador tipo venturi, de Bloise et alii, (63);

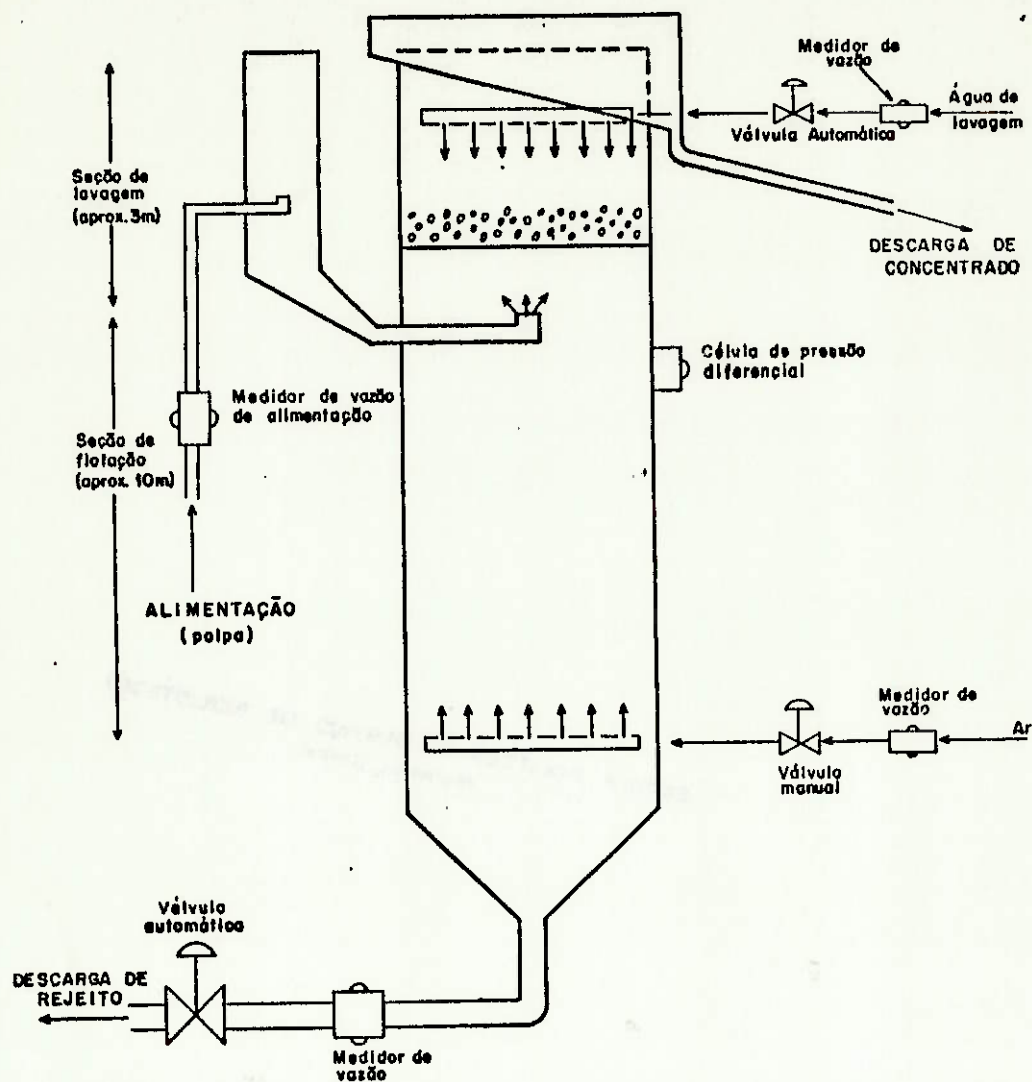


FIGURA 3.3. - CÉLULA DE COLUNA (COLUMN FLOTATION OF CANADA),

(15)

g) a célula "skim air" da Outokumpu, célula mecânica utilizada para materiais grosseiros, geralmente de carga circulante de circuito de moagem ("flash flotation"), (14), (19), (20), (33), (36) e (54);

h) a célula com suprimento intermitente de ar, da Plaistere and Hanger International Ltd., (22), (36);

i) processo de flotação em cascata, segundo invenção de Hitland, (62); e,

j) a célula COMRO, desenvolvida para materiais grosseiros, segundo Lloyd et alii, (37);

Outros artigos e trabalhos nesta área de equipamentos de flotação, que merecem indicação, são os de Burger, (7), Harris, (29), Parkinson, (53), Hanney, (64) e Roe, (70).

4. O CONCEITO DA CÉLULA PNEUMÁTICA

A célula de flotação pneumática compõe-se de duas unidades distintas, (1), (2), (3), (6), (17), (18), (32), conforme mostrado na figura 4.1.:

- a) o aerador, também chamado de câmara de aeração ou de reator; e,
- b) o tanque, célula, ou vaso de separação.

No aerador é feito o contato de bolhas/partículas. Por causa de características físicas adequadas, o controle das condições de aderência das partículas hidrofóbicas nas microbolhas criadas é mais acurado.

As bolhas de ar são criadas em tubos ou placas porosas dos mais diversos materiais: vidro, bronze sinterizado, polietileno, etc., com diâmetros de orifícios de 5 a 50 μm ; as distâncias entre as paredes destes meios e o seio da polpa são pequenas, de 3 a 10 mm.

A separação da espuma (concentrado) e do rejeito se dá num tanque cilíndrico ou prismático com fundo cônico ou piramidal. A entrada da polpa se dá por baixo do tanque ou na horizontal, tangencialmente ao vaso de separação.

As principais vantagens potenciais deste tipo de equipamento são:

- a) as operações de aeração da polpa e de separação dos sólidos coletados/não-coletados são realizadas separadamente, havendo, portanto, condições mais favoráveis para a otimização de ambas as operações;
- b) não há partes móveis, com redução de custos de manutenção;
- c) os investimentos tendem a ser bem inferiores, pela maior simplicidade do equipamento e menores volumes dos tanques de separação;
- d) o consumo energético pode ser mais baixo; e,

e) a área requerida para instalação do equipamento é normalmente menor.

Apesar da utilização de células pneumáticas ser conhecida desde o início do século, (77), os conceitos que geraram o desenvolvimento da Célula Serrana baseiam-se nos estudos desenvolvidos pelo prof. Dr. Albert Bahr, da Universidade de Clausthal, República Federal da Alemanha. Ele, juntamente com pesquisadores e engenheiros ligados ao beneficiamento de ultrafinos de carvão ($\phi < 10 \mu\text{m}$) patentearam novos tipos de aeradores em 1974, (56), dos quais um é esquematicamente mostrado na figura 4.2.

As duas funções: a) contato ar/partículas sólidas, e b) separação "partículas hidrofóbicas + ar/partículas hidrofílicas + água" não se dão na mesma zona do aparelho. A primeira operação é realizada em condições de turbulência muito elevada num período de tempo muito curto (frações de milissegundos), favoráveis à fixação sólido/ar. A segunda operação (sedimentação das partículas hidrofílicas) é realizada num meio calmo, favorável a uma boa extração das partículas coletadas hidrófobas na espuma. Escapa-se da necessidade de se buscar uma solução de compromisso entre um meio muito agitado, favorável ao bom contato sólido/ar e um meio calmo, favorável a uma boa separação das fases.

Esta independência das duas funções é certamente a causa da boa taxa de extração observada nas frações granulométricas mais grossas, por um lado, bem como da qualidade dos concentrados obtidos sem relavagem, por outro lado.

A brevidade da permanência das partículas no meio agitado pode ainda mostrar-se benéfica nos casos de tratamento de materiais frágeis ou friáveis.

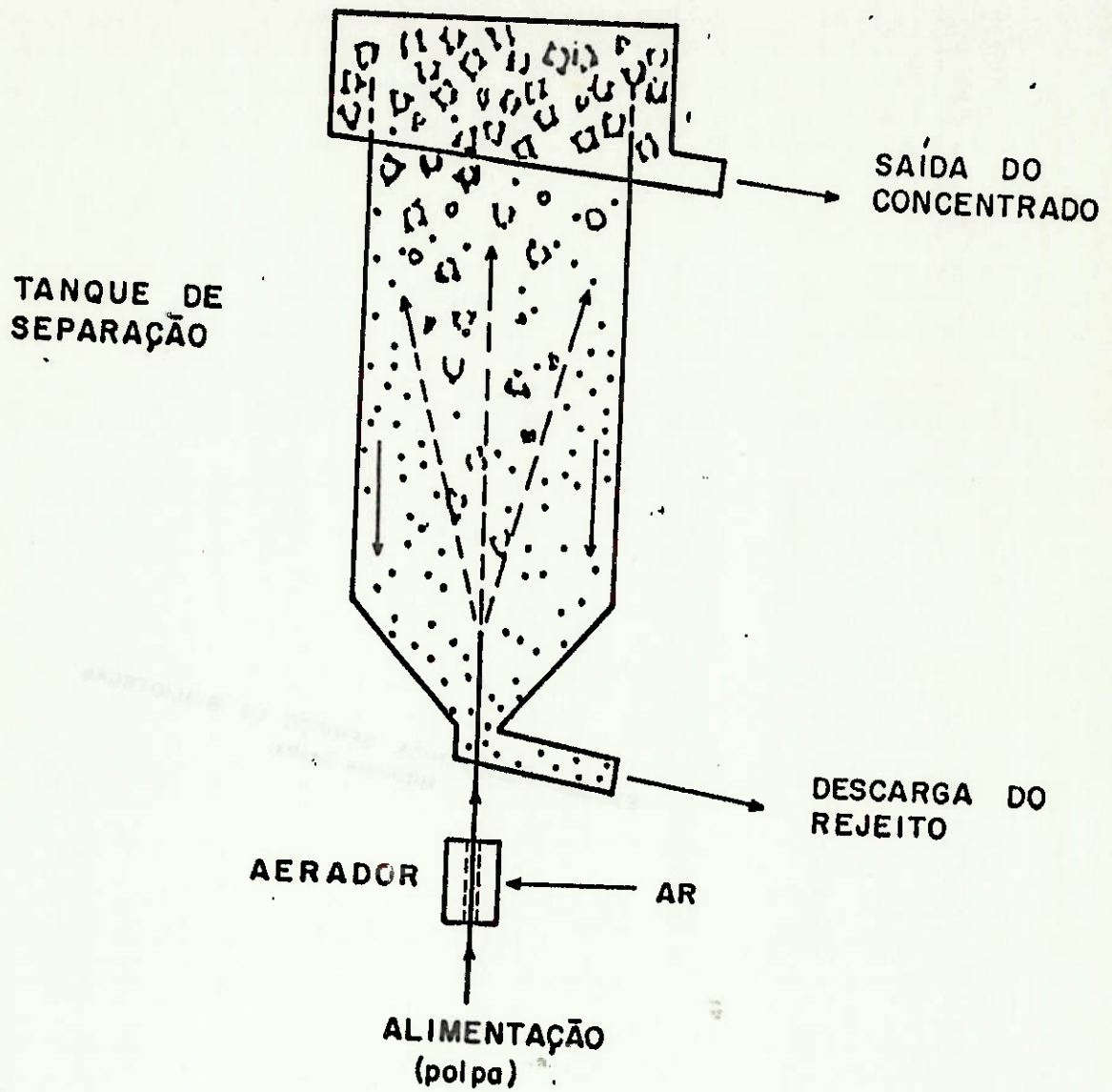


FIGURA 4.1. - CÉLULA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA, (1)

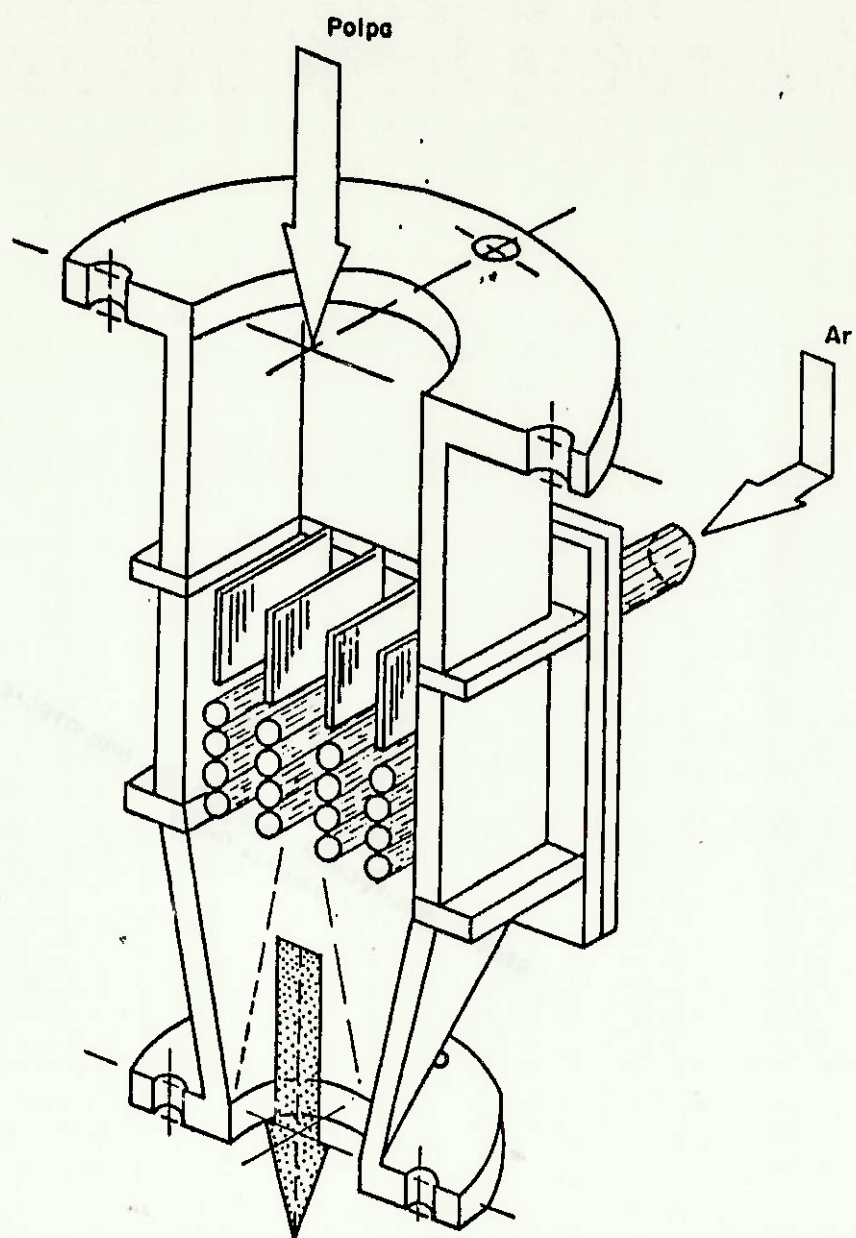


FIGURA 4.2. - AERADOR OU REATOR DE CÉLULA PNEUMÁTICA, (3)

Como essas duas funções podem ser realizadas em condições otimizadas, isso poderá redundar numa redução do tempo de residência na célula, quando comparado com as células de flotação do tipo mecânico, bem como num aumento do rendimento por estágio de separação.

Uma outra alternativa de sistema de aeração é a utilização de um venturi para a introdução do ar na suspensão.

O venturi (figura 4.3.), muito utilizado em diversos dispositivos industriais, é constituído por uma zona convergente e outra zona divergente, separadas por uma zona de diâmetro mínimo, cujo comprimento pode ser nulo ou não, e que é chamada "garganta" ou "estrangulamento".

O escoamento fluido através de garganta (contração seguida de expansão da veia líquida) causa uma depressão após a garganta, suficiente para aspirar ar do ambiente.

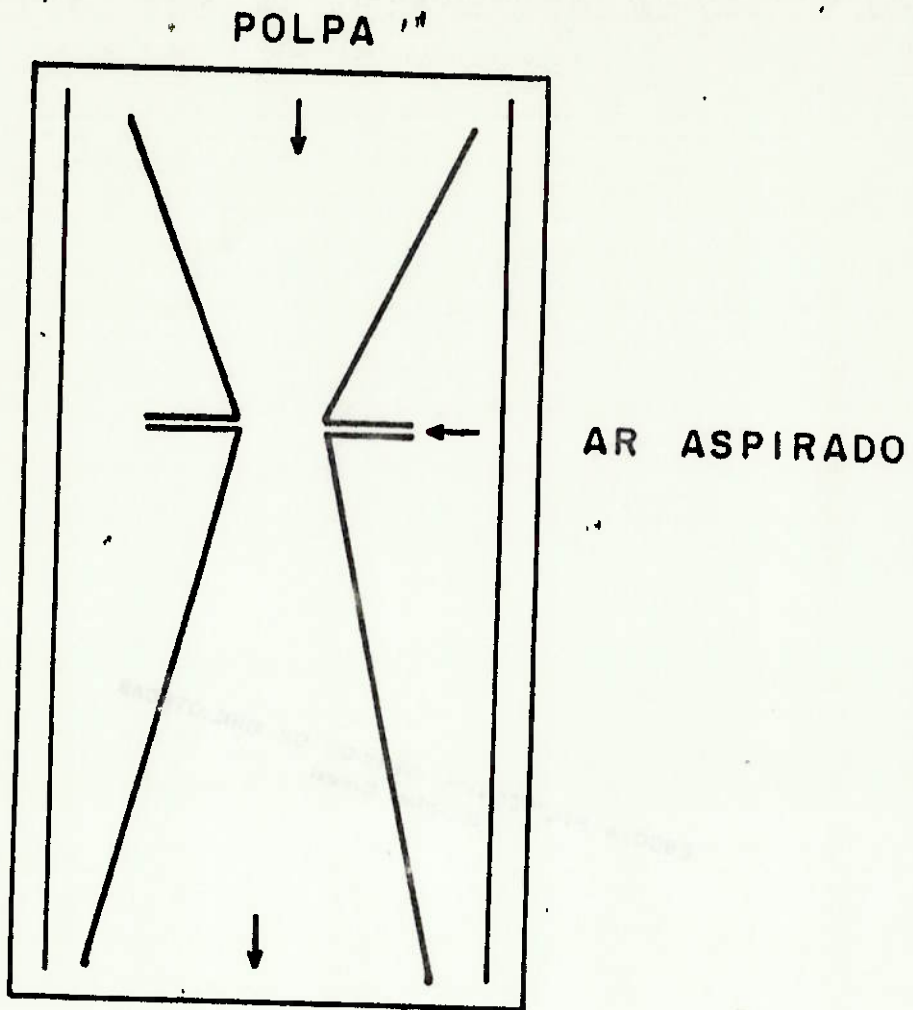


FIGURA 4.3. - AERADOR TIPO VENTURI

5. OPERAÇÕES INDUSTRIAIS DA SERRANA S/A DE MINERAÇÃO EM JACUPIRANGA, SP

A Serrana é uma empresa do Grupo Industrial Santista, produzindo, em Jacupiranga, distante 230km de São Paulo, três grupos de produtos (figura 5.1.):

- a) concentrado de rocha fosfática;
- b) cimento Portland; e,
- c) matérias-primas intermediárias para fertilizantes.

O concentrado de apatita (mineral de fósforo) é obtido pela flotação com ácidos graxos (anexo A), separando-a da ganga carbonática.

A grande dificuldade no Processo Serrana é a necessidade de produção de dois materiais (o concentrado fosfático e o "rejeito" calcário) dentro de especificações rígidas; isto é, na flotação do carbonatito moído, desmagnetizado e deslamado, não existe rejeito, pois este - calcário calcítico - é utilizado como matéria-prima para cimento, não podendo conter mais do que 1% de P₂O₅.

Com a evolução do circuito de condicionamento com amido de frações granulometricamente diferenciadas, provenientes de mudanças no fluxograma da deslamagem, e de acertos no circuito de flotação, foi possível alimentar um material mais grosseiro na flotação. Isto significou um produto da moagem mais grosso, ganhando-se em custo desta operação, em aumento de capacidade da Usina e em menor geração de lamas ($\phi < 30 \mu\text{m}$), (8).

Desta forma, alimenta-se a flotação com um material extremamente grosseiro, com cerca de 27% retido em 48 mesh (300 μm). As células de flotação trabalham com freqüentes aterramentos

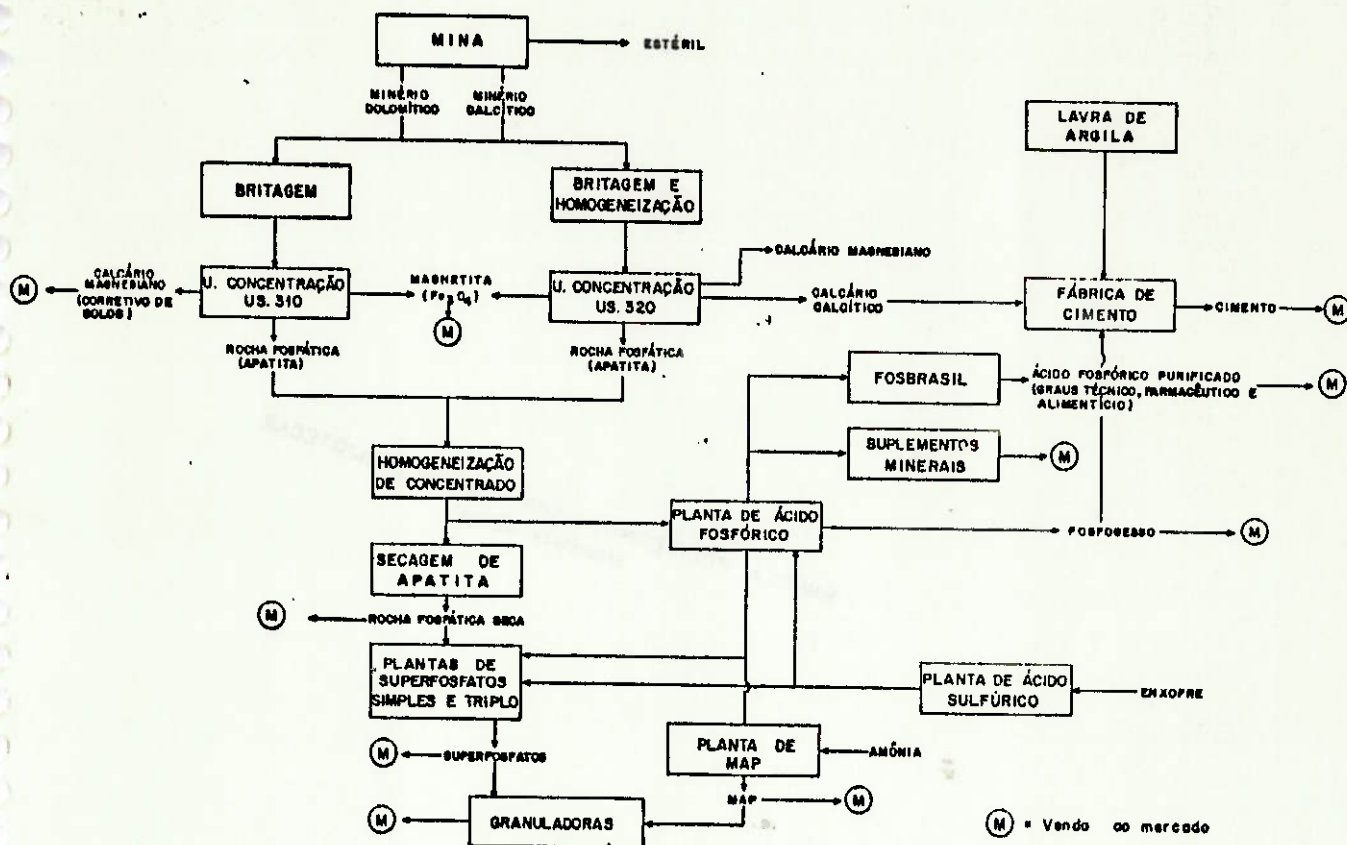


FIGURA 5.1. - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PARQUE INDUSTRIAL DE JACUPIRANGA - SERRANA S/A DE MINERAÇÃO, JACUPIRANGA, SP

em seus cantos, chegando a ocorrer até, excepcionalmente, o aterro total de bancos. Este fato é, inclusive, o principal limitante da alimentação nova da Usina, pois ela opera praticamente em função de máxima produção, mesmo que isto acarrete a inevitável perda de recuperação em fósforo.

6. A CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA

Com o objetivo de se reduzir as perdas na flotação da apatita de Jacupiranga, localizadas principalmente nas frações mais grossas (acima de 300 μm) e também nas frações mais finas (abaixo de 40 μm), iniciou-se um trabalho de pesquisa, cujos alvos eram os reagentes empregados no processo e o tipo de equipamento para flotar.

Na tabela 6.1. apresenta-se um balanço granulométrico do Circuito de Flotação da Usina de Concentração da Serrana, onde se caracterizam as baixas recuperações dos extremos granulométricos.

Em relação às máquinas de flotação, o estudo iniciou-se por uma ampla pesquisa bibliográfica, seguindo-se testes com alguns equipamentos de interesse, às vezes, nas plantas da Serrana, outras, nas instalações dos fabricantes, alguns deles, no exterior.

Tornou-se necessário optar pelo sistema de flotação que apresentasse o maior potencial técnico de ajuste às peculiaridades do minério de Jacupiranga (liberação grosseira, baixo teor, reagente de alta viscosidade, seletividade sensível a diversas variáveis, etc.) e partindo do conceito do equipamento escolhido, desenvolveu-se o projeto adequando parâmetros, como velocidade de transporte e o tamanho apropriado das bolhas, em função do peso e tamanho das partículas a flotar.

Estes testes levaram à conclusão de que haveria maior probabilidade de atingir bons resultados com o uso de células do tipo pneumático, iniciando-se, assim, nova fase de pesquisa.

O sistema considerado de maior potencial era fundamental no gerador de bolhas (aerador) que estava em pesquisa na Universidade de Clausthal, República Federal da Alemanha, mencionado no capítulo 4.

A partir da decisão de se aprofundar os estudos com células do tipo pneumática, mencionada nos itens 4 e 6, trabalhou-se em estreita cooperação com o prof. Dr. Albert Bahr, projetando-se um protótipo de $0,1m^3$ (volume útil de tanque). Todo o dimensionamento baseou-se em fundamentos teóricos, visto não haver nenhum equipamento similar em uso industrial para comparação.

As figuras 6.1 e 6.2 mostram a célula piloto, de 30cm de diâmetro e altura variável e o aerador, com diâmetro interno de 1mm.

TABELA 6.1. - BALANÇO GRANULOMÉTRICO, CIRCUITO DE FLOTAÇÃO - USINA 320, SERRANA (1983)

MALHA	ALIMENTAÇÃO			CONCENTRADO			REJEITO			RECUP. POR MALHA		
	FRAÇÃO RETIDA TYLER (µm)	FRAÇÃO RETIDA SIMPLES (%)	TEOR P205 ACUM. (%)	FRAÇÃO RETIDA SIMPLES (%)	FRAÇÃO RETIDA ACUM. (%)	TEOR P205 ACUM. (%)	FRAÇÃO RETIDA SIMPLES (%)	FRAÇÃO RETIDA ACUM. (%)	TEOR P205 ACUM. (%)	MASSA	P205 (%)	
35	420	16,6	16,6	2,0	2,1	2,1	30,3	19,1	19,1	1,3	1,9	36,6
48	297	10,6	27,2	4,5	5,6	7,7	38,2	11,5	30,6	1,4	7,8	71,5
100	149	33,1	60,3	7,3	39,2	46,9	39,1	32,0	62,6	0,8	17,5	90,9
325	44	29,6	89,9	7,8	37,2	84,1	36,5	28,3	90,9	0,7	18,6	92,8
-325	-44	10,1	100,0	5,4	15,9	100,0	24,2	9,1	100,0	1,9	23,3	70,3
TOTAL	-	-	6,1	-	-	35,5	-	-	1,0	14,8	86,0	

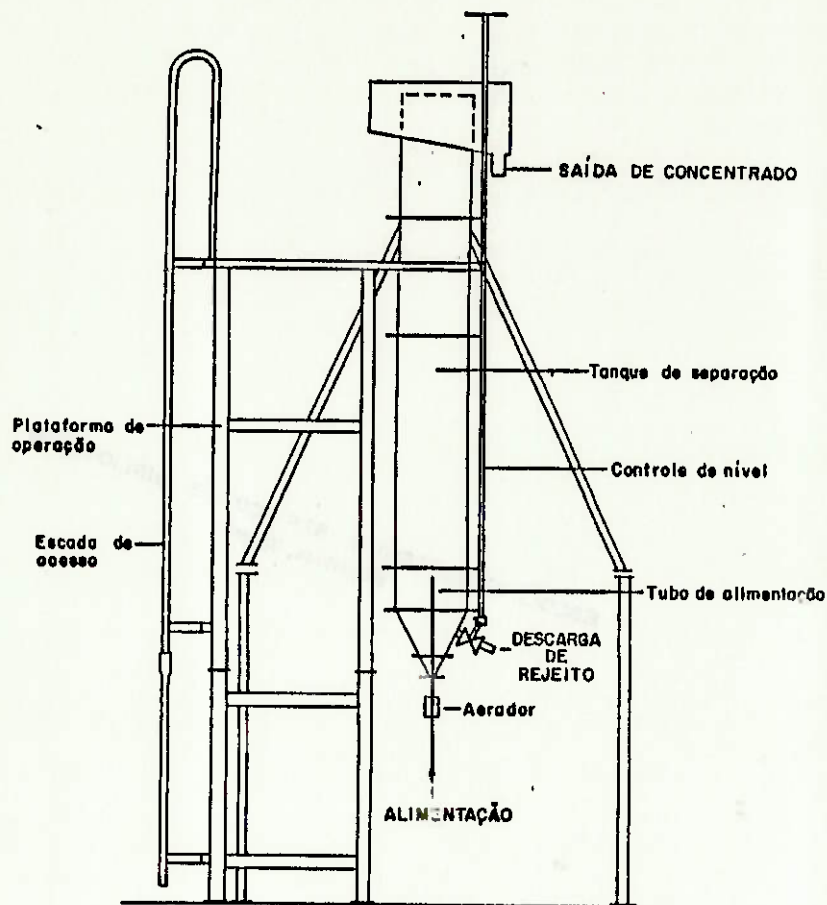


FIGURA 6.1. - CÉLULA SERRANA - UNIDADE PILOTO

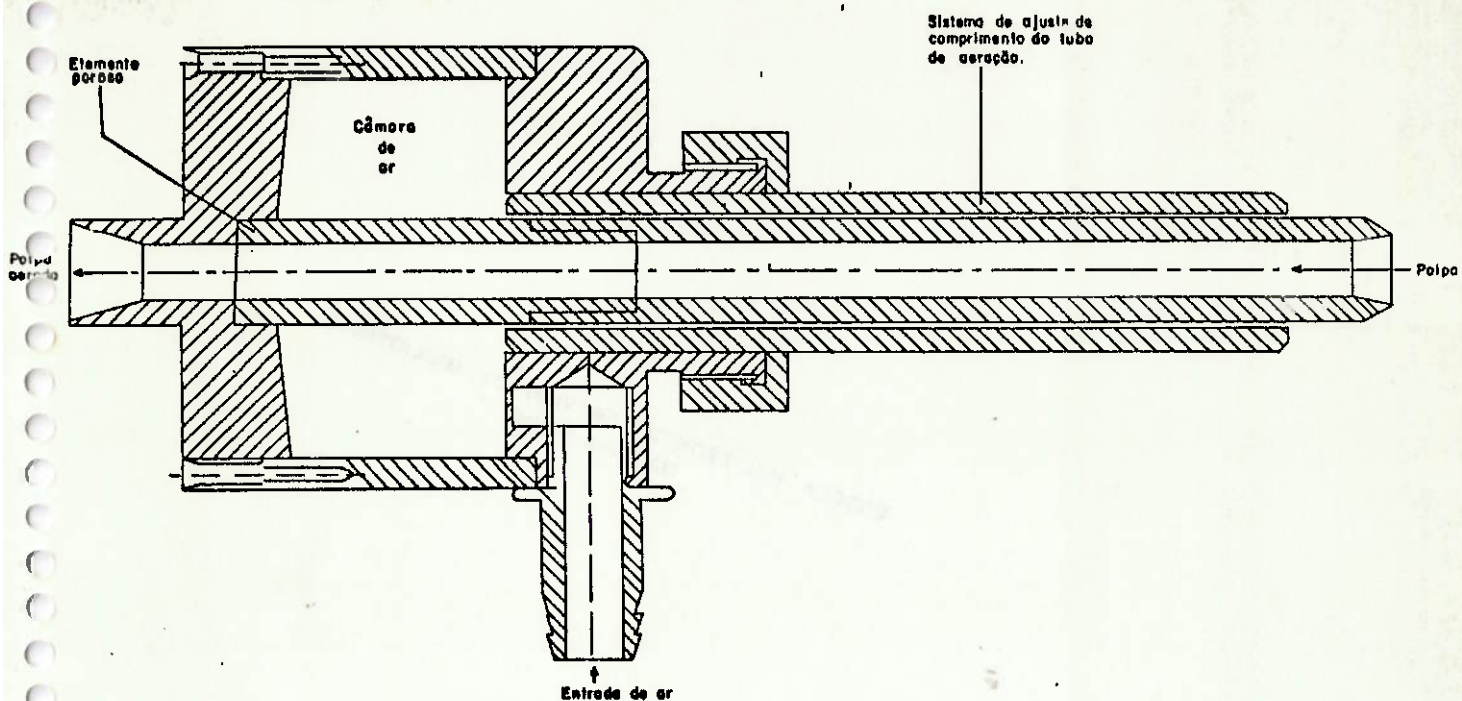


FIGURA 6.2. - AERADOR DA CÉLULA PILOTO

7. ESTUDOS EM ESCALA PILOTO COM A CÉLULA

SERRANA DE FLOTACÃO PNEUMÁTICA

7.1. Testes em escala piloto

Iniciou-se a operação do protótipo apresentado no item 6 em fevereiro de 1983, instalando-o na Usina Industrial de Concentração - Usina 320 - desviando uma fração (0,5 a 1,0%) da polpa que ia para a flotação convencional composta por células mecânicas. Possibilitou-se, então, mediante a operação simultânea do protótipo e da fábrica, a comparação de rendimento entre os dois tipos de máquinas. As figuras 7.3, 7.4 e 7.5 ilustram diferentes aspectos do equipamento.

Nesta fase, muitas experiências foram feitas para conhecer a influência das diversas variáveis sobre a eficiência da flotação na nova célula, destacando-se a influência da altura do tanque, da velocidade de introdução da polpa, da altura de espuma, da relação $Q_{ar}:Q_{pp}$, da concentração de sólidos de alimentação, da velocidade da polpa na aeração e, evidentemente, do tamanho das bolhas.

7.2. Resultados experimentais

As tabelas 7.1 e 7.2 resumem os resultados de ensaios selecionados dentre os 117 experimentos "rougher" e 47 "cleaner". Nos anexos B e C encontram-se tabelas com dados de todos os ensaios.

Os ensaios selecionados basearam-se em concentrados com teores de 26 a 32% P205, para testes "rougher" e de 34 a 38% P205, para testes "cleaner". De uma maneira geral, os resultados foram bastante promissores.



FIGURA 7.1. - A CÉLULA SERRANA DE FLOTACÃO PNEUMÁTICA -
UNIDADE PILOTO



FIGURA 7.2. - CÉLULA PILOTO, EM OPERAÇÃO

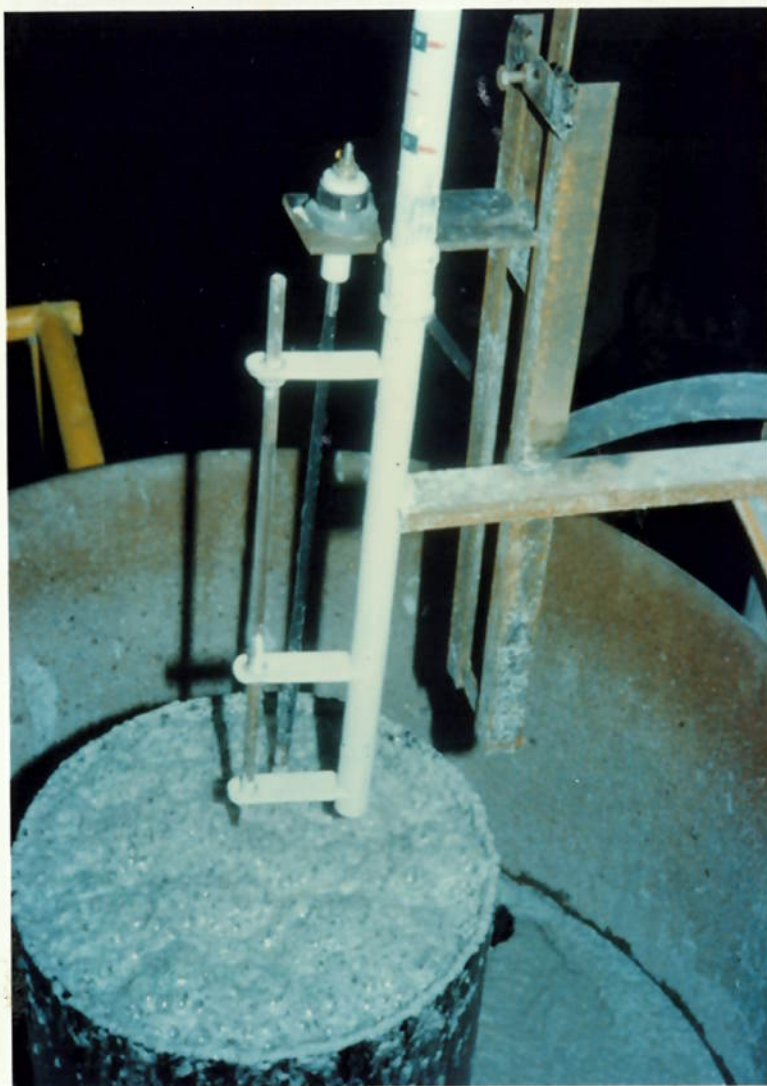


FIGURA 7.3. - DETALHE DA ESPUMA DO CONCENTRADO "ROUGHÉR" E DA INSTRUMENTAÇÃO DA UNIDADE PILOTO (DIÂMETRO DA CÉLULA = 0,30m)

As melhores condições estabelecidas foram:

A. Célula "rougher"

- I. Relação $Q_{ar}:Q_{pp}$, 1,3:1 a 1,5:1.
- II. Altura da camada de espuma, 20cm.
- III. Concentração de sólidos na alimentação, 30% em peso.
- IV. Tempo de flotação, 1,5 a 2,0min.

B. Célula "cleaner"

- I. Relação $Q_{ar}:Q_{pp}$, 1,5:1 a 2,5:1.
- II. Altura da camada de espuma, 40 a 60cm.
- III. Concentração de sólidos na alimentação, 25 a 40% em peso.
- IV. Tempo de flotação, 1,5 a 2,5min.

TABELA 7.1. - ENSAIOS DE FLOTAÇÃO "ROUGHER" EM ESCALA PILOTO COM ALIMENTAÇÃO DA FLOTAÇÃO

	NÚMERO DE ENSAIOS FAVORÁVEIS	NÚMERO DE ENSAIOS DESFAVORÁVEIS	MOTIVOS DOS ENSAIOS DESFAVORÁVEIS (1)			
			FALTA DE AR	TEMPO DE RESIDÊNCIA BAIXO	CONC.SOL. BAIXA	CONC.SOL. ALTA
: I - RELAÇÃO Qar:Qpp						
: 0,7:1	: 15	: 12	: 12	: 4	: 1	: -
: 1:1	: 15	: 15	: -	: 13	: -	: 1
: 1,3:1	: 6	: 1	: -	: 1	: -	: -
: 1,5:1	: 13	: 1	: -	: 1	: -	: -
: no.total de ensaios	: 48	: 29	:	:	:	:
: II - ALTURA DA CAMADA DE ESPUMA						
: 60cm	: 10	: 6	: 2	: 3	: -	: -
: 40cm	: 36	: 23	: 9	: 15	: 1	: 1
: 20cm	: 2	: -	: -	: -	: -	: -
: no.total de ensaios	: 48	: 29	:	:	:	:
: III-CONC.DE SÓLIDOS NA ALIMENTAÇÃO (% PESO)						
: 20	: -	: 1	: 1	: -	: 1	: -
: 25	: 2	: 2	: 1	: 1	: -	: -
: 30	: 20	: 8	: 2	: 6	: -	: -
: 35	: 21	: 15	: 7	: 10	: -	: -
: 40	: 3	: 3	: 1	: 2	: -	: 1
: no.total de ensaios	: 46	: 29	:	:	:	:
: IV-TEMPO DE FLOTAÇÃO S/CONSIDERAR V.ESPUMA						
: 2,0min.	: 3	: -	: -	: -	: -	: -
: 1,5min.	: 33	: 9	: 7	: -	: 1	: 1
: 1,2min.	: 7	: 4	: 1	: 3	: -	: -
: 1,0min.	: 5	: 16	: 3	: 16	: -	: -
: no.total de ensaios	: 48	: 29	:	:	:	:
: V - AERADOR						
: 11/20 (No. 4)	: 38	: 24	: 8	: 17	: -	: -
: 16/26 (No. 5)	: 10	: 5	: 5	: -	: 1	: 1
: no.total de ensaios	: 48	: 29	:	:	:	:

(1) alguns ensaios tem dois "motivos" pelo mau resultados.

TABELA 7.2. - ENSAIOS DE LAVAGEM EM ESCALA PILOTO
MATERIAL: CONCENTRADO "ROUGHER", USINA 320

	NÚMERO DE ENSAIOS FAVORÁVEIS	NÚMERO DE ENSAIOS DESFAVORÁVEIS	MOTIVOS DOS ENSAIOS DESFAVORÁVEIS (1):	
			FALTA DE AR	CONC.SÓLIDOS BAIXA
I - RELAÇÃO Qar:Qpp				
0,7:1	5	3	3	2
1:1	17	5	-	1
1,3:1	2	1	-	1
1,5:1	7	-	-	-
2,0:1	4	-	-	-
2,5:1	6	1	-	-
no.total de ensaios	41	10		
II - ALTURA DA CAMADA DE ESPUMA				
60cm	17	2	-	-
40cm	16	5	3	2
20cm	8	3	-	2
no.total de ensaios	41	10		
III-CONC.DE SÓLIDOS NA ALIMENTAÇÃO (% PESO)				
15	-	1	-	1
20	1	3	2	3
25	7	1	1	-
30	17	2	-	-
35	6	1	-	-
40	10	2	-	-
no.total de ensaios	41	10		
IV-TEMPO DE FLOTAÇÃO S/CONSIDERAR V.ESPUMA				
5,0min.	-	2	-	-
2,5min.	16	3	-	2
2,0min.	26	5	3	2
no.total de ensaios	41	10		

(1) alguns ensaios tem dois "motivos" pelos maus resultados.

8. ENSAIOS SEMI-INDUSTRIAIS COM CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA

8.1. Critérios de "scale-up"

Após aproximadamente quatro meses de testes com a célula piloto de 0,1m³, usando os parâmetros estabelecidos, projetou-se um circuito composto de duas células, uma de 6m³ de volume para operação como "rougher" e outra de 0,8m³ para operação como "cleaner", conjunto este que foi instalado na linha de produção da fábrica principal de Jacupiranga. Substituiu-se um banco de células mecânicas da Usina 320 (ver anexo A), por este Circuito Semi-Industrial de Células Serrana.

Tinha-se:

alim./Usina	=	440 t/h
Rm da Desmagnetização	=	92,0%
Rm da Deslamagem	=	80,0%
alim./flotação	=	440 . 0,92 . 0,80 = 324 t/h
		324
alim.nova/banco	=	----- = 32 t/h
		10

O banco "rougher" também recebia dois produtos de recirculação: co/"scavenger" + rj/"cleaner", que representavam em média cerca de 20% da alimentação nova.

Assim,

alim.total/banco	=	1,20 . 32 t/h = 38,4 ou,
alim.total/banco	≈	40 t/h, que era a alimentação do Circuito Semi-Industrial.

Os detalhes de dimensionamento são apresentados nos anexos D e E.

Um balanço de águas, de massas e metalúrgico (P205) estimado é apresentado na figura 8.1.

Este circuito era instrumentado e tinha como meta o desenvolvimento final do sistema para obtenção dos parâmetros técnicos e econômicos necessários para avaliação de uma implantação industrial.

8.2. Ensaios semi-industriais

Operou-se o conjunto mencionado no item anterior por cerca de oito meses, possibilitando uma avaliação realista de suas vantagens e desvantagens, quando comparado com as células mecânicas.

As figuras 8.3 a 8.9 mostram o Circuito Semi-Industrial, que foi ensaiado no período de set'83 a mai'84, conforme as configurações detalhadas na figura 8.2.

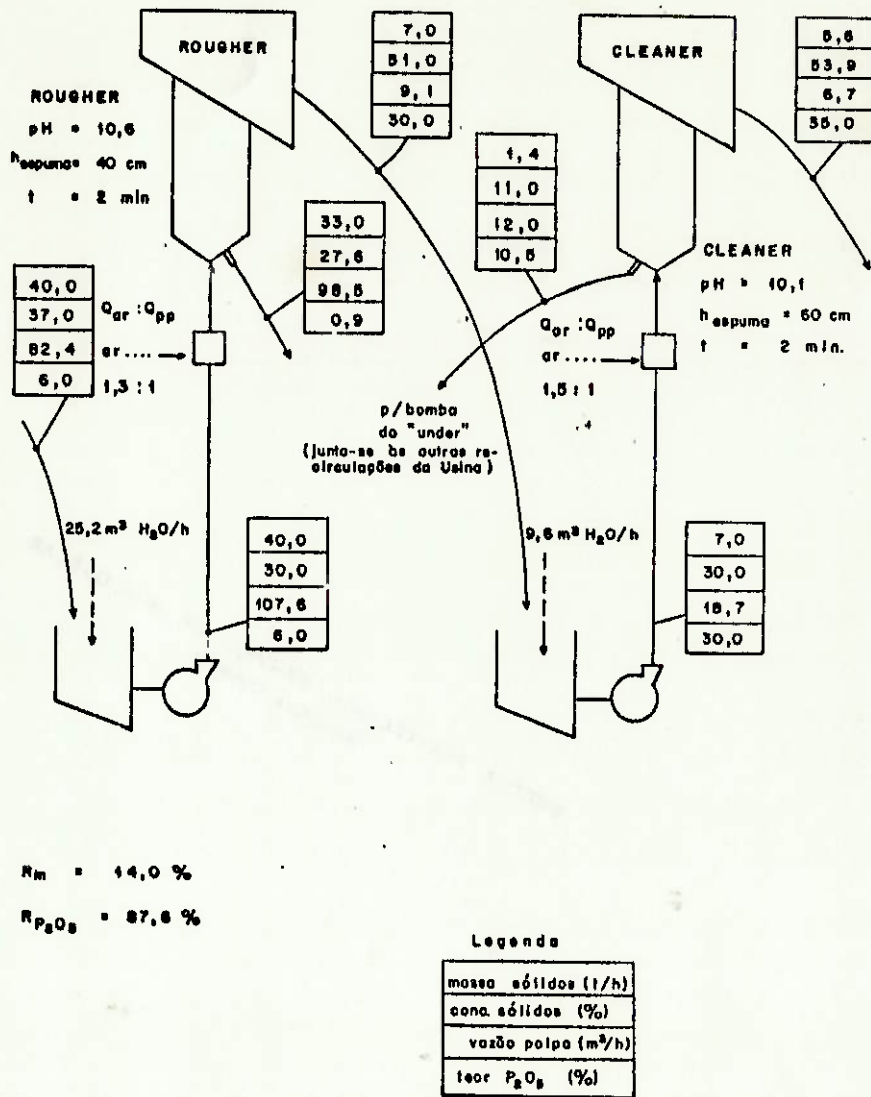


FIGURA 8.1. - BALANÇO DE MASSAS, DE ÁGUAS E METALÚRGICO PREVISTO PARA O CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL DE CÉLULAS PNEUMÁTICAS, 1983

Circuito	Configuração
A	"rougher" : célula pneumática de diâmetro de 1,7m "cleaner" : célula pneumática de diâmetro de 0,8m
B	"rougher" : célula pneumática de diâmetro de 1,7m "cleaner" : células mecânicas Wemco, de V = 1,7m ³
C	"rougher"/"cleaner" : célula pneumática de diâmetro de 1,7m "scavenger" : células mecânicas Wemco, de V = 1,7m ³
D	"rougher" : células mecânicas Wemco, de V = 1,7m ³ "cleaner" : células mecânicas Wemco, de V = 1,7m ³ "scavenger" : célula pneumática de diâmetro de 1,7m

FIGURA 8.2. - TIPOS DE CIRCUITOS TESTADOS CONTINUAMENTE COM CÉLULAS SEMI-INDUSTRIAIS



FIGURA 8.3. - CONJUNTO SEMI-INDUSTRIAL DE CÉLULAS "ROUGHER"/
"CLEANER", ESQUERDA/DIREITA, RESPECTIVAMENTE.
NOTAM-SE OS ANÉIS QUE PERMITEM ALTURAS VARIÁVEIS
DE OPERAÇÃO

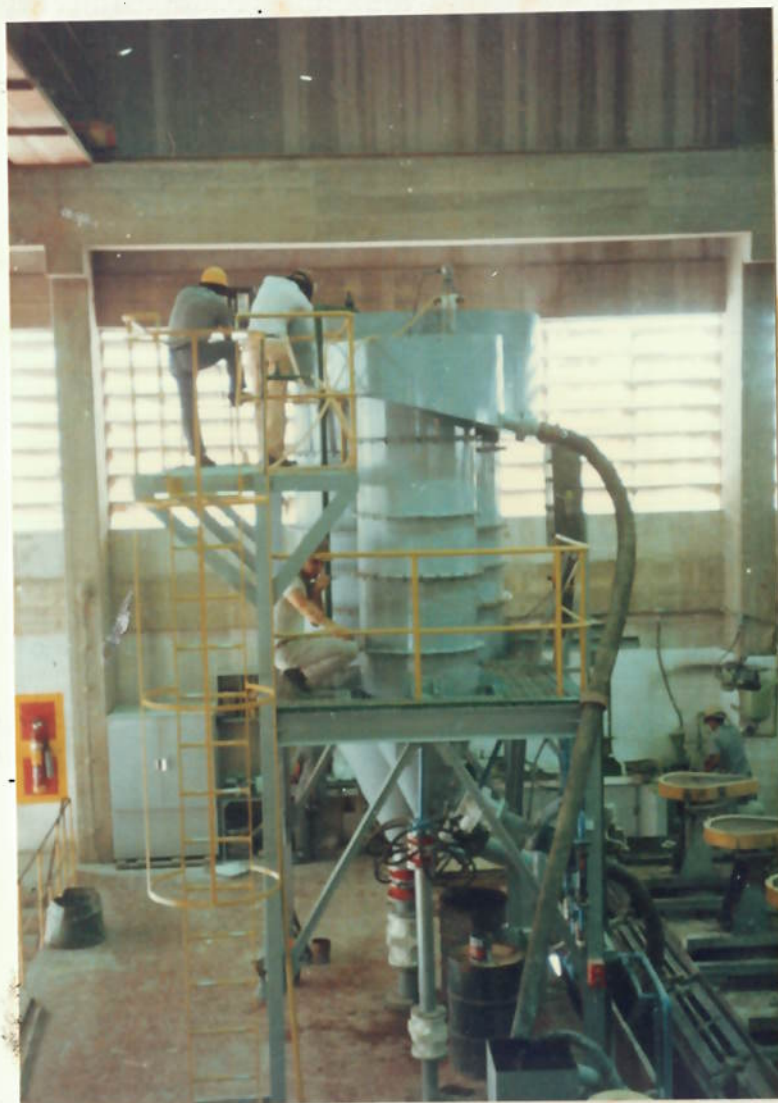


FIGURA 8.4. - CONJUNTO SEMI-INDUSTRIAL, VISTO DE OUTRO ÂNGULO.
AO LADO DIREITO, BANCO No. 1 DE CÉLULAS MECÂNICAS
"ROUGHER"/"SCAVENGER", CÉLULAS COM VOLUMES UNITÁRIOS
DE 1,7m³



FIGURA 8.5. - DETALHE DO AERADOR DA CÉLULA "ROUGHER", COM ENTRADAS PERPENDICULARES DE AR (MANGUEIRAS NEGRAS)

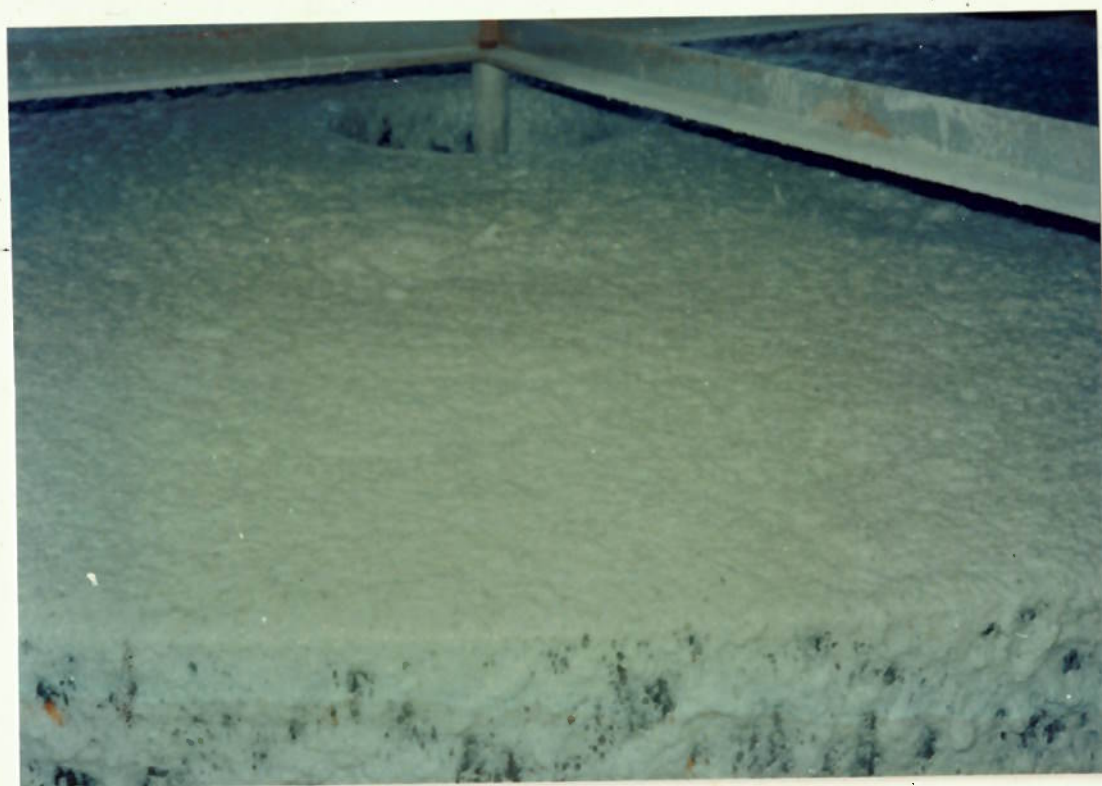


FIGURA 8.6. - DETALHE DA CÉLULA "ROUGHER", COM A DESCARGA DE MATERIAL FLOTADO. NOTA-SE A SAÍDA CENTRAL DE ESPUMA, DIMINUINDO A DISTÂNCIA MÉDIA DAS PARTÍCULAS À CALHA DE CONCENTRADO



FIGURA 8.7. - OUTRA VISTA DO CONCENTRADO "ROUGHER", NOTANDO-SE
A SUPERFÍCIE BASTANTE TRANQUILA DA ZONA DE ESPUMA

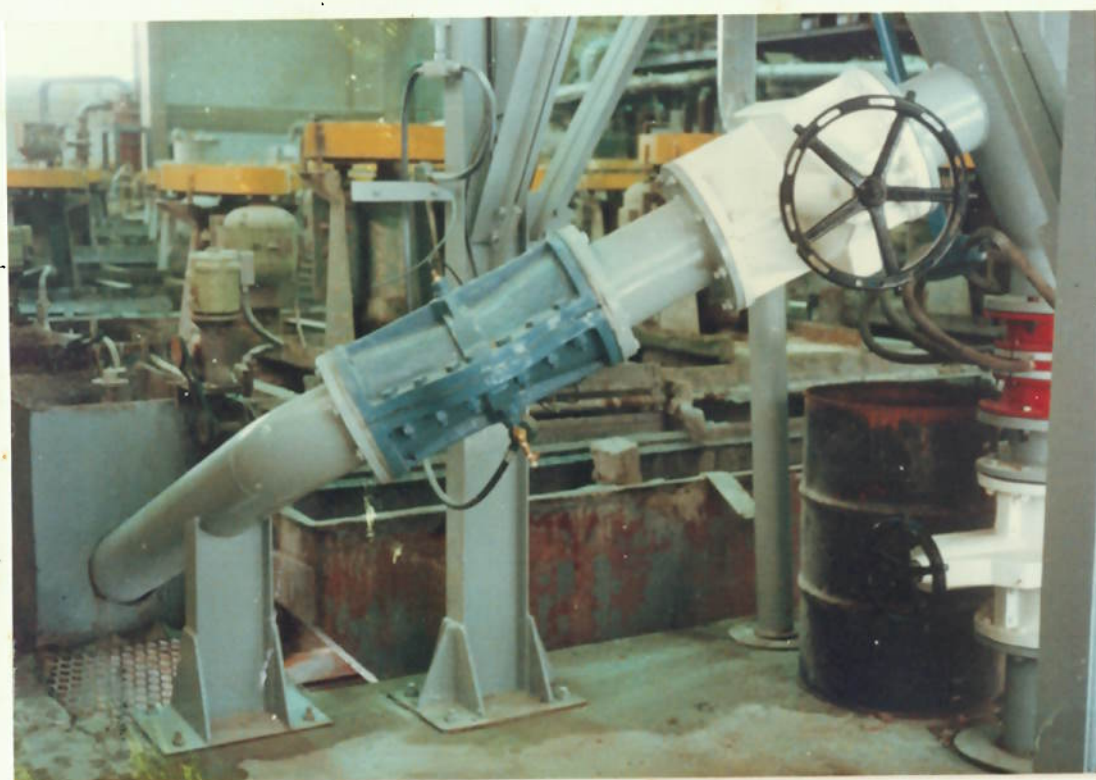


FIGURA 8.8. - VÁLVULA AUTOMÁTICA DE REJEITO: O CONTROLE DA INTERFACE ESPUMA/POLPA É FEITO PELA ABERTURA/FECHAMENTO DA VÁLVULA DE MANGOTE BI-PARTIDO, ALIVIANDO OU INJETANDO AR NA CÂMARA INTERNA, DA VÁLVULA

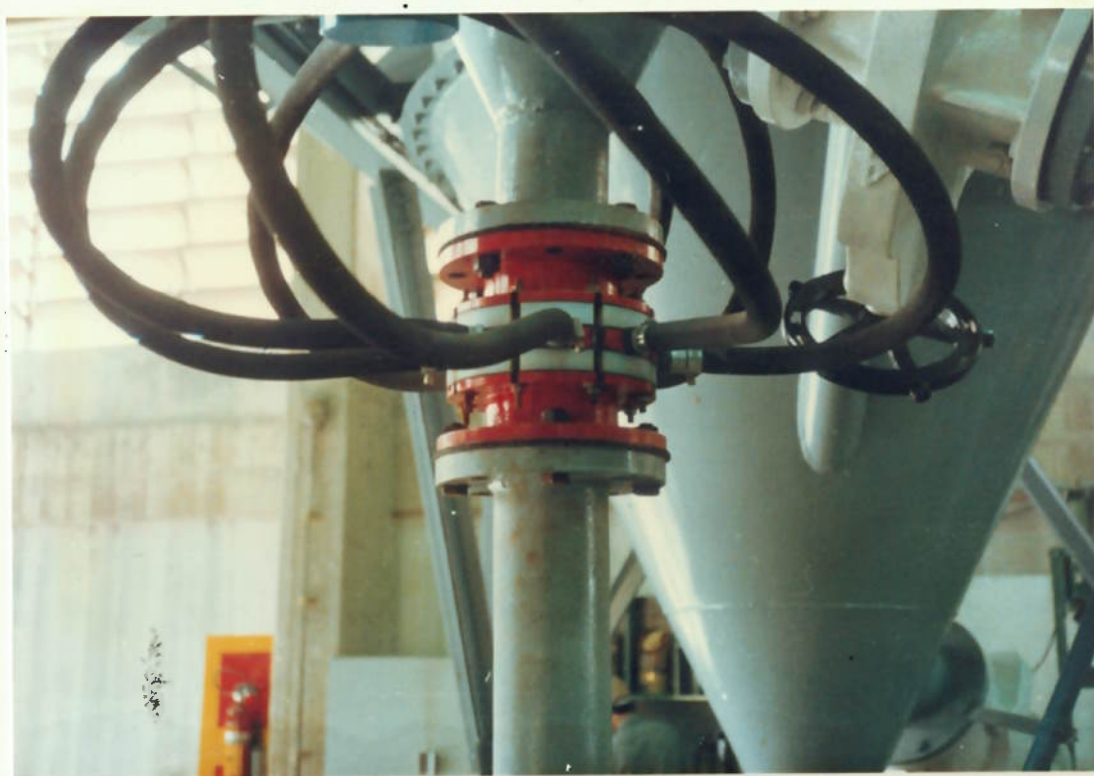


FIGURA 8.9. - DETALHE DO AERADOR DA CÉLULA "CLEANER"

O circuito A, inicialmente projetado, era o mais conveniente, pelos bons resultados obtidos em escala-piloto e pelas menores vazões envolvidas na etapa da limpeza, o que o simplificava. Entretanto, os maus resultados desta etapa, não resolvidos, impeliram a que se testassem outras alternativas.

Destes estudos complementares, concluiu-se pela ótima performance da célula pneumática num circuito alternativo "rougher"/"scavenger", que embora mais oneroso, pelas vazões envolvidas, se mostrou efetivo.

8.3. Avaliação dos ensaios

Verificou-se que:

- a) Com dois estágios de flotação em células pneumáticas, obtinham-se resultados superiores aos realizados no circuito completo da fábrica, composto de quatro estágios ("rougher", "scavenger", "cleaner" e "re-cleaner"). Os ganhos se situaram em 3% a mais de recuperação em P205, com maior eficiência nas frações grossas. Estes resultados que perduraram por longo período de testes, vieram confirmar o alto potencial do equipamento;
- b) Para o dimensionamento do tanque de flotação da célula pneumática, não era possível utilizar-se dos dados gerados em células mecânicas, pois as variáveis, tempo de flotação e área de zona de espuma e descarga de concentrado, são dependentes de características próprias do desenho do equipamento;
- c) Era necessário um sistema automático específico, para controle do nível da espuma, o que foi conseguido através da cooperação dos fabricantes de instrumentos. A figura 8.10 esquematiza o

sistema de controle automático escolhido para o circuito, utilizando-se dois sensores de proximidade capacitivos para níveis alto e baixo, com funcionamento "on-off";

- d) O fator de enriquecimento possível (teor do concentrado em relação ao teor da alimentação) era maior na Célula Pneumática Serrana do que na mecânica; e,
- e) O dimensionamento do aerador de bolhas (reator) era bastante trabalhoso, pois tinha-se que encontrar o equilíbrio entre velocidade de polpa, tamanho de bolha, pressão de ar e desgaste do sistema.

8.4. Proposição de continuidade

Após a operação por oito meses do Circuito Semi-Industrial, eram patentes os bons resultados, principalmente nas frações grossas, dando um aumento global de recuperação de cerca de 3% (89% contra 86%) em termos de P205, para um circuito "rougher"/"scavenger". Sabia-se, entretanto, que a sua consolidação somente seria atingida com equipamentos de maior porte, o que foi possível com o projeto de ampliação da produção de apatita da Serrana, prevista para o início de 1985; aumentar-se-ia em 25% a capacidade de produção da Usina 320, passando-se de quatro para cinco linhas de moagem/desmagnetização.

Para esta nova etapa, desenhou-se um conjunto de dois tanques, para operar como "rougher" e "scavenger", ambos com $V = 37m^3$ (1300 pés³) cada, capazes de processar em torno de 140 t/h de alimentação nova, afóra a recirculação do circuito. São células de grande capacidade, na época (1984) equivalentes às maiores células mecânicas disponíveis para comercialização, e hoje, os equipamentos de maior porte em operação no Brasil.

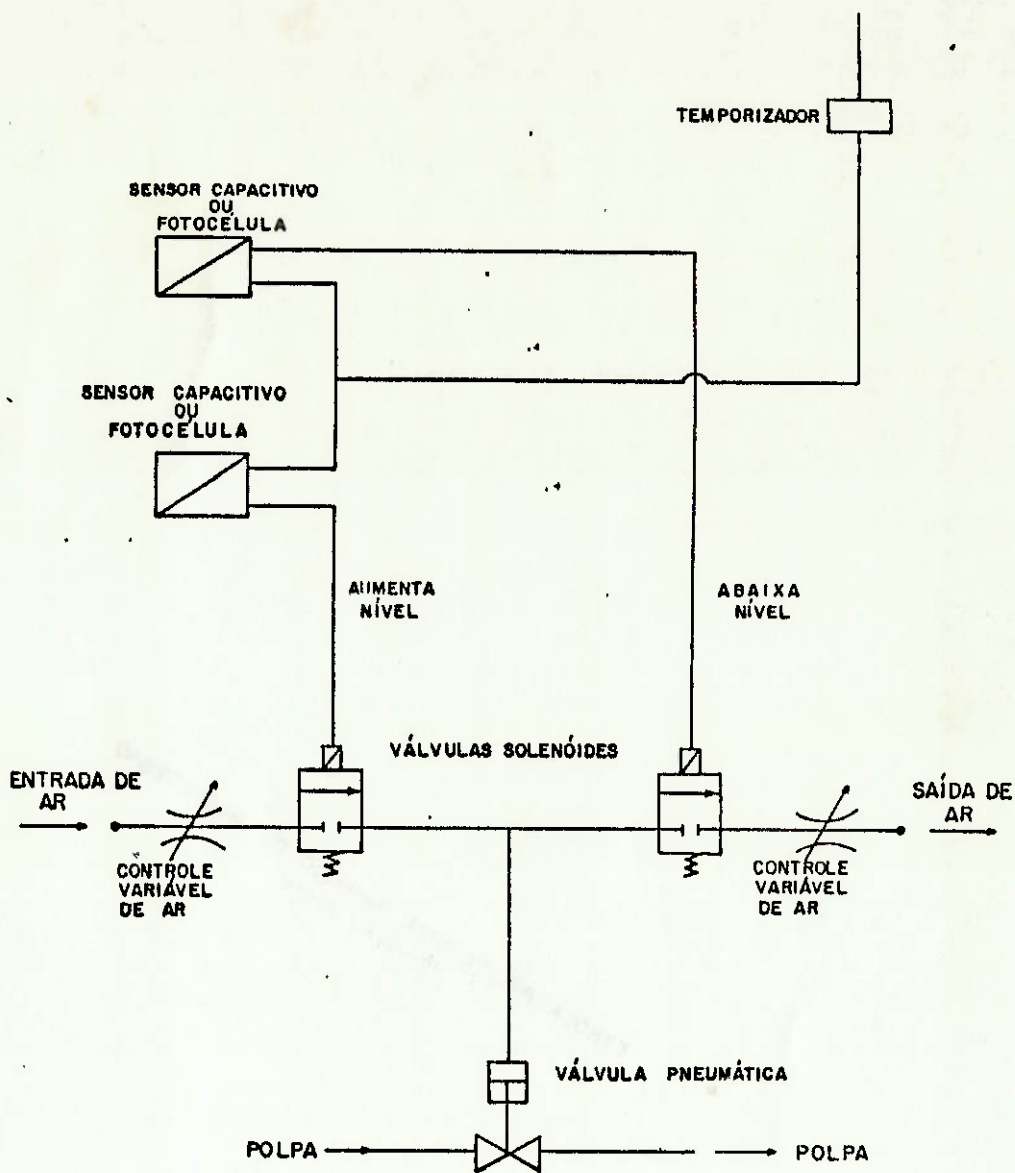


FIGURA 8.10. - SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE CADA UMA DAS CÉLULAS PNEUMÁTICAS DO CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL

Os planos de ampliação previstos para a Usina 320 nos períodos subsequentes foram considerados, estimando-se que chegar-se-á a uma alimentação nova total na flotação da Usina 320 de cerca de 700t/h de minério (hoje, esta alimentação é de 420 a 460t/h), levando-se em conta a alimentação com minério britado a 1/2" (12mm) e sem deslamagem, com sistema alternativo de reagentes.

Assim, a construção das duas células casa-se com o projeto futuro, que é um circuito composto de:

- a) "rougher" - cinco células pneumáticas Serrana, com diâmetros de 3,7m, e 140t/h ($700 : 5$) de alimentação nova para cada célula.
- b) "scavenger" - cinco células pneumáticas Serrana, também de diâmetros de 3,7m.
- c) módulos - como ter-se-iam cinco linhas de moagem, o circuito ficaria modulado, com uma linha de células para cada moinho, apesar de que os bombeamentos de polpa de alimentação de ambos os bancos seriam únicos.

Este circuito ainda não foi instalado, prevendo-se a operação inicial de uma das linhas de moagem (linha número 5) com produto não deslamado para final de 1989.

9. CÉLULAS SERRANA DE GRANDE CAPACIDADE

A figura 9.1 retrata o balanço de massas, de produtos, de águas e metalúrgico do Circuito Industrial, com duas células de diâmetro de 3,7m e volume de 37m³/cada, numa configuração "rougher"/"scavenger". O dimensionamento do circuito baseou-se nos mesmos parâmetros discutidos no item 8.1 e anexos D e E. A única consideração complementar foi relativa ao perímetro de descarga de concentrado, que se mostrou variável importante a ser considerada.

A altura da célula não se mostrou variável importante, sendo praticamente a mesma definida na unidade "rougher" do circuito semi-industrial. O "tempo de flotação", dado pela relação entre o volume de célula e a vazão de polpa, é parâmetro desconsiderado, não tendo significado neste tipo de equipamento; é consequência do dimensionamento de outros parâmetros.

Iniciou-se a operação industrial em fevereiro de 1985, desviando-se um terço da carga da flotação para o circuito, àquela altura totalmente integrado ao Processo. (18).

As principais características das duas células, idênticas, são mostradas na tabela 9.1.

As figuras 9.2 a 9.15 ilustram o Circuito Industrial.

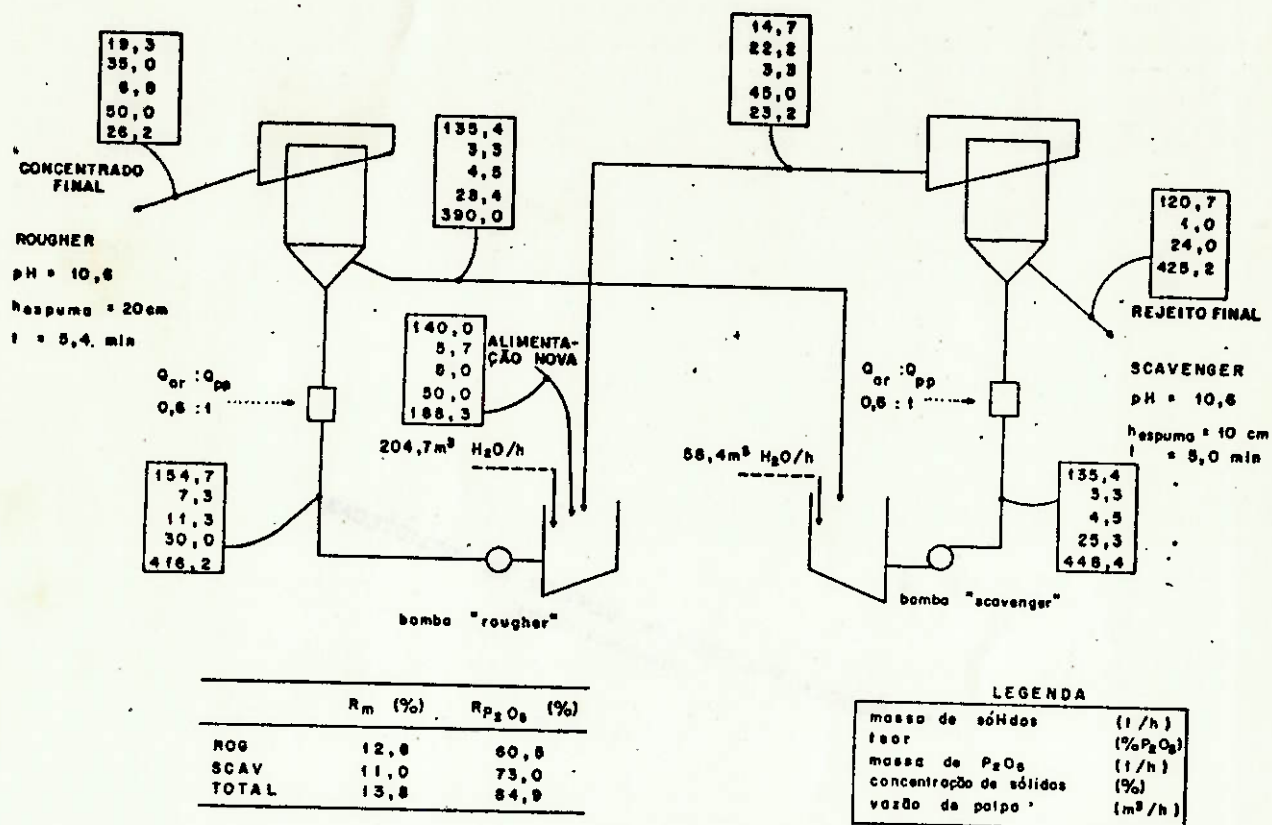


FIGURA 9.1. - CÍRCULO INDUSTRIAL DE CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA, USINA 320 - SERRANA, JANEIRO DE 1985

TABELA 9.1. - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS PNEUMÁTICAS INDUSTRIAIS

: Altura	5,2m (distribuidor de	:
:	polpa + tanque)	:
: Diâmetro	3,7m	:
: Volume útil	37 m ³	:
: No.de aeradores (reatores)	8	:
: Relação Q _{ar} :Q _{pp}	0,5 : 1	:
: Consumo de energia total	0,2 kWh/t	:
: Instrumentação	controlador de nível (torque	:
:	eletrônico) da interface da	:
:	espuma com a polpa, comandando	:
:	a válvula pneumática de	:
:	descarga do rejeito.	:
: Massa nova de sólidos	140 t/h	:
: ("rougher")		:
: Vazão de polpa	420 a 450 m ³ /h	:
: Tempo de flotação	s/significado (ver texto)	:
: Concentração de sólidos de	25 a 30%	:
: alimentação		:
: pH	10,3 a 10,7	:
: Área ocupada pelo conjunto	30m ²	:
: (projeção)		:



FIGURA 9.2. - CIRCUITO INDUSTRIAL, COM DUAS CÉLULAS SERRANA.
EM PRIMEIRO PLANO, CÉLULA "SCAVENGER"; EM SEGUNDO,
CÉLULA "ROUGHER"



FIGURA 9.3. - VISTA DE FRENTE DO CIRCUITO, COM AS DUAS CÉLULAS DE ALTURA TOTAL (TANQUE + DISTRIBUIDOR DE POLPA) DE 5,2m E DIÂMETRO DE 3,7m, VOLUME ÚTIL DE 37m³/CADA. ABAIXO, VÊEM-SE OS CONJUNTOS DE AERAÇÃO (AERADORES), CADA CÉLULA COM OITO UNIDADES (EM VERMELHO)



FIGURA 9.4. - VISTA DA PARTE SUPERIOR; EM PRIMEIRO PLANO, A CÉLULA
"SCAVENGER"



FIGURA 9.5. - DETALHE DA ZONA DE ESPUMA DA CÉLULA "ROUGHER"; A DESCARGA CENTRAL DE CONCENTRADO MINIMIZA O TEMPO DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS COLETADAS, IMPORTANTE CARACTERÍSTICA PARA ESTA OPERAÇÃO, COM ESPUMA DE ALTA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E ALTA VISCOSIDADE



FIGURA 9.6. - CONJUNTOS DE AERAÇÃO DAS DUAS CÉLULAS



FIGURA 9.7. - DETALHE DOS AERADORES, NOTANDO-SE A DISTRIBUIÇÃO DO AR PARA CADA UMA DAS OITO UNIDADES DE CADA CÉLULA. A POLPA ESTÁ FLUINDO PERPENDICULARMENTE À INJEÇÃO DE AR, DE BAIXO PARA CIMA

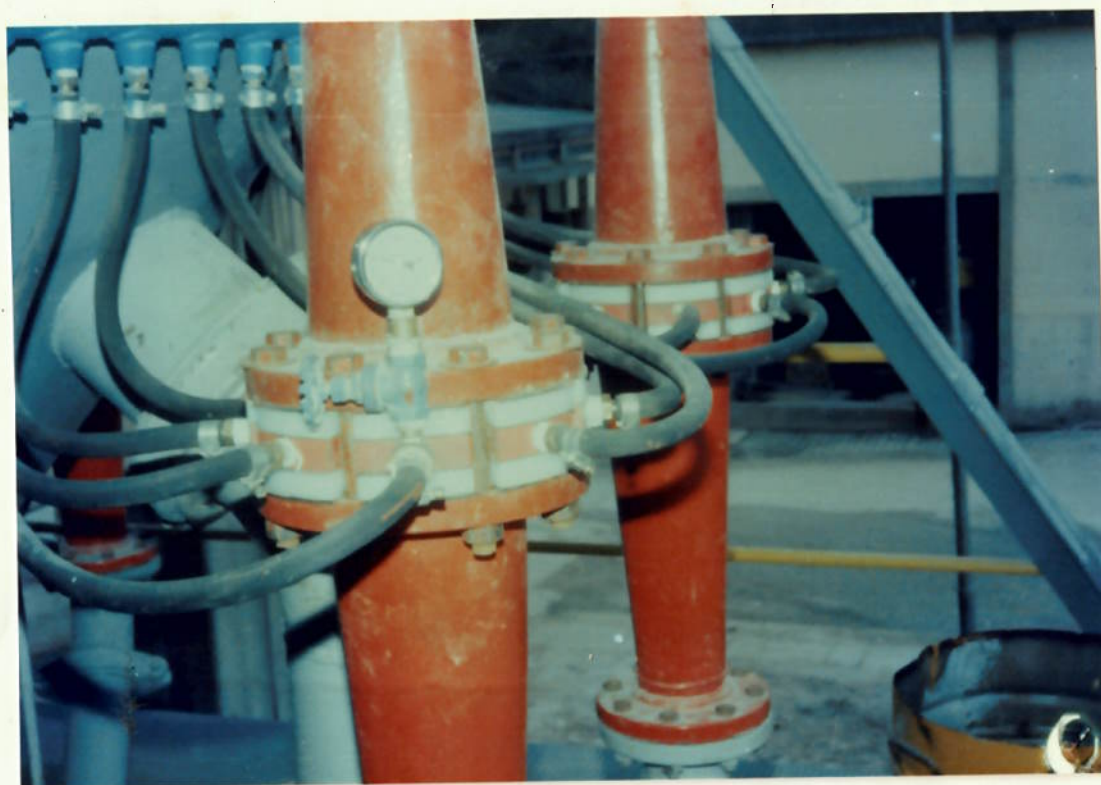


FIGURA 9.8. - OUTRO DETALHE DOS AERADORES DAS CÉLULAS PNEUMÁTICAS

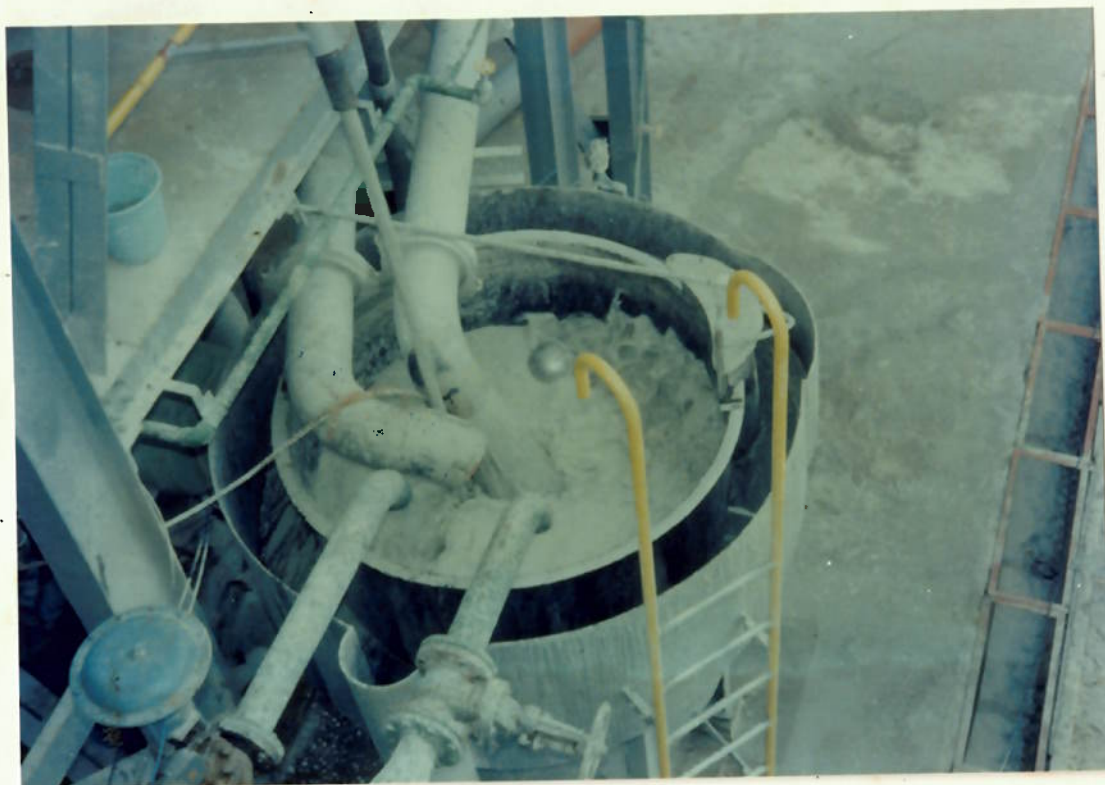


FIGURA 9.9. - AMBAS AS CÉLULAS SÃO ALIMENTADAS POR BOMBAS DE POLPA CENTRÍFUGAS DE $0,25\text{m} \times 0,20\text{m}$ ($10'' \times 8''$), REVESTIDAS DE BORRACHA. VÊ-SE A CAIXA DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DO "SCAVENGER", COM O DETALHE DO SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DA CAIXA: BÓIA + VÁLVULA DE CONTROLE DE ÁGUA (AZUL)



FIGURA 9.12. - SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DA CÉLULA PNEUMÁTICA:
TUBO DE TORQUE, COM BÓIA LONGA E SAÍDA DE SINAL DE
4 A 20mA, CONFORME POSIÇÃO DA INTERFACE
ESPUMA/POLPA

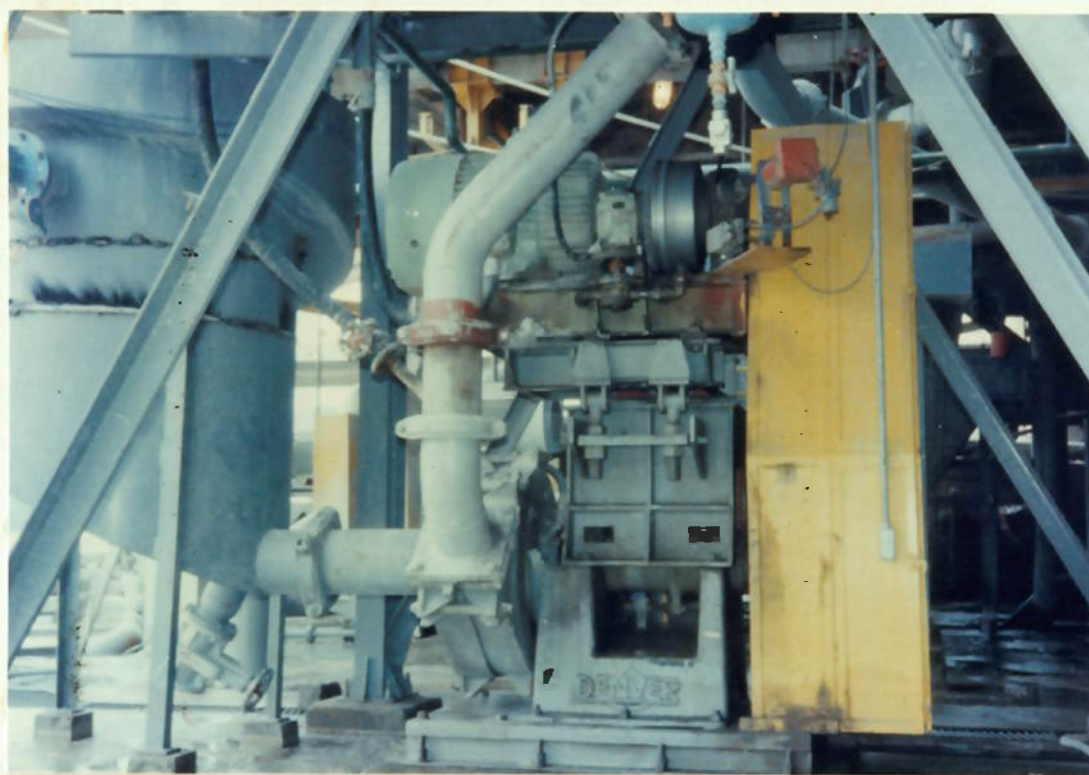


FIGURA 9.10. - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CÉLULA "SCAVENGER",
ACIONADA POR VARIADOR HIDRÁULICO DE VELOCIDADE DE
75kW (100 HP) DE POTÊNCIA. A ROTAÇÃO DA BOMBA É
AJUSTADA POR CONTROLE REMOTO, NA SALA DE CONTROLE
DA FLOTAÇÃO DA USINA DE CONCENTRAÇÃO



FIGURA 9.11. - TUBULAÇÃO DE DESCARGA DO REJEITO. DETALHE DA VÁLVULA DE CONTROLE DE VAZÃO, QUE É PNEUMÁTICA, DE MANGOTE: FUNCIONA PELO ESVAZIAMENTO OU ENCHIMENTO DA CÂMARA INTERNA DE AR



FIGURA 9.13.- DETALHE DOS DOIS CONTROLADORES DE NÍVEL, P + I + D,
PARA CADA UMA DAS CÉLULAS



FIGURA 9.14. - CONTROLE MANUAL DA VAZÃO DE AR DE CADA UM DOS DOIS CONJUNTOS DE OITO AERADORES



FIGURA 9.15. - SISTEMA DE AR-COMPRESSADO: UM COMPRESSOR DE PARAFUSOS (AO FUNDO), COM SISTEMA RESERVA DE COMPRESSORES DE PISTÃO (EM PRIMEIRO PLANO). A PRESSÃO NECESSÁRIA NÃO PASSA DE 0,1 MPa (1kgf/cm²), CONSIDERANDO ATÉ OS AERADORES, QUE TRABALHAM COM 0,07 A 0,1 MPa (0,7 a 1,0 kgf/cm²)

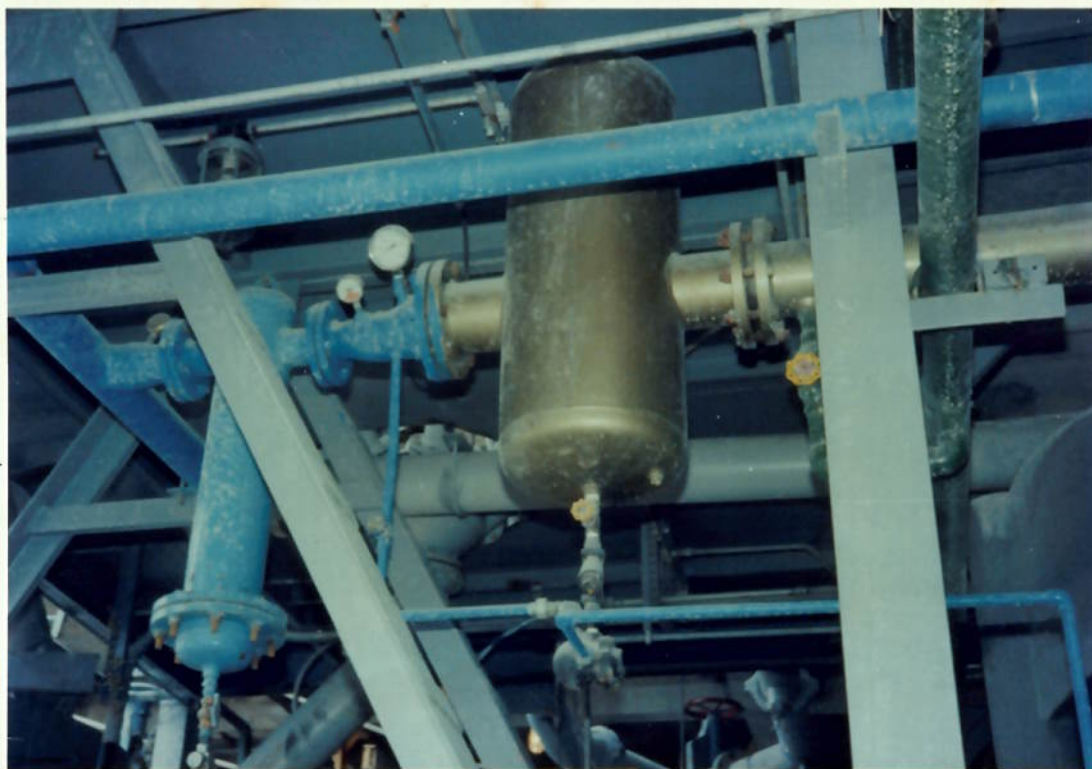


FIGURA 9.16. - LINHA DE AR PARA ALIMENTAÇÃO DOS AERADORES. EM DETALHE, O FILTRO DE LINHA (AZUL), GARANTINDO RETENÇÃO DE PARTÍCULAS DE ATÉ 1 MICROMETRO E RESFRIADOR DE AR (EM VERDE) PARA QUE A TEMPERATURA DO AR NÃO PASSE DE 50 GRAUS CELSIUS

10. COMPARAÇÃO DA CÉLULA SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA COM A FLOTAÇÃO CONVENCIONAL EM CÉLULA MECÂNICA

Desde a consolidação da operação, o que ocorreu após três meses do "start up", confirmaram-se, para qualidade semelhante de concentrados apatíticos, recuperações globais de cerca de 2 a 4% superiores.

A tabela 10.1 apresenta os resultados médios no período outubro de 1987 a junho de 1988.

As seguintes conclusões/observações são relevantes:

- a) As recuperações metalúrgicas são quase sempre maiores, com valores de até 5% superiores (3% em média), dependendo do tipo de minério e para produtos finais de 34 a 36% P205, em função da estratégia de operação/homogeneização posterior de concentrados, definidas pelas necessidades de produção;
- b) Estes melhores resultados são crescentes para frações granulométricas mais grosseiras, conforme pode ser visto na figura 10.1 e tabela 10.1;
- c) Houve uma grande simplificação de circuito, passando de um sistema "rougher"/"scavenger"/"cleaner"/"recleaner", nas mecânicas, para "rougher"/"scavenger" nas pneumáticas;
- d) Os enriquecimentos em teores de P205 nas células pneumáticas são superiores, não havendo dificuldades em se obter concentrados de 35% P205; considerando-se que a alimentação nova (minério fresco, sem a massa de recirculação) da flotação tem cerca de 6% P205, as relações de enriquecimento chegam, assim, à cerca de seis vezes. As dificuldades só aparecem quando se almejam teores superiores a 36%, numa única etapa. Existem estudos, ainda não conclusivos, de lavagem da espuma da

célula "rougher", por água em contra-fluxo, que indicam melhorias nos resultados para concentrados acima de 37% P205 (quase 90% de mineral apatita) que é uma necessidade mais recente daquela Usina;

- e) Reduziu-se o consumo energético para menos de 1/4 do gasto anterior, ressaltando-se que esta comparação não é justa, pelas diferenças de escala: pneumáticas, de 37m³ de volume/cada contra mecânicas, de 1,7m³ de volume/cada;
- f) Em termos de sistema de reagentes não houve mudanças das condições ótimas de depressor e pH. O consumo do coletor, entretanto, atingiu valores muito mais altos que no circuito mecânico, de 40 a 50% superiores. Apesar dos baixos consumos de coletor (20 a 30 g/t) no sistema mecânico tradicional, o fato é preocupante, facilmente explicado pela oportunidade quase única de coleta (no aerador). No caso de Jacupiranga, o problema é de difícil equacionamento, pois não se pode aumentar o tempo de condicionamento com ácidos graxos, por perda de seletividade do processo, o que impede a solução pela via mais óbvia;
- g) Houve uma redução sensível na área de fábrica ocupada, mesmo quando se compara com células mecânicas de mesmo porte; para células de mesma capacidade, a área ocupada pelas pneumáticas equivale a 80% da área ocupada pelas mecânicas;
- h) As células pneumáticas, sem partes móveis e sem áreas de desgaste, apresentam custos de manutenção sensivelmente menores. Quando comparadas com o circuito de células mecânicas, há uma diferença média de 20% nos custos de manutenção dos circuitos;
- i) As vazões de ar necessárias são baixas, tendo-se otimizado o circuito com relações específicas de 0,4 a 0,6m³ de ar/m³ de

polpa de alimentação;

- J) O sistema de instrumentação funcionou muito bem, possibilitando um bom nível de automação do circuito; e,
- k) Pelos investimentos envolvidos e pelo aumento médio de produção alcançado, houve um retorno da inversão em menos de dois anos, considerando-se taxa interna de retorno de 15%.

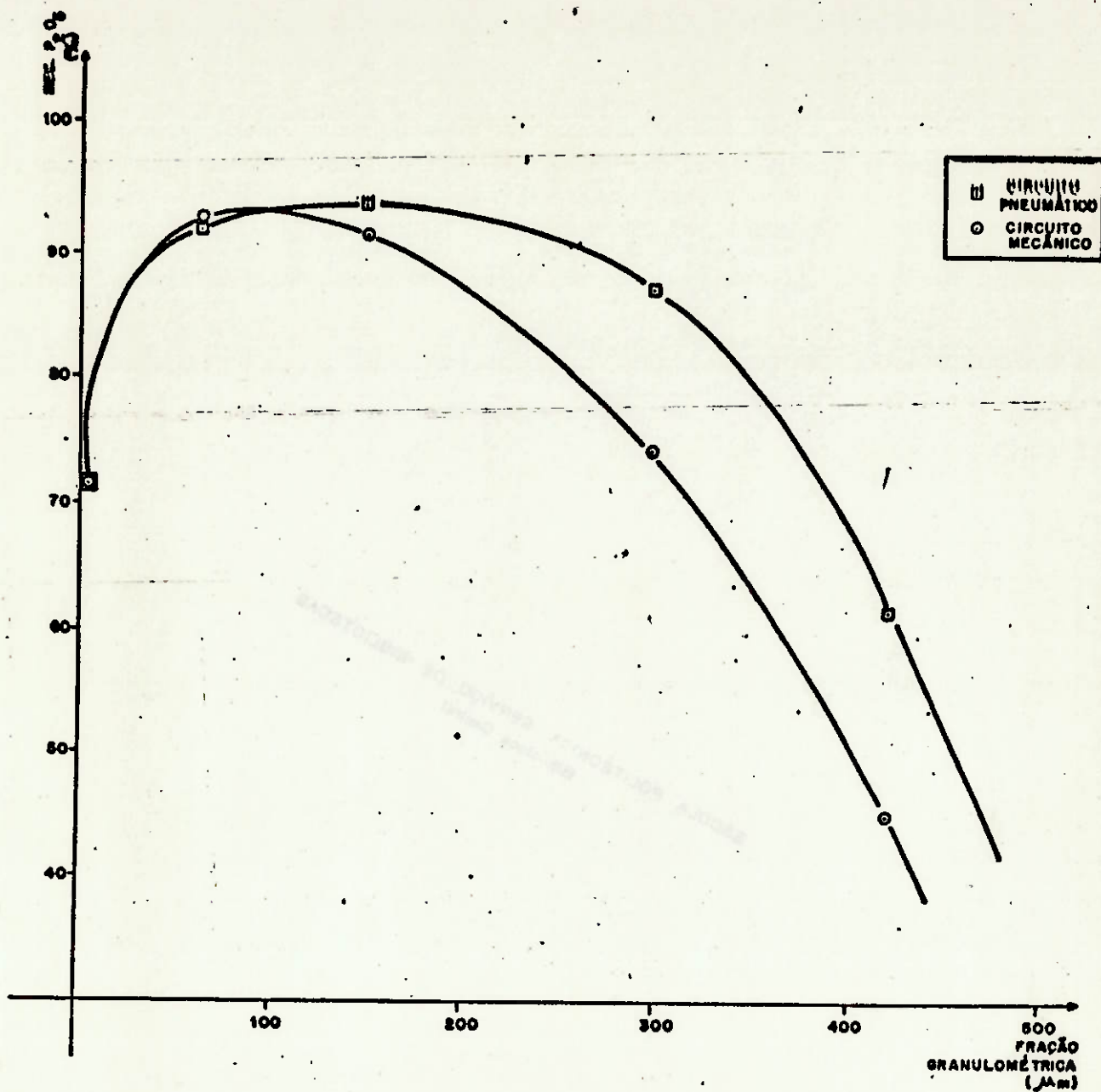


FIGURA 10.1 - COMPORTAMENTO MALHA A MALHA - CÉLULAS PNEUMÁTICAS
VERSUS CÉLULAS MECÂNICAS, MINÉRIO CALCÍTICO.
PERÍODO: OUTUBRO '87 A JUNHO '88

11. PERSPECTIVAS

O equipamento desenvolvido mostrou ser uma opção bastante atraente para a realização da flotação de minerais. As vantagens metalúrgicas, os custos operacionais e a versatilidade do equipamento, estão equacionados, após quatro anos de operação contínua das unidades industriais.

É evidente que existe um espaço para a aplicação deste tipo de célula de flotação no beneficiamento mineral. O fato básico de seu sucesso é a separação das duas etapas presentes no processo de flotação: a) a promoção do contato bolha/partícula e b) a separação das fases hidrofóbica e hidrofílica.

Abrem-se boas possibilidades de adaptação deste tipo de equipamento a outros materiais, por:

- a) possibilidades de operação em faixas amplas de concentração de sólidos de alimentação;
- b) idem, para relações de vazão de ar/vazão de polpa;
- c) adaptação das condições de aeração para cada situação;
- d) comportamento acurado da camada de espuma na sua função de drenagem e enriquecimento;
- e) ampla aceitação de frações granulométricas grosseiras;
- f) maior adequação a minérios friáveis e/ou residuais, pelas melhores condições de manuseio e possibilidade de menores "tempos de flotação";
- g) tendência a se obter fluxogramas mais simplificados;
- h) redução de consumo energético; e,
- i) redução de área necessária de fábrica.

O sistema desenvolvido foi objeto de pedido de privilégio (patente) pela Serrana S.A. de Mineração em 1982 (58), mas desde setembro de 1985 colocou-se o equipamento à disposição dos

interessados, para acordos de desenvolvimento de aplicação da Célula Serrana em outros processos, através de uma empresa de engenharia nacional, a Paulo Abib Engenharia S.A.

SECRETARIA DE GESTÃO ADMINISTRATIVA
BRASÍLIA - DISTRITO FEDERAL

12. ANEXOS

- A. Atividades de mineração da Serrana S.A. de Mineração, em Jacupiranga, SP (1988)
- B. Resultados dos ensaios-piloto "rougher"
- C. Resultados dos ensaios-piloto "cleaner"
- D. Dimensionamento da célula "rougher" do Circuito Semi-Industrial
- E. Dimensionamento da célula "cleaner" do Circuito Semi-Industrial

ANEXO A - ATIVIDADES DE MINERAÇÃO DA SERRANA S/A DE MINERAÇÃO, EM
JACUPIRANGA, SP (1988).

A lavra da mina é realizada a céu-aberto, em bancadas de 10m de altura. O teor médio do minério é de 5,4% de P2O5 e as reservas indicam cerca de 200 milhões de toneladas de minério aproveitável. A atual produção da mina é de 10,5 milhões de toneladas/ano de "run of mine", com relação estéril : minério de 0,75/1.

Como equipamentos principais da mina tem-se uma escavadeira elétrica Bucyrus-Erie de pequeno porte, duas pás-carregadeiras Caterpillar 988-B, quinze caminhões de 35t, uma escavadeira hidráulica Demag H71 de médio porte, um trator Caterpillar D8L, 2 tratores Caterpillar D8K, além de uma perfuratriz hidráulica e quatro pneumáticas.

A britagem do minério é realizada em dois estágios, a primária com britador giratório e a secundária com britadores cônicos, bitolando o material com "top-size" de 32mm (1 1/4").

O minério lavrado em Jacupiranga é beneficiado em duas usinas de concentração, a Usina 310 e a Usina 320.

A Usina 310, planta pioneira em Jacupiranga, e onde era beneficiado o minério intemperizado que originalmente recobria o Morro da Mina, sofreu diversas modificações e atualmente tem capacidade de moagem de 100 t/h. A usina beneficia carbonatito dolomítico (teor mais elevado de magnésio) e a capacidade instalada para concentrado com 37,0% de P2O5 é da ordem de 100.000 t/ano.

A Usina 320, principal usina de concentração de rocha fosfática em Jacupiranga, apresenta fluxograma muito parecido ao da Usina 310, beneficiando tanto o carbonatito dolomítico, quanto o carbonatito calcítico e a capacidade instalada da planta é de 520.000 t/ano de concentrado, com teor médio de 35,5% de P2O5.

A capacidade de moagem é diferenciada para os minérios calcítico e dolomítico, situando-se em:

- minério calcítico = 550 t/h

- minério dolomítico = 615 t/h

A tabela A.1 apresenta uma distribuição granulométrica típica para o material que alimenta a Usina.

TABELA A.1. - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PRODUTO DA BRITAGEM -
USINA 320, SERRANA (1988)

: FRACÇÃO	: (MICROMETROS/POLEGADAS/SÉRIE TYLER)	: MASSA RETIDA	
		: SIMPLES (%)	: ACUMULADA (%)
: 25.400 (1")		: 10	: 10
: 19.050 (3/4")		: 18	: 28
: 12.700 (1/2")		: 13	: 41
: 6.350 (1/4")		: 16	: 57
: 2.380 (malha 8)		: 11	: 68
: 297 (malha 48)		: 16	: 84
: 149 (malha 100)		: 5	: 89
: 44 (malha 325)		: 6	: 95
: -44		: 5	: 100

O circuito de moagem/desmagnetização/classificação é composto de cinco linhas independentes, cada uma com moinho de barras de 2,7m x 4,5m (9' x 15'). Tratam-se de circuitos fechados, operando com hidrociclones (tipo CBC - "circulating bed classifier", de fundo plano) a baixas pressões e altas concentrações de sólidos na

alimentação, visando obter produtos relativamente grossos, com 10-12% retido em 420 μm (35 mesh) e gerando a menor quantidade possível de finos, em face da existência de deslamagem posterior do produto moído, em 44 μm .

A figura A.1 apresenta um balanço de massas característico do atual circuito de moagem/classificação da Usina 320.

O produto dessa etapa tem distribuição granulométrica mostrada na tabela A.2.

TABELA A.2. - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PRODUTO DO CIRCUITO DE MOAGEM - USINA 320, SERRANA (1988)

MALHA (Tyler)	ABERTURA (μm)	MASSA RETIDA (%) SIMPLES	ACUMULADA (%)
# 48	297	25	25
# 100	149	27	52
# 325	44	24	76
#-325	-44	24	100

O material é, então, deslamado (-44 μm) em quatro estágios de hidrociclones, conforme mostrado na figura A.2. A deslamagem tem dois produtos: os grossos e os finos.

A flotação é feita com ácidos graxos de tall-oil, separando-se dois produtos: concentrado de fosfato e calcário, este último matéria-prima para uma fábrica de cimento Portland (quando calcítico) ou vendido para correção de acidez de solo (quando dolomítico).

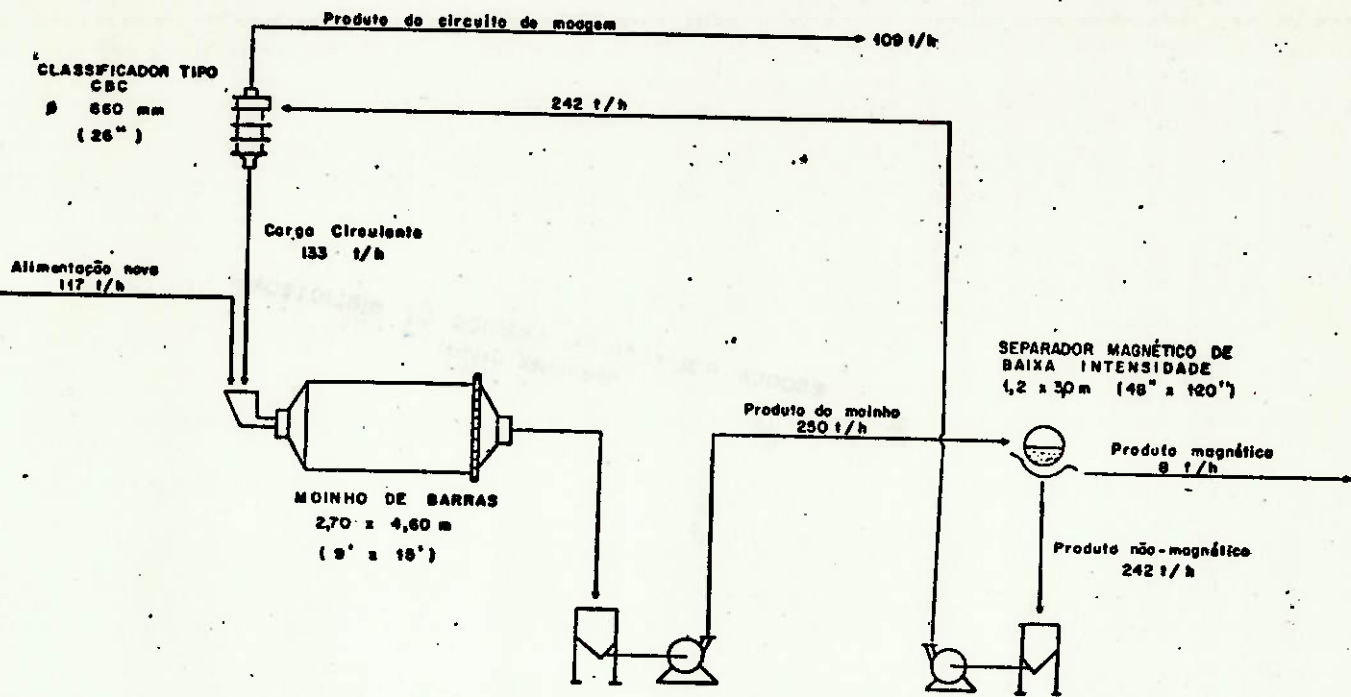
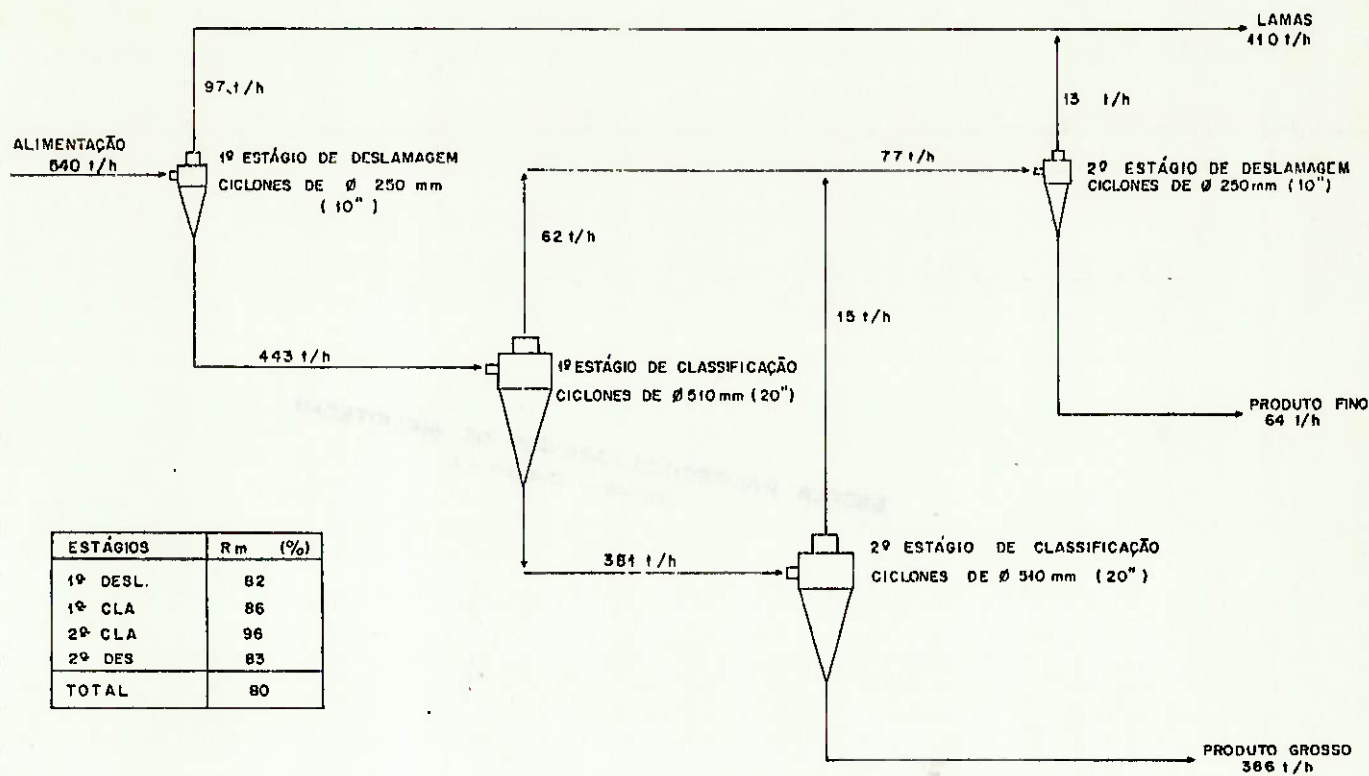


FIGURA A.1. - CIRCUITO DE MOAGEM E DESMAGNETIZAÇÃO (5 LINHAS),
USINA 320, SERRANA (1988)



ESTÁGIOS	R _m	(%)
1º DESL.	82	
1º CLA	86	
2º CLA	96	
2º DES	83	
TOTAL	80	

FIGURA A.2. - CIRCUITO DE DESLAMAGEM, USINA 320, SERRANA (1988)

Os consumos específicos médios dos reagentes usados no condicionamento e flotação são encontrados na tabela A.3.

TABELA A.3. - CONSUMOS ESPECÍFICOS DE REAGENTES - USINA 320, SERRANA (1988)

REAGENTE	CONSUMO (g/t alim.Usina)
Amido de milho	90
Soda cáustica (a 50%)	150
Tall-oil	40

A alimentação da flotação da Usina 320 tem as características mostradas na tabela seguinte.

TABELA A.4. - CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA ALIMENTAÇÃO DA FLOTAÇÃO - USINA 320, SERRANA (1988)

MALHA (μm e Tyler)	MASSA RETIDA SIMPLES (%)	MASSA RETIDA ACUMULADA (%)	TEOR (%P205)	DISTR. DE FÓSFORO (%)
420 (35 mesh)	17	17	2,0	6
297 (48 mesh)	10	27	4,5	7
149 (100 mesh)	33	60	7,3	40
44 (325 mesh)	30	90	7,8	38
-44	10	100	5,4	9
TOTAL			6,1	100

A seção de flotação é constituída de dois circuitos distintos, totalmente independentes, a saber:

1. Circuito de células mecânicas:

Constituído de células de pequeno volume (1,7m³) e beneficiando dois terços da massa alimentada, apresenta circuito convencional de "rougher" e "scavenger", seguidas de duas etapas de limpeza.

A figura A.3 apresenta o circuito de células mecânicas de flotação (para concentrado a 35% de P205).

O circuito de flotação é composto de:

- a) oito bancos "rougher"/"scavenger", de sete células/cada, sendo três células "rougher";
- b) dois bancos "rougher"/"scavenger", de oito células/cada, sendo três células "rougher"; e,
- c) dois bancos "cleaner"/"recleaner", de oito células/cada, sendo três células "recleaner" por banco

Tem-se um total, portanto, de oitenta e oito células Wemco-Fagergren num circuito tradicional "rougher"/"scavenger"/"cleaner"/"recleaner".

2. Circuito de células pneumáticas:

Constituído de duas células Serrana ("rougher" - "scavenger") de 37m³/cada, beneficia um terço da massa alimentada.

A figura A.4 mostra o circuito de flotação com células pneumáticas.

As tabelas A.5 e A.6 mostram balanços de massas e metalúrgico atual da Usina 320 e as recuperações em cada uma das etapas do processo. Os dados são médios, tendo em vista que atualmente se produz concentrados calcíticos com 35% P205 e concentrados dolomíticos com 37% de P205.

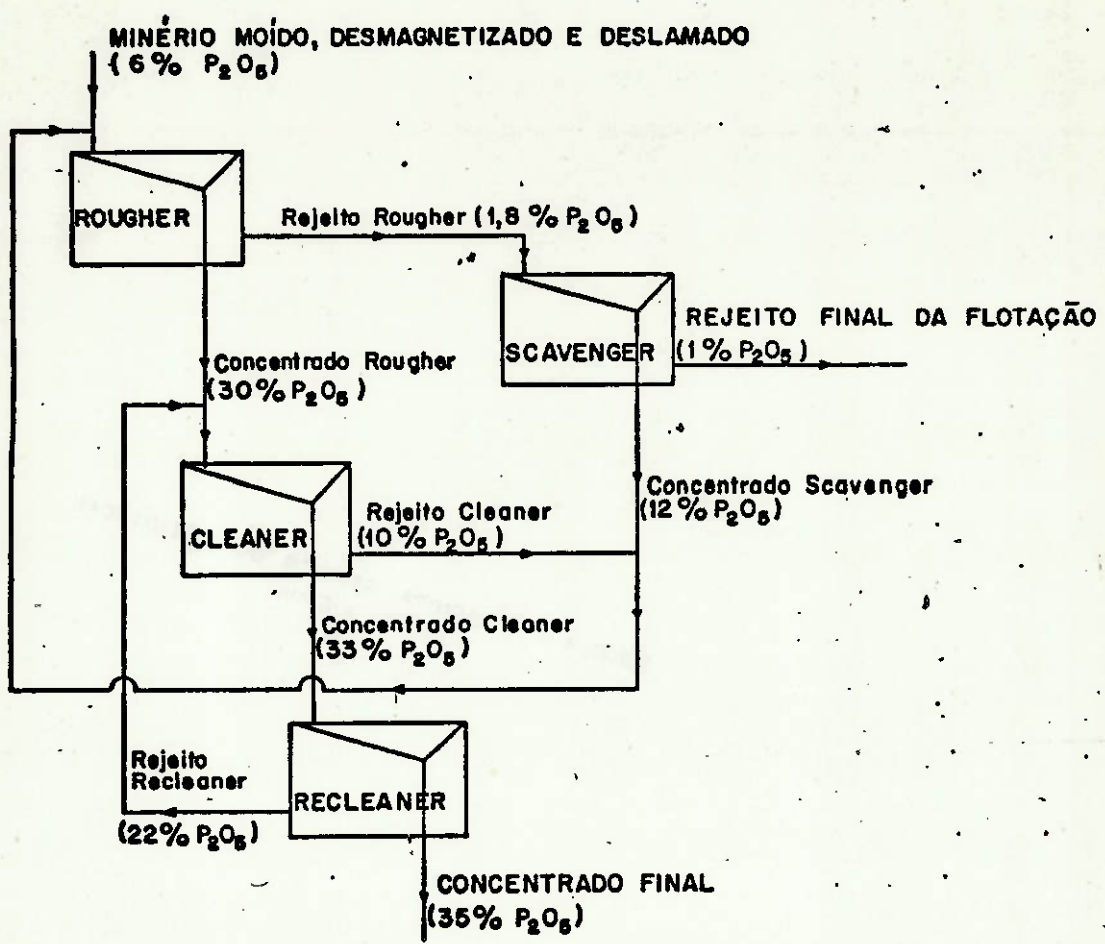


FIGURA A.3. - CIRCUITO DE CÉLULAS MECÂNICAS, USINA 320, SERRANA (1988)

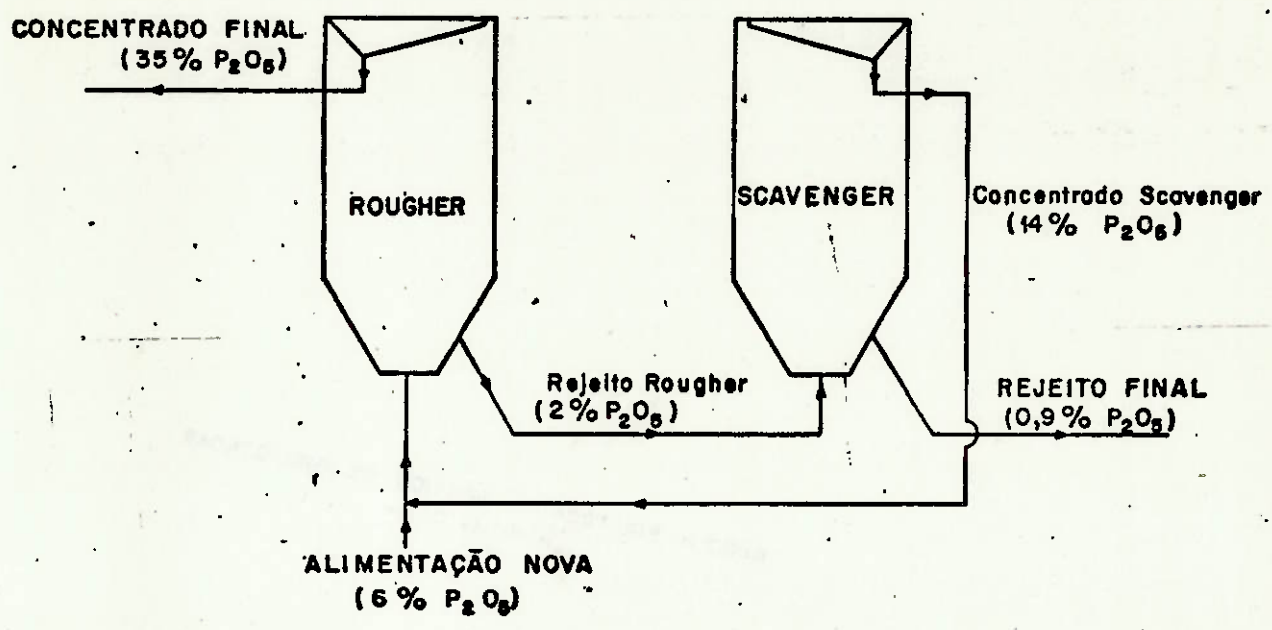


FIGURA A.4. - CIRCUITO DE CÉLULAS SERRANA DE FLOTAÇÃO PNEUMÁTICA, USINA 320, SERRANA (1988)

TABELA A.5. - BALANÇO DE MASSAS E METALÚRGICO DA USINA 320,
SERRANA (1988)

PRODUTO	MASSA (t/h)	PARTIÇÃO DE MASSA (%)	TEOR P205 (%)	DISTR. MASSA DE P205 (%)
Alimentação	585,0	100,0	5,3	100,0
Magnético	41,0	7,0	1,6	2,2
Lamas	108,2	18,5	3,5	12,3
Concentrado de fosfato	64,4	11,0	35,8	75,0
Calcário	371,4	63,5	1,0	10,5

TABELA A.6. - RECUPERAÇÕES EM MASSA E EM P205 - USINA 320,
SERRANA (1988)

ETAPA	RECUP. MASSA (%)	RECUP. P205 (%)
Desmagnetização	93	98
Deslamagem	80	87
Flotação	15	88
TOTAL	11	75

ANEXO B - RESULTADOS DOS ENSAIOS-PILOTO "ROUGHER"

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5	1,3	1,5
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	34,3	33,2	32,8	32,2	33,1	31,3	-	-	26,7	-
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,7	1,5	1,6	1,9	1,6	1,5	1,4	1,6	2,1	1,4
Qar : Qpp	1:1	1:1	1:1	0,4:1	0,4:1	0,4:1	1,6:1	1,5:1	0,7:1	1,3:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	75	50	25	80	50	5	25	15	20	40
pH FLOTAÇÃO	10,7	10,5	10,7	10,5	10,6	10,5	10,6	10,6	10,6	10,6
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	60	63	55	47	57	60	66	57	42	63
tal (ZP205)	4,90	4,46	4,96	5,46	5,56	6,06	5,40	5,40	5,52	5,40
tco (ZP205)	18,6	15,8	13,9	29,6	22,9	23,4	22,5	19,5	24,0	21,1
trj (ZP205)	0,44	0,38	0,40	0,89	0,78	0,60	0,54	0,42	0,44	0,44
RP205 (ZP20Z)	93,2	93,7	94,7	86,3	89,0	92,5	92,2	94,2	93,7	93,8

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	31,8	31,2	30,0	34,1	34,1	36,0	36,0	35,4	35,0	37,0
trj (ZP205)	0,40	0,70	0,42	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,52	0,80
trj (ZMgO)	-	3,50	-	3,80	3,80	-	-	3,42	-	3,53

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	-	40,4	-	28,8	30,5	32,4	-	30,4	30,1	27,5
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,6	1,5	1,7	1,5	1,7	1,8	1,4	1,7	1,5	1,6
Qar : Qpp	1,3:1	1,3:1	1,3:1	0,7:1	0,7:1	1:1	1:1	1,1:1	1,1:1	1,1:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	40	40	20	40	20	55	20	35	40	40
pH FLOTAÇÃO	10,5	10,6	10,6	10,5	10,8	10,6	10,7	10,6	10,8	10,6
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	42	74	54	40	37	36	42	37	49	32
tal (ZP205)	5,40	6,30	5,40	4,24	4,34	4,36	5,04	6,82	5,04	5,74
tco (ZP205)	29,7	34,3	20,8	27,0	20,2	30,1	26,1	34,8	33,5	35,5
trj (ZP205)	0,56	0,98	0,54	0,48	0,46	0,52	0,48	1,18	1,08	1,12
RP205 (ZP20Z)	91,4	86,9	92,4	90,3	91,5	89,6	92,2	85,6	81,2	83,1

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	38,8	37,3	37,3	34,8	34,8	34,2	32,4	36,7	39,1	39,0
trj (ZP205)	0,58	0,70	0,70	0,50	0,50	0,52	0,40	0,94	1,20	0,88
trj (ZMg0)	-	3,63	3,63	3,83	3,83	-	3,88	-	2,98	-

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	021	022	023	024	025	026	027	028	029	030
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,5	1,7	1,4	1,4	1,6	1,9	1,3	1,3	1,3	1,8
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	27,3	37,9	36,3	37,2	39,8	31,1	23,4	22,3	23,8	31,9
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,3	1,8	2,6	2,2	2,0	1,3	1,2	1,3	1,2	1,5
Qar : Qpp	1,1:1	1,2:1	0,8:1	0,8:1	0,9:1	1:1	0,7:1	0,7:1	0,7:1	0,7:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	20	65	40	40	40	45	40	40	30	40
pH FLOTAÇÃO	10,7	10,2	10,7	10,8	10,8	10,7	10,4	10,8	10,7	10,7
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	39	22	15	26	35	70	72	69	83	42
tal (ZP205)	4,76	7,58	6,08	5,96	5,64	5,89	6,14	5,84	5,54	5,94
tco (ZP205)	33,7	27,9	34,6	31,2	28,5	21,2	32,1	35,3	32,6	31,6
trj (ZP205)	0,98	0,72	1,54	0,96	0,82	0,82	1,22	2,74	1,34	0,78
RP205 (ZP20Z)	81,8	92,9	78,1	86,6	88,0	89,5	83,3	57,5	79,1	89,1

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	33,7	34,7	36,7	34,8	34,5	33,8	35,2	34,6	37,2	35,5
trj (ZP205)	0,90	0,80	0,96	1,25	0,82	0,75	0,94	1,10	0,74	0,84
trj (ZMg0)	3,45	3,38	-	3,71	-	3,76	-	3,71	-	-

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	031	032	033	034	035	036	037	038	039	040
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,8	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	31,7	32,5	35,1	36,4	35,6	36,9	37,6	36,1	36,6	35,0
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,5	1,6	2,9	2,7	2,7	3,0	2,6	2,6	2,4	2,5
Qar : Qpp	0,7:1	0,7:1	1:1	1:1	1:1	0,8:1	0,5:1	0,7:1	0,7:1	0,7:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	40	40	50	50	50	50	40	50	50	50
pH FLOTAÇÃO	10,6	10,6	10,5	10,6	10,6	10,6	10,7	10,6	10,6	10,6
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	52	58	62	56	48	43	49	43	57	65
tal (ZP205)	6,20	5,60	6,00	5,70	5,60	6,10	5,68	4,86	5,34	5,56
tco (ZP205)	27,5	22,9	22,3	24,5	28,7	29,9	29,0	27,6	22,5	21,5
trj (ZP205)	0,60	0,56	2,02	1,60	1,42	1,72	1,34	1,06	0,76	1,10
RP205 (ZP20Z)	92,3	92,3	72,9	77,0	78,5	76,2	80,1	81,3	88,8	84,5

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	35,9	37,2	35,8	35,8	35,9	36,1	36,1	38,1	35,7	35,7
trj (ZP205)	1,50	0,80	1,00	1,00	1,40	1,10	1,10	1,43	1,50	1,50
trj (ZMg0)	-	3,76	3,98	3,98	-	3,95	3,95	-	3,75	3,75

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	: 041	: 042	: 043	: 044	: 045	: 046	: 047	: 048	: 049	: 050
AERADOR (No.)	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,1	: 1,1	: 1,1	: 1,1	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,6	: 1,0	: 1,0
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	: 36,3	: 31,3	: 37,9	: 39,5	: 37,5	: 33,7	: 40,2	: 34,8	: 35,9	: 29,9
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 2,8	: 2,7	: 2,9	: 2,8	: 3,0	: 3,3	: 2,5	: 2,2	: 2,6	: 2,9
Qar : Qpp	: 1,1:1	: 0,9:1	: 0,5:1	: 1:1	: 0,9:1	: 0,6:1	: 0,6:1	: 0,8:1	: 0,8:1	: 0,8:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 35	: 45	: 50	: 30	: 40	: 60	: 30	: 30	: 40	: 40
pH FLOTAÇÃO	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,4	: 10,5
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 57	: 58	: 47	: 52	: 49	: 46	: 56	: 51	: 77	: 64
tai (XP205)	: 7,86	: 7,40	: 7,46	: 7,40	: 10,04	: 6,66	: 6,12	: 5,00	: 5,90	: 7,00
tco (XP205)	: 31,8	: 36,9	: 35,2	: 33,4	: 35,1	: 33,7	: 29,9	: 32,5	: 28,6	: 30,4
trj (XP205)	: 2,06	: 5,14	: 3,53	: 2,50	: 5,04	: 4,58	: 2,04	: 1,10	: 0,90	: 0,90
RP205 (XP20X)	: 78,9	: 35,5	: 50,5	: 71,5	: 58,2	: 36,1	: 71,5	: 80,7	: 87,5	: 89,8

RESULTADOS DA USINA 320

tco (XP205)	: 33,8	: 3,47	: 3,47	: 32,4	: 32,4	: 32,4	: 32,4	: 33,8	: 37,9	: 38,7
trj (XP205)	: 0,70	: 0,90	: 0,90	: 0,60	: 0,60	: 0,60	: 0,60	: 0,65	: 0,60	: 0,50
trj (XHg0)	: 5,30	: -	: -	: 5,02	: 5,02	: 5,02	: 5,02	: 3,85	: -	: 12,77

ENSAIOS "ROUGHER"

:ENSAIO	: 051	: 052	: 053	: 054	: 055	: 056	: 057	: 058	: 059	: 060
:AERADOR (No.)	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
:DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
:TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,1	: 1,2	: 1,2	: 1,2	: 1,4	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,2	: 1,2
:SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	: 32,9	: 32,3	: 32,8	: 31,9	: 31,6	: 32,5	: 29,0	: 32,2	: 32,5	: 30,7
:MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 2,8	: 2,4	: 1,9	: 2,2	: 2,1	: 2,5	: 2,6	: 2,9	: 2,3	: 2,4
:Qar : Qpp	: 0,8:1	: 0,8:1	: 0,8:1	: 0,8:1	: 0,7:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1
:ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 40	: 40	: 40	: 40	: 35	: 40	: 40	: 40	: 40	: 40
:pH FLOTAÇÃO	: 10,4	: 10,4	: 10,5	: 10,4	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6
:DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 61	: 68	: 89	: 88	: 52	: 64	: 74	: 55	: 66	: 57
:tal (ZP205)	: 6,90	: 6,20	: 6,40	: 6,02	: 6,40	: 6,10	: 5,50	: 6,20	: 5,80	: 6,20
:tco (ZP205)	: 31,6	: 31,3	: 27,8	: 25,3	: 34,7	: 27,2	: 25,0	: 23,6	: 18,1	: 22,5
:trj (ZP205)	: 0,79	: 0,70	: 0,70	: 0,90	: 1,20	: 1,40	: 2,00	: 1,30	: 0,46	: 0,40
:RP205 (ZP20Z)	: 90,8	: 90,7	: 91,4	: 88,2	: 84,2	: 81,2	: 69,2	: 83,6	: 94,5	: 95,2

RESULTADOS DA USINA 320

:tco (ZP205)	: 38,7	: 38,4	: 37,2	: 37,2	: 33,5	: 37,1	: 35,6	: 36,2	: 35,3	: 35,3
:trj (ZP205)	: 0,50	: 0,42	: 0,40	: 0,56	: 0,70	: 1,02	: 1,00	: 0,95	: 0,90	: 0,90
:trj (ZMgO)	: 12,77	: -	: 12,35	: 12,35	: 10,03	: -	: 4,21	: 4,15	: -	: -

ENSAIOS "ROUGHER"

:ENSAIO	: 061	: 062	: 063	: 064	: 065	: 066	: 067	: 068	: 069	: 070
:AERADOR (No.)	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
:DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
:TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,2	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,1	: 1,2	: 1,1
:SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	: 32,8	: 33,6	: 33,1	: 34,1	: 34,4	: 32,1	: 34,7	: 32,8	: 35,4	: 32,5
:MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 2,3	: 2,6	: 2,5	: 2,7	: 2,6	: 2,7	: 2,4	: 2,4	: 2,2	: 2,3
:Qar : Qpp	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1	: 1:1
:ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 40	: 40	: 45	: 40	: 40	: 45	: 45	: 50	: 50	: 50
:pH FLOTAÇÃO	: 10,5	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,5	: 10,7	: 10,7	: 10,7	: 10,7	: 10,7
:DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 60	: 64	: 65	: 60	: 58	: 55	: 78	: 55	: 69	: 63
:tal (ZP205)	: 5,70	: 6,20	: 7,60	: 6,80	: 6,90	: 6,50	: 6,50	: 6,50	: 6,90	: 6,50
:tco (ZP205)	: 26,0	: 30,1	: 30,0	: 28,4	: 28,8	: 29,8	: 22,0	: 32,2	: 26,8	: 24,2
:trj (ZP205)	: 0,60	: 1,70	: 1,70	: 1,60	: 1,70	: 1,70	: 2,20	: 2,06	: 2,60	: 1,12
:RP205 (ZP20Z)	: 91,6	: 76,9	: 82,3	: 81,0	: 80,0	: 78,3	: 73,5	: 73,0	: 69,0	: 86,8

RESULTADOS DA USINA 320

:tco (ZP205)	: 36,8	: 37,4	: 37,5	: 37,5	: 37,5	: 36,7	: 36,7	: 31,8	: 31,8	: 31,8
:trj (ZP205)	: 0,90	: 1,36	: 1,60	: 1,60	: 1,60	: 1,36	: 1,36	: 1,10	: 1,10	: 1,10
:trj (ZMgO)	: -	: -	: 3,98	: 3,98	: 3,98	: -	: -	: 4,08	: 4,08	: 4,08

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,2	1,1	1,2	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	33,8	34,8	26,9	42,9	33,3	30,2	31,4	28,6	33,3	31,2
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	2,2	2,2	2,3	1,7	1,6	1,7	2,0	1,9	2,4	2,2
Qar. : Qpp	1:1	0,9:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1,5:1	1,5:1	1,5:1	1,5:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	50	50	50	50	50	50	40	40	45	40
pH FLOTAÇÃO	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	57	62	46	55	50	90	73	84	61	60
tal (ZP205)	6,00	6,50	6,02	5,60	7,10	6,50	7,30	6,70	5,80	6,00
tco (ZP205)	29,7	29,1	28,5	35,2	32,7	27,6	32,0	28,4	32,9	33,0
trj (ZP205)	1,00	1,08	1,10	2,28	2,10	1,00	1,40	1,12	1,22	1,20
RP205 (ZP20Z)	86,2	86,6	85,0	63,4	75,3	87,8	84,5	86,7	82,0	83,0

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	34,7	34,7	31,8	31,8	31,8	31,8	36,9	36,9	36,9	35,5
trj (ZP205)	1,04	1,04	1,10	1,10	1,10	1,10	1,60	1,60	1,60	0,70
trj (ZMgO)	-	-	4,01	4,01	4,01	4,01	3,75	3,75	3,75	-

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	081	082	083	084	085	086	087	088	089	090
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	31,1	32,8	32,7	31,9	29,7	36,7	34,9	32,1	33,0	33,3
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	2,0	2,2	2,9	3,1	2,9	2,9	2,7	2,6	2,9	1,7
Qar : Qpp	1,5:1	1,5:1	1,4:1	1,2:1	1,3:1	1,4:1	1,3:1	1,3:1	0,8:1	1,4:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	40	40	35	30	35	35	35	35	40	40
pH FLOTAÇÃO	10,6	10,5	10,7	10,6	10,5	10,6	10,6	10,6	10,6	10,8
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	59	52	73	64	65	61	61	58	73	52
tal (XP205)	6,20	6,80	6,90	6,50	6,50	6,10	6,10	5,80	6,30	6,70
tco (XP205)	34,3	34,3	24,2	30,8	29,3	29,8	34,0	32,6	31,0	32,1
trj (XP205)	1,30	1,76	0,90	1,60	1,06	0,94	1,52	1,46	1,32	1,12
RP205 (XP20Z)	82,1	77,9	90,3	79,5	86,8	87,3	78,6	78,3	82,6	82,3

RESULTADOS DA USINA 320

tco (XP205)	35,5	35,5	37,0	37,5	37,5	37,5	37,8	36,7	36,7	36,3
trj (XP205)	0,70	0,70	0,80	1,04	1,04	1,04	1,10	1,38	1,38	1,10
trj (ZMg0)	-	-	3,65	-	-	-	3,50	-	-	3,76

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	: 081	: 082	: 083	: 084	: 085	: 086	: 087	: 088	: 089	: 090
AERADOR (No.)	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,2	: 1,2	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,0	: 1,6
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	: 31,1	: 32,8	: 32,7	: 31,9	: 29,7	: 36,7	: 34,9	: 32,1	: 33,0	: 33,3
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 2,0	: 2,2	: 2,9	: 3,1	: 2,9	: 2,9	: 2,7	: 2,6	: 2,9	: 1,7
Qar : Qpp	: 1,5:1	: 1,5:1	: 1,4:1	: 1,2:1	: 1,3:1	: 1,4:1	: 1,3:1	: 1,3:1	: 0,8:1	: 1,4:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 40	: 40	: 35	: 30	: 35	: 35	: 35	: 35	: 40	: 40
pH FLOTAÇÃO	: 10,6	: 10,5	: 10,7	: 10,6	: 10,5	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,8
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 59	: 52	: 73	: 64	: 65	: 61	: 61	: 58	: 73	: 52
tal (ZP205)	: 6,20	: 6,80	: 6,90	: 6,50	: 6,50	: 6,10	: 6,10	: 5,80	: 6,30	: 6,70
tco (ZP205)	: 34,3	: 34,3	: 24,2	: 30,8	: 29,3	: 29,8	: 34,0	: 32,6	: 31,0	: 32,1
trj (ZP205)	: 1,30	: 1,76	: 0,90	: 1,60	: 1,06	: 0,94	: 1,52	: 1,46	: 1,32	: 1,12
RP205 (ZP20Z)	: 82,1	: 77,9	: 90,3	: 79,5	: 86,8	: 87,3	: 78,6	: 78,3	: 82,6	: 82,3

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	: 35,5	: 35,5	: 37,0	: 37,5	: 37,5	: 37,5	: 37,8	: 36,7	: 36,7	: 36,3
trj (ZP205)	: 0,70	: 0,70	: 0,80	: 1,04	: 1,04	: 1,04	: 1,10	: 1,38	: 1,38	: 1,10
trj (ZM90)	: -	: -	: 3,65	: -	: -	: -	: 3,50	: -	: -	: 3,76

ENSAIOS "ROUGHER"

:ENSAIO	: 101	: 102	: 103	: 104	: 105	: 106	: 107	: 108	: 109	: 110
:AERADOR (No.)	: 5	: 5	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
:DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 16	: 16	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
:TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,4	: 1,4	: 1,5	: 1,5	: 1,4	: 1,4	: 1,4	: 1,5	: 1,4	: 1,5
:SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	: 31,7	: 35,4	: 33,1	: 33,4	: 33,1	: 31,8	: 32,2	: 33,9	: 33,2	: 28,8
:MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 1,9	: 2,1	: 1,7	: 2,1	: 2,1	: 2,0	: 2,1	: 1,9	: 1,9	: 1,5
:Qar : Qpp	: 1,4:1	: 1,9:1	: 1:1	: 1,5:1	: 1,9:1	: 0,7:1	: 0,7:1	: 0,7:1	: 1:1	: 1,5:1
:ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 40	: 40	: 45	: 50	: 40	: 40	: 40	: 40	: 40	: 45
:pH FLOTAÇÃO	: 10,6	: 10,6	: 10,6	: 10,7	: 10,7	: 10,6	: 10,6	: 10,7	: 10,6	: 10,7
:DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 57	: 56	: 63	: 56	: 56	: 58	: 52	: 57	: 54	: 62
:tal (ZP205)	: 6,54	: 6,08	: 6,28	: 6,14	: 5,94	: 6,00	: 5,52	: 6,12	: 6,54	: 6,86
:tco (ZP205)	: 33,3	: 31,1	: 31,2	: 28,6	: 26,4	: 25,3	: 29,3	: 28,6	: 28,2	: 23,3
:trj (ZP205)	: 1,04	: 0,88	: 0,76	: 0,76	: 0,78	: 0,60	: 0,88	: 0,72	: 0,76	: 0,56
:RP205 (ZP20Z)	: 86,9	: 88,0	: 90,1	: 90,0	: 89,5	: 92,2	: 86,7	: 90,5	: 91,0	: 93,9

RESULTADOS DA USINA 320

:tco (ZP205)	: 35,6	: 36,2	: 35,1	: 36,4	: 34,0	: 34,0	: 34,3	: 33,9	: 33,6	: 33,6
:trj (ZP205)	: 0,92	: 1,00	: 1,02	: 0,50	: 0,80	: 0,80	: 1,00	: 0,72	: 1,10	: 1,10
:trj (ZMgO)	: -	: 3,75	: -	: 3,81	: -	: -	: 5,06	: -	: 4,19	: 4,19

ENSAIOS "ROUGHER"

ENSAIO	: 111	: 112	: 113	: 114	: 115	: 116	: 117
AERADOR (No.)	: 4	: 5	: 5	: 5	: 5	: 5	: 5
DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 16	: 16	: 16	: 16	: 16	: 16
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 1,5	: 1,4	: 1,4	: 1,4	: 1,5	: 1,4	: 1,4
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (Z)	: 32,6	: 31,4	: 31,3	: 32,1	: 33,8	: 33,5	: 31,2
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 1,4	: 1,8	: 1,8	: 1,9	: 1,7	: 1,9	: 1,7
Qar : Qpp	: 2:1	: 0,7:1	: 1:1	: 1,4:1	: 1,5:1	: 1:1	: 1,5:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 55	: 35	: 35	: 40	: 40	: 30	: 30
pH FLOTAÇÃO	: 10,7	: 10,6	: 10,7	: 10,7	: 10,6	: 10,7	: 10,6
DOSAGEM TOTAL COLETOR (g/t)	: 65	: 55	: 55	: 51	: 57	: 66	: 73
tal (XP205)	: 6,28	: 6,22	: 6,68	: 6,56	: 6,42	: 6,08	: 5,96
tco (XP205)	: 30,0	: 34,2	: 33,1	: 33,7	: 34,4	: 27,9	: 24,9
trj (XP205)	: 0,70	: 1,30	: 1,06	: 1,10	: 1,34	: 0,70	: 0,68
RP205 (XP20Z)	: 91,0	: 82,2	: 86,9	: 86,0	: 88,3	: 90,8	: 91,1

RESULTADOS DA USINA 320

tco (XP205)	: 34,3	: 34,2	: 34,2	: 36,1	: 35,8	: 31,0	: 31,0
trj (XP205)	: 0,78	: 0,90	: 0,90	: 0,86	: 1,00	: 0,70	: 0,70
trj (XNg0)	: -	: 3,96	: 3,96	: -	: 4,39	: 5,36	: 5,36

ANEXO C - RESULTADOS DOS ENSAIOS-PILOTO "CLEANER"

ENSAIOS "CLEANER"

ENSAIO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	2,5	2,3	2,2	2,6	2,5	2,5	1,8	1,9	2,0	2,0
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	16,8	20,8	32,2	23,8	31,2	33,5	26,3	25,9	22,6	26,4
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	0,5	0,4	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	0,9
Qar : Qpp	0,8:1	0,8:1	0,7:1	0,9:1	0,8:1	0,8:1	0,6:1	1:1	1:1	1:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	40	20	25	20	50	60	35	40	35	80
pH FLOTAÇÃO	9,6	9,7	10,2	10,3	10,2	10,3	10,0	10,0	9,9	9,9
CONC. SÓLIDOS ESPUMA (%)	61,5	49,3	54,3	51,1	53,1	54,4	50,3	52,0	50,2	48,7
tal (ZP205)	32,7	30,3	32,3	32,4	33,1	32,4	30,4	30,5	32,3	31,5
tco (ZP205)	39,1	33,6	37,3	38,2	37,6	37,9	37,5	36,3	37,3	36,8
trj (ZP205)	23,9	14,5	17,1	18,3	15,4	16,7	15,4	14,2	15,2	11,2
RP205 (ZP20Z)	68,9	91,6	86,9	83,5	90,6	86,6	83,7	87,3	89,9	92,6

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	37,2	37,2	35,7	35,7	35,0	35,0	35,6	33,5	33,5	34,1
trj/cle (ZP205)	16,4	10,4	9,9	10,5	10,9	15,8	10,0	9,7	10,4	9,7

ENSAIOS "CLEANER"

ENSAIO	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	2,4	2,2	2,0	2,3	2,2	1,9	2,3	2,2	2,2	2,2
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	31,9	33,1	31,2	35,8	42,9	31,5	32,7	35,5	35,3	43,0
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,1	1,7	0,80	1,3	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2
Qar : Qpp	1,2:1	1,1:1	1:1	1,1:1	1,1:1	1,4:1	1,7:1	1,7:1	1,1:1	0,8:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	70	30	35	30	75	75	35	20	20	15
pH FLOTAÇÃO	10,1	10,1	10,2	10,3	10,4	10,0	10,0	9,9	9,9	9,8
CONC. SÓLIDOS ESPUMA (%)	57,9	59,9	42,2	57,0	43,3	53,9	52,9	52,9	55,4	56,9
tal (ZP205)	30,1	32,8	32,1	32,6	32,0	31,0	31,0	33,0	34,2	35,6
tco (ZP205)	37,9	37,9	36,4	37,2	37,1	34,6	36,9	36,5	37,6	39,2
trj (ZP205)	15,2	17,1	14,1	17,1	13,5	7,8	15,7	14,1	20,7	28,2
RP205 (ZP20X)	82,6	87,2	91,5	88,0	92,7	96,6	85,9	93,3	87,8	74,1

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	36,6	34,0	35,8	36,0	36,0	32,1	35,1	34,1	34,3	37,0
trj/cle (ZP205)	11,2	9,5	8,9	14,0	15,1	8,4	9,1	9,2	11,4	14,1

ENSAIOS "CLEANER"

ENSAIO	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
AERADOR (No.)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	2,3	2,0	1,9	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	2,1	2,0
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	31,6	28,7	29,5	31,9	31,8	32,6	27,0	31,0	27,9	29,8
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	0,9	1,2
Qar : Qpp	2,3:1	1,3:1	1,5:1	1,9:1	2,5:1	2,9:1	2,0:1	2,4:1	1,4:1	1,5:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	10	40	50	70	70	70	20	20	65	70
pH FLOTAÇÃO	9,9	10,1	10,0	10,0	10,2	10,2	10,3	10,2	10,2	10,1
CONC. SÓLIDOS ESPUMA (%)	40,5	55,0	57,2	53,5	55,1	51,6	48,4	49,9	51,3	53,3
tal (ZP205)	32,4	31,4	35,1	33,4	30,9	32,2	31,2	31,4	31,0	32,2
tco (ZP205)	35,3	36,4	36,9	37,1	36,8	36,9	36,0	36,7	37,8	37,2
trj (ZP205)	15,1	11,1	10,9	8,5	7,8	6,9	10,2	9,9	12,6	13,0
RP205 (ZP20X)	93,3	93,0	97,9	96,7	94,9	96,6	93,9	93,8	89,0	91,7

RESULTADOS DA USINA 320

tco (ZP205)	37,0	36,0	37,0	36,2	36,2	35,6	35,6	35,7	36,1	36,5
trj/cle (ZP205)	15,4	9,3	8,0	7,6	6,4	7,3	7,7	7,0	13,6	11,9

ENSAIOS "CLEANER"

ENSAIO	: 41	: 42	: 43	: 44	: 45	: 46	: 47
AERADOR (No.)	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4	: 4
DIÂMETRO AERADOR (mm)	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11	: 11
TEMPO DE FLOTAÇÃO (min)	: 2,0	: 1,9	: 2,0	: 2,0	: 2,0	: 2,0	: 2,0
SÓLIDOS ALIMENTAÇÃO (%)	: 31,8	: 31,9	: 32,2	: 40,6	: 39,4	: 42,2	: 36,8
MASSA DE SÓLIDOS (t/h)	: 1,1	: 1,4	: 1,3	: 1,5	: 1,7	: 1,2	: 1,6
Qar : Qpp	: 2,0:1	: 2,4:1	: 3,0:1	: 3,1:1	: 2,5:1	: 2,0:1	: 1,5:1
ALTURA DE ESPUMA (cm)	: 70	: 70	: 70	: 70	: 70	: 70	: 70
pH FLOTAÇÃO	: 10,1	: 10,2	: 10,2	: 10,5	: 10,5	: 10,6	: 10,5
CONC. SÓLIDOS ESPUMA (%)	: 52,5	: 51,8	: 47,3	: 50,0	: 49,5	: 42,9	: 53,4
tal (XP205)	: 32,0	: 25,9	: 29,4	: 28,9	: 28,0	: 29,0	: 26,3
tco (XP205)	: 38,0	: 34,9	: 34,6	: 34,3	: 33,5	: 34,2	: 33,6
trj (XP205)	: 16,4	: 12,6	: 6,9	: 6,5	: 5,1	: 5,8	: 6,2
RP205 (XP20X)	: 85,8	: 80,4	: 95,6	: 95,6	: 96,5	: 96,3	: 93,7

RESULTADOS DA USINA 320

tco (XP205)	: 36,5	: 33,6	: 33,3	: 33,3	: 33,3	: 32,8	: 32,8
trj/cle (XP205)	: 11,3	: 9,7	: 9,5	: 11,2	: 10,9	: 10,0	: 8,2

ANEXO D - DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA "ROUGHER" DO CIRCUITO
SEMI-INDUSTRIAL

D.1. Condições de Operação

Dos ensaios-piloto, resumiram-se as principais variáveis na tabela D.1.

TABELA D.1. - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA SEMI-INDUSTRIAL "ROUGHER"

Variáveis	melhores faixas de operação	valor selecionado
1. Qar:Qpp	1,3 : 1 a 1,5 : 1	1,3 : 1
2. h espuma	40cm	40cm
3. sólidos de alim.:	30%	30%
4. vazão de polpa/ área de célula	4m ³ /h por 0,07m ² = 57m ³ .m ² /h	50m ³ .m ² /h
5. tempo flotação	1,2min (1,5min*)	1,5min

* sem se considerar volume de espuma.

Os resultados metalúrgicos indicaram:

tal = 6,0% P205

tco = 30,0% P205

trj = 0,9% P205

para pH = 10,6

$$RP205 = \frac{6,0 - 0,9}{30,0 - 0,9} \times \frac{30,0}{6,0} = 87,6\%$$

Rm = 17,5%

para:

%sol.al = 30,0%

%sol.co = 51,0%

%sol.rj = 27,6%

D.2. Tanque de flotação

O diâmetro do tanque (ϕ_r) foi dado por:

$$\frac{\pi \cdot \phi_r^2}{4} \cdot 107,6 \text{ m}^3 \text{ pp/h} = \frac{\pi \cdot \phi_r^2}{4} \cdot 50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2/\text{h}$$

/ 2

= 2,15m²

portanto, $\phi_r = 1,65\text{m}$ ou $1,7\text{m}$

Considerando-se o cone de alimetação com ângulo de 60 graus, tem-se:

$$\text{Volume do cone, } V_{cn} = \frac{1}{3} \times 2,15 \times 1,47, \quad V_{cn} = 1,05\text{m}^3$$

O cilindro (ci) da célula foi composto de quatro anéis intercambiáveis, com 1,3m, 0,6m, 0,3m e 0,3m de altura, cada um. Os tempos de flotação para os arranjos 1, 1+2, 1+2+3 e 1+2+3+4 são dados na tabela D.2.

Por conveniência de montagem, o anel 1 de h=1,3m foi dividido em dois, o primeiro com 0,7m de altura e o segundo com 0,6m, sendo que no primeiro montou-se a calha de "overflow" e o menor se tornou a unidade logo acima do cone de alimetação.

TABELA D.2. - ARRANJOS DO TANQUE DE FLOTAÇÃO "ROUGHER" - CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL

ANEL	ALTURA DA CÉLULA	VOLUME DA CÉLULA	VOL. ÚTIL OPERAÇÃO	TEMPO DE FLOTAÇÃO
	$h_{cn} = 1,5m$	$V_{cn} = 1,1m^3$	$V = 1,1m^3$	$t = 0,6min$
	$+h_{espuma} = 0,4m$	$+V_{es} = 0,9m^3$	$V = 2,0 - 0,9$	$t = 0,6 + 0,0 = 0,6min$
	$= 1,9m$	$= 2,0m^3$	$V = 1,1m^3$	
1	$+h_1 = 0,9m$	$+V_{ci} = 2,0m^3$	$V = 4,0 - 0,9$	$t = 0,6 + 1,1 = 1,7min$
	$= 2,8m$	$= 4,0m^3$	$V = 3,1m^3$	
2	$+h_2 = 0,6m$	$+V_{ci} = 1,4m^3$	$V = 5,4 - 0,9$	$t = 1,7 + 0,8 = 2,5min$
	$= 3,4m$	$= 5,4m^3$	$V = 4,5m^3$	
3	$+h_3 = 0,3m$	$+V_{ci} = 0,7m^3$	$V = 6,1 - 0,9$	$t = 2,5 + 0,4 = 2,9min$
	$= 3,7m$	$= 6,1m^3$	$V = 5,2m^3$	
4	$+h_4 = 0,3m$	$+V_{ci} = 0,7m^3$	$V = 6,8 - 0,9$	$t = 2,9 + 0,4 = 3,3min$
	$= 4,0m$	$= 6,8m^3$	$V = 5,9m^3$	

* para ângulo de 60 graus, altura do cone = 1,47m ou aprox. = 1,5m

D.3. Unidade de aeração

Os elementos de aeração foram dimensionados com as seguintes considerações:

- a) a área de aeração em contato com a polpa deveria ser proporcional à vazão da polpa de alimentação; e,
- b) a velocidade da polpa na região de aeração deveria ser semelhante à dos ensaios de dimensionamento.

Na célula "rougher", os seguintes valores foram considerados:

- a) a razão (a) da área de material poroso por vazão de polpa a ser aerada é de:

$$a = \frac{1,73 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^3/\text{h de polpa}}, \text{ ou, } a = 1,73 \text{ cm}^2 \cdot \text{h}/\text{m}^3$$

- b) velocidade de polpa, $v = 11,7 \text{ m/s}$

ANEXO E - DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA "CLEANER" DO CIRCUITO
'SEMI-INDUSTRIAL

E.1. Condições de Operação

Dos ensaios-piloto, resumiram-se as principais variáveis na tabela E.1.

TABELA E.1. - PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA SEMI-INDUSTRIAL "CLEANER"

Variáveis	melhores faixas de operação	valor selecionado
1. Qar:Qpp	1,5 : 1 a 2,5 : 1	1,5 : 1
2. hes	40 a 60cm	60cm
3. sólidos de alim.	25 a 40%	30%
4. vazão de polpa/ área de célula	3m ³ /h por 0,07m ² = 43m ³ .m ² /h	40m ³ .m ² /h
5. tempo de flotação:	1,4min (2,0min*)	2min

* sem se considerar volume de espuma.

Os resultados metalúrgicos indicaram:

tal = 30,0% P205

tco = 35,0% P205

trj = 10,5% P205

para pH = 10,1

$$RP205 = \frac{30,0 - 10,5}{35,0 - 10,5} \times \frac{35,0}{30,0} = 92,9\%$$

Rm = 79,6%

para:

$$\%sol.al = 30,0$$

$$\%sol.co = 53,9$$

$$\%sol.rj = 11,0$$

E.2. Tanque de flotação

O diâmetro do tanque (ϕ_c) foi dado por:

$$\frac{\pi \cdot \phi_c^2}{4} = \frac{18,7m^3 \text{ pp/h}}{40m^3/h \cdot m^2} = 0,47m^2$$

$$\phi_c = 0,77m \text{ ou } 0,8m$$

Por outro lado, considerando-se a massa de sólidos flotada, obteve-se nos ensaios:

$$Q_{pp} = 3m^3/h \text{ a } 30\% \text{ de sólidos}$$

$$\%sol_v = \frac{0,30}{0,30 + (1-0,3) \cdot 3,0} = 12,5$$

$$Q_{sol} = 3 \cdot 0,125 = 0,375m^3/h \text{ ou uma massa de sólidos de:}$$

$$M_{sol} = 3 \cdot 0,375 = 1,12 \text{ t/h}$$

A área da célula experimental era de $0,07m^2$, ou seja, a massa específica de sólidos na célula industrial (m_{sol}),

$$m_{sol} = \frac{1,12 \text{ t/h}}{0,07m^2} = 16 \text{ t.h/m}^2$$

Na célula industrial, tem-se:

$$M_{sol} = 5,6 \text{ t/h}$$

ou a área de limpeza requerida será,

$$S_c = \frac{5,6 \text{ t/h}}{16 \text{ t.h/m}^2} = 0,35 \text{ m}^2, \text{ ou}$$

$$\frac{\pi \cdot \phi_c^2}{4} = 0,35 \text{ m}^2 \text{ ou } \phi_c = 0,7 \text{ m}$$

Dimensionou-se a célula com $\phi_c = 0,80 \text{ m}$.

O cone de alimentação desta unidade também foi construído com ângulo de 60 graus.

Assim,

$$\text{volume do cone, } V_{cn} = \frac{1}{3} \times 0,50 \times 0,69 = 0,12 \text{ m}^3$$

O cilindro da célula foi composto de quatro anéis intercambiáveis, com 1,0m, 0,5m, 0,5m e 0,3m de altura. Os tempos de flotação acumulados para os arranjos 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+4, são dados na tabela E.2.

Pelos mesmos motivos apresentados no "lay-out" do tanque de flotação "rougher", o primeiro anel da célula "cleaner" foi decomposto em dois anéis, um com 0,4m e outro com 0,5m de altura.

TABELA E.2. - ARRANJOS DO TANQUE DE FLOTAÇÃO "CLEANER" - CIRCUITO SEMI-INDUSTRIAL

ANEL	ALTURA DA CÉLULA	VOLUME DA CÉLULA	VOL. ÚTIL OPERAÇÃO	TEMPO DE FLOTAÇÃO
	h cn = 0,7m*	V cn = 0,10m ³	V = 0,10m ³	t = 0,3min
	+th espuma = 0,6m	+V es = 0,30m ³	V = 0,40 - 0,30	t = 0,3min
	= 1,3m	= 0,40m ³	V = 0,10m ³	
1	+th 1 = 0,4m	+V ci = 0,20m ³	V = 0,60 - 0,30	t = 1,0min
	= 1,7m	= 0,60m ³	V = 0,30m ³	
2	+th 2 = 0,5m	+V ci = 0,25m ³	V = 0,85 - 0,30	t = 1,8min
	= 2,2m	= 0,85m ³	V = 0,55m ³	
3	+th 3 = 0,5m	+V ci = 0,25m ³	V = 1,10 - 0,30	t = 2,6min
	= 2,7m	= 1,10m ³	V = 0,80m ³	
4	+th 4 = 0,3m	+V ci = 0,15m ³	V = 1,25 - 0,30	t = 3,1min
	= 3,0m	= 1,25m ³	V = 0,95m ³	

* para ângulo de 60 graus, altura do cone = 0,69m ou aprox. 0,7m

E.3. Unidade de aeração

As considerações são análogas às feitas para a célula "rougher", anexo D, o que resultou em:

a) razão de área de material poroso por vazão de polpa a ser aerada de:

6,91 cm² de área de aeração

a = -----

3 m³/h de polpa

ou a = 2,30 cm².h/m³

b) velocidade da polpa a ser aerada,

v = 8,8 m/s

13. BIBLIOGRAFIA

01. BAHR, A. et alii. Application and sizing of a new pneumatic flotation cell. In: CONGRÉS INTERNATIONAL DE MINERALURGIE, 15, Cannes, 1985. p. 314-25.
02. BAHR, A. et alii. Anreicherung von FeKonzentraten in einer pneumatischen flotationszelle. Bergbau, 11:524-29, 1983.
03. BAHR, A. et alii. The development and introduction of a new coal flotation cell. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14, Toronto, 1982.
04. BLOISE, R. et alii. Un nouveau type de machine de flottation. Industrie Minerale - Les Techniques. 258-262, avr. 1985.
05. BOUTIN, P. & WHEELER, D.A. Column flotation, World Mining, San Francisco, 47-50, mar. 1967.
06. BREUER, H. & JUNGSMANN, A. Sorting of ultra-fine coal in dilute suspensions by pneumatic flotation. Aufbereitungstechnik, (6):375-81, 1985.
07. BURGER, J.R. Froth flotation developments: this industry workhorse goes from strength to strength. Engineering and Mining Journal 184 (9):67-74, sep. 1983.
08. BUSNARDO, C.A. & OLIVEIRA, R.N. Optimization of the grinding circuit of the Jacupiranga carbonatite ore in Jacupiranga, Brasil. In: SME - AIME ANNUAL MEETING, New York, 1985.
09. CAMILLERI, C. Electroflottation et flottation à l'air dissous. Industrie Minérale - Les Techniques, 25-30, Jan. 1985.
10. CHANGLIAN, X. Kinetic models for batch and continuous flotation in a flotation column. In: CONGRÉS INTERNATIONAL DE MINERALURGIE, 15, Cannes, 1985. p. 16-27.
11. CHIRONIS, N.P. Cell creates microbubbles to latch on to finer coal. Coal Age, 62-64, aug. 1986.

12. CIENSKI, T. & COFIN, V. Column flotation operation at Mines Gaspé molybdenum circuit, Canadian Mining Journal, 28-33, mar. 1981.
13. CLINGAN, B.V. & MCGREGOR, D.R. Column flotation experience at Magma Copper Company, with related experience of other mineral processors. In: SME ANNUAL MEETING, Denver, 1987.
14. COARSE flotation, automatic filtration cut processing costs. World Mining Equipment, New York, 9(2):28-30, feb. 1985.
15. COFFIN, V. L. Column flotation at Mines Gaspé. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14, Toronto, 1982.
16. DOBBY, G. S. & FINCH, J.A. Flotation column scale-up and modelling. CIM Bulletin, Montreal, 79(889):89-96, may, 1986.
17. ENRICHMENT of iron concentrates with the use of a pneumatic flotation cell. s.n.t.
18. ESTEBAN, F.S. et alii. Um promissor desenvolvimento em equipamento para flotação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 1, Brasília, Instituto Brasileiro de Mineração, 1985. p. 140-51.
19. FLASH flotation. International Mining, New York, 3(5):14-17, may, 1986.
20. FLASH flotation pulls coarse sizes from grinding circuit. Engineering and Mining Journal, New York, 186(4):70, apr. 1985.
21. FLOTATION column due for mill scale tests. Engineering and Mining Journal, New York, 166 (1):76-83, jan 1965.
22. FLOTATION with intermittent air supply. Mining Magazine, London, 151 (11):529, nov. 1984.

23. FURTADO, J.R.V. & PERES, A.E.C. Recovery of phosphate fine particles in a flotation column. In: Congreso Latinoamericano de Flotación, 2, Concepción, ago. 1985.
24. FURTADO, J. R. V. Recuperação de finos do minério fósforo-uranífero de Itataia - CE. s.ed. 1985.
25. GIRARDI, S. et alii. Simulación computacional de circuitos de flotación columnar. In: Congreso Latinoamericano de Flotación, 2, Concepción, ago. 1985.
26. GIRARDI, S. & SOLARI, J.A. Simulation of column flotation. In: ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL SOBRE TECNOLOGIA MINERAL, 2, / ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 12, Rio de Janeiro, mai. 1987.
27. GOCHIN, R. J. & SOLARI, J. A. Dissolved air flotation for recovery of fine cassiterite. Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, London, 92:C52-C58, mar. 1983.
28. GUERRA, E.A. et alii. Flotação em coluna de finos de carvão. In: ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL SOBRE TECNOLOGIA MINERAL, 2, / ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 12, Rio de Janeiro, mai. 1987.
29. HARRIS, C.C. Flotation Machines. In: A.M. Gaudin Memorial International Flotation Symposium, Annual Meeting American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 105, New York, 1976.vol.2, p.753-815.
30. HARRIS, C. C. Flotation machine design, scale up and performance: data base. In: Advances in Mineral Processing, Arbiter Symposium, Littleton, Society of Mining Engineers, 1986.
31. HUGGINS, D.A. et alii. Column flotation: its status and potential for Escondida. In: SME ANNUAL MEETING, Denver, 1987.

32. INVESTIGATION of the flotation behaviour of German and Brazilian coals, with special consideration of the flotation kinetics. s.n.t.
33. KENNEDY, A. Mineral processing developments at Hammaslahti, Finland. Mining Magazine, London, 152(2):122-29, feb. 1985.
34. KINNEBERG, D.J. & MILLER, J.D. Copper sulfide flotation in an air-sparged hydrocyclone. Washington, Bureau of Mines, 1983.
35. KOVACS, K. J. Flotation of mineral fines-discussion. In: Beneficiation of Mineral Fines. New York, Columbia University, 1978. cap. 25, p. 291-94.
36. LINDSBERG, R. Flotation in grinding circuit by Skim-Air flotation machine - operational experience from present installations. In: Congreso Latinoamericano de Flotación, 2, Concepción, ago. 1985.
37. LLOYD, P.J.D. et alii. The design and scale-up of a new flotation cell. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 84(2):34-44, feb. 1984.
38. LUTTRELL, G.H. et alii. Modeling of column flotation. In: SME ANNUAL MEETING, Colorado, 1987.
39. MALINOVSKY, V.A. et alii. Development and application of froth separation flotation machines. In: Congresso Internacional de Processamento de Minerais, 12, São Paulo, 1977.
40. MATHIEU, G.I. Comparison of flotation column with conventional flotation for concentration of a molybdenum ore, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 41-45, may. 1972.
41. MCKAY, J.D. et alii. Column flotation. Washington, Bureau of Mines. Minerals and Materials Research, s.d.p.

42. MCKAY, J.D. et alii. Column flotation of Montana chromite ore. Minerals and Metallurgical Processing, Littleton, 3(3): 170-77, aug. 1986.
43. MCKAY, J.D. et alii. Parameters affecting column flotation of fluorite. In: SME ANNUAL MEETING, Denver, 1987.
44. MILLER, J.D. et alii. Fluid-flow phenomena in the air-sparged hydrocyclone. In: CONGRÉS INTERNATIONAL DE MINERALURGIE, 15, Cannes, 1985. P. 87-99
45. MILLER, J.D. et alii. Gold flotation from Colorado River sand with the air-sparged hydrocyclone. / Minerals and Metallurgical Processing, Littleton, 3(3):145-48, aug. 1986.
46. MOISAN, J.A. & BOCAZ, J. Recuperación de partículas finas - flotación en columna. In: Congreso Latinoamericano de Flotación, 2, Concepción, ago. 1985.
47. MORALES, S.G. et alii. Flotacão de partículas finas com micro-bolhas. s.n.t.
48. NEBERA, V.P. et alii. Flotation of secondary mined lead-zinc ores in column machines. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14, Toronto, 1982.
49. NEIS, U. & KIEFHABER, K. P. Differences between particle flotation and floc flotation. In: Fine Particles Processing. New York, Society of Mining Engineers of AIME, 1980. v. 1, cap. 38, p. 755-66.
50. NICOL, S.K. et alii. Column flotation of desliming cyclone overflow for the Riverside coal preparation plant. In: SME ANNUAL MEETING, Denver, 1987.
51. OLIVEIRA, J. F. et alii. Flotacão em coluna: uma nova tecnologia em desenvolvimento. Brasil Mineral, São Paulo, 2(21):43-5, ago. 1985.

52. OUTOKUMPU lança novo sistema de flotação. Brasil Mineral, São Paulo, 4(28):52, mar. 1986.
53. PARKINSON, G. Improved flotation routes separations tryouts. Chemical Engineering, New York, 93(6):27-31, mar. 1986.
54. PLAISTERE AND HANGER INTERNATIONAL. Flotation with intermittent air supply. Kettering, Plaistere and Hanger International, sdp.
55. POLGAIRE, J.L. La Flottation, procédé de séparation dans le traitement des minerais: les machines pneumatiques. Industrie Minérale - Les Techniques, mai./1983.
56. Privilégio de invenção
ALEMANHA. no. 2420482. Begasungseinrichtung für flotationsanlagen. Hans Ludke und Albert. Bahr, 2420482, apr. 1974.
57. Privilégio de invenção
BRASIL. PI 8105505. Aparelho de flotação, hidrociclone borbulhador com ar para separação de partículas e processo para separação de partículas por flotação em um campo centrífugo. Jan D. Miller, 8105505, ago. 1981.
58. Privilégio de invenção
BRASIL. Dispositivo para aeracção de um líquido ou de uma mistura líquido sólido. Nancy Rodrigues, mar. 1982.
59. Privilégio de invenção
BRASIL. PI 8301765. Injetor para equipamentos de flotação. Peter Schweiss e Hans-Dieter Dorflinger, 8301765, abr. 1983.
60. Privilégio de invenção
BRASIL. PI 8301777. Processo e aparelho de flutuação em espuma. Ronald D. Cruea, Larry D. Markham, Derald R. Hatton e Gregory D. Kile, 8301777, abr. 1983.

61. Privilégio de invenção

ESTADOS UNIDOS. no. 3,747,757. Method and machine for flotation of minerals or the like. Carl-Heinz Kalthoff, Wilhelm Prels and Peter Wilezynski, 3,747,757, jul. 1973.

62. Privilégio de invenção

INGLATERRA. no. 0098902. Cascade flotation process and apparatus for carrying out the process. Hjalmar Andreas Kaare Hitland, 0098902, jul. 1982.

63. Privilégio de invenção

INGLATERRA. no. 2114469. Flotation apparatus. Richard Baxter Weber and Robert Henry Forsyth, 2114469, aug. 1983.

64. HANNEY M.W. Flotation agents and processes. Park Ridge, Noyes Data, 1980.

65. REAY, D. & RATCLIFF, G.A. Removal of fine particles from water by dispersed air flotation: effects of bubble size and particle size on collection efficiency, Canadian Journal of Chemical Engineering, 51:178-185, apr. 1973.

66. REDDY, P.S.R. et alii. Flotation column for fine coal beneficiation. International Journal of Mineral Processing, Amsterdam, (24): 161-172, 1988.

67. REIS JUNIOR, J. B. & PERES, A. E. C. Flotação em coluna - recuperação de finos do minério fósforo-uranífero de Itataia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2, São Paulo, Instituto Brasileiro de Mineração, 1987.

68. REYES, J. et alii. Columnas centrífugas: una nueva tecnologia. Minérios Extração e Processamento, São Paulo, 9(107):96-101, dez. 1985.

69. ROE, L.A. Flotation of liquids and fine particles from liquids. In: Fine Particles Processing. New York, Society of Mining Engineers of AIME, 1980. v. 1, cap. 44, p. 871-85.
70. ROE, L. A. Industrial waste flotation. Downer's Grove, Roeco, 1983.
71. SASTRY, K.V.S. Flotation of mineral fines. In: Beneficiation of Mineral Fines. New York, Columbia University, 1978. cap. 24, p. 283-90.
72. SASTRY, K.V.S. & FUERSTENAU, D.W. Theoretical analysis of a countercurrent flotation column. Transactions of Society of Mining Engineers of AIME, 250:32-33, mar. 1971.
73. SHIMOIZAKA, J. & MATSUOKA, I. Applicability of air-dissolved flotation for separation of ultra fine mineral particles. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 14, Toronto, 1982.
74. SOCIETY OF MINING ENGINEERS. Column Flotation 88 - Proceedings of an International Symposium on Column Flotation, Phoenix, Society of Mining Engineers, Jan. 1988.
75. SUTTILL, K. R. Column cells: raise grade at Sierrita. Engineering and Mining Journal, New York, 188(10):54-55, oct. 1987.
76. SZATKOWSKI, M. & FREYBERGER, W.L. Kinetics of flotation with fine bubbles. Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, London, 94:c61-c70, jun. 1985.
77. TAGGART, A.F. PNEUMATIC MACHINES. In: Handbook of Mineral Dressing. New York, John Wiley & Sons, 1945. p. 12-55.
78. WHEELER, D.A. Big flotation column mill tested: evaluation at Opemiska claimed to confirm earlier laboratory results. Engineering and Mining Journal, New York, 167(11):98-193, nov. 1966.

79. WHEELER, D. A. Column flotation - the original column. In: ANNUAL GENERAL MEETING OF CIM, 87, Vancouver, 1985.
80. WHEELER, D.A. Round Table Discussion on Column Cell Flotation Practice in Canada. In: Congreso Latinoamericano de Flotación, 2, Concepción, ago. 1985.
81. WHEELER, D.A. Historical view of Column Flotation development, In: Column Flotation 88 - Proceedings of an International Symposium on Column Flotation, Phoenix, Jan. 1988. cap.1.
82. YIANATOS, J.B. et alii. Cleaning action in column flotation froths. Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, London, 96:c199-c205, dec. 1987.
83. YIANATOS, J.B. et alii. Effect of column height on flotation column performance. In: SME ANNUAL MEETING, Denver, 1987.
84. YOON, R.H. Flotation of coal using micro-bubbles and inorganic salts. Mining Congress Journal, 76-80, dez. 1982.
85. YOUNG, P. Flotation machines, Mining Magazine, London, 149(1):35-59, Jan. 1982.
86. ZIPPERIAN, D. E. & CHRISTOPHERSEN, J. A. Plant operation of the Deister Flotaire column flotation cell. In: SME-AIME ANNUAL MEETING, New York, 1985.