

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM

**Avanços no desenvolvimento da coluna de três produtos - C3P**  
**Fundamentos e Aplicações**

Elves Matiolo  
Engenheiro de Minas, MSc

Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre

2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM

**Avanços no desenvolvimento da coluna de três produtos-C3P  
Fundamentos e Aplicações**

Elves Matiolo

Engenheiro de Minas, MSc

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de  
Materiais – PPGEM, como parte dos requisitos para obtenção do título de

Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral

Porto Alegre

2008

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração em Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Jorge Rubio, DIC, PhD

Prof. do Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS

Prof. do PPGEM, UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Claudio Luiz Schneider

Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

Prof. Dr. Diosnel Antonio Rodriguez López

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Prof. Dr. Rafael Teixeira Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Coordenador do PPGEM

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann

Para Sofia.

## AGRADECIMENTOS

A todos que apoiaram direta ou indiretamente este trabalho, o meu reconhecimento;

Ao Professor (e amigo) Jorge Rubio, pelo seu incentivo característico, paciência e por todos os horizontes que me fez vislumbrar através da pesquisa científica e tecnológica;

Aos meus grandes amigos, Engenheiros de Minas Francisco Testa, Érico Tabosa, Fabiano Capponi e Dr. Rafael Teixeira Rodrigues, exemplos de pessoas e profissionais, por toda a colaboração que me deram no desenvolvimento desse trabalho.

A Professora Maria Luiza (Ziza) e a Solange Amaral (Sola) por toda a ajuda e carinho nesses anos no LTM;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro;

A todos os funcionários e professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pelos dez (e excelentes) anos de educação de nível superior que me proporcionaram;

Sem citar nomes para não esquecer ninguém, todos os colegas do Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) e que fazem do laboratório um lugar especial;

A Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá, pelo fornecimento de amostra de minério de fosfato, análises químicas e todo o apoio para o desenvolvimento experimental em escala piloto na usina de concentração. Um agradecimento especial aos amigos Reinaldo Resende, Sebastião Hipólito e Gláucio Castro pelos ensinamentos e dias agradáveis em Araxá;

A todos da minha família (Noemi, Antonio, Henrique), em especial ao meu pai, Eloi João Matiolo (*in memorium*) e minha mãe Rozália;

A Anna Mallet, minha mulher, mãe da minha filha, por ser testemunha de minha vida e por encher a casa com seu sorriso, a quem dedico esta tese;

Ao povo brasileiro e a todos que trabalham pela pesquisa e ensino no Brasil.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	I
ABSTRACT .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	XIX
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO EM COLUNA .....	4
2.2 APLICAÇÕES DE COLUNAS DE FLOTAÇÃO NO BRASIL.....	9
2.3 USOS DA FLOTAÇÃO NO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS DE FOSFATO .....	14
2.4 PARÂMETROS DE DISPERSÃO DO GÁS .....	19
2.5 A C3P NO CONTEXTO DA FLOTAÇÃO EM COLUNA: ESTADO DA ARTE.....	21
2.5.1 Flotação de finos de fluorita.....	23
2.5.2 Flotação de Limpeza .....	24
2.5.2.1 Concentrados primários de chumbo e zinco .....	24
2.5.2.2 Concentrados primários de cobre .....	26
2.5.3 Flotação Rougher-Flash .....	28
2.5.3.1 Minério de ouro .....	28
2.5.3.2 Minérios de cobre.....	28
2.5.4 Tratamento de Rejeitos.....	29
2.5.4.1 Rejeitos de minérios de ouro .....	29
2.5.4.2 Rejeitos de minérios de cobre .....	33

3. EXPERIMENTAL .....	35
3.1 ESTUDOS EM COLUNA DE LABORATÓRIO (COLUNA DE 1'') .....	35
3.1.1 Materiais.....	35
3.1.1.1 Minério de fosfato .....	35
3.1.1.2 Reagentes .....	38
3.1.2 Métodos.....	39
3.1.2.1 Medidas de holdup .....	39
3.1.2.2 Determinação da distribuição do tamanho de bolhas.....	41
3.1.2.3 Avaliação da distribuição dos fluxos de água na C3P com o uso de traçadores solúveis.....	43
3.1.2.4 Estudos de flotação.....	44
3.2 ESTUDOS EM COLUNA PILOTO (COLUNA DE 4'').....	48
3.2.1 Materiais.....	48
3.2.1.1 Minério de Fosfato .....	48
3.2.1.2 Reagentes .....	48
3.2.2 Métodos.....	49
3.2.2.1 Ensaio em CCR.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
4.1 MEDIDAS DE DISPERSÃO DO GÁS: AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE BOLHAS (DB), HOLDUP DE AR ( $\epsilon_G$ ); VELOCIDADE SUPERFICIAL DO AR ( $J_G$ ) E FLUXO SUPERFICIAL DE BOLHAS ( $S_B$ ) .....	56
4.2 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA NA C3P COM O USO DE TRAÇADORES SOLÚVEIS.....	64
4.2.1 Estudos em sistema bi-fásico ar/líquido.....	64



4.2.2 Estudos de flotação com injeção de traçador em sistema tri-fásico sólido/líquido/ar .....	69
4.3 ESTUDOS DE FLOTAÇÃO EM ESCALA DE LABORATÓRIO (COLUNA DE 1'').....	75
4.3.1 Estudos de flotação em CCR.....	75
4.3.2 Estudos de flotação em C3P.....	77
4.4 ESTUDOS DE FLOTAÇÃO EM COLUNA PILOTO (COLUNA DE 4'') .....	84
4.4.1 Estudos em coluna convencional reta (CCR).....	84
4.4.1.1 Amostra de polpa AM 01 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	84
4.4.1.2 Amostra de polpa AM 02 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	87
4.4.1.3 Amostra de polpa AM 03 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	90
4.4.1.4 Amostra de polpa AM 04 – Zona de lavagem intermediária alta .....	93
4.4.2 Estudos em coluna modificada de três produtos (C3P).....	96
4.4.2.1 Amostra de polpa AM 01 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	96
4.4.2.2 Amostra de polpa AM 02 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	100
4.4.2.3 Amostra de polpa AM 03 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	103
4.4.2.4 Amostra de polpa AM 04 – Zona de lavagem intermediária baixa .....	106
5. CONCLUSÕES.....	109
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
APÊNDICES .....	119
Apêndice I – Determinação do tamanho de bolhas pelo método do drift flux (Yianatos et al., 1988).....	119
Apêndice II – Aspectos construtivos da coluna modificada de três produtos de laboratório .....	121

Apêndice III – Balanços de massa e metalúrgico para ensaios em CCR em escala piloto .....	124
Apêndice IV – Balanços de massa e metalúrgico para ensaios em C3P em escala piloto .....	133

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo desenvolver estudos fundamentais e de flotação com minério de fosfato em coluna modificada de três produtos (C3P) em escala de laboratório com uma coluna de 2,54 cm de diâmetro e altura total de 2,20 m, e em escala piloto em uma coluna de 9 cm de diâmetro e 7,20 m de altura total. As principais modificações na C3P em relação à coluna convencional reta (CCR) são a separação seletiva do material drenado da fase espuma com o uso de um dispositivo coletor situado rente à zona de coleção e a adição de uma segunda água de lavagem acima do ponto da entrada da alimentação (zona de lavagem intermediária). Pelo fato de produzir os produtos concentrado, drenado e rejeitos, a célula de flotação recebe o nome de “coluna de três produtos – C3P-LTM”. Em escala de laboratório foram determinados os parâmetros de dispersão do gás em sistema bi-fásico através da medição da distribuição de tamanho de bolhas e diâmetro médio de *Sauter* (db) utilizando a técnica LTM-BSizer de forma comparativa com o *drift flux*, medidas de *holdup* (εg) aparente na zona de coleção, cálculo da velocidade superficial do gás (Jg) e determinação do fluxo superficial de bolhas (Sb) para diferentes concentrações de espumante *Dowfroth 250* (DF 250). Também foram realizados estudos com injeção de traçadores solúveis em água em sistema bi-fásico e tri-fásico com o objetivo de avaliar a distribuição da água da alimentação, da água de lavagem I e da água de lavagem II sobre os produtos da coluna. Por fim, foram realizados estudos de flotação com minério de fosfato de forma comparativa com a coluna convencional reta (CCR) onde foi avaliado o efeito da variação da velocidade superficial das duas águas de lavagem adicionadas na C3P sobre a recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor e recuperação metalúrgica de  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$  nos três fluxos da coluna. Nos estudos de flotação em escala piloto com finos de minério de fosfato, também realizados de forma comparativa com a CCR, foi avaliado o efeito da variação da velocidade superficial da água de lavagem II e de aspectos geométricos da C3P. As medidas de dispersão do gás mostram que o diâmetro médio de bolhas geradas pelo borbulhador da coluna variam entre 1000 e 500 μm para concentração de *Dowfroth 250* entre 5 e 40 mg·L<sup>-1</sup>, *holdup* variando entre 4 e 25% aproximadamente e fluxo superficial de bolhas (Sb) entre 20 e 90 s<sup>-1</sup>. Foi constatada uma relação linear entre o *holdup* de gás e o Sb nas condições avaliadas. Os resultados dos estudos de flotação com minério de fosfato em C3P mostram que a coluna modificada produz concentrados com maior teor de  $P_2O_5$  e menor conteúdo de impurezas ( $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$ ). A recuperação mássica no concentrado variou entre 15 e 21 %, a recuperação

metalúrgica de apatita variou entre 40 e 70 %, com teor de  $P_2O_5$  de até 37,6%, teor de  $Fe_2O_3$  entre 3,3-6% e teor de  $SiO_2$  entre 0,8 e 2,5%. Em relação ao drenado, foi observado que quando a C3P opera em condição aberta ( $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a recuperação em massa e metalúrgica dessa corrente varia entre 5 e 10% e para valores superiores a  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  tanto a recuperação em massa quanto a metalúrgica de apatita diminuem muito variando entre 0,5 e 3% aproximadamente. Nessas condições, as perdas de apatita são quase exclusivamente pelo rejeito. Os estudos com injeção de traçador no ponto da alimentação, em sistema bi-fásico e tri-fásico mostram que a água de lavagem II evita o arraste de água da alimentação para o produto drenado. A adição do traçador no ponto de adição da água de lavagem II mostra que a maior parte do fluxo dessa água se reporta diretamente para o produto drenado, porém, evita a transferência de massa para essa corrente. A adição de traçador no ponto de adição da água de lavagem I (zona de espuma) indica que o fluxo dessa água vai todo para o drenado, diminuindo assim o arraste de partículas finas e ultrafinas de ganga para o concentrado. Em escala piloto, os resultados dos estudos de flotação com a C3P operando com zona de lavagem intermediária curta mostraram um baixo grau de enriquecimento e de remoção de impurezas tanto na corrente do concentrado como no drenado. Entretanto, foi possível (quando não foram alcançados na CCR) atingir os teores exigidos para os concentrados de flotação, enriquecendo os concentrados até os padrões exigidos, com uma diminuição na recuperação mássica e metalúrgica no concentrado. O drenado possui alto conteúdo de impurezas e apresentou recuperação metalúrgica de apatita de 6-7% aproximadamente. Ainda, para a C3P com zona de lavagem intermediária curta, os teores de CaO (apatita) nos rejeitos são menores que os obtidos em CCR, explicados pela transferência dessa fração a corrente do drenado ao invés de se reportar ao rejeito. Os resultados dos estudos de flotação em C3P operando com zona de lavagem intermediária alta e com a condição "aberta" da C3P ( $J_{W2} = 0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) mostram que é possível se atingir elevado grau de enriquecimento da corrente do concentrado com teores de  $P_2O_5$  da ordem de 39% (36,5% em CCR) e menor conteúdo de  $Fe_2O_3$ . Na corrente do rejeito são observadas menores perdas de apatita e maiores teores de óxidos de ferro e sílica. Os resultados sugerem que a C3P pode ser empregada como unidade de flotação de limpeza, reciclando o produto drenado ao eventual circuito *rougher* ou ao de deslamagem.

## ABSTRACT

The aim of this work was to develop fundamental studies and phosphate flotation in a modified flotation cell, named 3PC (or three-product column flotation) at laboratory scale, 2.54cm diameter and 2.20m height, and pilot scale, 9 cm diameter and 7.20m total height. Differences between the 3PC cell and the conventional column are that in the 3PC the froth separation zone is constituted of a drop back collector on third product, located below the froth zone and the cleaning zone at the top of the column, and uses a secondary wash water system between the feed and the froth zone. Gas dispersion was characterized, at laboratory scale, by measuring the bubble size (Sauter mean diameter) and its distribution; which was directly determined by image analyses using the LTM-BSizer and also calculated by the drift flux method; gas holdup, gas superficial velocity (gas rate) and from these the bubble surface area flux at different Dowfroth 250 concentrations. Moreover, studies with tracer liquids were carried out in both two and three phase systems aiming to evaluate the feed water and wash waters I and II distribution by the column products. The influence of wash waters I and II in the mass and metallurgical recoveries and  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$  and  $SiO_2$  grades was evaluated via comparative phosphate ore flotation studies in both conventional and 3PC cells. Furthermore, in the pilot phosphate ore flotation tests were evaluated the influence of wash water II flow rate and different column designs. Results obtained in the gas dispersion characterization show that the mean bubble size varies between 1000 and 500  $\mu m$  (10-40  $mg \cdot L^{-1}$  Dowfroth concentration); gas holdup between 4 and 25% and bubble surface area flux around 20 and 90  $m^2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ . Besides these results, a fairly linear relationship between experimental  $\epsilon_g$  and bubble superficial area flux ( $S_b$ ) was also established. In addition, laboratory 3PC phosphate ore flotation results show that the modified column produces higher  $P_2O_5$  grade concentrates and lesser impurities content ( $Fe_2O_3$  and  $SiO_2$ ). Mass recovery in the concentrate was around 15% and 21%, metallurgical recovery between 40% and 70%, with  $P_2O_5$  grade higher than 37%,  $Fe_2O_3$  grade of 3.3-6% and  $SiO_2$  of 0.8-2.5%. whereas, was observed that in the drop back product, when 3PC operates without wash water II, the mass and metallurgical recoveries vary between 5% and 10% and for values higher than 0.27  $cm \cdot s^{-1}$  both parameters decrease, varying from 0.5% to 3%. In such conditions, apatite losses are exclusive by the tailings product. The studies with liquid tracer injection in the feed point, for both two and three phase systems, shows that the wash water II avoid the water transference from the feed point to the drop back product. Moreover, injection of the liquid tracer in the wash water II

shows that this flux flows mainly to the drop back product, but, in the other hand, avoids the mass transference. Likewise, liquid tracer injection in the wash water I (froth zone) indicates that this flux flows directly to drop back product, reducing the gangue slimes degree of entrainment and entrapment. Further, flotation results obtained in pilot scale, with the 3PC operating with short intermediate region, show a lower enrichment ratio and impurities grade reduces in the concentrate and drop back products. In the other hand, 3PC concentrates obtained were of final concentrate quality, while this quality was not produced by the conventional column flotation. Although the drop back product shows high impurities grades and apatite metallurgical recovery moderate (5-20%), results obtained with 3PC operating with high intermediate region and wash water II in  $0.0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  show that it is possible to obtain concentrates higher than 39%  $\text{P}_2\text{O}_5$  grade and lesser  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content. Hence, the results obtained in this study suggest that 3PC may be used as a cleaner flotation stage, recycling drop back product to a desliming or rougher circuit.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<b>Símbolo/Abreviatura</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
$J_w$	Velocidade superficial da água de lavagem (CCR)	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
$J_{w1}$	Velocidade superficial da água de lavagem I (C3P)	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
$J_{w2}$	Velocidade superficial da água de lavagem II (C3P)	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
$J_a$	Velocidade superficial da alimentação	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
$J_g$	Velocidade superficial do ar	$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
$\epsilon_g$	<i>Holdup</i> de ar	%
$S_b$	Fluxo superficial de bolhas	$\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ( $\text{s}^{-1}$ )
$d_b$	Diâmetro de bolha	$\mu\text{m}$
BI	Bolhas de tamanho intermediário	$\mu\text{m}$
$\gamma$	Tensão superficial na interface líquido/ar	$\text{Nm}\cdot\text{m}^{-1}$
$N_s$	Velocidade periférica do impelidor	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$k$	Constante cinética de flotação	$\text{min}^{-1}$
CCC	Concentração crítica de coalescência	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
DTR	Distribuição de tempo de residência	min
A	Fluxo da alimentação	-
C	Fluxo do concentrado	-
D	Fluxo do drenado	-
R	Fluxo do rejeito	-

CCR	Coluna convencional reta	-
C3P	Coluna modificada de três produtos	-
FN	Finos Naturais	-



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema básico de uma coluna de flotação.....	6
Figura 2.2 Eventos marcantes no desenvolvimento e aplicação das colunas de flotação e principais aplicações da C3P na flotação de minérios (Adaptado de Aquino <i>et al.</i> , 2002a).....	7
Figura 2.3 Produção brasileira (a) comparativamente com as importações do país (b) para produtos intermediários, concentrado de rocha fosfática e ácido fosfórico (Loureiro <i>et al.</i> , 2005). ....	15
Figura 2.4. Fluxograma de processo da unidade da Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá (Guimarães e Peres, 2003). ....	18
Figura 2.5. Coluna modificada de três produtos (C3P).....	22
Figura 2.6. Flotação <i>rougher-flash</i> de partículas de ouro. Teor de ouro versus recuperação em função da velocidade de alimentação para a CCR e C3P ( $J_g$ de 1,1 e 1,9 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ).....	28
Figura 2.7. Grau de enriquecimento de Au para flotação de rejeitos (0,15-0,4 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) em função da velocidade superficial da $J_{W2}$ para estudos com e sem CAI prévio a flotação. <i>Condições:</i> $J_g = 1,56 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $J_{W1} = 0,29 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $J_a = 0,95 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Valderrama e Rubio, 2008).....	31
Figura 2.8. Flotação de rejeito de flotação de Au Grau (0,15-0,2 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ de Au). Resultados comparativos entre a CCR e C3P (+ CAI) em função de $J_g$ . <i>Condições:</i> $J_a = 0,95 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $J_{W1} = 0,29 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; $J_{W2} = 0,20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (Valderrama e Rubio, 2008). ....	32
Figura 2.9. Grau de enriquecimento de Au para flotação de rejeitos de Au (1-1,3 $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) em função da velocidade superficial do ar (Valderrama e Rubio, 2008).....	32
Figura 3.1. Ponto de coleta da amostra de Finos Naturais na usina de concentração.....	37
Figura 3.2. Distribuição granulométrica da amostra de FN. ....	37
Figura 3.3. Teor de $\text{P}_2\text{O}_5$ , CaO, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ e $\text{SiO}_2$ por faixa granulométrica para a fração < 44 $\mu\text{m}$ para a amostra dos FN.....	38
Figura 3.4. Desenho esquemático dos estudos de determinação de <i>holdup</i> aparente na zona de coleção da coluna. ....	41
Figura 3.5. Fluxograma empregado na determinação da distribuição de tamanho de bolha em coluna (bolhas geradas por tubo poroso – Rodrigues, 2004). ....	42

- Figura 3.6. Coluna de três produtos (C3P) – Desenho esquemático para os estudos de determinação de DTR da fase líquida e da distribuição da água de lavagem II drenado e rejeito..... 44
- Figura 3.7. Desenho esquemático do sistema montado para os estudos de flotação em C3P.. 46
- Figura 3.8. Coluna modificada de três produtos de laboratório (coluna de 1”). Detalhe da zona de inflexão e vista parcial do sistema utilizado para os estudos de flotação (Tanque pulmão de polpa; medidor de pH; bomba peristáltica para bombeamento da polpa)...... 47
- Figura 3.9. Tanque de condicionamento da polpa com o depressor e coletor. Escala de laboratório. .... 47
- Figura 3.10. Fluxograma esquemático da unidade piloto de flotação em coluna instalada na Usina de concentração da Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá. : (1) hidrociclone de classificação dos finos naturais (under 9); (2) bomba BM 301; (3) tanque de armazenamento 1 – TQ 300; (4) tanque de armazenamento 2 – TQ 301; (5) bomba de alimentação dos condicionadores – BM-302; (6) tanque de armazenamento Sabão de óleo de soja (coletor-espumante); (7) tanque de armazenamento do Fubá de milho gelatinizado (depressor); (8) tanque de armazenamento do regulador de pH (soda – 3%p/v); (9) tanque de condicionamento com depressor a ajuste de pH – CN-301; (10) tanque de condicionamento com o coletor/espumante - CN-302; (11) tanque de ajuste da porcentagem de sólidos – TQ-302; (12) bomba de alimentação à coluna de flotação – BM-301; (13) sistema de controle de nível da interface polpa/espuma; (14) bomba de retirada do rejeito – BM-303; (15) saída do rejeito; (16) rotâmetro para controle da injeção de ar; (17) coluna de flotação; (18) saída do produto concentrado; (19) rotâmetro para controle da injeção da água de lavagem; (20) bombas peristálticas para adição dos reagentes; (21) rotâmetro para controle da vazão da água de ajuste de porcentagem de sólidos na polpa..... 51
- Figura 3.11. Vista geral do sistema de flotação em coluna montado para estudos de flotação em CCR e C3P. .... 52
- Figura 3.12. Coluna modificada de três produtos piloto (4”). Seqüência de montagem e detalhes da zona de inflexão. Coluna operando em sistema bi-fásico (líquido/ar) e em sistema tri-fásico (sólido/líquido/ar). .... 54
- Figura 3.13 Desenho esquemático da coluna modificada de três produtos piloto. Em (a) C3P com zona de lavagem intermediária baixa e em (b) com zona de lavagem intermediária alta. .... 55

- Figura 4.1. Diâmetro médio de bolha em função da concentração de DF 250 e  $J_g$  constante em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . ..... 57
- Figura 4.2. Diâmetro de bolha (diâmetro médio de *Sauter*) em função da concentração de DF 250. Medidas realizadas no LTMBSizer ( $J_g$ , constante em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_a = 0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e calculados pelo método do *drift flux* (Yianatos *et al.*, 1988). ..... 58
- Figura 4.3. Tensão superficial em soluções aquosas em função da concentração de DF 250 para tensiômetros *Krüess* e *Nima* e os resultados reportados por Grau *et al.*, (2005). ..... 59
- Figura 4.4. *Holdup* em função da velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) para diferentes concentrações de DF 250 e  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . ..... 61
- Figura 4.5. *Holdup* em função da velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) para diferentes concentrações de DF 250 e  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . ..... 61
- Figura 4.6. Relação entre o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) e *holdup* de ar ( $\epsilon_g$ ) para  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . ..... 62
- Figura 4.7. Relação entre o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) e *holdup* de ar ( $\epsilon_g$ ) para  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . ..... 63
- Figura 4.8 Condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de *alimentação* da coluna. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). Condições:  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . ..... 64
- Figura 4.9. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado. Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de *alimentação* da coluna. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . ..... 65
- Figura 4.10. Condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado (a). e para medidas no concentrado e drenado (b) Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de adição da *água de lavagem I*. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . ..... 66
- Figura 4.11. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado. Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de adição da *água de lavagem II*. Volume de solução com

traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ..... 68

Figura 4.12. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P e distribuição granulométrica dos fluxos da C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,00 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: alimentação**..... 71

Figura 4.13. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: Água de lavagem II**..... 73

Figura 4.14. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: água de lavagem I**..... 74

Figura 4.15. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_W$ ) sobre a recuperação mássica (a) e metalúrgica de apatita (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 75

Figura 4.16. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_W$ ) no teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 76

Figura 4.17. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_{W1}$ ) no teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e de  $\text{SiO}_2$  (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no

condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 76

Figura 4.18. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 78

Figura 4.19. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 79

Figura 4.20. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação metalúrgica de apatita na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. .... 80

Figura 4.21. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação metalúrgica de apatita no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 80

Figura 4.22. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 81

Figura 4.23. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12..... 81

Figura 4.24. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =

60 g·t<sup>-1</sup>, Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1200 g·t<sup>-1</sup>, % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, J<sub>a</sub> = 0,66 cm·s<sup>-1</sup>, J<sub>g</sub> = 0,49 cm·s<sup>-1</sup>, pH de condicionamento = 12..... 82

Figura 4.25. Efeito da variação de J<sub>W1</sub> e J<sub>W2</sub> sobre o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja = 60 g·t<sup>-1</sup>, Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1200 g·t<sup>-1</sup>, % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, J<sub>a</sub> = 0,66 cm·s<sup>-1</sup>, J<sub>g</sub> = 0,49 cm·s<sup>-1</sup>, pH de condicionamento = 12..... 82

Figura 4.26. Efeito da variação de J<sub>W1</sub> e J<sub>W2</sub> sobre o teor de SiO<sub>2</sub> na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja = 60 g·t<sup>-1</sup>, Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1200 g·t<sup>-1</sup>, % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, J<sub>a</sub> = 0,66 cm·s<sup>-1</sup>, J<sub>g</sub> = 0,49 cm·s<sup>-1</sup>, pH de condicionamento = 12..... 83

Figura 4.27. Efeito da variação de J<sub>W1</sub> e J<sub>W2</sub> sobre o teor de SiO<sub>2</sub> no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja = 60 g·t<sup>-1</sup>, Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1200 g·t<sup>-1</sup>, % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, J<sub>a</sub> = 0,66 cm·s<sup>-1</sup>, J<sub>g</sub> = 0,49 cm·s<sup>-1</sup>, pH de condicionamento = 12..... 83

Figura 4.28. Recuperação em massa para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 800 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>a</sub> = 0,65 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 85

Figura 4.29. Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (a) e metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 800 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 86

Figura 4.30. Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de

fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 86

Figura 4.31. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 87

Figura 4.32. Recuperação em massa para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min. .... 88

Figura 4.33. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 89

Figura 4.34. Teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 89

Figura 4.35. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 90

Figura 4.36. Recuperação em massa para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 91

Figura 4.37. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e recuperação metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 92

Figura 4.38. Teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 92

Figura 4.39. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 93

Figura 4.40. Recuperação em massa para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 94

Figura 4.41. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e recuperação metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de



- fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 94
- Figura 4.42. Teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** Taxa de alimentação =  $45 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ; % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 19 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 11 min..... 95
- Figura 4.43. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 19 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 11 min..... 95
- Figura 4.44. Curva teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  versus recuperação metalúrgica de apatita para amostra de Finos Naturais considerando os resultados obtidos na flotação das amostras AM 01, AM 02, AM 03 e AM 04. Estudos de flotação em escala piloto. Coluna de 4”..... 96
- Figura 4.45. Recuperação em massa para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 97
- Figura 4.46. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e distribuição da apatita (b) para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 98
- Figura 4.47. Teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h

espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 99

Figura 4.48. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) para C3P (média de três amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min..... 99

Figura 4.49. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre a recuperação em massa nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 100

Figura 4.50. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e distribuição de apatita (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_{w1} = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 101

Figura 4.51. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min..... 102

Figura 4.52. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min. .... 102

Figura 4.53. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre a recuperação em massa nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 103

Figura 4.54. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e distribuição de apatita (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 104

Figura 4.55. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_{w1} = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 105

Figura 4.56. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens).

**Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 105

- Figura 4.57. Recuperação em massa para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 107
- Figura 4.58. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) distribuição de apatita (b) para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 107
- Figura 4.59. Teor (a) e distribuição (b) de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 108
- Figura 4.60. Teor (a) e distribuição (b) de  $\text{SiO}_2$  nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min. .... 108

## LISTA DE TABELAS

Tabela I – Localização das unidades de produção de ferro que utilizam colunas na flotação reversa de minério de ferro (Takata, 2006). .....	9
Tabela II – Localização das unidades de produção de fosfatos que utilizam colunas na flotação de apatitas (Takata, 2006). .....	11
Tabela III – Sistema mineral, escala de operação, dimensões e autores (diâmetro x altura da coluna) dos estudos realizados em C3P. ....	23
Tabela IV – Resultados comparativos de flotação em coluna de finos de fluorita. Média de três experimentos (Rubio, 1996). .....	23
Tabela V – Flotação em coluna de finos de fluorita: Comparativo de cinética de flotação entre CCR e C3P em função da faixa de tamanho de partículas (Rubio, 1996). ....	24
Tabela VI. Eficiências comparativas na flotação limpeza de PbS/ZnS entre a C3P e a coluna convencional, CCR. Valores obtidos variando $J_g$ entre 0,3-1,4 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . As alturas das distintas zonas na C3P foram: $Z_C=70$ cm, $Z_I=90$ cm e $Z_L=65$ cm e na CC foram $Z_C=130$ cm, e $Z_L=65$ cm (Cabral, 1995). .....	25
Tabela VII. Eficiências comparativas entre duas C3P com geometrias diferentes. 1 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária alta (90 cm) e 2 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária baixa (30 cm). Valores obtidos variando $J_g$ entre 0,3-1,4 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ (Cabral, 1995). ....	25
Tabela VIII. Qualidade do produto drenado na flotação limpeza de PbS/ZnS em duas C3P de diferente geometria. 1 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária baixa (30 cm); 2 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária alta (90 cm). Valores obtidos variando $J_g$ entre 0,3-1,4 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ . ....	26
Tabela IX. Amostras de concentrados primários com remoagem (ensaio 1 e 2) e sem remoagem (ensaios 3 e 4). C3P com $Z_C=100$ cm, $Z_I=90$ cm e $Z_L=40$ cm. ....	27
Tabela X – Valores médios obtidos para flotação de sulfetos de cobre em C3P (Rubio, 1996). .....	29
Tabela XI. Flotação na C3P do ouro contido no rejeito (Planta Matta). Efeito da velocidade superficial do ar nos parâmetros de separação. ....	30
Tabela XII. Flotação na C3P do cobre contido no rejeito. Efeito da $J_{W1} = 0,3$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (ensaio 1) e $0,2$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (ensaio 2). C3P com $Z_C=100$ cm, $Z_I=90$ cm e $Z_L=20$ cm (Rubio, 1996)...	33
Tabela XIII - Análise química da amostra de Finos Naturais. ....	36

Tabela XIV – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de $P_2O_5$ , teor de $Fe_2O_3$ e teor de $SiO_2$ para os estudos de flotação em C3P. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). <i>Condições:</i> Dosagem de sabão de óleo de soja = $60\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado = $1200\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, $J_a = 0,66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , $J_g = 0,49\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. ....	70
Tabela XV – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de $P_2O_5$ , teor de $Fe_2O_3$ e teor de $SiO_2$ para os estudos de flotação em CCP. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). <i>Condições:</i> Dosagem de sabão de óleo de soja = $60\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado = $1200\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, $J_a = 0,66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , $J_g = 0,49\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. ....	72
Tabela XVI – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de $P_2O_5$ , teor de $Fe_2O_3$ e teor de $SiO_2$ para os estudos de flotação em CCP. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). <i>Condições:</i> Dosagem de sabão de óleo de soja = $60\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado = $1200\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%, $J_a = 0,66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , $J_g = 0,49\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. ....	74
Tabela XVII – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 01. ....	85
Tabela XVIII – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 02. ....	88
Tabela XIX – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 03. ....	91
Tabela XX – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 04. ....	93

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o processo de flotação mostrou avanços significativos tanto metalúrgicos quanto econômicos com a aplicação industrial das colunas de flotação (Yianatos, 2002). Aplicada principalmente na concentração de minérios de granulometria fina e em estágios de limpeza, a coluna de flotação apresenta vantagens significativas quando comparadas às células mecânicas principalmente no que se refere a melhoramentos metalúrgicos, simplificação de circuitos e ganhos em custo operacional e de capital (Finch e Dobby, 1990). A aplicação desta tecnologia no Brasil iniciou há 15 anos e atualmente encontra-se em fase de expansão (Aquino *et al.*, 2002a).

A concepção básica do processo de flotação em coluna foi desenvolvida no início da década de 60 por Boutin e Tremblay, que registraram no Canadá a primeira patente sobre essa tecnologia. A partir de então foram realizados os primeiros programas experimentais em escala de laboratório (Wheeler e Boutin – 1966/1967) e desenvolvidas concepções alternativas por outros pesquisadores (Dell e Jenkis – 1976). Principalmente com base nos trabalhos de Wheeler e Boutin, a primeira implantação industrial usando essa nova tecnologia ocorreu em 1981 em Les Mines Gaspé, Canadá, onde duas colunas, uma de 45,7 cm e outra de 91,4 cm substituiu 13 células convencionais de flotação em um circuito de flotação de molibdenita (Habashi, 2006; Aquino *et al.*, 2002a). No Brasil, as primeiras colunas de flotação de grande porte entraram em operação em 1991, na Samarco Mineração, Mina do Germano, Mariana-MG. Logo em seguida, no ano de 1993, na unidade da Bunge Fertilizantes S/A, entraram em operação duas colunas de seção transversal retangular com dimensões de 3,0 x 4,5 m e altura de 14,5 m para a flotação de apatita nas frações ultrafina natural e gerada na moagem. Estas duas colunas substituíram os circuitos de flotação de barita e apatita dos dois fluxos da usina que resultaram em desativação de 24 células mecânicas. Em 1994, entraram em operação mais quatro colunas com seção transversal retangular e com as mesmas dimensões das colunas de finos, substituindo assim todas as células mecânicas no circuito de flotação (Takata, 2006).

As colunas, de um modo geral, aumentam a flotação de frações finas e ultrafinas e permitem eliminar, em parte, o arraste hidrodinâmico das partículas de ganga pela eficiente drenagem realizada com a adição de água de lavagem dentro da zona de espuma. Isto, associado ao contato em contracorrente entre as bolhas de ar e a polpa e as condições de fluxo mais tranquilas (sem agitação mecânica), fazem da coluna um equipamento eficiente para a recuperação de finos de minérios e enriquecimento de concentrados (Wheeler, 1988; Yianatos,

2002; Yianatos *et al.*, 2005). Comercialmente, as colunas são utilizadas na etapa de flotação de limpeza de cobre e molibdênio (Yianatos e Bergh 1992, 1999), flotação *rougher* de cobre (Massinaei *et al.*, 2008, 2009 (a) e (b)) zinco, chumbo, estanho, além de variados usos em minerais não metálicos (fosfatos, fluorita, calcita), carvão (Finch e Dobby, 1990) e em aplicações como na recuperação de prata de resíduos de lixiviação de concentrados de zinco (Aquino *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2002). Apesar de todos os avanços, a coluna de flotação apresenta limitações tais como a baixa eficiência metalúrgica no processamento de partículas grosseiras ou com alta gravidade específica (Huls e Williams, 1993, Uribe-Salas *et al.*, 2003).

Embora tenham sido desenvolvidas diferentes concepções para as colunas de flotação, o tipo comumente conhecido como “Coluna Canadense” apresenta as características básicas utilizadas em unidades industriais (Aquino *et al.*, 2002a). A última geração de células tipo colunas incluem no desenho original melhoras, dentre as quais destacam-se:

1. Colunas com reatores/contatores externos (Tortorelli *et al.*, 1997; Martins *et al.*, 2004) (coluna com reator USBM) (Finch e Dobby, 1990; Foot *et al.*, 1986), Cominco (Murdock, 1992), Microcel<sup>TM</sup> (Yoon *et al.*, 1989; Massinaei *et al.*, 2008; 2009 (a) e (b));
2. Colunas com defletores (*baffles*) longitudinais para reduzir o grau de mistura (Yianatos e Bergh, 1992; Yianatos *et al.*, 2005), e colunas com defletores horizontais para melhorar a eficiência de limpeza (Kawatra e Eisele, 1993);
3. Coluna modificada de três produtos (C3P-LTM) utilizada para obtenção de concentrados com teores finais maiores do que os alcançados em colunas convencionais (López, 1991; Rubio e López, 1992; Santander, 1993; Santander *et al.*, 1994; Cabral, 1995; Rubio, 1996; Cabral e Rubio, 1996; Valderrama, 1997; Valderrama *et al.*, (2000; 2002); Valderrama e Rubio (2008).

O projeto da célula C3P foi baseado em uma coluna modificada por (Falutsu e Dobby, 1989a; 1989b) utilizada para determinar e caracterizar o material que retorna da zona de espuma à zona de coleção como material drenado (*drop back*). O projeto desenvolvido no LTM-UFRGS segue alterações na geometria, uso de diferentes parâmetros operacionais e aplicação a sistemas minerais. As principais modificações na C3P são a separação seletiva do material drenado da espuma, com o uso de um “coletor”, situado rente à zona de coleção e a adição de uma segunda água de lavagem acima do ponto de entrada da alimentação (zona intermediária). Pelo fato de produzir os produtos concentrado, drenado e rejeitos, a célula de flotação recebeu o



nome de “coluna de flotação modificada de três produtos, C3P”. A coluna modificada, C3P, apresenta vantagens significativas em relação à coluna convencional reta, produzindo concentrados de maior teor. Esta melhor performance é devida à eliminação parcial de finos de ganga arrastados na zona intermediária e ao fato do produto drenado da fase espuma não se acumular na interface polpa-espuma, como ocorre na coluna reta, proporcionando a ausência deste material na zona de coleção (mistos e ultrafinos de ganga) (Rubio, 1996; Rubio e López, 1992).

O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar parâmetros operacionais da célula coluna de três produtos (C3P-LTM) e mostrar o potencial desta na flotação de finos de minério de fosfato em escala de laboratório e piloto.

Os objetivos específicos foram:

1. Avaliação de parâmetros de dispersão do gás (medidas de *holdup*, tamanho de bolhas e velocidade superficial) em CCR-C3P;
2. Avaliação da distribuição da água da alimentação e das águas de lavagem I e II sobre os três fluxos da C3P com o uso de traçadores solúveis em água;
3. Estudos de flotação com finos de minérios de fosfato em escala de laboratório e em escala piloto como forma de avaliar o potencial da coluna modificada de três produtos para obtenção de concentrados de flotação de alto teor.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais do processo de flotação em coluna

Na década de 60, Boutin e Tremblay (1962) registraram uma patente referente à técnica de flotação em coluna e a empresa “Column Flotation Co, of Canada Ltd” foi a primeira companhia fundada nos anos 60 com o objetivo de desenvolver e introduzir essa tecnologia em escala industrial (Rubinstein, 1994). A partir de então, foram registrados diversos esforços no sentido de viabilizar a implantação dessa tecnologia em escala industrial, dentre os quais se destacam as aplicações realizadas pelo Dr. D.A. Wheeler (1966), considerado o “pai” da Coluna Canadense. Finalmente, em 1982 Coffinn e Mischczak relataram que as primeiras colunas de flotação industrial de sucesso foram instaladas em uma planta de concentração de molibdenita em Lês Mines Gaspé, no Canadá. Essas colunas foram utilizadas em estudos hidrodinâmicos das seções de coleta e de limpeza conduzidos pelos pesquisadores Gleen Dobby e Juan Yianatos sob orientação do professor Finch, na Universidade de McGill, Canadá (Oliveira e Aquino, 2005).

Nas últimas décadas, o processo de flotação registrou um significativo avanço pela introdução de uma nova tecnologia oferecida pelas colunas de flotação. A importância desse tipo de equipamento pode ser constatada por meio das melhorias substanciais dos concentrados obtidos nas colunas em diversas unidades industriais, com aplicação a diferentes tipos de minérios. Frequentemente, soma-se às melhorias no desempenho metalúrgico, uma economia nos custos de capital e de operação. Tais fatores têm sido decisivos para a aplicação das colunas em processos de flotação, tanto para novos projetos como para expansões industriais (Aquino *et al.*, 2002a). Industrialmente as colunas são utilizadas na etapa de flotação de limpeza de cobre e molibdênio (Yianatos *et al.*, 1992; 1999) zinco, chumbo, além de variados usos em minerais não metálicos tais como fosfatos (Guimarães e Peres, 2003; 2004), estudos piloto de flotação de fluorita (Brum *et al.*, 2005a,b; 2007; Aliaga *et al.*, 2006; Ciribeni *et al.*, 2007; Sampaio *et al.*, 2007, calcita e carvão (Finch e Dobby, 1990).

Embora tenham sido desenvolvidas diferentes concepções para as colunas de flotação, o tipo comumente conhecido como “Coluna Canadense” apresenta as características básicas utilizadas em unidades industriais (Aquino *et al.*, 2002a). A alimentação da polpa, previamente condicionada, é feita aproximadamente 2/3 da altura da coluna a partir de sua base. Na zona de coleção, as partículas provenientes da alimentação da polpa são contatadas em contracorrente

com o fluxo de bolhas de ar produzido pelo aerador instalado na parte inferior da coluna. As partículas hidrofóbicas colidem e aderem às bolhas ascendentes, sendo transportadas até a zona de limpeza, constituída por uma camada de espuma de até 1 metro de espessura. Por outro lado, as partículas hidrofílicas ou pouco hidrofóbicas e, portanto, não aderidas às bolhas, são removidas na base da coluna (Ityokumbul *et al.*, 1995; Yianatos, 2002; Yianatos *et al.*, 2005). Na parte superior da coluna é adicionada água de lavagem com auxílio de dispersores, visando permitir uma adequada distribuição de água no interior da camada de espuma. A água de lavagem desempenha um papel de fundamental importância neste processo para eliminação de partículas arrastadas pelo fluxo ascendente e para estabilização da espuma (Yianatos, 2002).

A coluna de flotação difere da célula mecânica convencional principalmente em quatro aspectos básicos:

- geometria (relação altura/diâmetro);
- água da lavagem;
- ausência de agitação mecânica;
- sistema de geração de bolhas.

As colunas industriais têm um diâmetro efetivo de seção transversal variando entre 0,3 a 5,5 metros, podendo ser adotadas seções retangulares ou circulares. Colunas com diâmetro efetivo superior a 1,5 metros até então eram normalmente compartimentadas por meio de *baffles* verticais com o objetivo de minimizar os efeitos de turbulência interna. Entretanto, os últimos modelos de colunas com diâmetros de até 5,5 m não empregam mais defletores. A altura total das colunas pode variar em função das características operacionais requeridas, notadamente para tempos de residência exigidos (Aquino *et al.*, 2002a), entretanto a maioria das colunas industriais tem uma altura variando entre 10-14 m (Yianatos, 2002).

A Figura 2.1 apresenta um desenho esquemático deste equipamento considerando um contato em contra-corrente entre a polpa e o leito de bolhas ascendentes (Finch e Dobby, 1990; Yianatos, 2002).

A coluna de flotação é dividida em duas zonas distintas:

- zona de coleção: também chamada de zona de recuperação ou zona de concentração, entre a interface polpa/espuma e o sistema de aeração;
- zona de limpeza: também conhecida como zona de espuma, entre a interface polpa/espuma e o transbordo (Finch e Dobby, 1990).

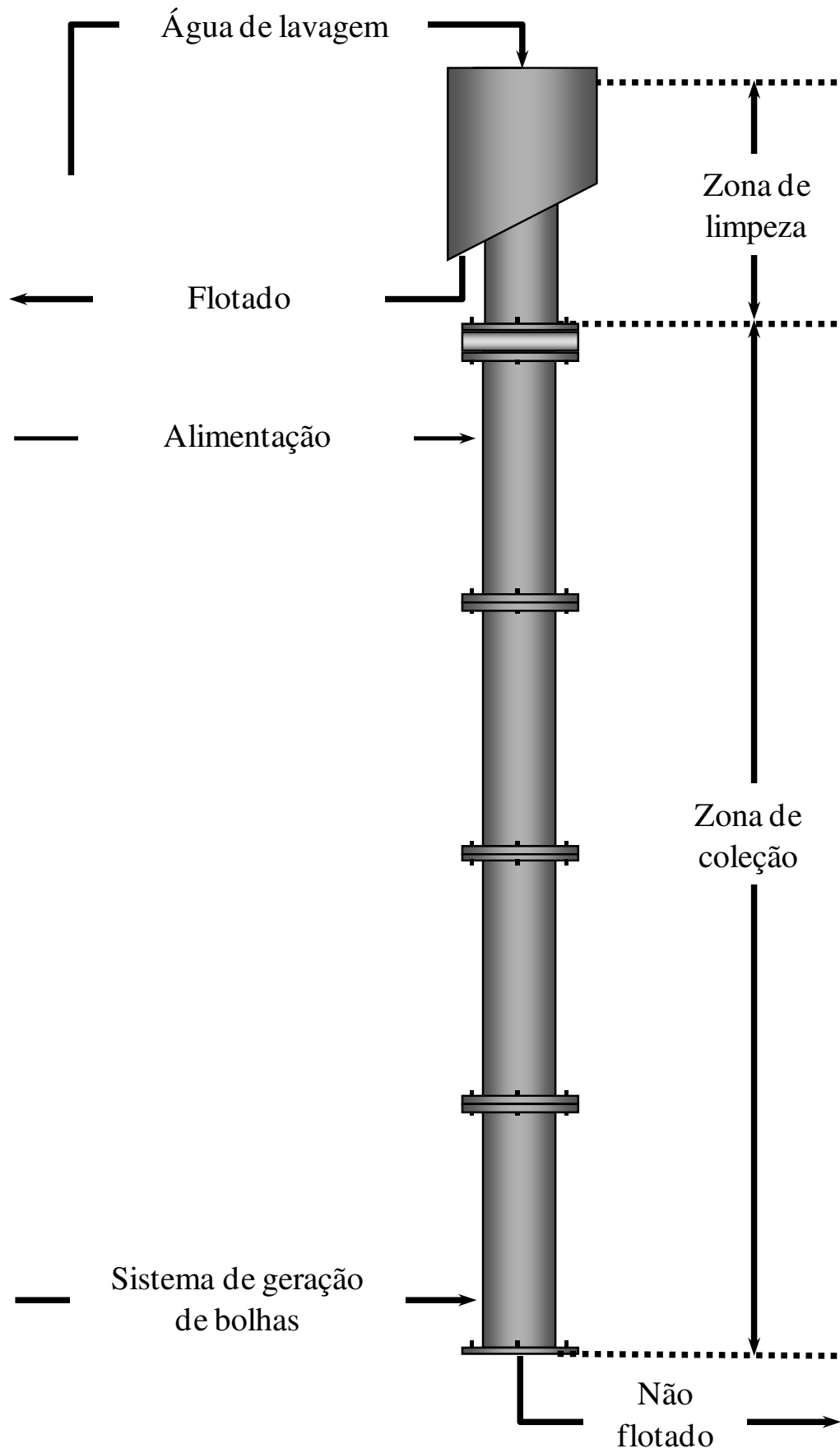


Figura 2.1 Esquema básico de uma coluna de flotação.

A última geração de células tipo colunas incluem no desenho original melhorias, dentre as quais destacam-se as colunas com reatores/contatores externos (Tortorelli *et al.*, 1997; Martins *et al.*, 2004; ) (coluna com reator USBM) (Finch e Dobby, 1990; Foot *et al.*, 1986), Cominco (Murdock, 1992), Microcel<sup>TM</sup> (Yoon *et al.*, 1989a), colunas com modificações internas (coluna empacotada (Yang, 1988; 1991), colunas com defletores (*baffles*) longitudinais para reduzir o grau de mistura (Yianatos e Bergh, 1992a), e coluna modificada de três produtos (C3P-LTM) utilizada para obtenção de concentrados com teores finais maiores do que os alcançados em colunas convencionais (López, 1991; Rubio e López, 1992; Santander, 1993; Santander *et al.*, 1994; Cabral, 1995; Rubio, 1996; Cabral e Rubio, 1996; Valderrama, 1997; Valderrama *et al.*, 2000; 2002; Valderrama e Rubio, 2008).

A Figura 2.2 apresenta um cronograma simplificado de eventos que podem ser considerados importantes no desenvolvimento e na implantação das colunas de flotação e as principais aplicações da C3P na flotação de minérios. No Brasil, os primeiros trabalhos em laboratório ocorreram em 1985 e a primeira implantação industrial data de 1990. A partir daí foram registrados, no Brasil, cerca de 15 novos projetos industriais com utilização de colunas de flotação (Aquino *et al.*, 2002a).

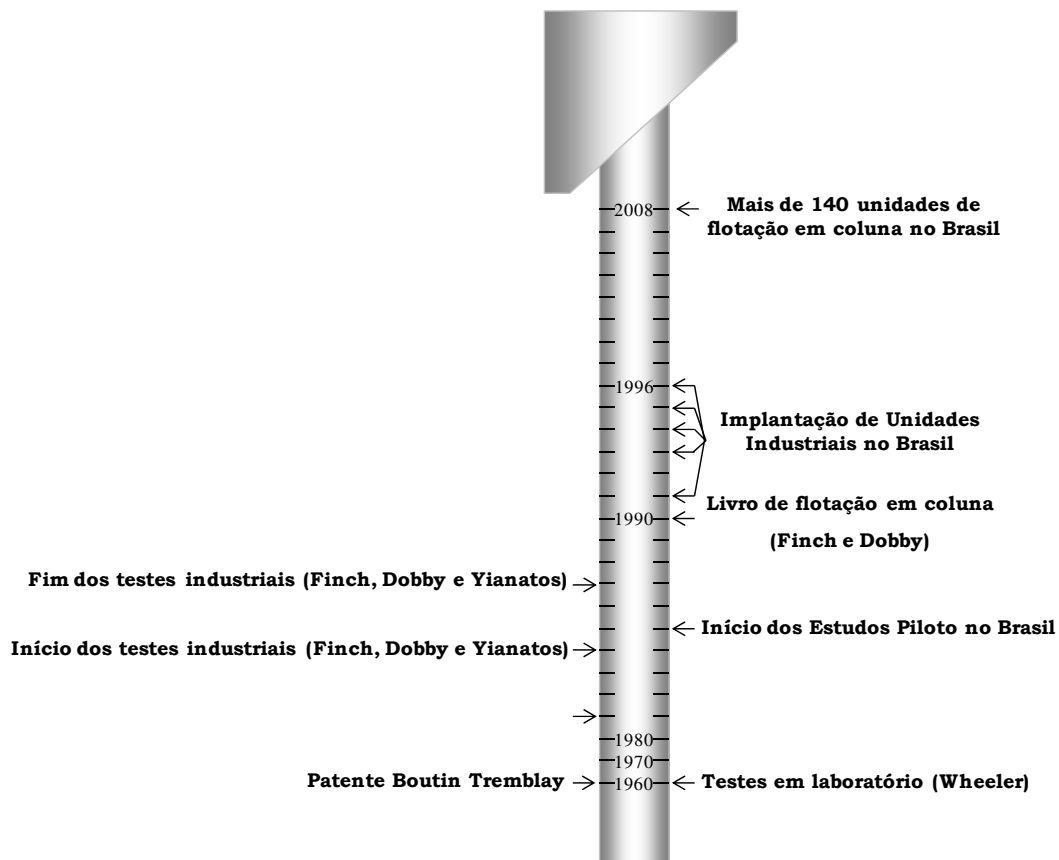


Figura 2.2 Eventos marcantes no desenvolvimento e aplicação das colunas de flotação e principais aplicações da C3P na flotação de minérios (Adaptado de Aquino *et al.*, 2002a).

Desde o início do desenvolvimento da tecnologia de flotação em coluna foram introduzidos alguns termos com objetivo de quantificar as variáveis operacionais. São descritos, a seguir, os termos mais importantes utilizados nesta tecnologia (Aquino *et al.*, 2002a).

- **Holdup (%)** – é a fração volumétrica ocupada por uma das três fases em um dado ponto da coluna. Assim, o *holdup* de gás é normalmente determinado na seção de coleta e representa uma medida de quantidade de ar, expressa em percentagem do volume total ocupada pelo gás;
- **Velocidade superficial ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )** – é a relação entre a vazão volumétrica de determinada fase e a área da seção transversal da coluna, isto é, ( $\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) ou  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Esta unidade permite a comparação das variáveis operacionais entre colunas de dimensões diferentes;
- **Velocidade intersticial ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )** – é a relação entre a vazão volumétrica de determinada fase por unidade de área disponível para esta mesma fase. Num sistema de três fases – sólido, líquido e ar, a área ocupada por uma das três fases é a área total menos a área ocupada pelas outras duas fases;
- **Velocidade relativa** – é a velocidade resultante entre duas fases distintas. Esta velocidade é obtida pela diferença ou soma das velocidades absolutas de cada fase considerando, respectivamente, movimentos no mesmo sentido ou no sentido oposto;
- **Bias** – é a fração residual da água de lavagem adicionada no topo da coluna que flui através da seção de limpeza. Operacionalmente é quantificada pela diferença entre as vazões volumétricas de polpa da fração não flotada e da alimentação. Convencionalmente o *bias* é chamado positivo ou negativo quando a vazão volumétrica da polpa na fração não flotada é, respectivamente, maior ou menor do que a vazão volumétrica de polpa da alimentação;
- **Capacidade de carregamento ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}^2$ )** – é a maior vazão mássica de sólidos que pode ser descarregada por área de transbordo da coluna. A capacidade de carregamento pode ser determinada experimentalmente mantendo-se as condições operacionais da coluna constantes e variando a sua taxa de alimentação de sólidos até atingir um valor máximo de material flotado;
- **Capacidade de transporte ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}^2$ )** – é a razão mássica de sólidos descarregada por área de transbordo da coluna em uma dada condição operacional. Nas colunas industriais de grande porte a capacidade de transporte deve ser no máximo igual a um terço da capacidade de carregamento;
- **Capacidade de transbordo ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}$ )** – é a relação entre a vazão mássica de polpa e o perímetro de transbordo da coluna. Para colunas industriais o perímetro de transbordo não aumenta na mesma proporção da seção transversal da coluna dificultando o escoamento da polpa

flotada. Nestas circunstâncias são utilizadas calhas internas para aumentar o perímetro de transbordo da coluna;

- **Capacidade de carga ( $\text{g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^3$ )** – é a maior vazão mássica de sólidos flotada por unidade volumétrica de ar;
- **Convenção de fluxos** – são definidos como positivos os fluxos descendentes de sólido e líquido e o fluxo ascendente de ar.

## 2.2 Aplicações de colunas de flotação no Brasil

Os estudos de flotação em coluna no Brasil foram iniciados em 1985 pelo setor de tecnologia mineral do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN – para aproveitamento de finos de minério fósforo-uranífero de Itataia (Aquino e Furtado, 1985; Furtado e Peres, 1985; Aquino *et al.*, 2002). As primeiras colunas de grande porte entraram em operação em 1991, na Samarco Mineração, Mina do Germano, Mariana-MG, com colunas de 3,66 m e 2,44 m de diâmetro para flotação de quartzo em minério de ferro (Flint *et al.*, 1992). Posteriormente, outras empresas do setor instalaram colunas industriais de grandes dimensões com mesmo objetivo, ou seja, concentração de minério de ferro pela flotação reversa de quartzo. Atualmente, apenas no segmento de minério de ferro, existem no país 55 colunas industriais em operação, instaladas nas seguintes empresas (Tabela I) (Takata, 2006).

Tabela I – Localização das unidades de produção de ferro que utilizam colunas na flotação reversa de minério de ferro (Takata, 2006).

<b>Empresa</b>	<b>Nome da Mina</b>	<b>Localização</b>
Samarco Mineração S/A	Mina do Germano	Mariana – MG
Companhia Siderúrgica Nacional - CSN	Mineração Casa de Pedra	Congonhas – MG
Mineração Brasileiras Reunidas-MBR	Mina do Pico	Itabirito – MG
SA Mineração da Trindade	Mina da Alegria	Mariana – MG
Vale	Mina de Conceição	Itabira – MG
	Mina de Timbopeba	Mariana – MG

- **Samarco Mineração S.A.** – A usina de concentração de ferro da Samarco está localizada em Germano, município de Mariana, MG, a cerca de 150 km de Belo Horizonte. A Samarco é um empreendimento integrado, constituído por mina, usina de concentração, mineroduto, pelotização e terminal marítimo. A concentração do material deslamado é realizada por flotação do quartzo na flotação reversa de minério de ferro. Na flotação do material deslamado é utilizado um circuito misto de células mecânicas nas etapas *rougher* e *cleaner* e quatro colunas de seção circular de 3,6 m de diâmetro e 13,6 m de altura na etapa *re-cleaner*. A fração não flotada da etapa *re-cleaner* constitui o concentrado final e a fração flotada é peneirada em 104 µm, sendo que o *oversize* é rejeito final e o *undersize* é alimentado numa coluna de 2,4 m de diâmetro 11 m de altura. O flotado desta coluna é rejeito final e o não flotado é recirculado na alimentação das colunas *re-cleaner*. Para concentração das lamas do *overflow* dos ciclones da etapa de deslamagem do produto da moagem, a Samarco implantou um circuito constituído de duas colunas de seção retangular, sendo uma *rougher* de 3 x 4 x 12 m e outra *cleaner* de 3 x 2 x 12 m, obtendo-se no flotado da coluna *rougher* o rejeito de silicatos e no não flotado da coluna *cleaner* o concentrado de ferro.

- **Companhia Siderúrgica Nacional – CSN** – No município de Congonhas, MG está localizada a Mineração Cada da Pedra da Companhia Siderúrgica Nacional, onde é feita a lavra e beneficiamento de minério de ferro hematítico/itabirítico. O concentrado produzido nesta unidade é transportado para a sua unidade siderúrgica em Volta Redonda – RJ. Em virtude do elevado teor de sílica na fração fina (< 147 µm) foram implantadas quatro colunas de 4 m de diâmetro e 10 m de altura, sendo três na etapa *rougher* e uma na etapa *cleaner*.

- **Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR** – A MBR implantou na Mina do Pico em Itabirito, MG, uma unidade de concentração por flotação em coluna para redução do teor de sílica da fração fina do minério de ferro hematítico/itabirítico. Esta unidade é constituída de três colunas de 3,67 m de diâmetro e 14 m de altura, sendo duas na etapa *rougher* e uma na etapa *cleaner*.

- **S.A. Mineração da Trindade – SAMITRI** – A SAMITRI é uma empresa do grupo Belgo Mineira e tem como objetivo a extração e beneficiamento de minérios de ferro. As unidades industriais de concentração de minérios de ferro hematíticos e itabiríticos estão localizadas no município de Mariana a cerca de 150 km de Belo Horizonte, MG. Na unidade industrial de produção de *pellet feed* a partir de minério hematítico estão em operação três colunas de 2,4 m de diâmetro e 12 m de altura, sendo duas na etapa *rougher* e uma na etapa *cleaner*.



- **Vale** – A Vale é umas das principais empresas produtoras de minério de ferro no Brasil. Possui quatro unidades industriais de lavra e beneficiamento de minério de ferro, sendo três instaladas no estado de Minas Gerais nos municípios de Itabira e Mariana e uma no estado do Pará, em Carajás. Nas unidades industriais de Conceição (Itabira) e Timbopeba (Mariana) são utilizadas colunas na concentração de minério de ferro para flotação de quartzo. Em Conceição estão instaladas nove colunas de seção retangular de 3 x 5 x 14 m, sendo seis no estágio *rougher* e três no estágio *cleaner* e em Timbopeba três colunas de 4 m de diâmetro e 15 m de altura, sendo duas no estágio *rougher* e uma no estágio *cleaner*.

No setor de beneficiamento de fosfatos, as primeiras colunas industriais de grande porte entraram em operação em 1993, na Bunge Fertilizantes – Unidade de Araxá, onde foram instaladas seis colunas de seção retangular com dimensões de 3,0 x 4,5 x 14,5 m de altura, para flotação de barita, apatita grossa, finos naturais e finos gerados (Guimarães e Peres, 1999; Takata, 2006). Posteriormente, outras unidades de beneficiamento de fosfatos adotaram também a flotação em coluna, substituindo parte dos circuitos existentes para recuperação de grossos, finos e ultrafinos. Atualmente, colunas com seções circulares e retangulares estão presentes nas unidades industriais da Fosfertil em Catalão-GO e Tapira-MG, assim como na unidade da Bunge Fertilizantes em Cajati-SP. Ao todo, são 23 colunas industriais instaladas nas unidades de beneficiamento de apatita, distribuídas conforme mostrado na Tabela II.

Tabela II – Localização das unidades de produção de fosfatos que utilizam colunas na flotação de apatitas (Takata, 2006).

<b>Empresa</b>	<b>Nome da Mina</b>	<b>Localização</b>
Bunge Fertilizantes S/A	Mina do Barreiro Morro da Mina	Araxá – MG Cajati - SP
Fertilizantes Fosfatados S/A	Mina de Tapira Mina do Chapadão	Tapira – MG Catalão - GO
Galvani Ind. Com. e Serviços	Mina de Lagamar	Lagamar - MG

- **Bunge Fertilizantes S.A. – Unidade de Araxá** – A jazida de fosfato da Bunge em Araxá, MG, distante 340 km de Belo Horizonte, faz parte da chaminé alcalina do Barreiro. Essa unidade tem como objetivo a lavra, beneficiamento de rocha fosfática e fabricação de alguns tipos de fertilizantes. O beneficiamento de rocha fosfática é realizado por flotação em

coluna. Estão em operação seis colunas de seção retangular de 3 x 4,5 x 14 m e duas de seção circular distribuídas da seguinte maneira:

- uma coluna na flotação de apatita de finos naturais;
- uma coluna na flotação de apatita de finos gerados;
- uma coluna na flotação da barita do circuito de grossos;
- três colunas instaladas em paralelo na flotação de apatita do circuito de grossos;
- uma coluna na flotação de apatita do circuito de remoagem.
- uma coluna na flotação de apatita da fração afundada da flotação de grossos (flotação *scavenger*)

- **Bunge Fertilizantes S.A. – Unidade Cajati** – A primeira unidade industrial de produção de fertilizantes fosfatados do Brasil está localizada, a cerca de 250 km da cidade de São Paulo, em Cajati. Esta unidade beneficia rocha fosfática com ganga carbonática e tem como objetivo a produção de fertilizantes e de ração animal. O minério lavrado na mina alimenta uma usina de beneficiamento mineral, com etapas de moagem, separação magnética, deslamagem, flotação de grossos (partículas entre 500 - 44  $\mu\text{m}$ ), flotação de ultrafinos (44 - 5  $\mu\text{m}$ ), espessamento e filtração. Os produtos da planta, concentrado de rocha fosfática e calcário purificado, alimentam um complexo químico onde são produzidos fertilizantes fosfatados e ração para nutrição animal. Em agosto de 1999 foram instaladas cinco colunas de flotação de seção retangular distribuídas da seguinte maneira:

- duas colunas (3 x 4,5 x 14 m) na flotação *cleaner* do circuito de grossos;
- uma coluna (3 x 4,5 x 14 m) na flotação *rougher* do circuito de ultrafinos;
- uma coluna (3 x 4,5 x 14 m) na flotação *scavenger* do circuito de ultrafinos;
- uma coluna (3 x 4,5 x 10 m) na flotação *cleaner* do circuito de ultrafinos.

- **Fosfertil – Complexo de Mineração de Tapira** – A unidade industrial de concentração por flotação do minério fosfático da Fosfertil está instalada no município de Tapira, MG, a 350 km de Belo Horizonte. Esta unidade é constituída das etapas de britagem, moagem e separação magnética, flotação e espessamento. O circuito de concentração por flotação é dividido em grossos e finos com as etapas *rougher* e *scavenger* sendo realizadas em células mecânicas. Na etapa *cleaner* do circuito de grossos são utilizadas duas colunas de seção retangular de 3 x 6 x 14 m e na etapa *cleaner* do circuito de finos uma coluna de 3 x 5 x 14 m.

- **Fosfertil - Complexo de Mineração de Catalão** – O circuito de concentração por flotação é dividido em grossos, finos e ultrafinos. As colunas de flotação são utilizadas nos circuitos de finos e ultrafinos. No circuito de finos a etapa *rougher* é realizada em duas colunas

de seção retangular de 3 x 6 x 12,5 m e a etapa *cleaner* em uma coluna de 3 x 5 x 12,5. No circuito de ultrafinos é utilizada na etapa *rougher* uma coluna de seção retangular de 3 x 5 x 12,5 m e na etapa *cleaner* uma coluna de 3 x 4,5 x 12,5 m. Em ambos os circuitos, a etapa *scavenger* é realizada em células mecânicas.

A flotação em coluna está presente também em instalações industriais de concentração de cobre, feldspato, grafite, zinco, chumbo, talco e prata (Takata, 2006).

- **Nacional de Grafite Ltda – NGL** - A Companhia Nacional de Grafite é a principal companhia brasileira produtora de concentrado de grafite. Para isto, conta com três unidades industriais localizadas nos municípios de Pedra Azul, Salto da Divisa e Itapeçerica em Minas Gerais. Estas unidades utilizam o processo de concentração por flotação. As unidades de Pedra Azul e Salto da Divisa utilizam na etapa *cleaner* duas colunas de seção circular de 1,2 m de diâmetro e 10 m de altura e duas de seção quadrada de 1,2 x 1,2 x 10 m respectivamente.

- **Companhia Mineira de Metais – CMM** – A Companhia Mineira de Metais pertencente ao grupo Votorantin, possui uma unidade industrial de produção de concentrado de zinco sílico-carbonatado que utiliza o processo de flotação. Esta unidade está localizada no município de Vazante, MG e utiliza na etapa *cleaner* do circuito de flotação da calamina uma coluna de seção circular com 2 m de diâmetro e 13 m de altura.

- **Companhia Paraibuna de Metais – CPM** – A Companhia Paraibuna de Metais está localizada no município de Juiz de Fora, MG, a 200 km de Belo Horizonte e possui um complexo industrial para produção de zinco metálico a partir de concentrado de sulfeto de zinco. O processo consiste basicamente das etapas de ustulação, lixiviação com ácido sulfúrico, eletrólise e fundição. Na etapa de lixiviação do concentrado ustulado é formado um precipitado gelatinoso de ferro com elevado teor de prata e chumbo. A prata contida neste precipitado está na forma de sulfeto, associado ao enxofre, e é recuperada por flotação utilizando uma coluna de 1 m de diâmetro e 11,8 m de altura.

Em pouco mais de uma década, a população de colunas de flotação industriais no Brasil evoluiu para mais de 100 unidades, demonstrando o enorme sucesso deste processo para concentração de vários tipos de minérios. A flotação em coluna apresenta ainda um potencial para crescimento, devido aos planos de expansão das usinas de beneficiamento existentes e também devido aos projetos em andamento, de novas unidades industriais de tratamento de minérios (Takata, 2006).

### 2.3 Usos da flotação no beneficiamento de minérios de fosfato

O fósforo é essencial para a vida vegetal e animal, e juntamente com o nitrogênio e o potássio é indispensável na composição de fertilizantes usados na agricultura (Barros *et al.*, 2001). O fósforo existe com certa abundância na natureza (é o décimo elemento mais comum): 1050 ppm na crosta terrestre e teores médios de 8690 ppm em carbonatitos, 650 ppm em granitos e 390 ppm em diabásios. Seus minérios são rochas naturais que se formam em ambientes geológicos variados e que habitualmente contêm mais de um tipo de fosfato, sendo os mais comuns fosfatos de cálcio do grupo da apatita. Quando em quantidade e concentração suficientes, forma depósitos de valor econômico. Estes minérios podem então ser utilizados diretamente, ou após beneficiamento, na manufatura de produtos comerciais e sua principal aplicação é na agricultura como fertilizante (Loureiro *et al.*, 2005).

Da mina (rochas fosfatadas) até os produtos industriais (ácido fosfórico e seus derivados) e aos campos e cultivo (fertilizantes), o fósforo segue vários caminhos em função da tipologia do minério, da distribuição geográfica das jazidas e centros de consumo, das substâncias fabricadas, das características do parque industrial e da recuperação de subprodutos com valor comercial a que se associa e redução/eliminação de agentes causadores de impactos ambientais, nomeadamente metais pesados e elementos radioativos (Loureiro *et al.*, 2005).

O ciclo de suprimento do fósforo, elemento indispensável à vida porque entra na composição do núcleo das células de todos os seres vivos, inicia-se nos fosfatos naturais (a apatita é o principal), passa para o solo por solubilização, continua ao ser absorvido pelas plantas, entra na vida animal pela alimentação dos herbívoros e onívoros, havendo forte decaimento no seu retorno normal ao solo. Se a vegetação, natural ou de cultura, for constantemente removida (plântio-colheitas), é necessário compensar a perda de fósforo e outros oligo-elementos pela aplicação de fertilizantes. O ritmo de produção necessário para suprir de alimentos uma população que aumenta explosivamente passou a exigir o seu crescente emprego na agricultura. Carência de fertilizantes fosfatados nos terrenos de cultura traduz-se em atraso de crescimento e fraco desenvolvimento das plantas, isto é, rendimento e produção agrícolas reduzidos (Loureiro *et al.*, 2005).

Toda a demanda mundial de fósforo é proveniente da mineração, beneficiamento e processamento químico desse tipo de minério. Em 2005, a produção mundial de fosfato alcançou 148 milhões de toneladas, dos quais 143 milhões foram produzidos pelos 16 maiores produtores (países com produção superior a 1 milhão de toneladas). Os maiores produtores, em ordem

crecente são Estados Unidos, Marrocos, China, Rússia, Tunísia, Jordânia, Brasil, Israel, Síria, África do Sul, Egito, Austrália, Senegal, Índia, Togo e Canadá (Abouzeid, 2008). Os Estados Unidos é o maior produtor e consumidor de rocha fosfática e é o líder na produção e exportação de fertilizantes (Tao *et al.*, 2006). O Marrocos é o segundo maior produtor e exportador de fosfato e é o país que detém as maiores reservas mundiais (Sis e Chander, 2003).

O mercado nacional de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003 com uma taxa de crescimento anual de 8,6%, mas a produção interna satisfaz apenas uma parcela do consumo: fósforo, 52%; nitrogênio, 32%; e potássio 10%. Todos os indicadores mostram claramente que essa dependência continuará a aumentar fortemente se não forem implantados novos projetos, tanto mais que “em geral”, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira é insatisfatório. Em 2003, foram comercializadas no Brasil, 22,8 Mt de fertilizantes com crescimentos de 19,4 e de 33,3% relativos a 2002 (19,1 Mt) e a 2001 (17,1 Mt), respectivamente (Loureiro *et al.*, 2005). A Figura 2.3 (a) mostra a produção brasileira de concentrado de rocha fosfática, ácido fosfórico e produtos intermediários (MAP, DAP, SSP e TSP) em (b) as importações do país para os mesmos produtos. A produção brasileira de produtos intermediários, os de maior valor agregado, que representa 64,3% da demanda em 2000, passou, em 2003, a cobrir apenas 48% das necessidades do País, No mesmo período consumo aparente cresceu 27% enquanto que a produção interna aumentou apenas 18% (Loureiro *et al.*, 2005).

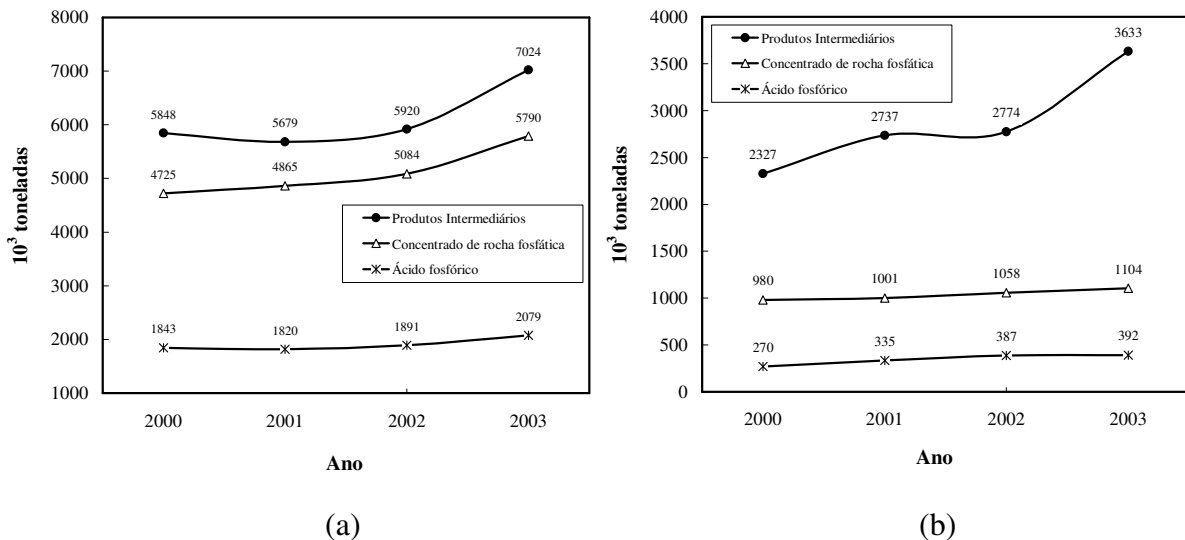


Figura 2.3 Produção brasileira (a) comparativamente com as importações do país (b) para produtos intermediários, concentrado de rocha fosfática e ácido fosfórico (Loureiro *et al.*, 2005).

O minério de fosfato requer processamento para reduzir o conteúdo de impurezas como quartzo, argilas, mica, calcita, dolomita e óxidos de ferro. Para a indústria de fertilizantes, o

concentrado fosfático deve conter um teor de  $P_2O_5$  maior que 30%; a relação  $CaO/P_2O_5$  ser menor que 1,6 e o conteúdo de  $MgO$  ser inferior a 1%. O beneficiamento de minérios fosfáticos por flotação tem sido importante desde a década de 1920 e tornou possível a concentração das partículas mais finas de apatita. Atualmente, mais de 2/3 do fosfato produzido na Flórida, Estados Unidos, e mais da metade do produzido mundialmente é através do processo de flotação. Outros métodos de beneficiamento como calcinação, lixiviação ácida e separação magnética aplicados na indústria têm certas desvantagens e limitações quando comparadas com a flotação (Sis e Chander, 2003).

Minerais semi solúveis como apatita ( $Ca_5(PO_4)_3(F, OH)$ ), fluorita ( $CaF_2$ ), calcita ( $CaCO_3$ ), sheelita ( $CaWO_4$ ), magnesita ( $MgCO_3$ ) e barita ( $BaSO_4$ ) são hidrofílicos, e a hidrofobização seletiva desses minerais é determinante para a efetividade do processo de flotação. A separação desses sais semi-solúveis de óxidos de ferro e de minerais silicatados tem sido efetiva através do processo de flotação. Entretanto a separação entre os sais (apatita da calcita por exemplo) é difícil dada a semelhança entre as propriedades química superficiais desses minerais (Sis e Chander, 2003; Ledo *et al.*, 2004). O tipo de depósito afeta fortemente a performance da flotação. Depósitos de origem sedimentar são tratados eficientemente por flotação quando a ganga é constituída basicamente de minerais silicatados. Entretanto, o beneficiamento de depósitos de rocha fosfática com alto conteúdo de carbonatos como ganga é um problema e não existe um processo eficiente para o tratamento desses minérios em escala industrial, embora muitos processos tenham sido desenvolvidos em escala de laboratório e piloto (Houot, 1982; Moudgil e Ince, 1988; Elgillani e Abouzeid, 1993; El-Shall *et al.*, 2004; Abouzeid, 2008). No caso da flotação direta, os minerais portadores de fosfato são flotados em pH básico com coletores aniônicos (ácidos graxos e seus sabões) e depressores para os minerais de ganga (fubás para depressão dos óxidos de ferro por exemplo). Na flotação reversa, são utilizadas aminas para coleta da sílica (Sis e Chander, 2003; Guimarães *et al.*, 2005). Também são utilizados óleos como coletor extender para diminuir o consumo dos coletores convencionais (El-Shall *et al.*, 2000).

O processo dominante utilizado no tratamento de minérios de fosfato silicatados na Flórida é o chamado *Crago Double Float* (Houot, 1982; Moudgil, 1988; El-Shall *et al.*, 2004; Abouzeid, 2008). Nesse processo, após deslamagem e classificação, a polpa é condicionada com ácidos graxos e óleo combustível em pH 9-9,5. Na etapa *rougher*, a apatita é flotada da sílica e dos carbonatos com consumo entre 360 e 900  $g \cdot t^{-1}$  de ácidos graxos e 450 e 1800  $g \cdot t^{-1}$  de óleo combustível. O concentrado *rougher* passa por etapas de acidificação com ácido sulfúrico e escrubagem para remoção dos coletores que cobrem a superfície da apatita. Daí segue para a

etapa *cleaner* onde é realizado a flotação inversa da sílica com aminas (consumo entre 45-90 g·t<sup>-1</sup>) e querosene (20 g·t<sup>-1</sup>) em pH 7. Um concentrado de flotação típico desse circuito contém em torno de 18-25% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no *rougher* e 30% no *cleaner* (Sis e Chander, 2003).

No Brasil em 2002 o consumo de fertilizantes foi de 16 milhões toneladas. A obtenção de fósforo se dá a partir do beneficiamento de rocha fosfática contendo apatita (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) como principal mineral portador de fósforo e óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e sílica (SiO<sub>2</sub>) como principais impurezas. A concentração é feita principalmente pelo processo de flotação, sendo que atualmente, a produção de concentrados fosfáticos a partir de partículas ultrafinas (< 40 µm – “lamas”) que até pouco tempo eram descartadas, representa de 11 a 13% da produção nacional. A produção de concentrados de apatita a partir das lamaz é importante para o aumento na recuperação de fosfato e redução de custos, contribuindo para o desenvolvimento da indústria de fertilizantes (Guimarães e Peres, 2002; 2003).

O início dos estudos de concentração de partículas ultrafinas (< 44 µm) de minério fosfático iniciou-se em 1984, na Ultrafertil-Catalão, utilizando ciclones de 25 mm e células mecânicas convencionais. Foram observados vários problemas no circuito o que inviabilizou a continuidade da sua implantação, como: instabilidade operacional dos ciclones (entupimentos, variações no corte e % de sólidos, etc); instabilidade na qualidade do concentrado final causada principalmente por descontrole dos níveis das células mecânicas, instabilidade da espuma, elevados teores de contaminantes e baixos níveis de recuperação de fósforo. A utilização de colunas de flotação, que proporciona adequada limpeza das espumas em diferentes estágios de flotação, foi um salto tecnológico que possibilitou a seletividade e, conseqüentemente, melhorou a qualidade do concentrado, o que não era obtido em células mecânicas convencionais. Com o desenvolvimento das colunas obteve-se seletividade e enriquecimento necessário exigido pelas especificações químicas nos concentrados apatíticos (Silva *et al.*, 2002).

Na unidade de concentração da Bunge Fertilizantes S/A no município de Araxá, Minas Gerais, o minério é previamente deslamado e classificado em três frações granulométricas denominadas grossas (d<sub>50</sub>=105 µm), finos naturais (d<sub>50</sub>=24 µm) e finos gerados (d<sub>50</sub>=15 µm). Essas frações são condicionadas e concentradas separadamente através do processo de flotação em coluna (Aquino *et al.*, 2002b). A Figura 2.4 apresenta o fluxograma de processo da unidade do período entre 1992-2003 (Guimarães e Peres, 2003).

Nesta unidade da Bunge, estão em operação cinco colunas de seção retangular de 3 x 4,5 x 14 m e duas de seção circular distribuídas da seguinte maneira:

- uma coluna na flotação de apatita de finos naturais;
- uma coluna na flotação de apatita de finos gerados;
- uma coluna na flotação da barita do circuito de grossos;
- três colunas instaladas em paralelo na flotação de apatita do circuito de grossos;
- uma coluna na flotação de apatita fazendo *scavenger* do afundado da flotação de grossos;
- uma coluna de flotação de barita.

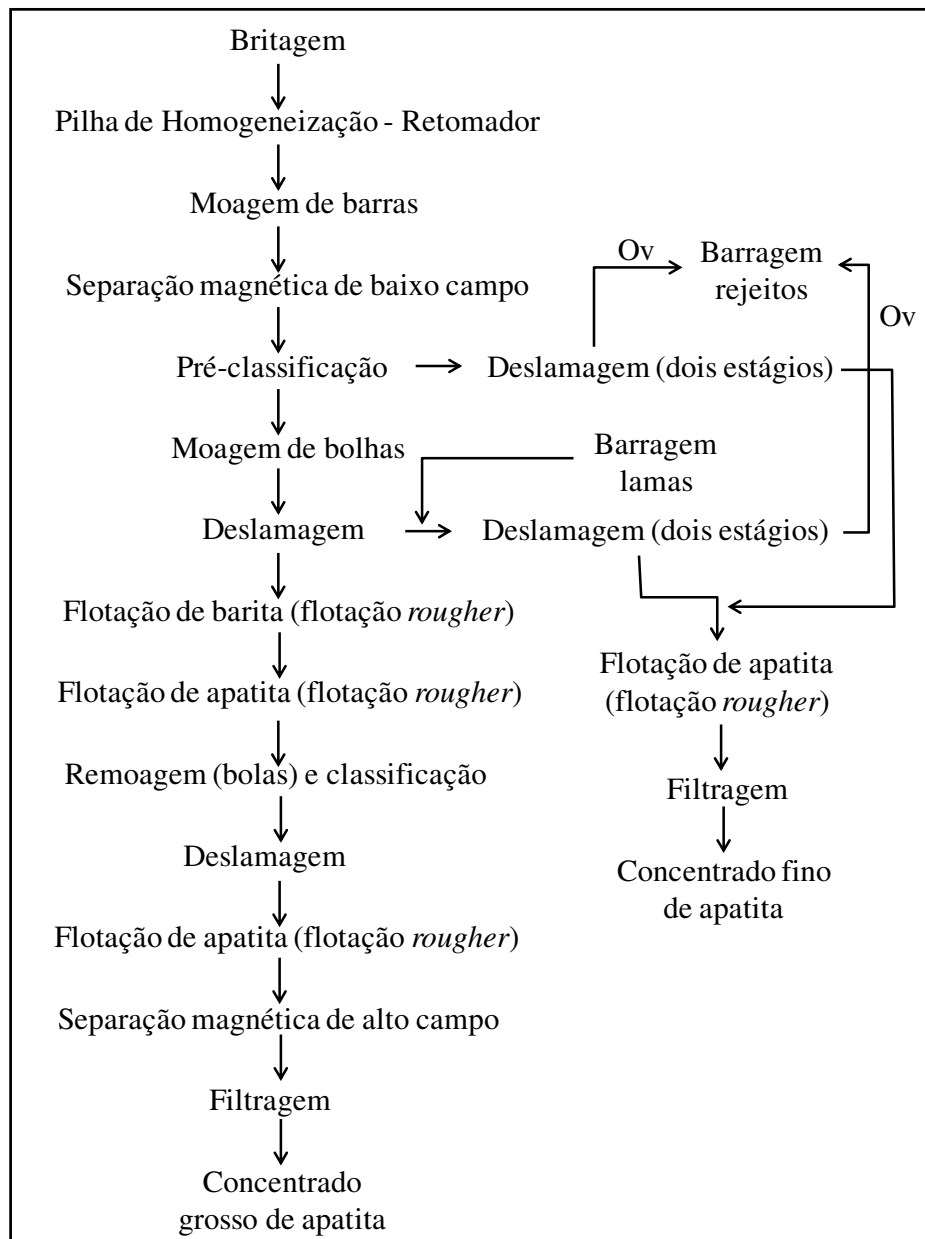


Figura 2.4. Fluxograma de processo da unidade da Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá (Guimarães e Peres, 2003).



## 2.4 Parâmetros de dispersão do gás

O desenvolvimento e automação de métodos precisos para avaliação da dispersão do gás em equipamentos de flotação é de grande importância para o projeto e desenvolvimento de equipamentos mais eficientes tanto para o tratamento de minérios quanto para a flotação aplicada ao tratamento de efluentes. Estudos desenvolvidos por Yianatos *et al.*, (1986; 1988. 1990); Gorain *et al.*, (1995a,b, 1996, 1997, 1998); Hernández *et al.*, (2003); Grau and Heiskanen, (2003); Dahlke *et al.*, (2005), Schwarz e Alexander (2006); Chen *et al.*, (2001); Finch *et al.*, (2000, 2006); Deglon *et al.*, (2000); Nasset *et al.*, (2006), Quinn *et al.*, (2007) possibilitaram obter medidas de parâmetros de dispersão do gás que incluem a velocidade superficial do gás ( $J_g$ ), o tamanho de bolha (normalmente o diâmetro médio de Sauter,  $d_{32}$ ), o *holdup* de gás ( $\epsilon_g$ ), e a partir da determinação destes é possível realizar a estimativa do fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ).

A velocidade superficial do gás ( $J_g$ ), normalmente expressa em  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , é definida como (Gallegos-Acevedo *et al.*, 2007):

$$J_g = \frac{Q_{ar}}{A} \quad (1)$$

onde  $Q_{ar}$  = vazão de gás ( $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (ar) e  $A$  = área da seção transversal do equipamento de flotação ( $\text{cm}^2$ ).

O  $J_g$  é a medida da capacidade de aeração do equipamento de flotação e é um importante parâmetro devido a sua influência no desempenho do processo. Em outras palavras, a medida local da velocidade superficial é um indicativo de como o ar que entra na célula de flotação é disperso (Gorain *et al.*, 1996). O  $J_g$  é um parâmetro conveniente, pois pode ser comparado para colunas de diferentes diâmetros. As medições de  $J_g$  tem sido realizadas principalmente pela captura de gás em um cilindro graduado (Gorain *et al.*, 1996) ou com métodos alternativos para quantificação do volume de gás capturado pelo cilindro (Yianatos *et al.*, 2001; Grau e Heiskanen, 2003).

A representação do diâmetro de bolha mais adotada é o diâmetro de Sauter, ou  $d_{32}$ , que é definido como diâmetro médio volume-superfície (Gorain *et al.*, 1997; Rodrigues e Rubio, 2003;

Schwartz e Alexander, 2006; Gallegos-Acevedo *et al.*, 2007) e é calculado pela seguinte equação:

$$d_{32} = \frac{\sum n_i d_{bi}^3}{\sum n_i d_{bi}^2} \quad (2)$$

onde  $d_{bi}$  = diâmetro de bolha e  $n_i$  = número de bolhas.

O *holdup* de gás é uma das variáveis determinantes da cinética de flotação. Para o caso de um sistema bi-fásico ar/líquido o *holdup* é determinado pela seguinte equação (Dobby, 1989):

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

onde  $\Delta H$  é a diferença de pressão lida nos manômetros e  $L$  é a distância entre os pontos de medida.

Combinando a área superficial de bolhas (função do tamanho de bolhas) com o  $J_g$  obtém-se o parâmetro fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) que pode ser medido segundo a equação (Finch e Dobby, 1990):

$$S_b = \frac{6 \cdot J_g}{d_{32}} \quad (4)$$

Finch *et al.*, (2000) sugerem que há uma relação linear entre o fluxo superficial de bolhas e o *holdup* de gás, tanto em colunas de flotação, quanto em células mecânicas convencionais. O  $S_b$  é um parâmetro emergente para descrever o desempenho das células de flotação (Gorain *et al.*, 1997). O  $S_b$  indica a capacidade do equipamento de flotação transportar sólidos para a zona de espuma. Entretanto a determinação do  $S_b$  nos equipamento de flotação é bastante complexa, pois depende da determinação precisa de outros parâmetros como o  $J_g$  e o  $d_{32}$ . Estimativas do  $S_b$  para uma célula FAI de 50L realizadas por Grau e Heiskanen (2003) indicaram que os valores estão limitados em uma estreita faixa de 27 a 36  $m^2 m^{-2} s$ . Os trabalhos de Gorain e colaboradores indicam valores de  $S_b$  entre 36 a 200  $m^2 m^{-2} s$ . Estudos de Deglon *et al.*, (2000) em células de flotação industrial sugerem valores de  $S_b$  entre 50 e 70  $m^2 m^{-2} s$ .

## 2.5 A C3P no contexto da flotação em coluna: estado da arte

O projeto da célula C3P foi baseado em uma coluna modificada por Falutsu e Dobby (1989a; 1989b) utilizada para determinar e caracterizar o material que retorna da zona de espuma à zona de coleção como material drenado (*drop back*). Dobby (1984), Rubinstein e Gerasimenko (1993), Rubinstein (1994) e Rubinstein e Badenicov (19995) descrevem uma coluna com *design* semelhante, porém sem especificar resultados obtidos. Gallegos-Acevedo *et al.*, (2007) também utilizaram um aparato semelhante ao descrito por Falutsu e Dobby para determinar a o carregamento das bolhas de ar na fase espuma e com isso estimar o fluxo de massa de sólidos no concentrado, e Ata *et al.*, (2002) (com equipamento similar) avaliaram a coleção de partículas hidrofóbicas na fase espuma introduzidas na coluna através da água de lavagem.

O projeto desenvolvido no LTM-UFRGS segue alterações na geometria, uso de diferentes parâmetros operacionais e aplicação a sistemas minerais. As principais modificações na C3P (Figura 2.5) são a separação seletiva do material drenado da espuma, com o uso de um “coletor”, situado rente à zona de coleção e a adição de uma segunda água de lavagem acima do ponto de entrada da alimentação (zona intermediária). Pelo fato de produzir os produtos concentrado, drenado e rejeitos, a célula de flotação recebeu o nome de “coluna de flotação modificada de três produtos, C3P”.

De um modo geral na C3P são distinguidas cinco zonas:

- a) Zona de coleção: localizada entre o borbulhador e o ponto de alimentação (tubo 1);
- b) Zona de lavagem intermediária: localizada entre a alimentação e o ponto de adição da segunda água de lavagem (tubo 2);
- c) Zona de inflexão: localizada entre o ponto de adição da água de lavagem II e a parte superior do tubo 4 (tubo 3);
- d) Zona de partículas drenadas: localizada do ponto de inflexão até o final do tubo 2;
- e) Zona de limpeza: localizada entre o topo da coluna e o extremo superior do tubo 2.

A polpa previamente condicionada é alimentada a aproximadamente 2/3 do topo da coluna onde entra em contato com as bolhas ascendentes geradas com um tubo poroso localizado na base da coluna (tubo 1). Os agregados bolha/partícula passam para a zona de lavagem intermediária da coluna (tubo 4) onde sofrem a lavagem realizada pela água de lavagem II, que

tem a função de evitar que as partículas arrastáveis de ganga e com menor hidrofobicidade se dirijam até a zona de espuma, saindo assim pela corrente do rejeito. As partículas com maior hidrofobicidade que resistem a ação de limpeza da água de lavagem II, passam pela inflexão (tubo 3) e se dirigem até a zona de limpeza (zona de espuma – tubo I), onde sofrem a ação da água de lavagem I, que tem mesma função desempenhada nas colunas convencionais. As partículas drenadas pela água de lavagem na espuma constituem o *drop back*, sendo retiradas da coluna no extremo inferior do tubo 2 formando o produto drenado. As partículas de mais alta hidrofobicidade e de alta cinética de flotação, resistem a ação das duas águas de lavagem, se dirigindo ao produto concentrado, no extremo superior da coluna (tubo 1), constituindo um produto de alto teor de material de valor e baixo conteúdo de impurezas.

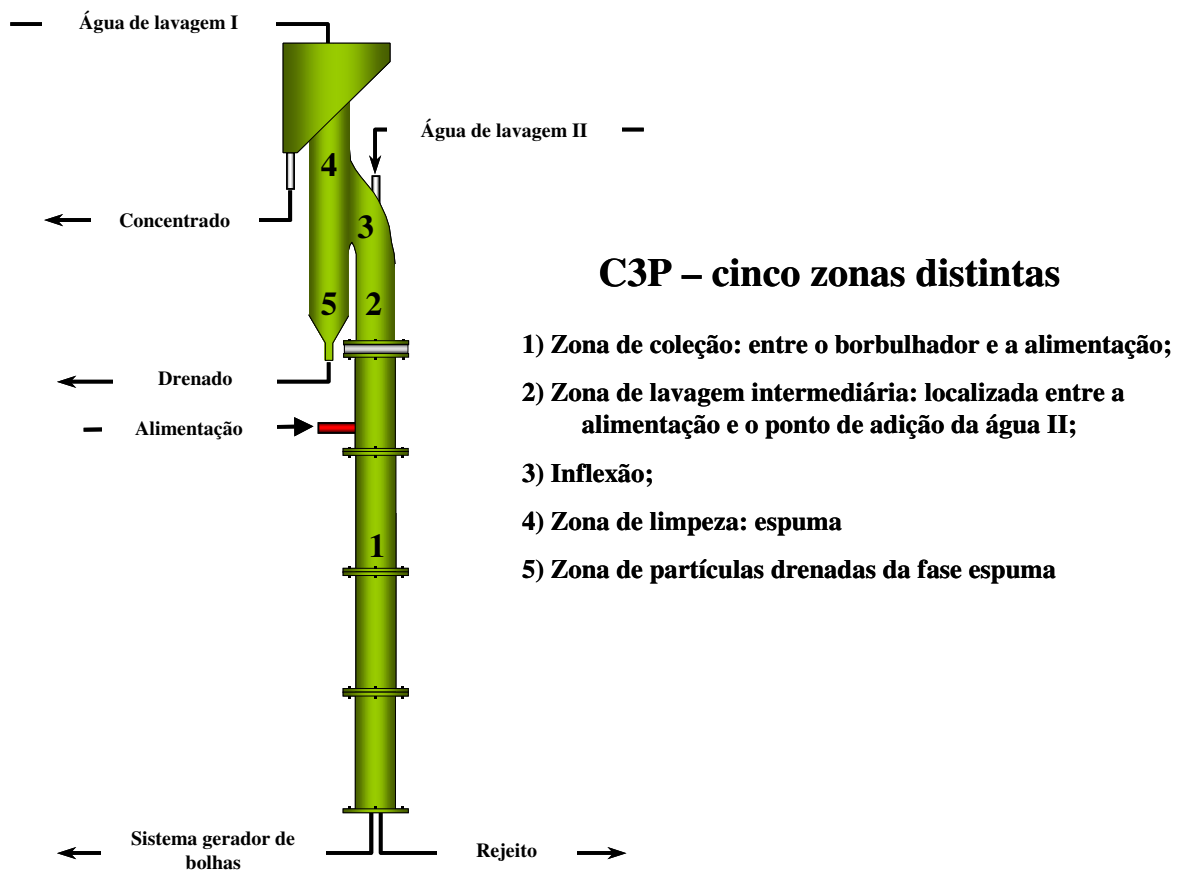


Figura 2.5. Coluna modificada de três produtos (C3P).

Essa coluna foi testada na flotação de sulfetos de cobre em escala piloto e de laboratório (Santander, 1993; Santander *et al.*, 1994; Rubio, 1996), finos de fluorita (López, 1991; Rubio e López, 1992; Rubio, 1996), sulfetos de chumbo e zinco (Cabral, 1995; Cabral e Rubio, 1996) e partículas de ouro (Valderrama, 1995; Valderrama *et al.*, 1999; 2000; Rubio, 1996; Valderrama e Rubio, 2008) (Tabela III).

Tabela III – Sistema mineral, escala de operação, dimensões e autores (diâmetro x altura da coluna) dos estudos realizados em C3P.

<b>Sistema Mineral</b>	<b>Escala de operação</b>	<b>Referência</b>
Finos de fluorita (< 150 µm)	<i>Escala de laboratório</i> 2,54cm x 4m	López (1991); Rubio e López (1992); Rubio (1996)
Minério sulfetado de cobre	<i>Escala de laboratório</i> 2,54cm x 4m <i>Escala piloto</i> 5,0cm x 7m	Santander (1993); Rubio <i>et al.</i> , (1994); Rubio (1996)
Minério sulfetado de chumbo e zinco	<i>Escala de laboratório</i> 2,54cm x 3,2m	Cabral (1995); Cabral e Rubio (1996)
Partículas de ouro	<i>Escala de laboratório</i> 2,54cm x 2,35m <i>Escala piloto</i> 5cm x 6,0m	Valderrama (1997); Valderrama <i>et al.</i> , (1995, 1998, 2000; 2002); Valderrama e Rubio (2008)

### 2.5.1 Flotação de finos de fluorita

López (1991); Rubio e López (1992) e Rubio (1996) apresentam os resultados obtidos na flotação de finos de fluorita em C3P de forma comparativa com a CCR. Os teores de CaF<sub>2</sub> no concentrado foram maiores para os ensaios em C3P em relação à CCR com pequena queda na recuperação metalúrgica (Tabela IV), e também foi alcançada maior cinética de flotação por faixa granulométrica em C3P, com queda para a fração < 25 µm (Tabela V).

Tabela IV – Resultados comparativos de flotação em coluna de finos de fluorita. Média de três experimentos (Rubio, 1996).

<b>Tipo de coluna</b>	<b>R metalúrgica de CaF<sub>2</sub></b> %	<b>Teor de CaF<sub>2</sub></b> %
CCR	94,9	92,9
C3P	93,9	96,0

Tabela V – Flotação em coluna de finos de fluorita: Comparativo de cinética de flotação entre CCR e C3P em função da faixa de tamanho de partículas (Rubio, 1996).

Faixa de tamanho $\mu\text{m}$	$k, \text{min}^{-1}$	
	CCR	C3P
-150 + 90	1,18	2,12
-90 + 53	0,95	1,57
-53 + 44	0,84	1,48
-44 + 38	1,03	1,42
-38 + 25	0,82	1,14
-25 + 1	0,67	0,31

## 2.5.2 Flotação de Limpeza

### 2.5.2.1 Concentrados primários de chumbo e zinco

Em geral, as recuperações globais obtidas, em ambas as colunas, foram altas, maiores que 93%, comparadas às obtidas em um estágio de flotação *rougher*, da ordem de 94%. Esses valores mostram a resistência das unidades bolha-partícula ao processo de drenagem/lavagem dentro da fase espuma. Em termos de enriquecimento, os valores obtidos variaram em torno de 1,5, o que permitiu, em uma só etapa de flotação cleaner, atingir o objetivo proposto, ou seja, obter-se um concentrado com um teor mínimo 70% de sulfetos (embora muito próximo deste valor).

A avaliação comparativa entre ambas as colunas (Tabelas VI e VII) mostrou que a coluna C3P apresentou maior eficiência em termos de enriquecimento (maior teor) do que a coluna convencional. Os valores de recuperação apresentaram um pequeno decréscimo em relação à coluna reta, mas permaneceram acima de 94%. Estes valores foram obtidos considerando diferentes níveis de velocidade superficial de ar. Aumentos na velocidade do ar incrementam o arraste de partículas ultrafinas de ganga. Nesse caso, a ação de lavagem da espuma mineralizada é muito eficiente, permitindo a drenagem do material de ganga. Por outro lado, os sulfetos de chumbo e zinco flotados são muito hidrofóbicos, resultando em uma adesão forte às bolhas, o que impede a drenagem da espuma (Cabral, 1995).

Tabela VI. Eficiências comparativas na flotação limpeza de PbS/ZnS entre a C3P e a coluna convencional, CCR. Valores obtidos variando  $J_g$  entre 0,3-1,4  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . As alturas das distintas zonas na C3P foram:  $Z_C=70$  cm,  $Z_I=90$  cm e  $Z_L=65$  cm e na CC foram  $Z_C=130$  cm, e  $Z_L=65$  cm (Cabral, 1995).

$J_g, \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	CCR		C3P	
	R metalúrgica %	Teor %	R metalúrgica %	Teor %
0,338	98,5	72,0	95,1	80,2
0,678	93,5	71,6	93,2	78,0
1,014	97,3	69,1	94,6	82,0
1,352	96,9	73,0	93,9	80,7

Tabela VII. Eficiências comparativas entre duas C3P com geometrias diferentes. 1 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária alta (90 cm) e 2 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária baixa (30 cm). Valores obtidos variando  $J_g$  entre 0,3-1,4  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  (Cabral, 1995).

Configuração 1		Configuração 2	
R metalúrgica %	Teor %	R metalúrgica %	Teor %
95,2	80,3	94,0	71,3
93,2	78,0	93,0	69,9
94,6	82,0	86,6	73,0
93,9	80,7	92,5	71,2

A Tabela VIII mostra que a melhor eficiência de separação de sulfetos de chumbo e zinco foi obtida com uma C3P com zona intermediária alta e zona de coleção baixa. Com esta geometria obtém-se uma maior recuperação global e um maior teor de sulfetos no concentrado e os teores de sulfetos no terceiro produto (material drenado da espuma) são bem menores que os obtidos com a coluna com menor zona intermediária baixa. Esses resultados revelam a importância da zona de lavagem secundária e a eficiência na diminuição do grau de arraste de partículas de ganga. Quando a zona intermediária é baixa ocorre um aumento na transferência de ultrafinos de ganga e mistos ao concentrado. Essas partículas são drenadas seletivamente pela espuma aumentando o teor de sulfetos no “terceiro” produto, diminuindo a recuperação e o teor do concentrado na C3P.

Tabela VIII. Qualidade do produto drenado na flotação limpeza de PbS/ZnS em duas C3P de diferente geometria. 1 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária baixa (30 cm); 2 = C3P com zona de coleção baixa (70 cm) e zona intermediária alta (90 cm). Valores obtidos variando  $J_g$  entre 0,3-1,4 L·min<sup>-1</sup>.

Configuração 1		Configuração 2	
R metalúrgica	Teor	R metalúrgica	Teor
%	%	%	%
4,8	10,7	4,1	13,5
4,6	9,6	2,6	15,9
1,5	7,4	5,3	15,5
2,6	8,5	3,9	15,2

#### 2.5.2.2 Concentrados primários de cobre

A Tabela IX mostra os resultados obtidos nos quatro ensaios realizados com concentrados *rougher*, com e sem remoagem (Santander, 1993). Os resultados mostram, para os quatro ensaios, concentrados finais com teores da ordem de 34% de cobre e 2% de insolúveis, com recuperações de cobre de 29 a 39% e grau de enriquecimento de aproximadamente 7. A fração drenada, com teores da ordem de 20% de cobre e 23% de insolúveis nos ensaios 1 e 2 (concentrados com remoagem) e 28% de cobre e 8% de insolúveis nos ensaios 3 e 4 (sem remoagem), apresenta recuperações da ordem de 41 a 52% e razões de enriquecimento de 4 a 6.



Tabela IX. Amostras de concentrados primários com remoagem (ensaio 1 e 2) e sem remoagem (ensaios 3 e 4). C3P com  $Z_C=100\text{cm}$ ,  $Z_I=90\text{ cm}$  e  $Z_L=40\text{ cm}$ .

Ensaio	1	2	3	4
<b>Teores de cobre (%)</b>				
C	33,4	34,7	34,5	33,6
D	21,2	19,4	27,8	29,5
R	0,8	0,6	0,9	1,9
A	4,7	4,7	4,6	4,5
<b>Teores de insolúveis (%)</b>				
C	3,2	2,0	2,0	2,0
D	22,6	23,3	10,6	7,3
R	66,6	66,6	66,8	69,1
A	58,4	58,4	62,4	57,5
<b>Recuperação de cobre (%)</b>				
C	38,5	31,2	36,0	29,3
D	51,9	48,6	41,3	44,3
<b>Grau de enriquecimento</b>				
C	7,0	7,2	7,5	7,4
D	4,4	4,0	6,0	6,0

Observação: C, concentrado; D, drenado; A, alimentação; R, Rejeito.

A comparação dos ensaios 1 e 2, com relação aos ensaios 3 e 4, mostra que, nestes últimos, as recuperações globais (soma da recuperação no concentrado e no drenado) são menores. Isto se deve ao fato de que neste caso utilizou-se um material de granulometria maior (baixa liberação) e com maior porcentagem de sólidos (21% para os ensaios 1 e 2; 32% para os ensaios 3 e 4).

Um incremento no teor de sólidos na alimentação produz um aumento no tamanho médio das bolhas e uma diminuição do número destas. Em consequência disto, estas coletam e carregam individualmente um maior número de partículas (mineralização das bolhas), causando uma redução na velocidade de flotação das partículas e fazendo com que as mesmas cheguem com menor velocidade à zona de espuma. Sendo assim, uma menor quantidade de material estaria sendo arrastado hidraulicamente, o que se leva a uma redução na recuperação (Santander, 1993).

### 2.5.3 Flotação *Rougher-Flash*

#### 2.5.3.1 Minério de ouro

A Figura 2.6 mostra resultados comparativos entre a C3P e a convencional para amostras de alimentação ao circuito de flotação *rougher* de ouro. Esta figura mostra que os teores obtidos com a C3P são maiores do que os obtidos na coluna reta. Ainda, com a CCR não são alcançados os teores industriais (*rougher-cleaner*), da ordem de  $96 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  (Valderrama, 1995).

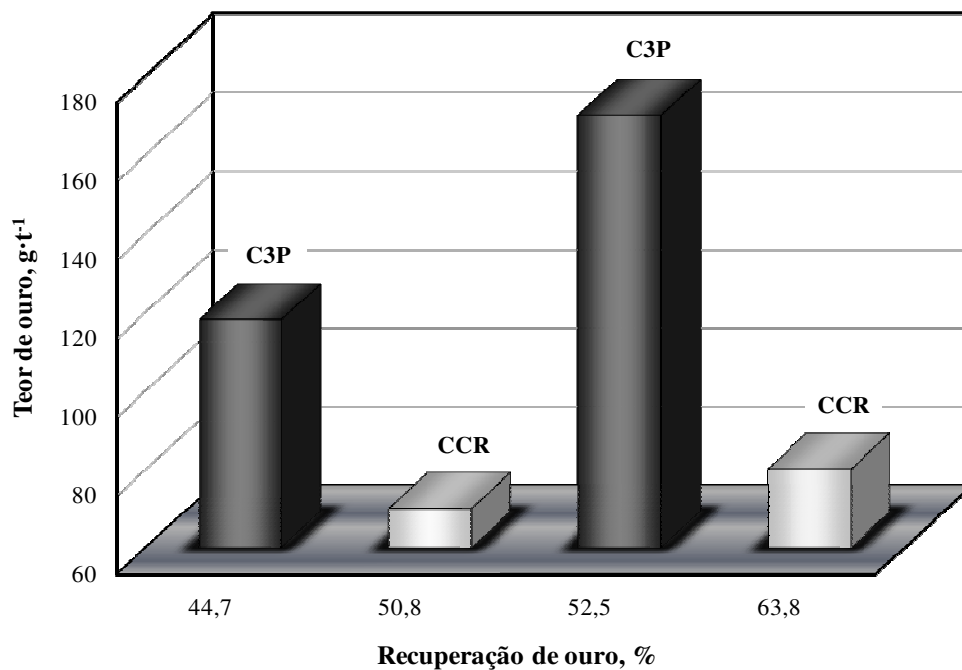


Figura 2.6. Flotação *rougher-flash* de partículas de ouro. Teor de ouro versus recuperação em função da velocidade de alimentação para a CCR e C3P ( $J_g$  de 1,1 e  $1,9 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

#### 2.5.3.2 Minérios de cobre

Os resultados de flotação na C3P (Tabela X) mostram um concentrado super limpo (razão de enriquecimento 33) e altos teores de cobre (40-42%), baixos teores de insolúveis (2,02%) e com uma recuperação de cobre de 33,4%. O produto drenado apresenta teores de 7% de cobre, 51% de insolúveis e recuperações de aproximadamente 12,3% (Rubio, 1996).

Tabela X – Valores médios obtidos para flotação de sulfetos de cobre em C3P (Rubio, 1996).

Produto	Teor, %		R metalúrgica de Cu %	Grau de enriquecimento Cu
	Cu	Insolúveis		
Concentrado	40,4	2,2	32,6	33,4
Drenado	7,4	51,1	12,3	6,1
Rejeito	0,44	67,6	55,2	-
Alimentação	1,4	65,5	-	-

O alto valor obtido na razão de enriquecimento mostra a coluna de flotação de três produtos como um equipamento altamente seletivo. A baixa proporção da massa total recuperada no concentrado e no produto drenado se deve ao problema de liberação, pois este material é muito grosso (25% acima da peneira 100 *Tyler*), o que traz como consequência a sedimentação parcial das partículas mais grossas.

Os altos teores obtidos nos concentrados se explicam porque neste sistema são coletadas as partículas de alta probabilidade de flotação e como este material não foi remuído não apresenta muito arraste hidrodinâmico, diminuindo assim a contaminação dos concentrados (Santander, 1993).

## 2.5.4 Tratamento de Rejeitos

### 2.5.4.1 Rejeitos de minérios de ouro

A Tabela XI mostra resultados de flotação, para várias velocidades superficiais de ar, do material descartado pela usina M.A. Matta. Esta tabela mostra que com a C3P é possível a recuperação de mais de 15% das perdas de ouro no circuito inclusive, com teores superiores em 80% aos obtidos industrialmente. Com um aumento da velocidade de ar na coluna (de 1,6 para 1,7; 2,2; e 2,8  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ), tanto a recuperação como o teor de ouro no concentrado diminuem. Isto pode ser explicado pela maior grau de turbulência na coluna em decorrência da maior velocidade de ar, o que produz colapso das bolhas e a dispersão das partículas de ouro. Para velocidades superficiais maiores que 1,6  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  um alto grau de turbulência foi observado na zona de coleção

produzindo a ruptura do agregado bolha-partícula. Na coluna convencional não foi possível obterem-se altas razões de enriquecimento pela contaminação do concentrado por *middlings* de baixo teor e/ou ganga fina aprisionada (Valderrama, 1997).

Tabela XI. Flotação na C3P do ouro contido no rejeito (Planta Matta). Efeito da velocidade superficial do ar nos parâmetros de separação.

<b>Jg (cm·s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Teor de Au (g·t<sup>-1</sup>)</b>	<b>Recuperação de Au (%)</b>
1,6	160,4	15,5
1,7	136,2	14,4
2,2	120,7	13,5
2,8	91,2	9,9

Valderrama e Rubio (2008) avaliaram uma série de parâmetros de operação da C3P comparativamente a CCR na flotação de rejeitos de Au, com e sem aplicar condicionamento em alta intensidade (CAI) (Valderrama e Rubio, 1998) como etapa prévia de flotação. A Figura 2.7 mostra o efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre grau de enriquecimento no concentrado para uma amostra de rejeito de ouro. Os autores sugerem que a segunda água de lavagem aplicada na C3P reduz o grau de arraste de finos de ganga para o concentrado e também é responsável pela água de *bias* na coluna. Rubio, (1996) e Valderrama *et al.*, (2001; 2002) sugerem que por esta razão a altura da zona de lavagem intermediária é tão importante para flotação em C3P. Esta região é mais diluída quando comparada com a zona de coleção levando assim a cinética maior de flotação dos agregados bolha/partícula.

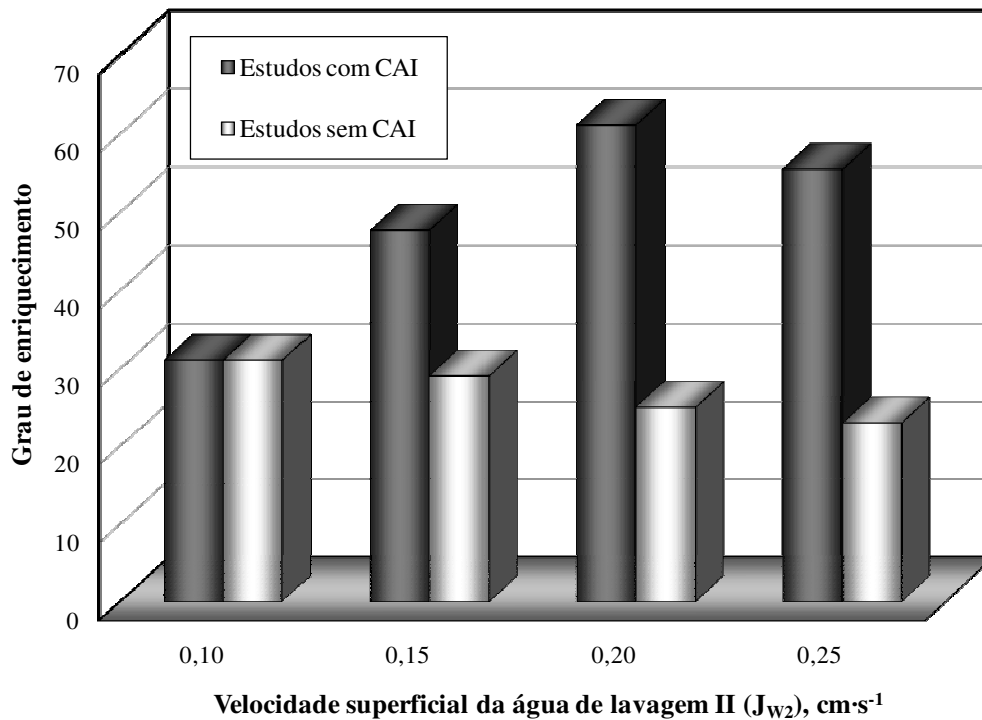


Figura 2.7. Grau de enriquecimento de Au para flotação de rejeitos ( $0,15\text{-}0,4 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) em função da velocidade superficial da  $J_{W2}$  para estudos com e sem CAI prévio a flotação. Condições:  $J_g = 1,56 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,29 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_a = 0,95 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (Valderrama e Rubio, 2008).

A Figura 2.8 apresenta resultados comparativos entre a CCR e C3P, com e sem CAI (Valderrama e Rubio, 1998) prévio a flotação. Os resultados mostram que em todos os casos, os concentrados obtidos em C3P são maiores que os obtidos em CCR. Ainda, as recuperações em CCR foram maiores que as obtidas em C3P devido ao fato dessa amostra de rejeitos ter uma concentração maior de partículas mistas. Assim, uma fração significativa de partículas poderia ser incorporada na alimentação do circuito *rougher* ou blendada como concentrado final (Valderrama e Rubio, 2008).

A Figura 2.9 mostra o efeito da variação de  $J_g$  sobre o grau de enriquecimento de Au na flotação, em C3P e com CAI, para uma amostra de rejeito de Au de maior teor de grau de liberação que as apresentadas nas Figuras 2.6 e 2.7. Mesmo sem a etapa CAI foram obtidos altos teores de Au nos concentrados de flotação e elevadas cinéticas de processo. Os melhores resultados alcançaram 15% de recuperação de Au com teores maiores que  $160 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  com grau e enriquecimento da ordem de 120 vezes (Valderrama e Rubio, 2008).

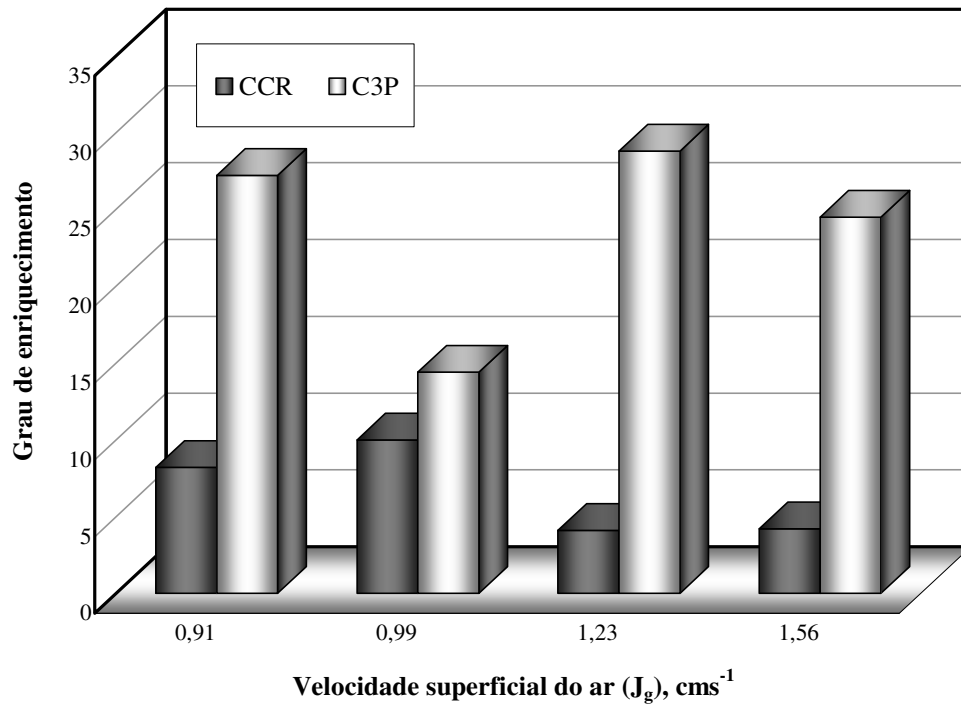


Figura 2.8. Flotação de rejeito de flotação de Au Grau (0,15-0,2  $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$  de Au). Resultados comparativos entre a CCR e C3P (+ CAI) em função de  $J_g$ . Condições:  $J_a = 0,95 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,29 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W2} = 0,20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (Valderrama e Rubio, 2008).

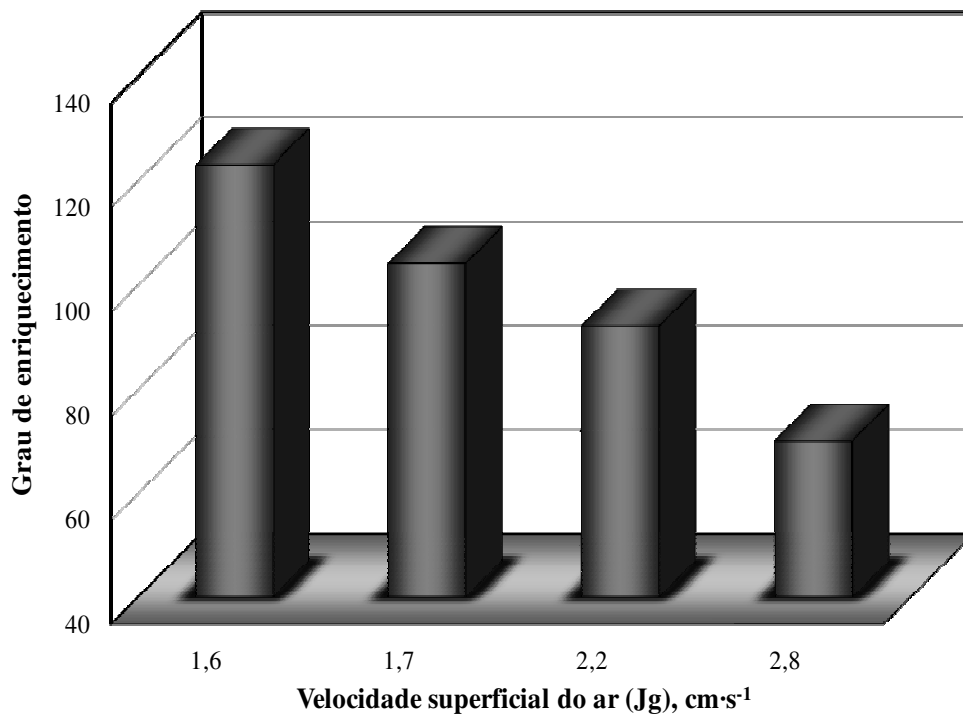


Figura 2.9. Grau de enriquecimento de Au para flotação de rejeitos de Au (1-1,3  $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) em função da velocidade superficial do ar (Valderrama e Rubio, 2008).

### 2.5.4.2 Rejeitos de minérios de cobre

A Tabela XII apresenta os resultados obtidos com amostras de rejeitos de uma planta de concentração de cobre (Rubio, 1996).

Tabela XII. Flotação na C3P do cobre contido no rejeito. Efeito da  $J_{W1} = 0,3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (ensaio 1) e  $0,2 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (ensaio 2). C3P com ZC=100 cm, ZI=90 cm e ZL=20 cm (Rubio, 1996).

Ensaio	1	2
<b>Teores de cobre (%)</b>		
C	6,3	6,6
D	0,75	0,51
R	0,18	0,19
A	0,24	0,25
<b>Teores de insolúveis (%)</b>		
C	51,0	58,8
D	68,5	62,5
R	70,4	65,8
A	65,8	65,5
<b>Recuperação de cobre (%)</b>		
C	7,1	15,9
D	9,8	9,8
<b>Grau de enriquecimento</b>		
C	28,5	26,6
D	3,1	2,4

Observação: C, concentrado; D, drenado; A, alimentação; R, Rejeito

Os resultados dos ensaios com rejeito final, mostraram concentrados com teores de cobre na ordem de 7%, teores de insolúveis na ordem de 52% e recuperações de cobre de 7,1% (ensaio 1) e 16% (ensaio 2). O incremento na recuperação deve-se a uma diminuição no fluxo da água de

lavagem I (ensaio 2). O produto drenado apresenta teores de cobre de 0,75% para o ensaio 1 e 0,51% para o ensaio 2 com recuperações na ordem de 10% em ambos ensaios. O maior teor de cobre neste produto para o ensaio 1 deve-se ao maior fluxo da água de lavagem, que drena de forma forçada partículas recuperáveis na zona de espuma. Os teores obtidos nos concentrados não são maiores por problemas de liberação das partículas mais grossas e pela presença de ultrafinos na ganga.

O incremento no teor de insolúveis no concentrado devido a diminuição no fluxo da água de lavagem I pode ser explicado pelo fato que a altura da zona de espuma para estes ensaios foi de 20 cm. Esta altura não é suficiente para drenar de maneira eficiente o arraste de partículas de ganga hidrofílicas, já que estas penetram até uma profundidade de 30 cm sobre a interface para  $J_g < 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (Santander, 1993).



### 3. EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho foi realizada no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM-DEMIN-UFRGS) em Porto Alegre - RS, e na Usina de concentração de minério fosfático da Bunge Fertilizantes S/A, no município de Araxá, Minas Gerais. Os estudos no LTM foram realizados em escala de laboratório em uma coluna de 1” e compreenderam a determinação de parâmetros de dispersão do gás (*holdup*, tamanho de bolhas, velocidade superficial do ar e fluxo superficial de bolhas); determinação do regime de mistura e da distribuição da segunda água de lavagem adicionada na C3P através da injeção de traçador solúvel em água em sistema bifásico (líquido/ar) e em sistema tri-fásico (sólido/líquido/ar) e avaliação do efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre a recuperação em massa e metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$  e impurezas de  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$  nos concentrados de flotação. Os estudos de flotação em coluna piloto de 4” foram realizados em Araxá e compreenderam a avaliação do efeito da variação da velocidade superficial da segunda água de lavagem na C3P; avaliação da variação da geometria da coluna e avaliação do efeito da adição de bolhas de tamanho menor que às geradas pelo borbulhador convencional da coluna.

#### 3.1 Estudos em coluna de laboratório (coluna de 1”)

##### 3.1.1 Materiais

###### 3.1.1.1 Minério de fosfato

Foi utilizada uma amostra de polpa da usina de concentração da Bunge Fertilizantes S/A (Unidade Araxá) do fluxo dos “Finos Naturais” (FN), coletada através de um *by-pass* na tubulação que leva o material do *underflow* da deslamagem até o tanque de condicionamento com o depressor e ajuste de pH na usina de concentração (*underflow* da 9ª deslamagem) seguindo o procedimento de amostragem adotado na Bunge (Figura 3.1). Após a amostragem, esta foi armazenada em tambores plásticos com capacidade de 200 L e então enviadas para o LTM em Porto Alegre. No laboratório a amostra passou pelas seguintes etapas de preparo:

- I. Desaguamento e secagem da amostra;
- II. Desagregação, homogeneização e quarteamento;
- III. Amostragem de material para caracterização; e
- IV. Armazenamento do restante da amostra para os estudos de flotação.

Após o desaguamento da amostra para a retirada do excesso de água, esta foi colocada em bandejas de alumínio e seca em estufa a 70° C até se verificar a ausência de umidade. Após seca, a amostra foi desagregada, homogeneizada e realizado o quarteamento em quarteador *Jones* onde foram retiradas quatro alíquotas de 1 kg aproximadamente das quais foi determinada a distribuição granulométrica da amostra por difração de raios *laser*, e realizada a análise e análise química para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, BaSO<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> através da técnica de Espectroscopia de raios X.

**Distribuição de tamanho de partículas:** a distribuição de tamanho de partículas foi determinada com o analisador de tamanho de partículas Cilas modelo 1064. O princípio de funcionamento deste equipamento está baseado na difração da luz *laser*. Segundo este princípio o ângulo de difração da luz *laser* é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. O analisador de tamanho de partículas *Cilas* 1064 permite a análise de amostras em poucos segundos fornecendo a distribuição dos tamanhos por número, área e volume, bem como o diâmetro médio. A distribuição de tamanho de partículas adotado foi do tipo volume.

A Tabela XIII apresenta a análise química das quatro vias obtidas no quarteamento da amostra total. O teor médio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é de 13,0%, de CaO de 12%, de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 30,2% e o de SiO<sub>2</sub> de 16%.

Tabela XIII - Análise química da amostra de Finos Naturais.

Alíquota	Teor, %								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	12,9	11,9	30,0	15,9	4,8	1,2	0,6	5,7	0,5
2	12,8	12,0	29,8	16,0	4,9	1,2	0,7	5,7	0,5
3	13,5	12,1	30,7	15,9	4,8	1,3	0,6	5,8	0,5
4	12,8	12,0	30,4	16,0	4,7	1,3	0,7	5,8	0,5
<b>Média</b>	<b>13,0</b>	<b>12,0</b>	<b>30,2</b>	<b>15,9</b>	<b>4,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,7</b>	<b>5,8</b>	<b>0,5</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,35</b>	<b>0,08</b>	<b>0,37</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>

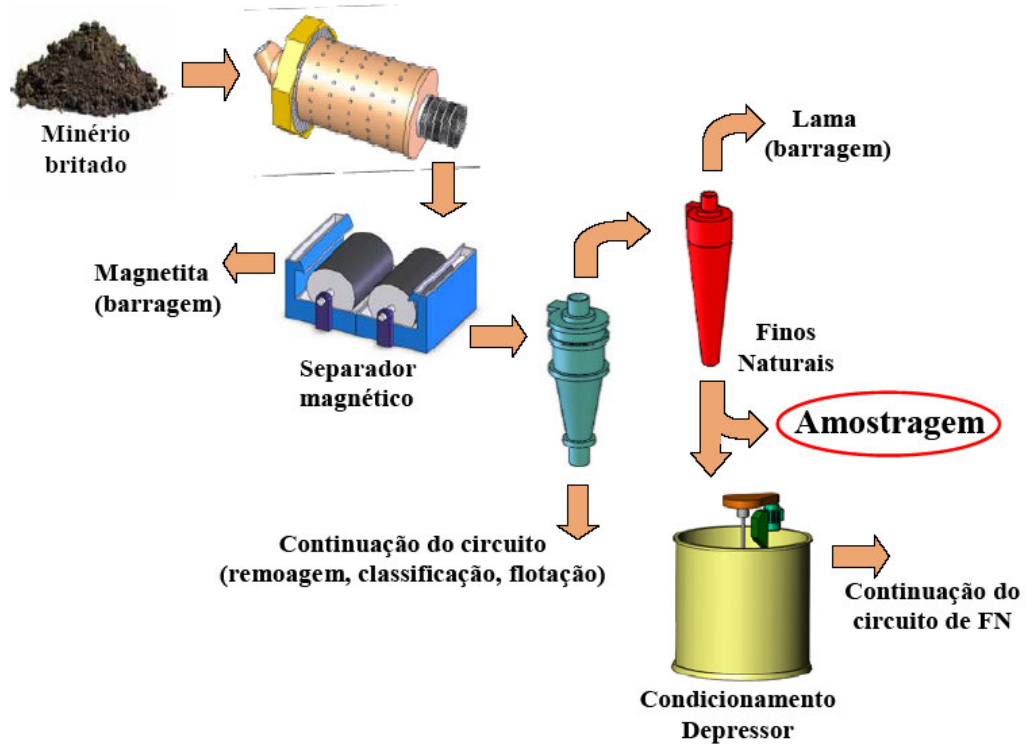


Figura 3.1. Ponto de coleta da amostra de Finos Naturais na usina de concentração.

A Figura 3.2 mostra a distribuição granulométrica da amostra. Os resultados indicam que 100% do material está abaixo de 110  $\mu\text{m}$ , o  $d_{50}$  é de 25,2  $\mu\text{m}$  e o diâmetro médio é de 30  $\mu\text{m}$ . A amostra apresenta um pico de concentração de partículas entre 0,5 e 2  $\mu\text{m}$ , um crescimento pequeno até 9  $\mu\text{m}$  e a maior concentração de partículas entre 12-45  $\mu\text{m}$ .

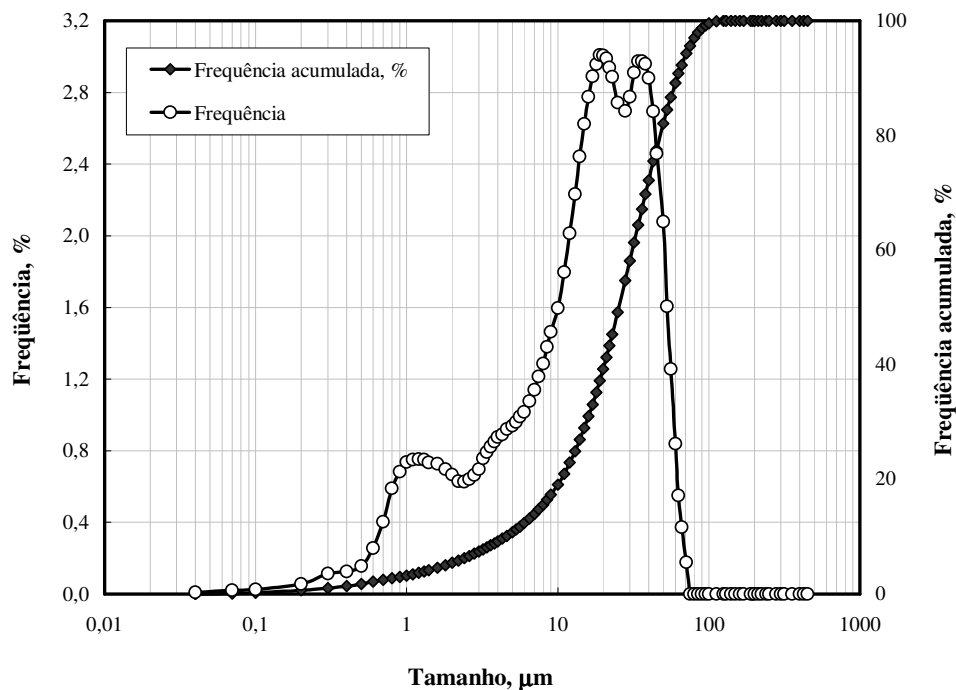


Figura 3.2. Distribuição granulométrica da amostra de FN.

Com o objetivo de determinar a distribuição dos teores dos minerais que compõe o minério por faixa granulométrica nas frações finas e ultrafinas (< 44  $\mu\text{m}$ ), foi realizado um corte granulométrico neste tamanho e a fração passante foi micropeneirada por Ultra-Som - tipo US 1 Marca *Retsch* (Alemanha) nas faixas 30, 15 e 5  $\mu\text{m}$ . A Figura 3.3 apresenta a distribuição de teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  para os FN (< 44  $\mu\text{m}$ ).

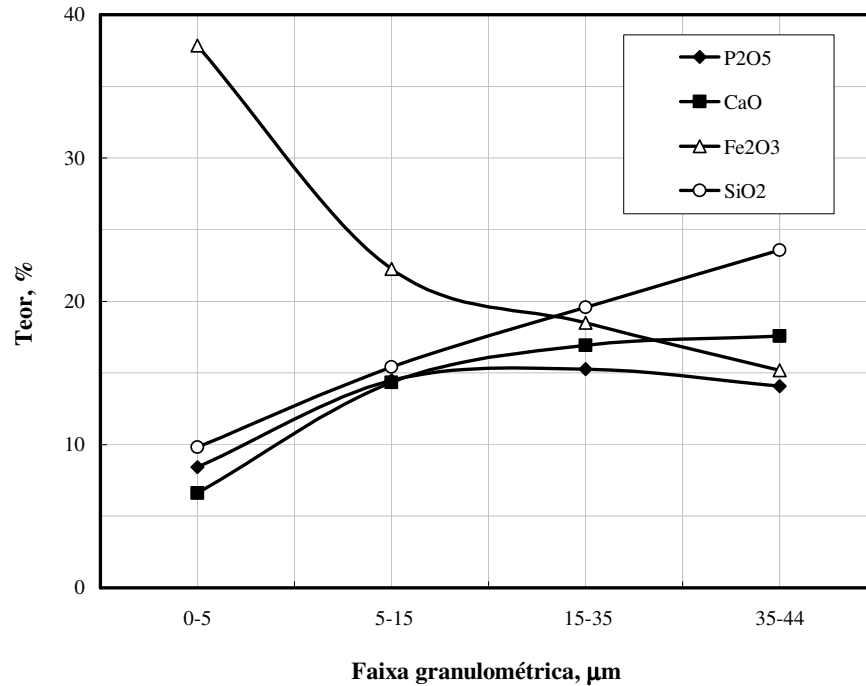


Figura 3.3. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  por faixa granulométrica para a fração < 44  $\mu\text{m}$  para a amostra dos FN.

A caracterização química por faixa granulométrica da fração < 44  $\mu\text{m}$  mostra que os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  aumentam das frações grosseiras para as frações finas e ultrafinas. O  $\text{SiO}_2$  mostra comportamento contrário tendo um aumento do teor deste mineral das frações finas para as frações grosseiras. As apatitas estão distribuídas com teores similares independente do tamanho de partícula.

### 3.1.1.2 Reagentes

Para os estudos de determinação da distribuição de tamanho de bolhas e de *holdup* na zona de coleção da coluna, foram preparadas soluções com água deionizada de espumante *Dowfroth* 250 (“*polyglycol*” -  $\text{CH}_3(\text{OC}_3\text{H}_6)_4\text{OH}$  com  $\text{PM} = 264,37$ ) para redução da tensão superficial na

interfase líquido/ar. As medidas de tensão superficial das soluções de DF 250 foram realizadas com um tensiômetro *Krüss* (modelo 8451). Todos os experimentos foram realizados com água potável da rede de abastecimento e a temperatura ambiente (25 – 30°C). Cloreto de Sódio (NaCl) da Reagen, Quimibrás Industrias Químicas S/A de pureza analítica foi utilizado como traçador na caracterização do regime de fluxo da C3P e as soluções foram preparadas com água deionizada.

Os reagentes utilizados nos estudos de flotação com minério fosfático em escala de laboratório foram fornecidos pelo Laboratório de Novas Tecnologias da Bunge Fertilizantes S/A. Foi utilizado Sabão de Óleo de Soja como coletor dos minerais portadores de fósforo, obtido após saponificação de óleo de soja fabricado pela Indústria e Comércio de Óleos Vegetais Pirapora, a temperatura de 70 °C e relação Óleo/NaOH de 7:1 por um tempo de 15 minutos. Como depressor dos minerais de ganga foi utilizado fubá de milho (Guimarães *et al.*, 2005) fabricado pela Refinações de milho Alto Paranaíba – Realpa e que foi gelatinizado a uma razão fubá/NaOH de 4:1 e um tempo de reação de 10 minutos. Ambos reagentes foram preparados a concentração de 1% com água destilada. Para ajuste do pH foram utilizadas soluções de NaOH a 10% fornecido pela Braskem S/A e água destilada. A água utilizada para acerto da porcentagem de sólidos da polpa nos estudos de flotação foi a água de abastecimento público do município de Porto Alegre.

### **3.1.2 Métodos**

#### *3.1.2.1 Medidas de holdup*

Foram realizadas medidas de *holdup* aparente na zona de coleção da coluna para um sistema bifásico (ar/líquido) com a coluna em seu design convencional (CCR). A técnica utilizada foi a descrita por Dobby (1989), que consiste na determinação da diferença de pressão existente entre dois pontos através de dois níveis entre dois manômetros de água colocados lateralmente à coluna. Para o caso de um sistema bi-fásico ar/líquido o *holdup* é determinado pela equação (3):

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

onde  $\Delta H$  é a diferença de pressão lida nos manômetros e  $L$  é a distância entre os pontos de medida.

Foram preparadas soluções de DF 250 com água da rede de abastecimento do LTM na concentração desejada em um tanque com capacidade de 30 litros, dotado de uma hélice para agitação (550 rpm), mantida por um motor monofásico marca WEG de 0,33 HP de potência. Após 10 minutos de condicionamento, a solução foi alimentada à coluna a 1,37 m da base da coluna através de uma bomba peristáltica marca *Masterflex*®, modelo 751810. O rejeito foi extraído pelo fundo da coluna também com uma bomba peristáltica marca *Masterflex*®, modelo 751810. O ar foi injetado na base da coluna através de um tubo poroso de aço inox com poros de diâmetro de 5  $\mu\text{m}$  com vazão controlada por um rotâmetro da marca *Omel* e é proveniente de um compressor instalado no laboratório com pressão regulada em 7  $\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Antes de passar pelo rotâmetro de controle de vazão de ar, a pressão é reduzida para 4  $\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$  por um regulador de pressão marca *Bel Air*.

As medidas foram realizadas através de ensaios dinâmicos, onde o fluxo da alimentação ( $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e rejeitos foram mantidos de forma a se ter um regime e volume constante dentro da coluna.

Foi avaliado o efeito da velocidade superficial do gás para os valores de 0,33; 0,49; 0,66; 0,82 e 0,99  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e da concentração de espumante DF 250 (5, 10, 20, 30 e 40  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) sobre o *holdup* aparente na zona de coleção da coluna. A Figura 3.4 mostra o desenho esquemático do sistema montado para determinação do *holdup* aparente.

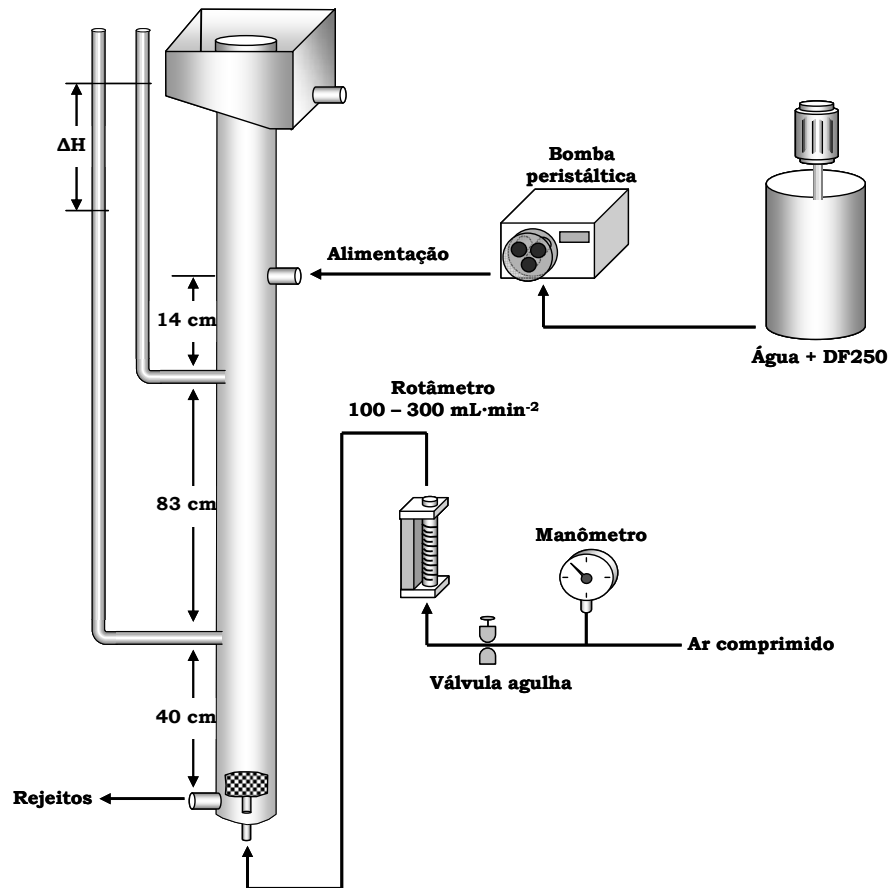


Figura 3.4. Desenho esquemático dos estudos de determinação de *holdup* aparente na zona de coleção da coluna.

### 3.1.2.2 Determinação da distribuição do tamanho de bolhas

A técnica *LTM-Bsizer* (Rodrigues e Rubio, 2003; Rodrigues *et al.*, 2004; Rodrigues, 2004) é baseada no conceito da captura, ao contrário das técnicas fotográficas até agora propostas, onde as imagens (fotos ou vídeos) das bolhas em movimento são obtidas com visores verticais, este método obtém imagens das bolhas estabilizadas em um visor disposto na horizontal. Entre as vantagens em relação aos métodos fotográficos existentes destacam-se a melhor qualidade das imagens e a capacidade de medir distribuições de tamanho de bolhas com grande amplitude, desde microbolhas ( $< 100 \mu\text{m}$ ) até bolhas entre 1000 e 3000  $\mu\text{m}$ .

A Figura 3.5 mostra o fluxograma empregado para a determinação de tamanho de bolhas. É utilizada uma coluna em acrílico com 200 cm de altura e 72 mm de diâmetro. O ponto de amostragem para determinação do tamanho de bolha localiza-se a 80 cm acima do ponto de geração de bolhas. Neste ponto uma parte do fluxo é conduzida até a célula onde as bolhas são

fotografadas. Para obtenção das fotografias o fluxo é interrompido e assim as bolhas permanecem aprisionadas na célula, em contato com a parte superior da mesma (placa de vidro) (Rodrigues *et al.*, 2004). As imagens são então transferidas para o computador onde são processadas com o *software Image Tool* (versão 3.00) para determinação da distribuição do tamanho médio de bolhas.

O dispositivo utilizado para a geração de bolhas na C3P (e CCR) de laboratório é um cilindro de aço inox poroso de 40 mm de diâmetro por 10 cm de altura, acoplado à base da coluna com diâmetro de poro de 5  $\mu\text{m}$ . Foi avaliado o efeito da concentração do tensoativo DF 250 entre 5 a 40  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . A vazão de ar foi de 0,15  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  e a de água recirculada igual a 0,2  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para fins de comparação dos valores fornecidos pelo LTM *BSizer*, foi utilizado o método do *drif flux* (Yianatos *et al.*, 1988) para o cálculo do diâmetro médio de bolha.

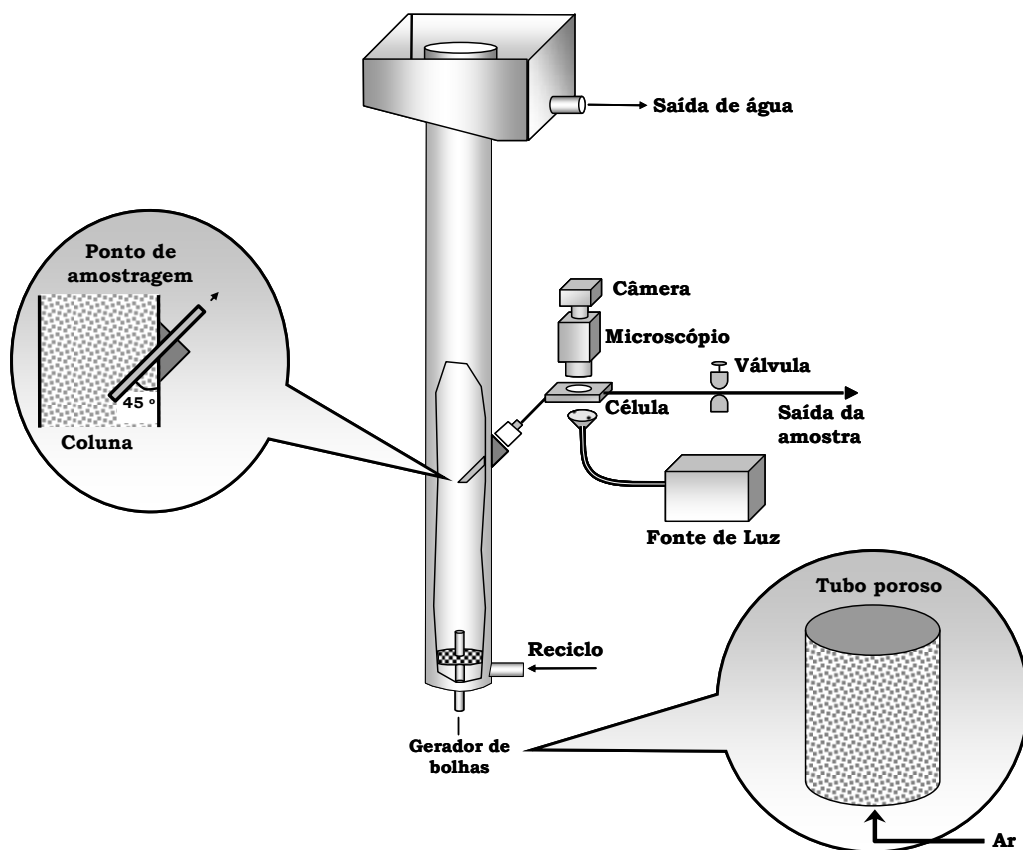


Figura 3.5. Fluxograma empregado na determinação da distribuição de tamanho de bolha em coluna (bolhas geradas por tubo poroso – Rodrigues, 2004).



### 3.1.2.3 Avaliação da distribuição dos fluxos de água na C3P com o uso de traçadores solúveis.

Foram realizados estudos com injeção do traçador no ponto de adição da água de lavagem I e II para verificar a sua distribuição dentro da coluna e também no ponto da alimentação da polpa à coluna. Para a determinação da DTR em colunas industriais de flotação, o traçador é adicionado no ponto de entrada da alimentação do equipamento localizado próximo da interface polpa/espuma, onde a água de lavagem previne o arraste do traçador para o produto flotado. O sinal de saída (concentração do traçador) é medido através de amostragens do fluxo do rejeito, ou através de sensores no caso do uso de traçadores radioativos (Yianatos *et al.*, 2005).

Foram preparadas soluções (20 litros) de DF 250 a concentração de  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  com água da rede interna do LTM, no mesmo tanque utilizado para os estudos para determinação de *holdup*. Após dez minutos de agitação, a solução foi alimentada a coluna através de uma bomba peristáltica marca *Masterflex*® modelo 751810 com a vazão de trabalho pré-fixada até que a coluna estivesse preenchida com a solução até 20 cm abaixo do topo. A partir daí, foram reguladas as vazões dos fluxos da água de lavagem I, da água de lavagem II, do produto drenado e do rejeito, de forma que o nível fosse mantido constante. Após cinco minutos no estado estacionário, foram injetados 80 mg de NaCl em solução (traçador) no ponto de alimentação da coluna em um tempo inferior a 2 segundos. Após a injeção do traçador, foram coletadas 25 amostras da corrente do rejeito e 25 do drenado em intervalos de 20 segundos cada uma (não há transbordo pelo concentrado). Em seguida, foi determinada a condutividade das alíquotas amostradas com um condutímetro marca *Digimed*, modelo DM 31. O mesmo procedimento foi adotado para os estudos onde foi injetado o traçador no ponto de adição da água de lavagem II. A velocidade superficial do fluxo da alimentação  $J_a$  foi mantida em  $0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; a do gás  $J_g$  em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; da água de lavagem I  $J_{W1}$  e do drenado  $J_d$  foram mantidos em  $0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e da água de lavagem II variou de  $0,16$  até  $0,82 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A Figura 3.6 apresenta o desenho esquemático com o fluxograma para os estudos de determinação da DTR da fase líquida na C3P.

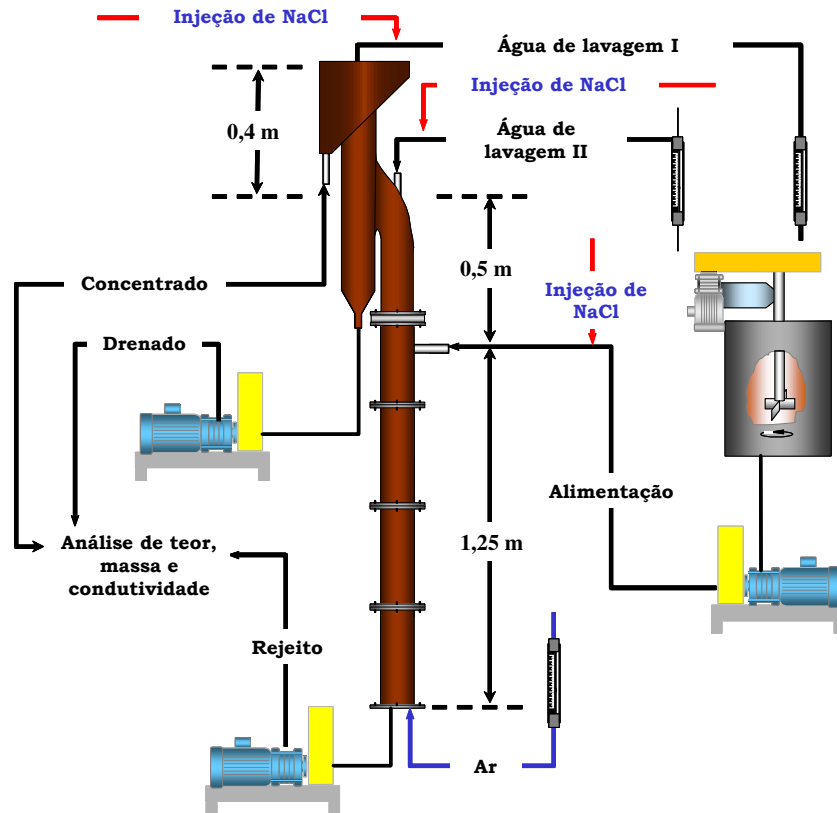


Figura 3.6. Coluna de três produtos (C3P) – Desenho esquemático para os estudos de determinação de DTR da fase líquida e da distribuição da água de lavagem II drenado e rejeito.

**Injeção do traçador para os estudos em sistema trifásico:** Após cinco minutos no estado estacionário, foram injetados 80 mg de NaCl em solução (traçador) no ponto de alimentação da coluna em um tempo inferior a 2 segundos. Após a injeção do traçador, foram coletadas 25 amostras da corrente do rejeito, do drenado e do concentrado em intervalos de 20 segundos cada uma. Em seguida, foi determinada a condutividade das alíquotas amostradas com um condutivímetro marca *Digimed*, modelo DM 31. O mesmo procedimento foi adotado para os estudos onde foi injetado o traçador no ponto de adição da água de lavagem I e II.

#### 3.1.2.4 Estudos de flotação

Os estudos de flotação com minério de fosfato foram realizados de forma comparativa entre a CCR e a C3P. Os estudos foram realizados em uma coluna convencional reta de laboratório (vidro) com diâmetro interno de 2,54 cm, 2,20 m de altura total e volume efetivo de

1,5 L, composta por cinco módulos de vidro ajustáveis, de forma comparativa com a C3P com as mesmas dimensões e volume.

A polpa foi condicionada em um tanque cilíndrico com volume de 5 L com 40% de sólidos em peso por 10 minutos com o depressor Fubá de milho gelatinizado com dosagem de  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  e com pH igual a 12 (monitorado com um medidor de pH marca da *Denver Instrument*, modelo UB-10), e depois por mais dez minutos com o coletor sabão de óleo de soja com dosagem de  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  com agitação proveniente de um motor monofásico dotado com uma hélice a 500 rpm. Após os 20 minutos de condicionamento, a polpa foi levada a um outro tanque de com volume de 10 L onde foi diluída a uma porcentagem de sólidos de 15% e mantida sob agitação também um motor monofásico dotado com uma hélice a 300 rpm. Desse tanque a polpa foi alimentada à coluna previamente cheia de água e com a vazão de ar regulada com o auxílio de uma bomba peristáltica marca *Masterflex®*, modelo 7523-27, cabeçote 7518-10. A altura da espuma foi fixada em 18 cm e controlada através da variação do fluxo da corrente do rejeito controlado por uma bomba marca *Masterflex®* da *Cole Parmer*, modelo 7553-71, cabeçote 7518-10. A velocidade superficial do fluxo de alimentação foi fixa em  $0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e a do ar em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os ensaios tiveram uma duração de 45 minutos, sendo o tempo de estabilização de 15 minutos, e o tempo de coleta da amostra de 30 minutos do concentrado e do rejeito de forma simultânea. As amostras foram floculadas, desaguadas, secas em estufa a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  por 12 h, quarteadas em quarteador do tipo *Jones* e separadas duas alíquotas, sendo uma para análise de distribuição granulométrica e outra para análise química. As químicas foram realizadas no Laboratório Químico da Bunge em Araxá, MG através da técnica de Espectroscopia de Raios X. Nos estudos em CCR, foi avaliado o efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_w$ ) para os valores de 0,25; 0,31 e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , para as demais variáveis operacionais fixas.

Os estudos de flotação na C3P seguiram o procedimento adotado nos estudos em CCR (níveis das variáveis operacionais), porém, na C3P, além da retirada do produto concentrado e rejeitos, é extraído o produto drenado da fase espuma. A retirada foi feita através de uma bomba peristáltica marca *Masterflex®* da *Cole Parmer*, modelo 7730065, cabeçote 7518-12 que opera com a mesma velocidade superficial da água de lavagem I adicionada na zona de espuma. A adaptação da CCR para a C3P foi feita a através da substituição do último trecho da CCR (1,50 m), para o trecho contendo a zona de inflexão. Nos estudos em C3P, foi avaliado o efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{w1}$ ) para os valores de 0,25; 0,31 e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e da água de lavagem II ( $J_{w2}$ ) para os valores de 0,00; 0,27; 0,31 e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  sobre a recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e teor de impurezas ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ ) nas correntes do

concentrado, drenado e rejeitos. O procedimento de amostragem foi o mesmo adotado nos estudos em CCR. A Figura 3.7 mostra um desenho esquemático do sistema montado para os estudos de flotação em C3P. Fotos estão mostradas na Figura 3.8 e a Figura 3.9 apresenta o desenho do tanque de condicionamento da polpa para os estudos com minérios de fosfato em escala de laboratório.

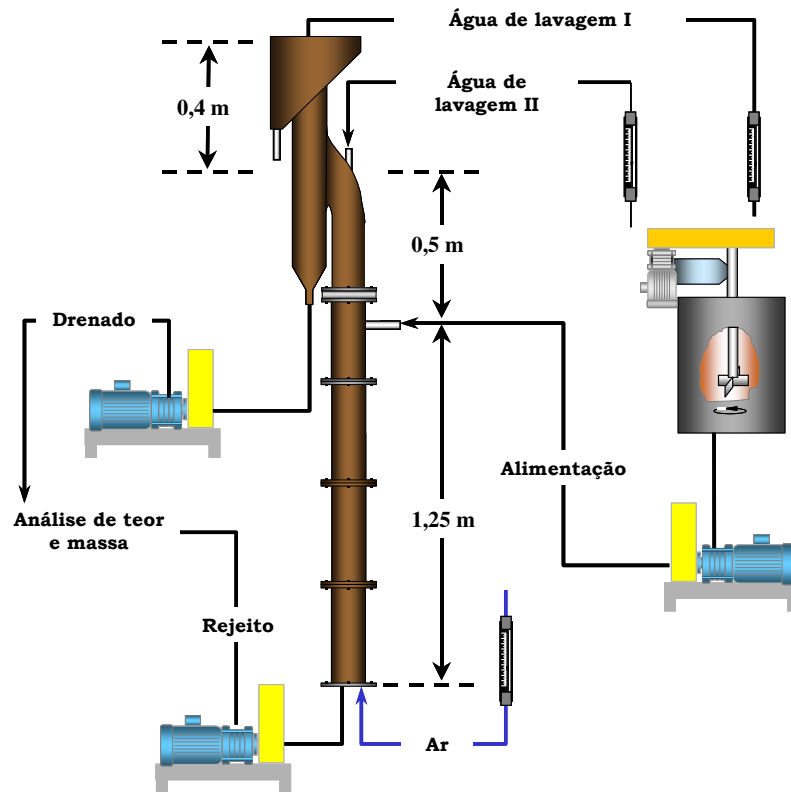


Figura 3.7. Desenho esquemático do sistema montado para os estudos de flotação em C3P.



Figura 3.8. Coluna modificada de três produtos de laboratório (coluna de 1”). Detalhe da zona de inflexão e vista parcial do sistema utilizado para os estudos de flotação (Tanque pulmão de polpa; medidor de pH; bomba peristáltica para bombeamento da polpa).

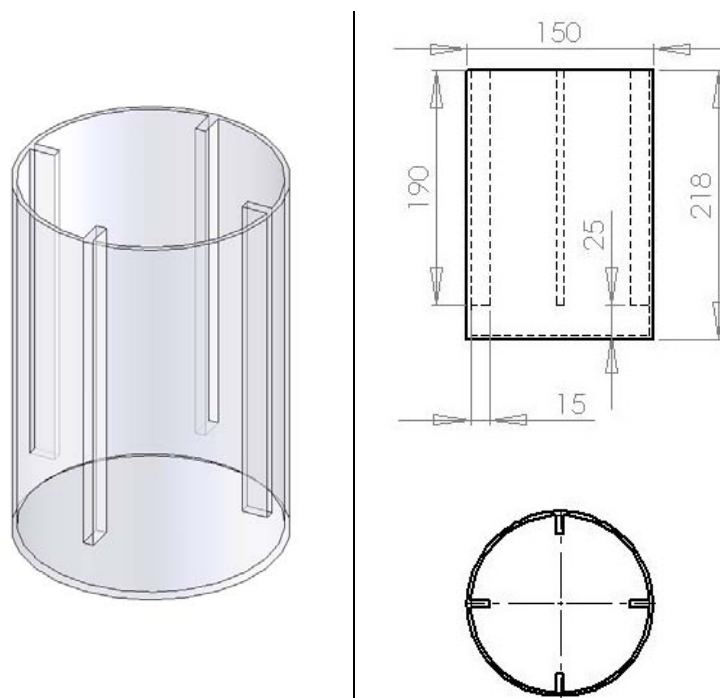


Figura 3.9. Tanque de condicionamento da polpa com o depressor e coletor. Escala de laboratório.

## 3.2 Estudos em coluna piloto (coluna de 4’)

Os estudos de flotação de finos de fosfato em escala piloto com a C3P foram realizados de forma comparativa com a coluna convencional reta e foi avaliado o efeito da configuração geométrica da C3P e o efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre a recuperação em massa, metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$  e teores e distribuição das impurezas de  $Fe_2O_3$  e de  $SiO_2$  pelos fluxos do concentrado, drenado e rejeitos. Quanto aos aspectos geométricos, foi utilizada uma configuração com zona de lavagem intermediária curta (33 cm) e outra configuração com zona de lavagem intermediária de 83 cm.

### 3.2.1 Materiais

#### 3.2.1.1 Minério de Fosfato

Foram utilizadas quatro amostras de polpa do fluxo dos finos naturais coletadas no *underflow* da micro-deslamagem desse fluxo na usina, e que foram denominadas de amostra de polpa AM 01, AM 2, AM 3 e AM 4, cada uma delas correspondendo a materiais de pilhas diferentes que alimentaram a usina de concentração.

#### 3.2.1.2 Reagentes

Os mesmos reagentes coletor, depressor e regulador de pH (NaOH) utilizados na flotação de minério de fosfato em escala de laboratório foram utilizados para os estudos em escala piloto. Os reagentes foram coletados do sistema de preparo da usina de concentração nas concentrações utilizadas no processo industrial (15%<sub>p/p</sub> para o sabão, 3%<sub>p/p</sub> para o Fubá de milho e 15%<sub>p/p</sub> para a soda cáustica). O Fubá de milho e a soda cáustica foram dosados nas concentrações utilizadas em escala e industrial e o sabão de óleo de soja foi dosado a partir de soluções a 1%<sub>p/p</sub> diluídas com água potável do sistema de abastecimento de água da usina. A água utilizada para diluição

da polpa após o condicionamento (antes da alimentação da flotação) e para as águas de lavagem I e II no caso da C3P foi a água utilizada no processo industrial que é proveniente de barragem.

### 3.2.2 Métodos

#### 3.2.2.1 Ensaios em CCR

Os ensaios de flotação em CCR foram realizados em uma coluna com diâmetro interno de 9,0 cm, 7,6 m de altura e volume efetivo de 48 L aproximadamente, composta por módulos em acrílico unidos por flanges. A polpa utilizada foi amostrada através de um *by-pass* na tubulação que leva o material do *underflow* da ciclonagem (*under 9* – ciclone de 40mm) (40-44% de sólidos em peso) até o tanque de condicionamento com o depressor e ajuste de pH na usina de concentração. Daí, a polpa foi conduzida por gravidade (mangueira de 2”) até a caixa da bomba *BM 203* no piso zero da Usina, de onde foi bombeada até um tanque com capacidade de 3,2 m<sup>3</sup> (do circuito da coluna de 24”) e mantida sob agitação. Desse tanque, a polpa foi por gravidade (mangueira de 2”) até um tanque com capacidade de 400 L onde também foi mantida sob agitação com sistema motor e impelidor.

Desse tanque, a polpa foi bombeada com uma bomba peristáltica até o tanque *CN-301* para condicionamento com o depressor Fubá de milho gelatinizado (solução 3%<sub>p/v</sub>), dosado com uma bomba peristáltica marca *Masterflex®* da *Cole Parmer*, modelo 7730065, cabeçote 7518-12, e ajuste do pH com NaOH (solução 3%<sub>p/v</sub>) também dosada com uma bomba peristáltica marca *Masterflex®* da *Cole Parmer*, modelo 7553-71, cabeçote 7518-10 e o pH monitorado com um medidor de pH marca *Analion®*. Desse tanque a polpa escorre por gravidade até o tanque *CN-302* para condicionamento com o coletor Sabão de óleo de soja (solução a 500 mgL<sup>-1</sup>), também dosado com bomba dosadora peristáltica marca *Masterflex®*, modelo 7523-27, cabeçote 7518-10. Por gravidade, a polpa condicionada escorre até o tanque *TQ-302* onde é feita a diluição da polpa para 25% de sólidos em peso com água industrial, com vazão controlada por um rotâmetro com vazão até 4 L·min<sup>-1</sup>.

Após o condicionamento e ajuste da porcentagem de sólidos, a polpa foi alimentada à 1,26 m do topo da coluna de flotação através de uma bomba peristáltica. O rejeito foi retirado pela parte inferior da coluna com uma bomba peristáltica e o concentrado é coletado em um

recipiente de fundo inclinado situado no topo da coluna onde foi adicionada água para diluir a polpa e facilitar o escoamento até o recipiente de coleta da amostra próxima a base da coluna. A geração de bolhas foi feita através da passagem forçada de ar em um tubo poroso situado na base da coluna com pressão controlada por um regulador de pressão ( $2 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) e vazão controlada por rotâmetro da marca *Omel*. O controle da interface polpa/espuma foi realizado através de um sensor de nível ligado a bomba do rejeito.

Após atingido o estado estacionário foram coletadas amostras do fluxo do concentrado e rejeito por um tempo de 30 segundos as quais foram floculadas, desaguadas, secas em estufa por 24 horas a temperatura de  $80 \text{ C}^\circ$ , desagregadas, pesadas em balança de precisão (0,1 mg), quarteadas em quarteador do tipo Jones e enviadas ao laboratório de análises químicas onde foram efetuadas as seguintes determinações:  $\text{P}_2\text{O}_5$ , CaO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{SiO}_2$ , através da técnica de Espectroscopia de Raios X. As amostragens variaram dependendo da amostra de polpa ensaiada e foram realizadas em no mínimo duplicata e em alguns casos em quadruplicata. A Figura 3.10 mostra o fluxograma esquemático da unidade de flotação em coluna em escala piloto (coluna de 4”) montada na Usina de concentração da Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá e na Figura 3.11 fotos do sistema de dosagens de reagentes e da coluna de flotação.



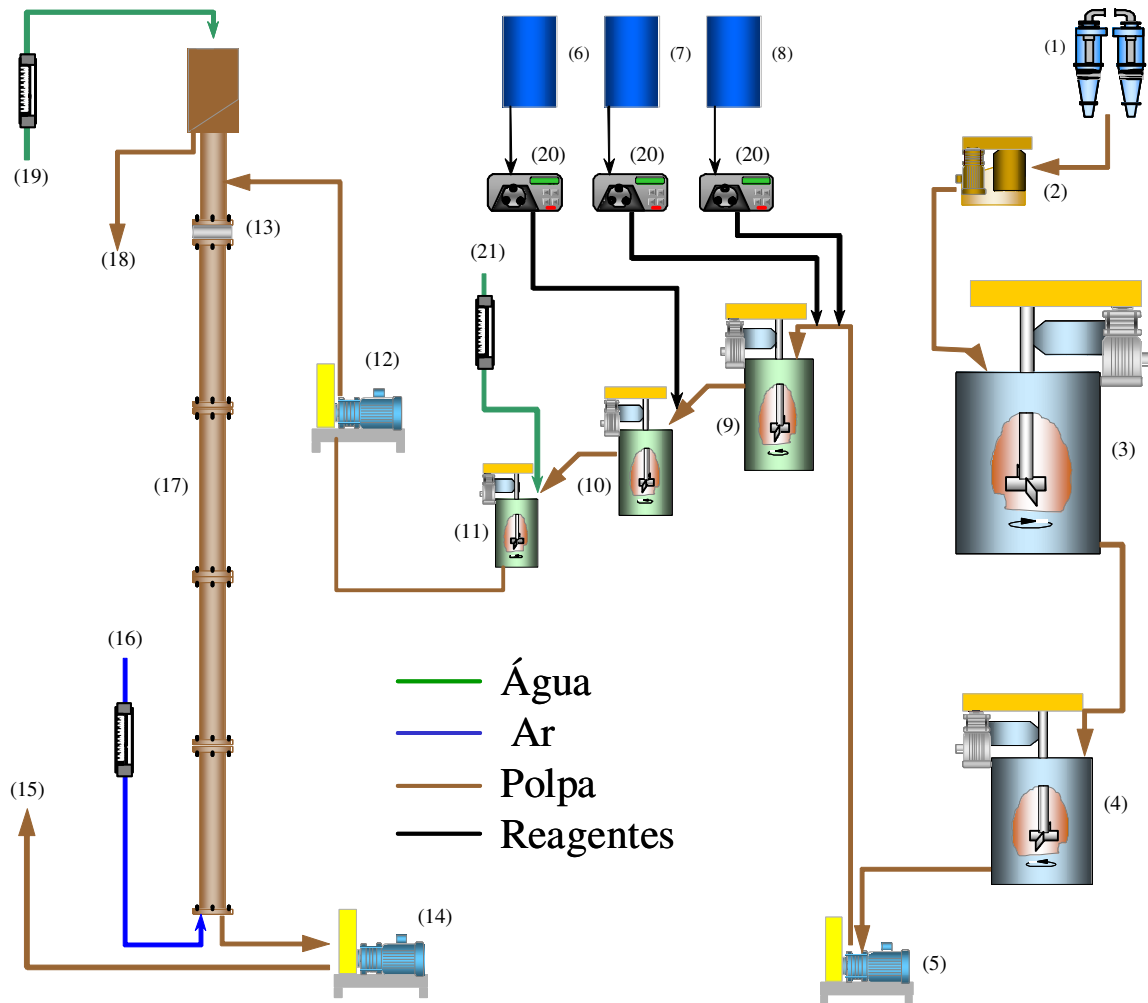


Figura 3.10. Fluxograma esquemático da unidade piloto de flotação em coluna instalada na Usina de concentração da Bunge Fertilizantes S/A, unidade de Araxá. : (1) hidrociclone de classificação dos finos naturais (under 9); (2) bomba BM 301; (3) tanque de armazenamento 1 – TQ 300; (4) tanque de armazenamento 2 – TQ 301; (5) bomba de alimentação dos condicionadores – BM-302; (6) tanque de armazenamento Sabão de óleo de soja (coletor-espumante); (7) tanque de armazenamento do Fubá de milho gelatinizado (depressor); (8) tanque de armazenamento do regulador de pH (soda – 3%p/v); (9) tanque de condicionamento com depressor a ajuste de pH – CN-301; (10) tanque de condicionamento com o coletor/espumante - CN-302; (11) tanque de ajuste da porcentagem de sólidos – TQ-302; (12) bomba de alimentação à coluna de flotação – BM-301; (13) sistema de controle de nível da interface polpa/espuma; (14) bomba de retirada do rejeito – BM-303; (15) saída do rejeito; (16) rotâmetro para controle da injeção de ar; (17) coluna de flotação; (18) saída do produto concentrado; (19) rotâmetro para controle da injeção da água de lavagem; (20) bombas peristálticas para adição dos reagentes; (21) rotâmetro para controle da vazão da água de ajuste de porcentagem de sólidos na polpa.

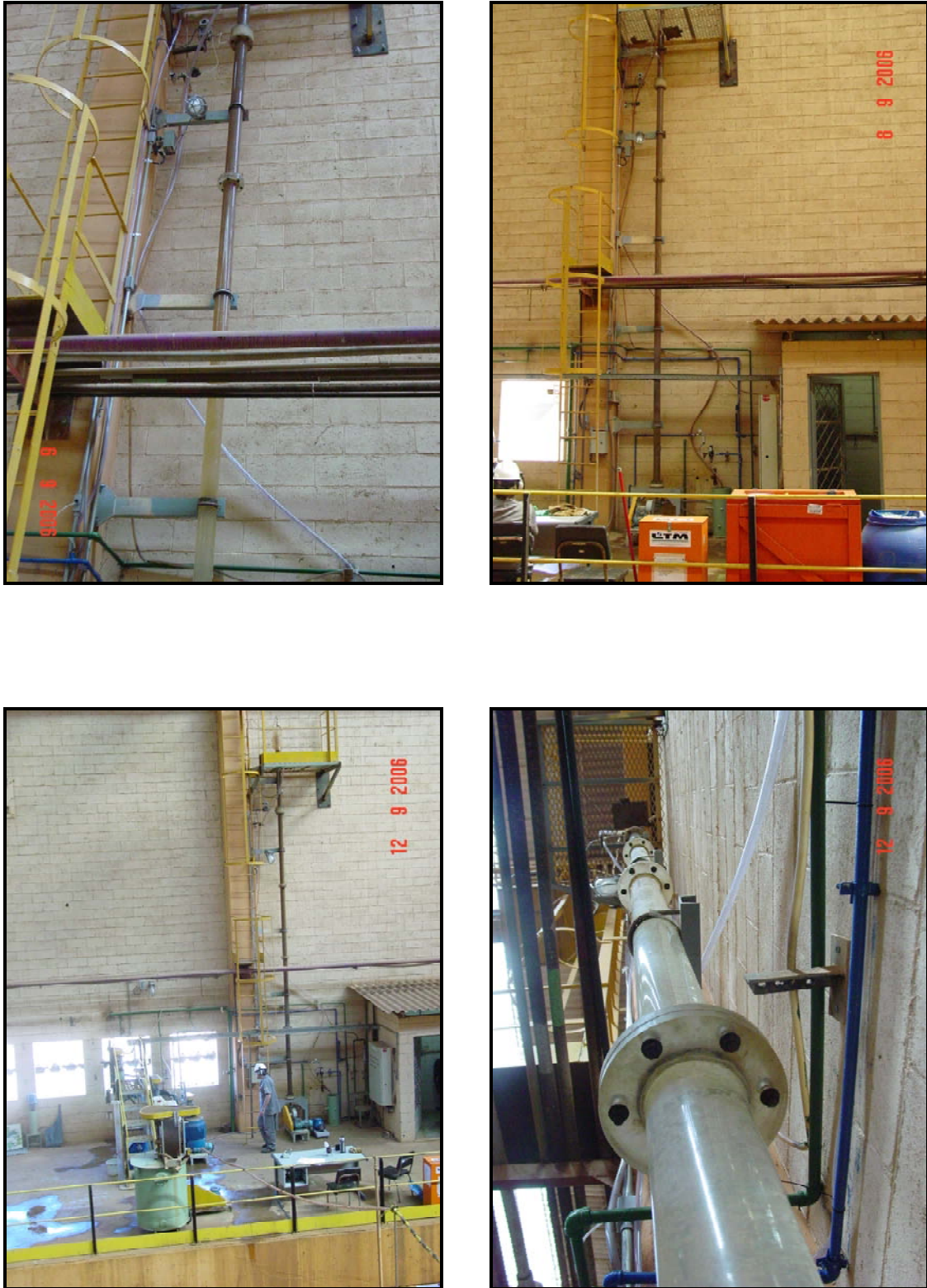


Figura 3.11. Vista geral do sistema de flotação em coluna montado para estudos de flotação em CCR e C3P.

### 3.2.2.2 Ensaios em C3P

Os estudos de flotação na C3P seguiram o procedimento adotado nos estudos em CCR (níveis das variáveis operacionais), porém, na C3P, além da retirada do produto concentrado e rejeitos, é extraído o produto drenado da fase espuma. A retirada foi feita através de uma bomba peristáltica que opera com a mesma velocidade superficial da água de lavagem 1 adicionada na zona de espuma. A adaptação da CCR para a C3P foi feita através da substituição do último trecho da CCR (1,50 m), para o trecho contendo a zona de inflexão. Depois de realizadas as amostragens dos ensaios em CCR para cada amostra de polpa estudada, os fluxos de alimentação e água de lavagem foram interrompidos e feita a montagem da C3P. Entre a parada do sistema em CCR, montagem da C3P e reinício da flotação foi necessário um intervalo entre 45-60 minutos. Foi avaliado o efeito da variação da velocidade superficial da água de lavagem II ( $J_{W2}$ ) adicionada na C3P e o efeito da altura da zona de lavagem intermediária sobre a recuperação mássica e metalúrgica de apatita, teor e distribuição de  $P_2O_5$  e impurezas ( $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$ ) pelos fluxos da coluna.

Após atingido o estado estacionário do sistema (em torno de 90 minutos) foram coletadas amostras dos fluxos do concentrado, drenado e rejeito por um tempo de 30 segundos para determinação do balanço de massa e metalúrgico. Foram realizadas amostragens em duplicata para condição e após isso foi realizada a alteração da variável operacional, no caso da C3P, a mudança no valor de  $J_{W2}$ . A Figura 3.12 mostra fotos da sequência de montagem da C3P e a Figura 3.13 mostra as duas configurações geométricas testadas.



Figura 3.12. Coluna modificada de três produtos piloto (4"). Seqüência de montagem e detalhes da zona de inflexão. Coluna operando em sistema bi-fásico (líquido/ar) e em sistema tri-fásico (sólido/líquido/ar).

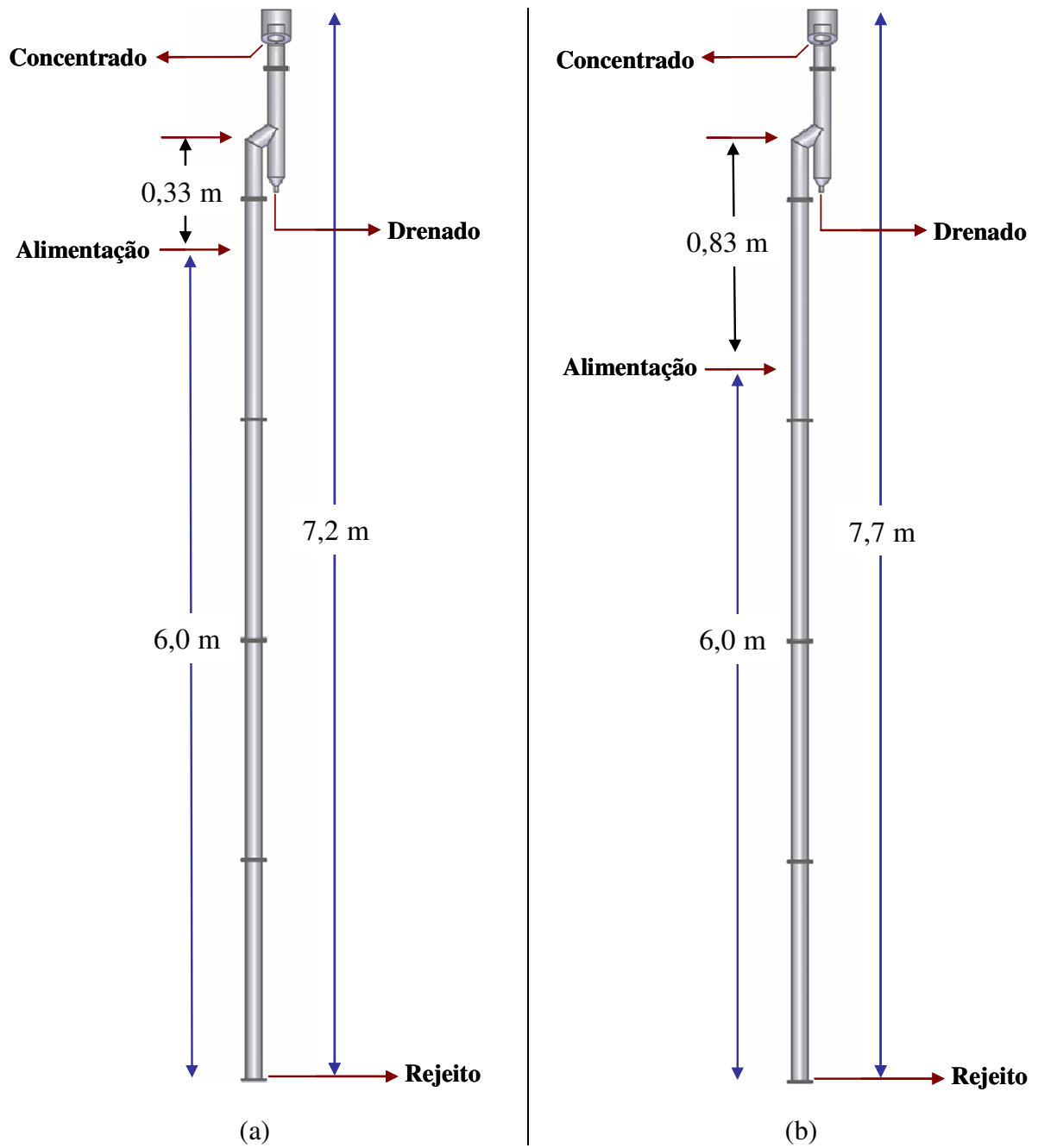


Figura 3.13 Desenho esquemático da coluna modificada de três produtos piloto. Em (a) C3P com zona de lavagem intermediária baixa e em (b) com zona de lavagem intermediária alta.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Medidas de dispersão do gás: Avaliação da distribuição do tamanho de bolhas ( $db$ ), *holdup* de ar ( $\epsilon_g$ ); velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) e fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ )

A Figura 4.1 mostra fotografias e a distribuição das bolhas geradas pelo tubo poroso da coluna, e a Figura 4.2 mostra o diâmetro médio de bolhas (*Sauter*) para diferentes concentrações de *Dowfroth* (5 até 40 mg·L<sup>-1</sup>) para velocidade superficial do ar fixa em 0,49 cm·s<sup>-1</sup>. Para fins de comparação, também são apresentados os valores calculados através do método do *drift-flux* (Yianatos *et al.*, 1988).

Os resultados mostram que quando a concentração de espumante aumenta, as bolhas se tornam menores com o diâmetro médio de *Sauter* decrescendo de 1000  $\mu\text{m}$  para aproximadamente 470  $\mu\text{m}$ . Esse mínimo de tamanho de bolha (e sua distribuição) também depende do *design* do *sparger* (se *venturi*, válvula agulha, misturador estático) e regime do fluxo. Rodrigues e Rubio (2003) mostram para um espumante e sistema similar, que as bolhas podem ser menores que 200  $\mu\text{m}$  com um *venturi* como sistema gerador de bolhas para o mesmo intervalo de concentração de espumante testadas. A maior velocidade do fluido (e a maior energia dissipada no interior do *venturi*) comparada com o cilindro poroso explica a diferença no tamanho de bolhas e nos valores de *holdup*.

Explicações para este comportamento têm sido dadas por outros autores e a diminuição do tamanho de bolhas parece estar associada a energia requerida para a geração das bolhas de ar. Esse fato está relacionado com a diminuição da tensão superficial quando a concentração de espumante aumenta.

Um espumante pode reduzir drasticamente a distribuição de tamanho de bolhas, mas não necessariamente reduz substancialmente a tensão superficial na interface ar/líquido. Na ausência de espumante, bolhas grandes (não medidas) são formadas enquanto que para concentrações maiores que 5 mg·L<sup>-1</sup> o diâmetro médio de bolhas reduz consideravelmente.

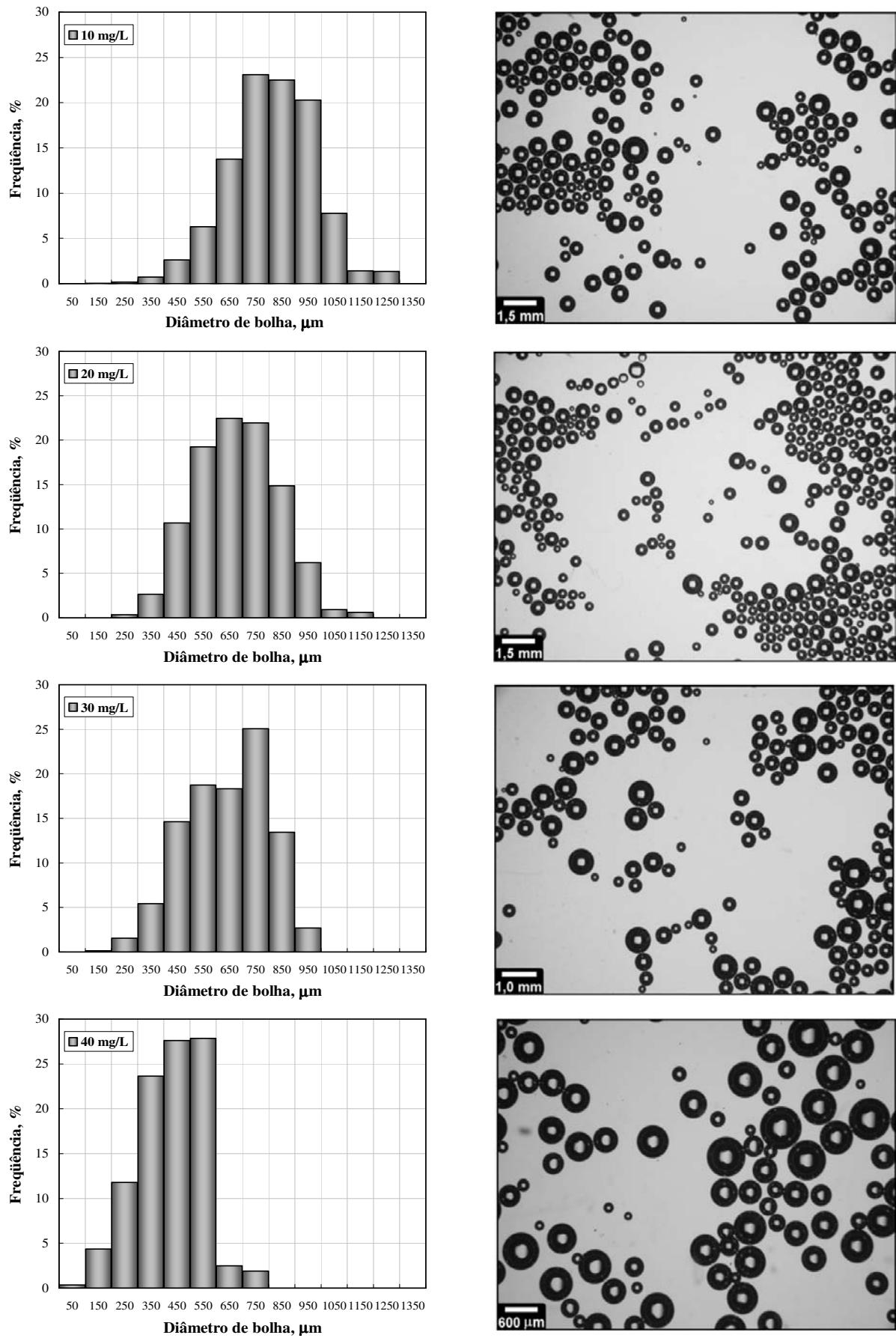


Figura 4.1. Diâmetro médio de bolha em função da concentração de DF 250 e  $J_g$  constante em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

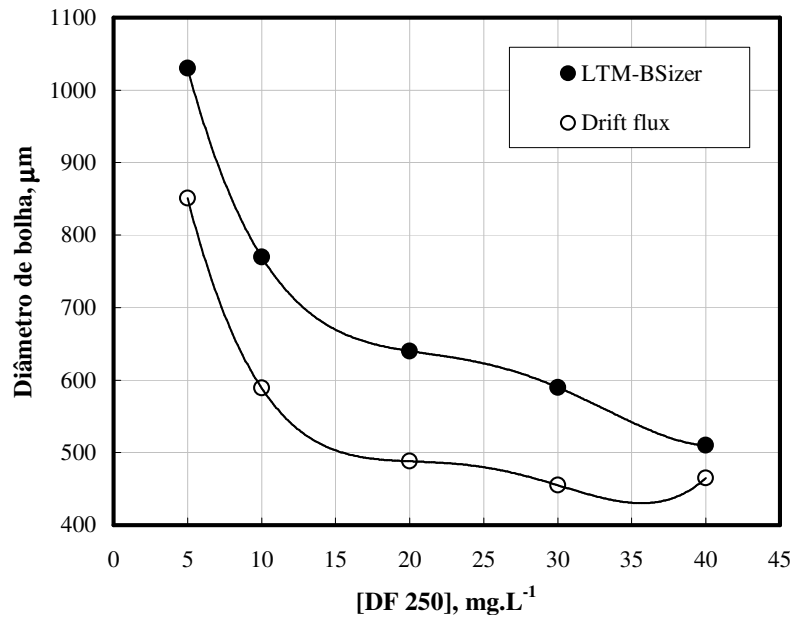


Figura 4.2. Diâmetro de bolha (diâmetro médio de *Sauter*) em função da concentração de DF 250. Medidas realizadas no LTMBSizer ( $J_g$ , constante em  $0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_a = 0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e calculados pelo método do *drift flux* (Yianatos *et al.*, 1988).

Cho e Laskowski (2002) avaliaram o efeito de diferentes espumantes no tamanho de bolhas geradas por *spargers* com um único furo e multi-perfurados e em uma máquina de flotação. Esses autores afirmam que o tamanho de bolhas tem uma forte relação com a dosagem de espumante apenas quando *spargers* multi-perfurados são utilizados ou quando a energia (causada pela turbulência do líquido) é transferida de forma a se produzir o fenômeno de cavitação. Para concentrações de espumante inferiores a concentração crítica de coalescência (CCC), o tamanho de bolha é muito maior o que indica que a coalescência é o mecanismo que determina o tamanho de bolha. Esse fenômeno de coalescência pode ser reduzido quando se adota uma concentração de espumante acima da CCC e pode ser determinada empiricamente no ponto de estabilização da curva de tamanho de bolhas e concentração de espumante (Melo e Laskowski, 2006, Laskowski, 2003, Sweet *et al.*, 1997, Grau *et al.*, 2005).

O fato é que quando bolhas são formadas em água pura, onde uma pequena pressão é transferida, bolhas grandes são formadas. Para operações com pressão inferior a 3 atm e na ausência de espumantes, não há energia suficiente para superar a atrição e nucleação para formar bolhas pequenas. Por outro lado, uma diminuição da tensão superficial na interface líquido/ar gera sítios de baixa energia de nucleação e pequenas bolhas são geradas.

Resultados obtidos nos trabalhos de Takahashi *et al.*, (1979), Féris e Rubio (1999) e Féris *et al.*, (2000) mostram que a energia mínima ( $\Delta F$ ) a ser transferida a fase líquida para formar as



bolhas pelo fenômeno de cavitação (resultante da turbulência do líquido) é dada pela seguinte equação (Takahashi *et al.*, 1979):

$$\Delta F = \frac{5.3 \cdot \Pi \cdot \gamma^3}{(P_o - P_a)^3} \quad (7)$$

onde:

$\gamma$  = tensão superficial na interface ar/líquido ( $\text{Nm}^{-1}$ )

$P_a$  = pressão atmosférica na célula de flotação (atm ou Pascal);

$P_o$  = pressão do fluido na entrada (atm ou Pascal) ou pressão no *sparger*

Assim, a pressão requerida para a geração de bolhas será menor quanto menor a tensão superficial ar/líquido e maior a diferença de pressão através do *sparger* (entrada e saída). Para pequenas diminuições nos valores de tensão superficial ( $7\text{-}10 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$  - Figura 4.3) menor será a atrição sólido/líquido na saída do *sparger* (ou dentro se a água for usada como um *carrier* para o ar). Isso resulta em uma maior velocidade do fluido e em uma rápida formação de bolhas, depois da nucleação e cavitação. Esse fato explicaria a inclinação acentuada no início da curva (Figuras 4.2 e 4.3) e a estabilidade na curva parece ser independente da diminuição da tensão superficial.

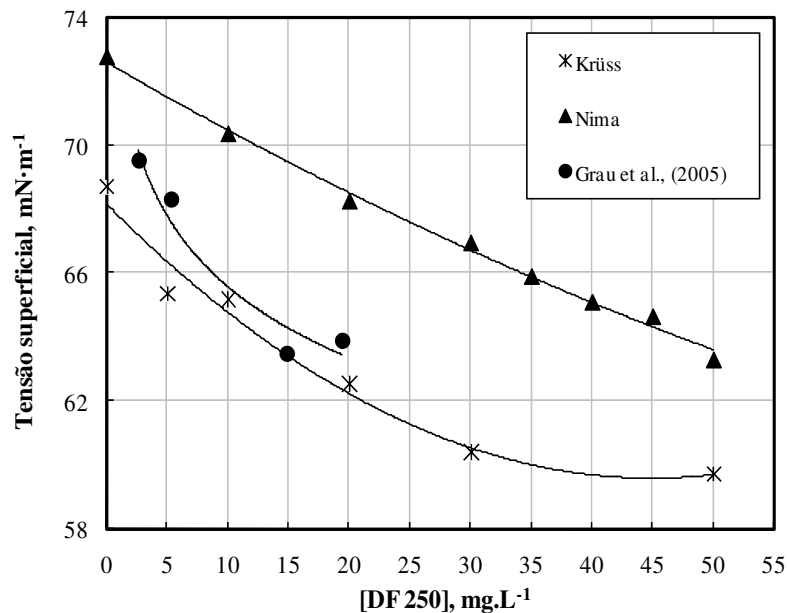


Figura 4.3. Tensão superficial em soluções aquosas em função da concentração de DF 250 para tensiômetros *Krüß* e *Nima* e os resultados reportados por Grau *et al.*, (2005).

Muitos autores encontraram que há uma correlação fraca entre o tamanho de bolhas e a tensão superficial, mas poucos trabalhos detalham os erros experimentais cometidos nos mesmos trabalhos. A Figura 4.3 ilustra o problema na reprodutibilidade e precisão na determinação desse parâmetro. Parece claro que as medidas de tensão superficial dependem do equipamento (método) utilizado, temperatura e qualidade da água. Esse comportamento está ilustrado na Figura 4.3 onde as curvas são diferentes mesmo para a mesma amostra de espumante. Assim, utilizando tensiômetros *Nima* ou *Krüss*, nos quais a medida é feita através da interação entre um anel de platina e a superfície testada utilizando água pura e livre de íons, os dados experimentais são diferentes (assumindo que não há grandes diferenças entre 24-27 C°). Infelizmente, os dados apresentados por Grau *et al.*, (2005) não incluem a temperatura e nem a qualidade da água e também que as medidas parecem ter sido feitas por um anel de platina.

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os resultados de medidas de *holdup* em função da velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) para a concentração de DF 250 variando entre 5 e 40 mg·L<sup>-1</sup> e  $J_a$  de 0,66 e 0,0 cm·s<sup>-1</sup> respectivamente. As figuras mostram um aumento dos valores de *holdup* conforme o aumento  $J_g$ . Também, para um valor constante de  $J_g$ , quanto maior a concentração de DF 250 maior é o *holdup*. Ainda, aumentando a concentração de espumante os valores de *holdup* aumentam provavelmente pela diminuição do tamanho de bolhas, e de novo, após uma certa concentração, os valores tendem a estabilizar (entre 20-40 mg·L<sup>-1</sup>). De acordo com a Figura 4.2, as bolhas reduzem drasticamente de tamanho somente para pequenas concentrações de DF 250. De acordo com alguns autores, para altas concentrações de espumante ou quando a CCC é alcançada, o aumento dos valores de *holdup* diminui porque a diminuição no tamanho de bolhas é insignificante. Também, comparando as Figuras 4.4 e 4.5 é verificado que o aumento de  $J_a$  de 0,0 cm·s<sup>-1</sup> para 0,66 cm·s<sup>-1</sup> acarreta em um aumento no *holdup* de ar, para concentrações de DF 250 iguais e para as mesmas velocidades superficiais de ar.

Tavera *et al.*, (2001) realizaram medidas de *holdup* (em um sistema bi-fásico ar/água) através de medidas de condutividade em uma coluna de laboratório (50 cm de diâmetro) operando sem e com *baffles* dispostos verticalmente. As medidas foram realizadas com e sem a adição de espumante DF 250. Os testes mostraram que o *holdup* apresenta diferença radial ao longo da coluna, que depende do arranjo dos *spargers* e também de seu bom funcionamento. Também, foi verificado que se o ar for injetado uniformemente na coluna, a adição de *baffles* reduz as diferenças axiais observadas nos valores de *holdup*, e também os efeitos de mistura. A adição do tensoativo DF 250 também reduz a diferença axial do *holdup* e aumenta seu valor quando comparado com os testes na ausência do surfactante. Ainda, a adição do surfactante reduz o diâmetro médio de bolhas e como consequência disso, ocorre um aumento no fluxo

superficial de bolhas. Nestes experimentos, o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) variou entre 12 e  $120 \text{ s}^{-1}$ , valores típicos para um sistema bi-fásico ar/água.

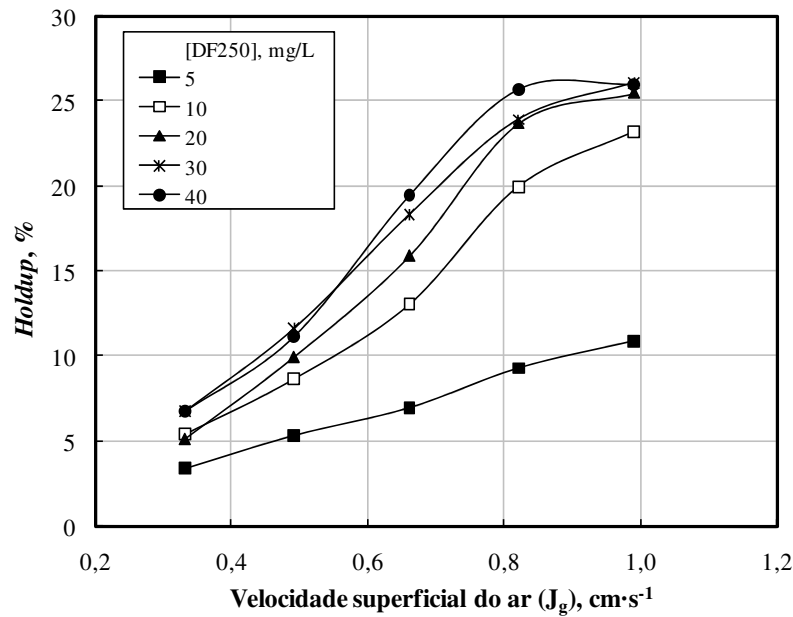


Figura 4.4. *Holdup* em função da velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) para diferentes concentrações de DF 250 e  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

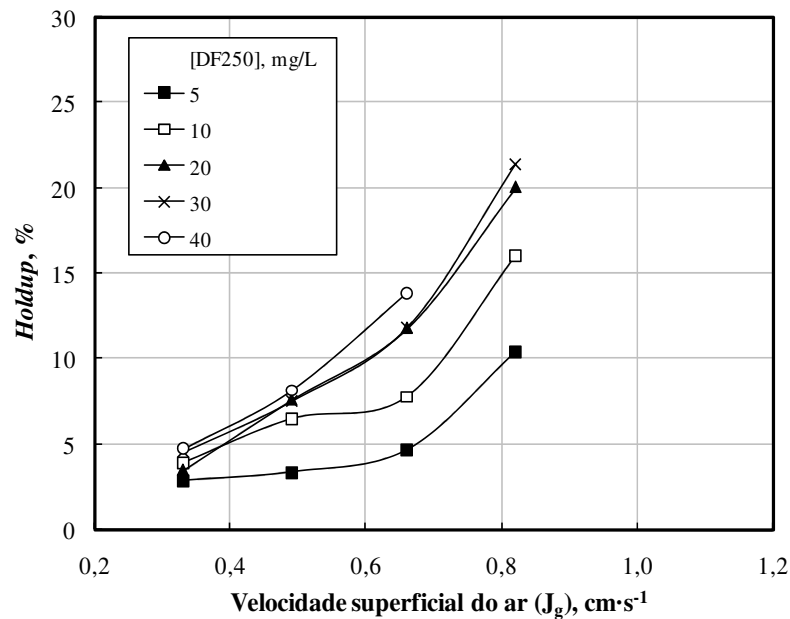


Figura 4.5. *Holdup* em função da velocidade superficial do ar ( $J_g$ ) para diferentes concentrações de DF 250 e  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A Figura 4.6 mostra a relação entre fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) e *holdup* de ar ( $\epsilon_g$ ) para  $J_a$  de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , de forma comparativa entre os dados levantados pelo LTM BSizer e os valores calculados pelo método do *drif flux* (Yianatos *et al*, 1988).

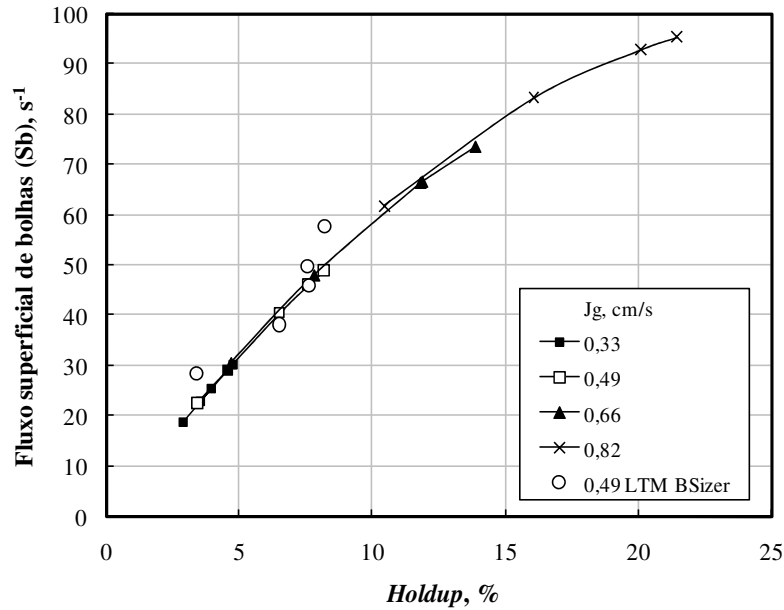


Figura 4.6. Relação entre o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) e  $holdup$  de ar ( $\epsilon_g$ ) para  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Os dados apresentam uma boa correlação e confirmam que para o intervalo de interesse a relação entre  $S_b$  e  $\epsilon_g$  é linear, com melhor relação para valores baixos de  $J_g$ . Esses resultados reforçam o fato de que o  $holdup$  pode ser usado com um bom indicador do  $S_b$  e ambos servem para caracterizar o processo de flotação, assim como sugerido no trabalho de Finch *et al.*, (2000), que, analisando dados da literatura de medidas de  $S_b$  e  $\epsilon_g$  em colunas de laboratório e piloto, células mecânicas de laboratório e em escala industrial, demonstram que há uma relação linear entre o  $holdup$  de gás ( $\epsilon_g$ ) e o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ). Esses pesquisadores sugerem que o  $holdup$  de gás pode ser substituído pelo fluxo superficial de bolhas para o *scale up* de células de flotação, levando-se em conta que as medidas de  $holdup$  são mais fáceis de adquirir. Hernández *et al.*, (2003) utilizaram uma coluna de flotação para avaliar a influência dos parâmetros de dispersão do gás (velocidade superficial, tamanho de bolhas,  $holdup$  e fluxo superficial de bolhas) na constante cinética de flotação de efluentes da indústria do papel. Esses autores estabelecem que a constante cinética de flotação depende linearmente de  $\epsilon_g$  e  $S_b$ .

A Figura 4.7 mostra o efeito da velocidade superficial do fluxo da alimentação sobre a relação  $S_b$ - $\epsilon_g$  calculados pelo método do *drif flux*. De acordo com os resultados, um aumento no valor de  $J_a$  levará a um aumento do valor de  $holdup$ , mantendo-se constante o  $J_g$  e o tamanho de bolhas. Por outro lado, para valores constantes de  $holdup$ , o  $S_b$  irá aumentar com a diminuição de  $J_a$ , se o tamanho de bolhas diminuir.

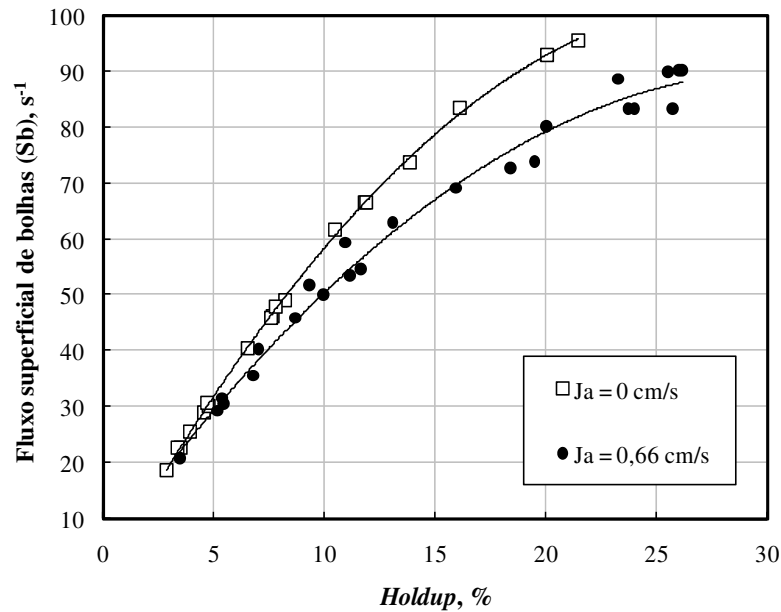


Figura 4.7. Relação entre o fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) e holdup de ar ( $\epsilon_g$ ) para  $J_a = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Kracht *et al.*, (2005) utilizando duas amostras de sulfeto de cobre da Codelco-Chile, Divisão Andida, sendo umas delas a alimentação do circuito de flotação *rougher* com  $d_{80}$  de  $182\mu\text{m}$  e teor de  $1,29\%$  de Cu, e outra amostra do rejeito da flotação *cleaner* que alimenta a flotação *scavenger* desse circuito com  $d_{80}$  de  $74\mu\text{m}$  e teor de  $2,33\%$  de Cu, estabeleceram, baseados em dados experimentais, um modelo para determinação da constante cinética de flotação através de medidas de dispersão do gás (diâmetro de bolhas e  $S_b$ ) para uma célula de flotação *Outokumpu* (3,7 L) e para uma célula *Labtech-ESSA* (4,9 L). Em relação à determinação do tamanho de bolhas, foi verificado que para a célula da *Outokumpu* ocorre uma diminuição na distribuição do tamanho de bolhas (valores mais próximos da média) conforme o aumento da velocidade periférica do impelidor ( $N_s$ ) e que o tamanho de bolha máximo subiu de  $1,4\text{mm}$  para a velocidade mais alta para  $2,8\text{mm}$  para o menor valor de  $N_s$ . Esse efeito não foi verificado para a célula *Labtech-ESSA*, que, independente dos níveis das variáveis estudadas apresentou uma distribuição de tamanho de bolhas mais próximo da média. Os valores de  $S_b$  para a célula *Outokumpu* nos estudos com a amostra da alimentação da flotação *rougher* variaram entre  $73\text{--}125 \text{ s}^{-1}$  e para a amostra da alimentação da flotação *scavenger* os valores encontrados foram entre  $71\text{--}100 \text{ s}^{-1}$ . Para a célula *Labtech-ESSA* as variações foram entre  $19\text{--}99 \text{ s}^{-1}$  para a alimentação *rougher* e entre  $24\text{--}75 \text{ s}^{-1}$  para a alimentação *scavenger*. Com esses dados, foi desenvolvido um modelo empírico capaz de prever a constante cinética de flotação ( $k$ ) com erro relativo menor que  $10\%$  para as duas células de flotação estudadas.

## 4.2 Avaliação da distribuição dos fluxos de água na C3P com o uso de traçadores solúveis.

### 4.2.1 Estudos em sistema bi-fásico ar/líquido

A Figura 4.8 mostra a curva de condutividade em função do tempo para os fluxos do rejeito e do drenado para ensaios com injeção de traçador no ponto da alimentação da coluna de flotação para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . A Figura 4.9 apresenta outras seis curvas de condutividade em função do tempo, também para os fluxos do drenado e do rejeito para  $J_{W2}$  entre  $0,16$  e  $0,82 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

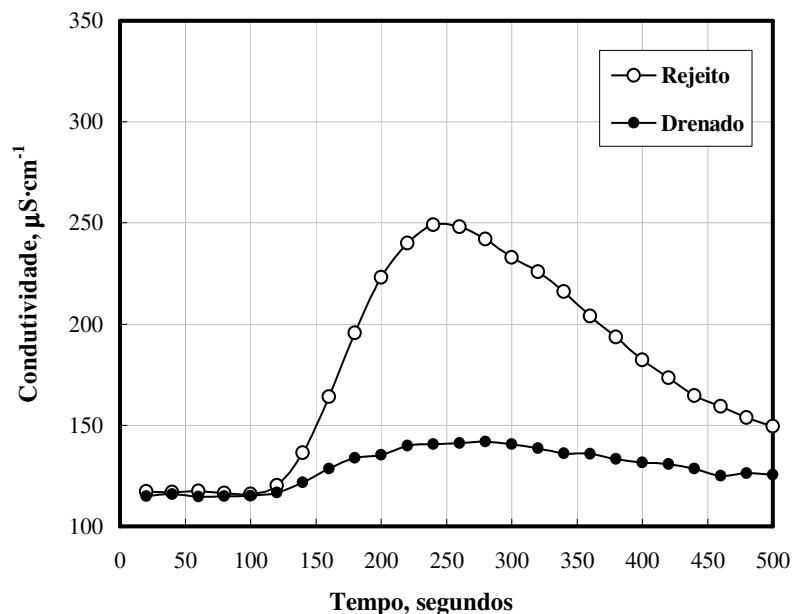


Figura 4.8 Condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de *alimentação* da coluna. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). Condições:  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Para o caso de  $J_{W2}$  de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,16 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  observa-se um pequeno aumento da condutividade no fluxo do drenado para os tempos entre 150 e 350 segundos, indicando que há arraste de água da alimentação diretamente a esse fluxo, mesmo que em pequenas quantidades dado os baixos valores de condutividade medidos. Quando  $J_{W2}$  é maior de  $0,38 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  esse efeito não é mais visualizado visto que a curva de condutividade no fluxo do drenado fica estável ao longo do tempo, indicando que não ocorre arraste de água da alimentação até essa corrente. Outra característica importante em relação ao formato das curvas é o fato de que conforme o aumento de  $J_{W2}$  a curva de condutividade no fluxo do rejeito apresenta menor dispersão sugerindo que o regime de fluxo da coluna de aproxima ao fluxo pistão. Ainda, a curva de

condutividade confirma a diminuição do tempo de residência na coluna conforme o aumento de  $J_{W2}$  pelo fato dos valores de condutividade atingirem em menor tempo o valor de *background* inicial.

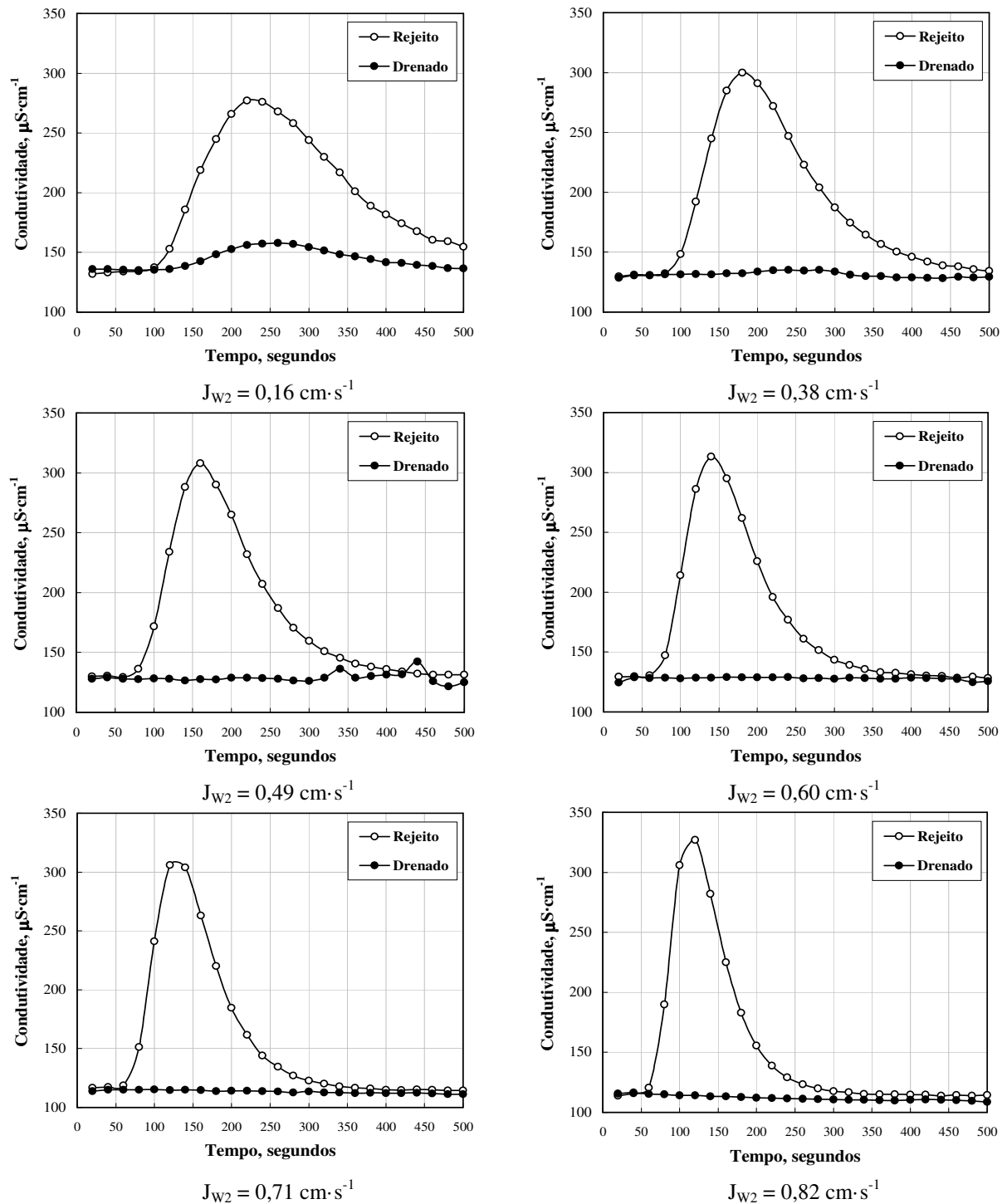


Figura 4.9. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado. Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de *alimentação* da coluna. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 = 30  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Yianatos *et al.*, (1999) mediram a DTR da fase líquida em duas colunas de flotação no circuito *cleaner* de flotação de Cu e Mo da Divisão Andina, da empresa Codelco, Chile. A DTR foi modelada com o modelo de tanques em série consistindo de dois pequenos e um grande regime de mistura perfeita em série, mais um “tempo morto”. As condições de mistura local, descrita pelos dois pequenos regimes de mistura, pode ser relacionado com a zona de entrada da alimentação na coluna e com zona de geração de bolhas na base desta, enquanto que a grande zona de mistura está relacionada com o volume da coluna onde estão posicionados os *baffles*. Os resultados obtidos mostram que o regime de mistura das colunas fica próximo a mistura perfeita pelo fato da alta velocidade superficial de ar utilizada ( $3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Apesar disso, não foi verificado o arraste de água da alimentação para a zona de espuma, dado aos altos valores de velocidade superficial da água de lavagem ( $> 0,4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ) prevenindo assim o arraste.

A Figura 4.10 mostra a curva de condutividade em função do tempo para os fluxos do drenado e rejeito (a) e para o concentrado e drenado (b) para ensaios em que o traçador foi injetado no fluxo da água de lavagem I. A curva em (a) mostra os resultados para o caso onde não houve transbordo pelo concentrado da coluna e indica que a quase totalidade da água de lavagem I se reporta diretamente ao produto drenado com pequena fração reportada ao fluxo do rejeito, com aumento da condutividade após um tempo de 300 segundos. A curva mostrada em (b) é referente a um ensaio onde houve transbordo pelo fluxo do concentrado. O ensaio indica que nos instantes imediatamente após a injeção do traçador parte do fluxo de água de lavagem I segue para o concentrado e após 120 segundos aproximadamente, parte do fluxo se reporta ao produto drenado.

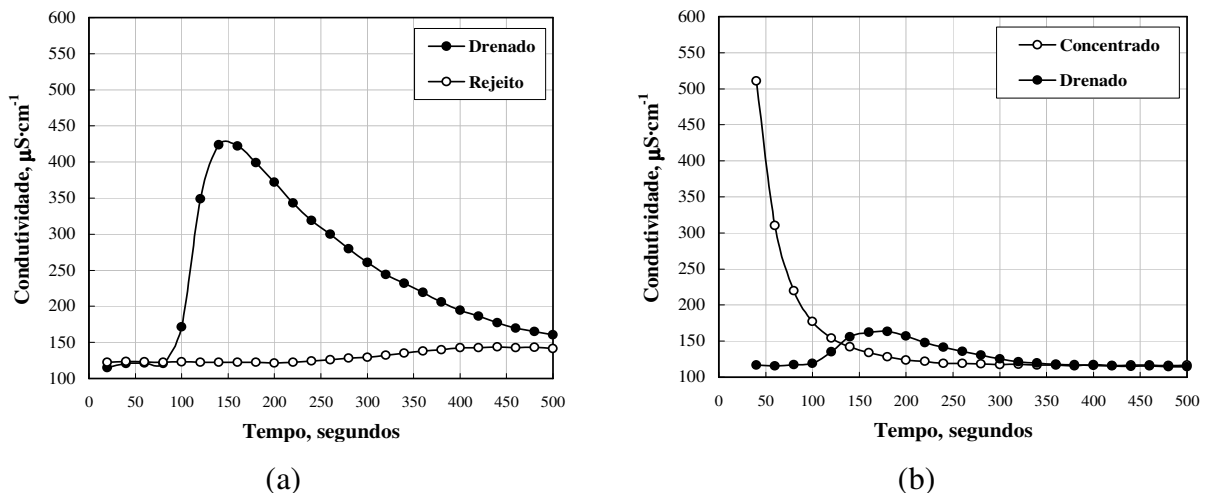


Figura 4.10. Condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado (a) e para medidas no concentrado e drenado (b) Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de adição da *água de lavagem I*. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

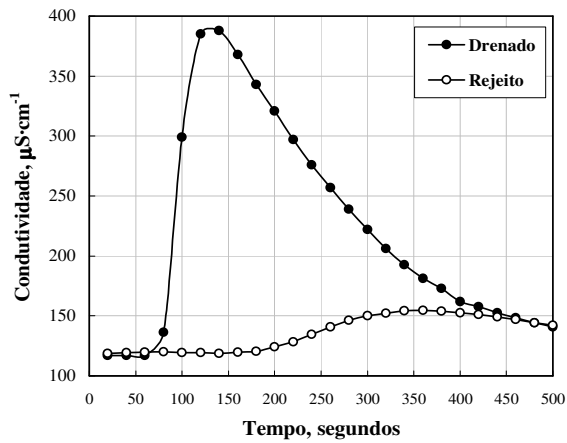


As curvas de condutividade em função do tempo para os fluxos do drenado e do concentrado em função do tempo para ensaios com injeção do traçador no ponto de adição da água de lavagem II variando-se a velocidade superficial da água de lavagem II ( $J_{W2}$ ) são mostradas na Figura 4.11. Fica claro que independente do valor de  $J_{W2}$ , para a faixa testada entre 0,16 e 0,82  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , a maior parte do fluxo de água de lavagem se reporta ao produto drenado e uma fração menor ao fluxo do rejeito, a qual aumenta conforme o aumento de  $J_{W2}$ .

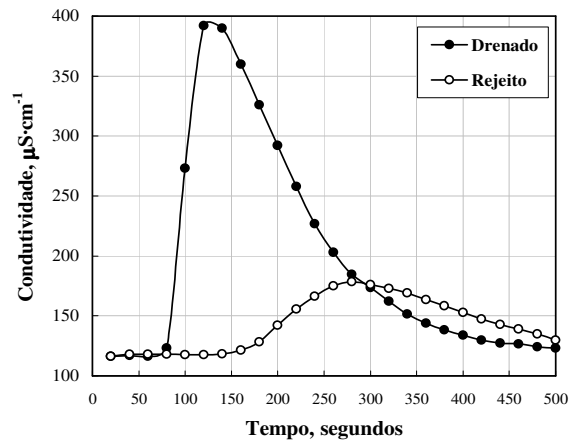
Segundo Yianatos (2002), Yianatos e Bergh (1992; 1993), Yianatos *et al.*, (2001) o tempo de residência das partículas aumenta com a diminuição do tamanho destas e fica próximo a da fase líquida para as ultrafinas. Também, partículas maiores que 100  $\mu\text{m}$  possuem um tempo médio de residência igual a metade do tempo de residência da fase líquida.

Yianatos *et al.*, (2005) avaliaram as características de mistura (distribuição de tempo de residência da fase líquida e sólida) em um banco *rougher* de células mecânicas e em colunas de flotação, em escala industrial. Os resultados mostram que para o banco de células convencionais, o regime de fluxo pode ser descrito por um número de tanques em série, equivalente ao número células no banco. Dessa maneira, para fins metalúrgicos, o modelo simples de tanque em série pode ser usado para identificar a cinética de flotação do mineral em um banco de células. Para as colunas de flotação, as condições de mistura são próximas a mistura perfeita. Assim, um modelo considerando dois pequenos e um grande regime de mistura perfeita em série, mais um tempo “morto” pode ser usado para descrever o comportamento de colunas de grande escala.

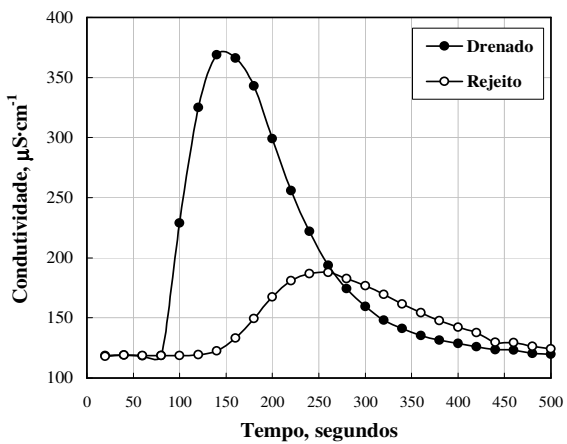
Também, é mostrado que a DTR para colunas industriais pode ser descrito usando a solução numérica do modelo de dispersão axial com condições de contorno “fechado-fechado”. No banco de células convencionais, o tempo de residência das partículas (25%  $p/p$ ) > 212  $\mu\text{m}$  é 5% menor do que o da fase líquida. Também, o tempo de residência das partículas diminui com o aumento do tamanho destas, sendo esse efeito menos significativo no caso das colunas.



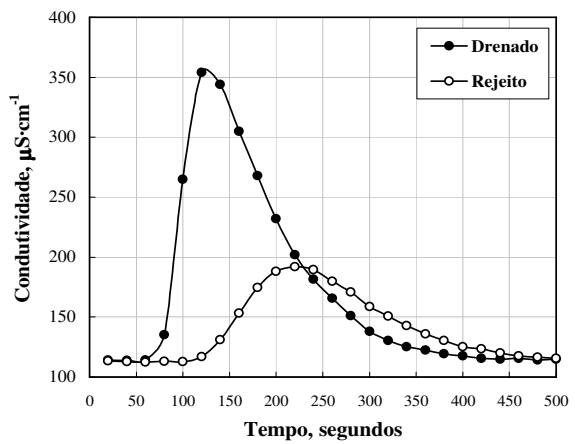
$$J_{W2} = 0,16 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$



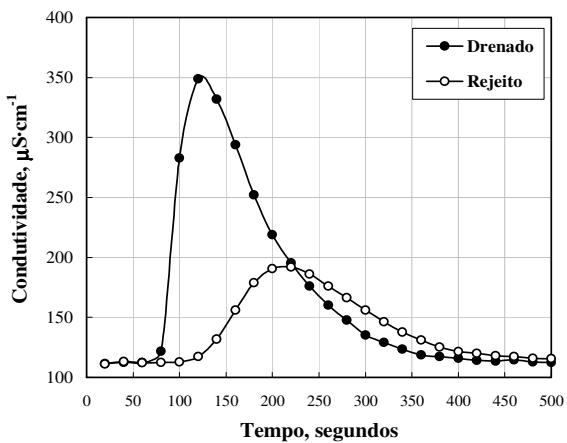
$$J_{W2} = 0,38 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$



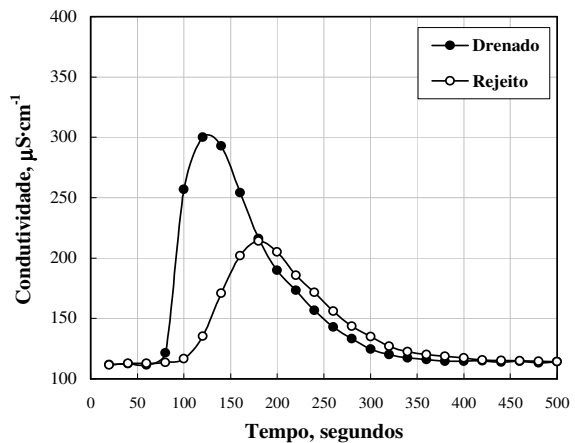
$$J_{W2} = 0,49 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$J_{W2} = 0,60 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$J_{W2} = 0,71 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$J_{W2} = 0,82 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

Figura 4.11. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a condutividade em função do tempo para medidas no fluxo de saída do rejeito e drenado. Estudos em sistema bi-fásico líquido/ar. Injeção do traçador no ponto de adição da *água de lavagem II*. Volume de solução com traçador = 2 mL (80 mg de NaCl). **Condições:**  $J_a = 0,66 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,49 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,26 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Concentração de DF 250 =  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### **4.2.2 Estudos de flotação com injeção de traçador em sistema tri-fásico sólido/líquido/ar**

A Tabela XV apresenta os resultados da performance metalúrgica da C3P (recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$ , teor de  $Fe_2O_3$  e teor de  $SiO_2$ ) para quatro combinações diferentes de velocidade superficial das duas águas de lavagem adicionadas na coluna. A recuperação em massa na corrente do concentrado variou entre 14-20%, a recuperação metalúrgica de apatita entre 50-75% com teores de  $P_2O_5$  sempre acima de 34%, teor de  $Fe_2O_3$  entre 3-6% e teores de  $SiO_2$  de 1,2 até 2,3%. No produto drenado é observada uma queda acentuada na recuperação em massa quando é adicionada a água de lavagem II, caindo de 9,6% para valores entre 1,5 e 3%. O mesmo comportamento é observado na recuperação metalúrgica de apatita, que passa de 6% aproximadamente quando a água de lavagem II é igual a zero, para valores entre 0,9 até 2,7%. Os teores de impurezas de  $Fe_2O_3$  e de  $SiO_2$  são altos no drenado, sugerindo assim o descarte desse material quando for aplicada a segunda água de lavagem, dada a baixa massa dessa corrente e as perdas de apatita serem pequenas. A Figura 4.12 mostra os resultados de medidas de condutividade dos três produtos da coluna para as quatro combinações de velocidade de água de lavagem avaliadas.

Os picos de condutividade observados nos rejeitos da Figura 4.12 indicam que a adição da segunda água de lavagem evita o arraste de água para o produto do drenado e do concentrado, validando assim a recuperação obtida na zona de espuma.

Tabela XIV – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$ , teor de  $Fe_2O_3$  e teor de  $SiO_2$  para os estudos de flotação em C3P. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). *Condições:* Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

$J_{W1}$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$J_{W2}$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	Corrente	R massa %	R apatita %	Teor			
					CaO	$P_2O_5$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$
0,25	0,00	C	13,9	54,0	47,7	36,8	4,2	1,2
		D	9,6	6,3	8,1	9,5	33,4	18,6
		R	76,4	39,7	6,4	9,4	34,0	19,1
0,25	0,40	C	13,2	50,6	45,4	34,9	4,8	1,2
		D	1,1	0,9	9,7	10,9	32,1	18,1
		R	85,7	48,5	6,7	9,9	33,1	19,2
0,31	0,31	C	20,2	75,2	45,4	35,9	6,1	2,3
		D	1,6	1,2	9,1	10,1	31,5	17,9
		R	78,2	23,6	3,7	7,4	35,5	19,6
0,40	0,40	C	17,3	64,6	45,2	34,3	3,3	1,3
		D	3,0	2,7	11,1	12,6	3,0	17,6
		R	79,7	32,7	5,0	7,8	93,6	20,3

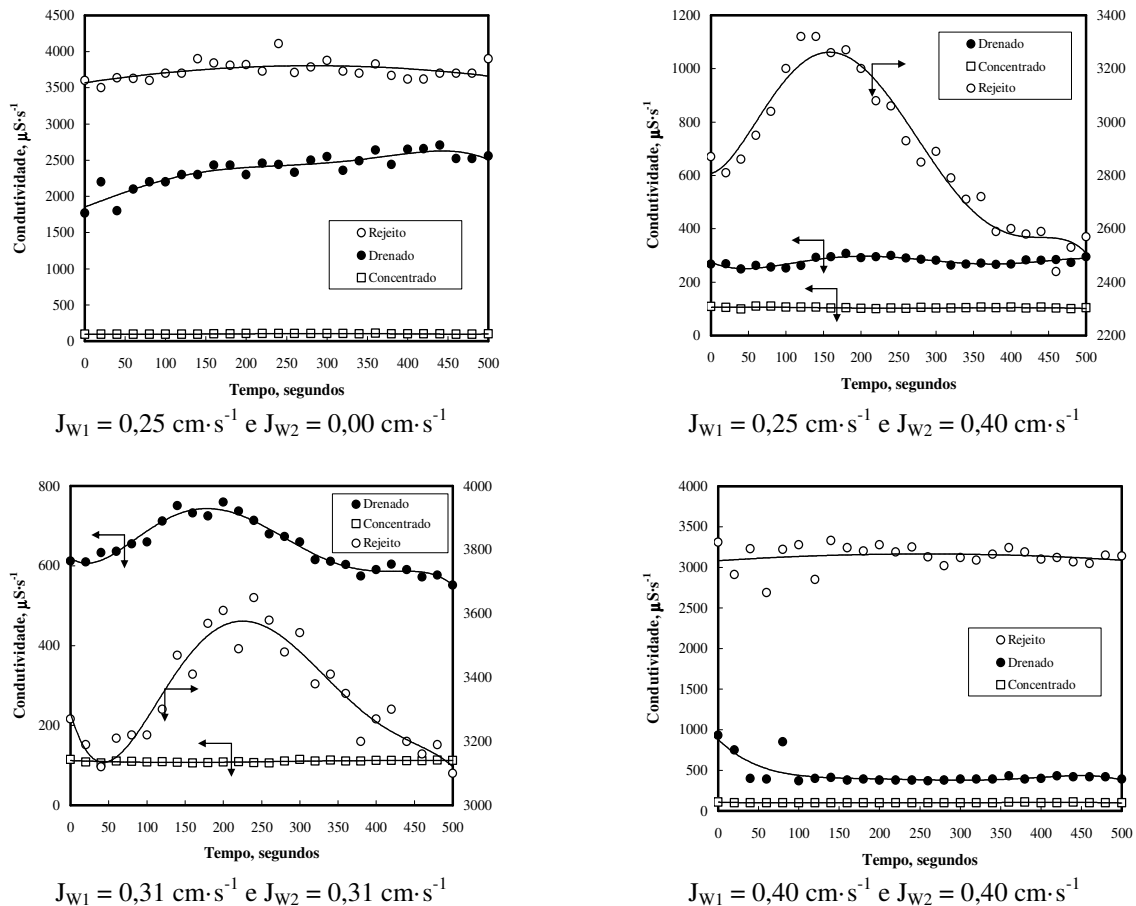


Figura 4.12. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,00 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: alimentação.**

## - Estudos com injeção do traçador na água de lavagem II

A Tabela XVI apresenta os resultados da performance metalúrgica da C3P (recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e teor de  $\text{SiO}_2$ ) para as duas combinações diferentes de velocidade superficial das duas águas de lavagem adicionadas na coluna para os estudos com injeção de traçador na segunda água de lavagem. A recuperação em massa foi de 20,2% e recuperação metalúrgica de apatita de 75,2% para o caso onde  $J_{W1}=J_{W2}=0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , com teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 35,9%; 6,1 de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e de  $\text{SiO}_2$  de 2,3%. Quando  $J_{W1}=J_{W2}=0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  a recuperação em massa no concentrado foi de 17,3% e a recuperação metalúrgica de apatita foi de 64,6% com teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 34,3%; 3,3 de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e 1,3 de  $\text{SiO}_2$ . Como citado anteriormente, as perdas em massa e de apatita no drenado são bastante pequenas.

A Figura 4.13 mostra os resultados de condutividade para o rejeito e o drenado quando da injeção do traçador no ponto de adição da água de lavagem II. Assim como observado em sistema de duas fases (líquido/gás), a maior parte da água de lavagem II se reporta para o produto drenado. Apesar disso, a adição dessa água evita a transferência de massa e de apatita para essa corrente conforme indicam os resultados metalúrgicos. Esses resultados sugerem que quando da adição da segunda água de lavagem, a massa do drenado seja produto da drenagem realizada pela água de lavagem I adicionada na zona de espuma.

Tabela XV – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$ , teor de  $Fe_2O_3$  e teor de  $SiO_2$  para os estudos de flotação em CCP. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

$J_{W1}$ $\text{cms}^{-1}$	$J_{W2}$ $\text{cms}^{-1}$	Corrente	R massa %	R apatita %	Teor			
					CaO	$P_2O_5$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$
0,31	0,31	C	20,2	75,2	45,4	35,9	6,1	2,3
		D	1,6	1,2	9,1	10,1	31,5	17,9
		R	78,2	23,6	3,7	7,4	35,5	19,6
0,40	0,40	C	17,3	64,6	45,2	34,3	3,3	1,3
		D	3,0	2,7	11,1	12,6	3,0	17,6
		R	79,7	32,7	5,0	7,8	93,6	20,3

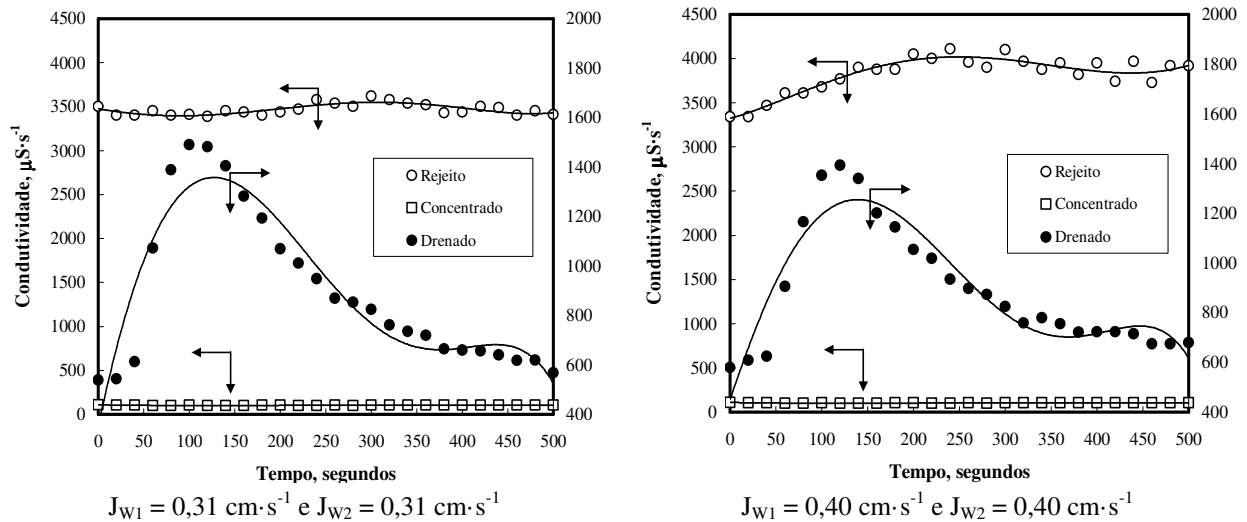


Figura 4.13. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: Água de lavagem II.**

#### - Estudos de flotação com injeção do traçador no ponto de adição da água de lavagem I

A Tabela XVII apresenta os resultados da performance metalúrgica da C3P (recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e teor de  $\text{SiO}_2$ ) para estudos de flotação com  $J_{W1}$  em  $0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_{W2}$  em  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e com injeção de traçador no ponto de adição da água de lavagem I. A Figura 4.14 mostra os resultados de medidas de condutividade para o concentrado, drenado e rejeito em função do tempo. O pico na curva de condutividade do drenado indica a água de lavagem I é direcionada para o produto drenado cumprindo o objetivo de drenagem de partículas hidrofílicas da zona de espuma para o produto drenado.

Tabela XVI – Recuperação mássica, metalúrgica de apatita, teor de  $P_2O_5$ , teor de  $Fe_2O_3$  e teor de  $SiO_2$  para os estudos de flotação em CCP. Avaliação do efeito da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{W1}$ ) e água de lavagem II ( $J_{W2}$ ). Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

$J_{W1}$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$J_{W2}$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	Corrente	R massa %	R apatita %	Teor			
					CaO	$P_2O_5$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$
0,25	0,27	C	18,3	71,1	46,4	36,2	6,1	2,6
		D	1,4	0,6	4,9	7,2	36,4	18,8
		R	80,2	28,3	4,2	7,8	35,2	20,4

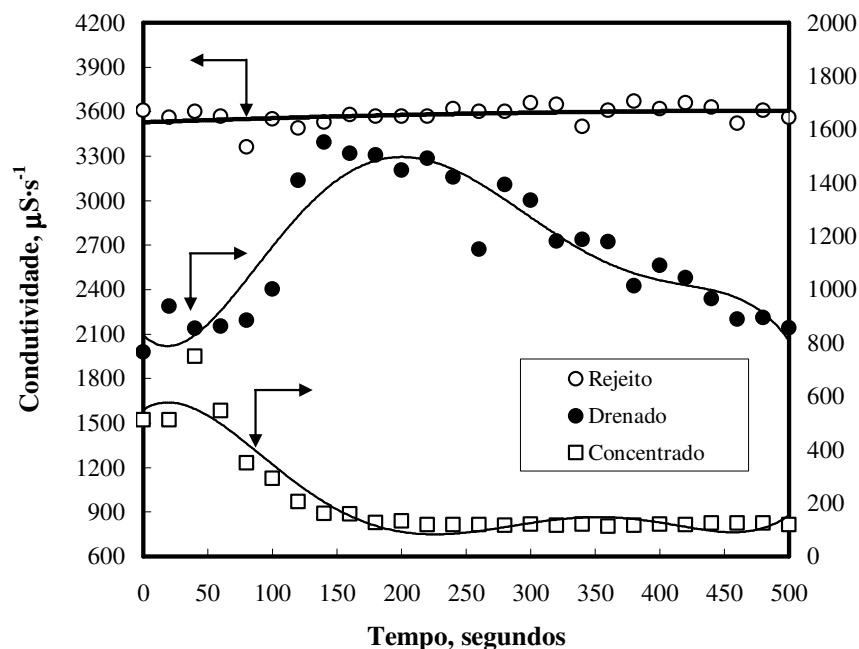


Figura 4.14. Condutividade em função do tempo para a corrente do concentrado, drenado e rejeito na C3P. Condições: Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W1} = 0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_{W2} = 0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12. **Ponto de injeção do traçador: água de lavagem I.**



### 4.3 Estudos de flotação em escala de laboratório (Coluna de 1'')

#### 4.3.1 Estudos de flotação em CCR

Nos estudos em CCR foi avaliado o efeito da variação da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_W$ ) mantendo-se as demais condições operacionais fixas. A Figura 4.15 (a) mostra o efeito da variação de  $J_{W1}$  entre  $0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  sobre a recuperação em massa e em (b) sobre a recuperação metalúrgica de apatita. O aumento de  $J_W$  (para o intervalo testado) causa pouca variação nesses dois parâmetros de desempenho, sendo que a recuperação em massa variou entre 19,6% e 20,4% e a recuperação metalúrgica entre 74,0% e 74,6%. O teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 4.16) não apresenta uma tendência definida, variando entre 32,7% e 35%, sendo que o menor teor foi observado quando aplicado  $J_W$  de  $0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . É razoável afirmar que essa pequena diferença de teor para esse ponto em especial se deva a análise química. Para o conteúdo de impurezas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  é visualizada uma clara tendência de diminuição do conteúdo desses elementos penalizantes conforme o aumento do valor de  $J_W$ . O teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cai de 8,2% quando aplicado  $J_W$  de  $0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  para 6,2% quando o valor de  $J_W$  é de  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , enquanto o teor de  $\text{SiO}_2$  vai de 3,5% para 2,7% (Figura 4.17 (a) e (b)).

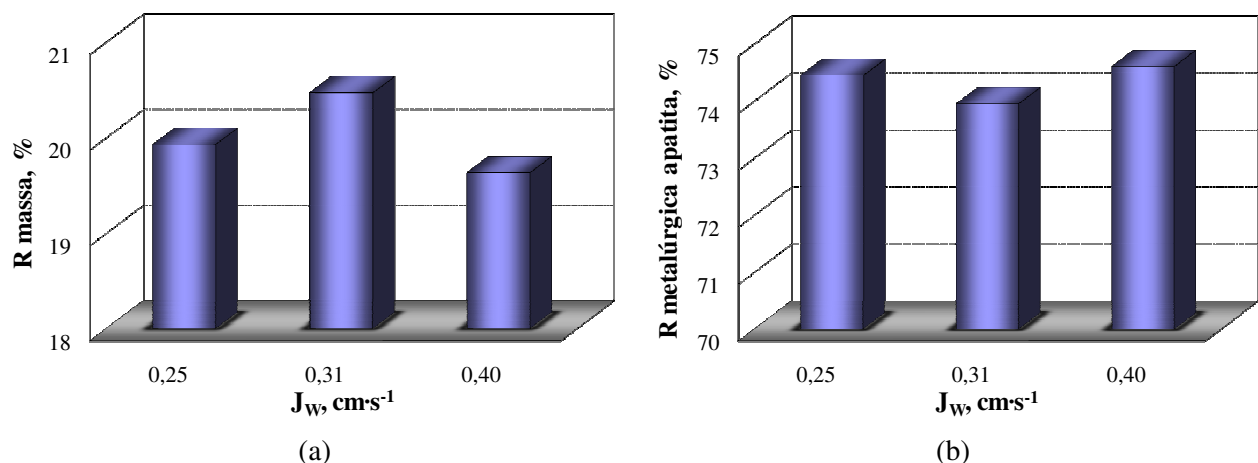


Figura 4.15. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_W$ ) sobre a recuperação mássica (a) e metalúrgica de apatita (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

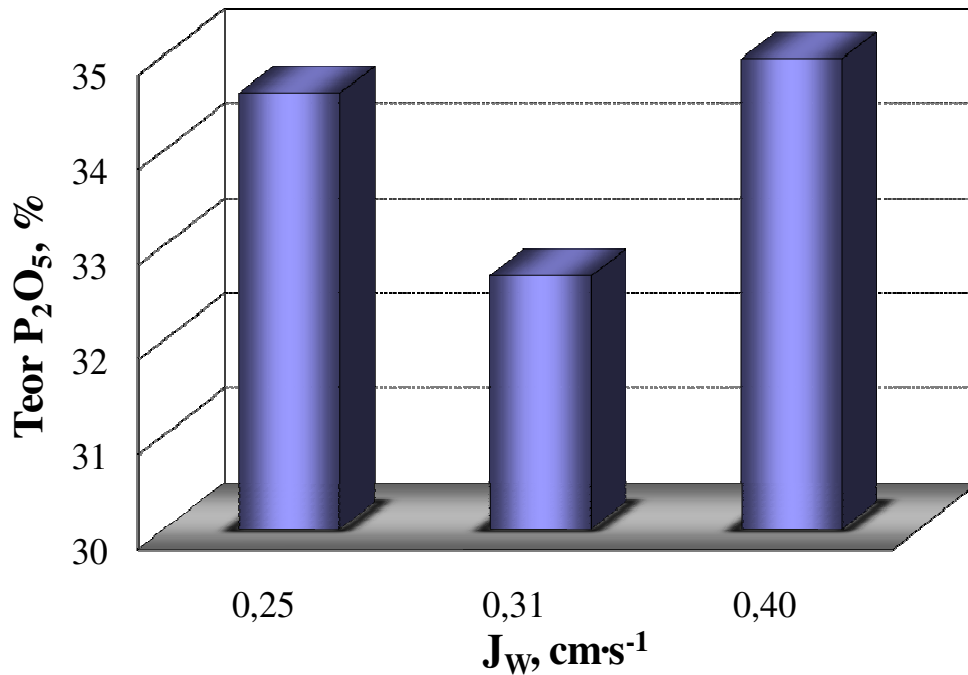


Figura 4.16. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_w$ ) no teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

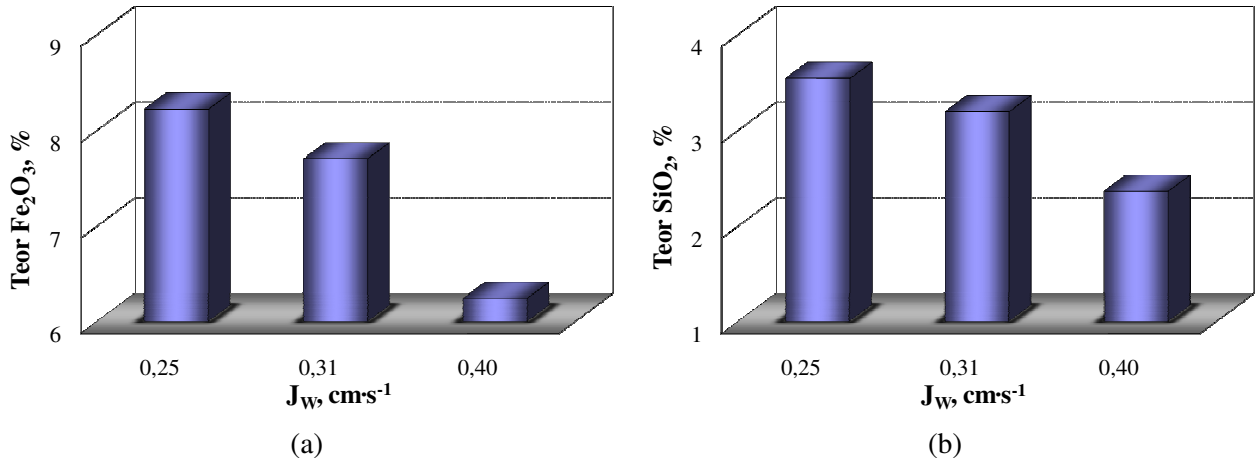


Figura 4.17. Efeito da velocidade superficial da água de lavagem ( $J_{w1}$ ) no teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e de  $\text{SiO}_2$  (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

Esse mesmo comportamento de aumento de teor do concentrado final sem perdas na recuperação metalúrgica de  $\text{P}_2\text{O}_5$  foi observado por Furtado e Peres (1985) na flotação de finos de minério fósforo-uranífero de Itaitia, Ceará, para  $J_w$  entre  $0,09 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  em uma coluna de 5 cm de diâmetro interno.

O estudo de Tao *et al.*, (2000) realizado em um coluna de 5cm de diâmetro e 1,70m de altura mostra que a performance da flotação de finos de carvão pode ser otimizada via estabilização da camada de espuma através da manipulação das variáveis de processo velocidade superficial do gás ( $J_g$ ), velocidade superficial da água de lavagem ( $J_w$ ), altura da camada de espuma e ponto de adição da água de lavagem. Para dosagem de espumante constante em  $500 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  (em relação à fase sólida), a recuperação de água no concentrado cai rapidamente para pequenos aumentos no fluxo superficial da água de lavagem, ocasionando queda na recuperação de matéria carbonosa e também no teor de cinzas no concentrado. Por outro lado, para testes onde a concentração de espumante foi mantida fixa em 20 ppm (em relação a fase líquida), o comportamento observado foi diferenciado. O teor de cinzas no concentrado se manteve quase inalterado para a faixa de velocidade superficial de água de lavagem testada ( $0,1$  até  $0,45 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ), para uma diminuição da recuperação de matéria carbonosa um pouco menor que a observada anteriormente e para uma recuperação de água praticamente constante. Os autores afirmam que quando as bolhas não estão completamente carregadas e as partículas de ganga estão livres e completamente hidrofílicas, a limpeza da espuma é pouca afetada pela água de lavagem, desde que seja mantido *bias* positivo. Por outro lado, quando quantidades significativas de partículas de ganga são aprisionadas na espuma ou mistos são flotados, a água de lavagem (ou *bias*) deve ser mantida em um nível suficiente que garanta a ação de limpeza e obtenção do concentrado com teor satisfatório.

#### 4.3.2 Estudos de flotação em C3P

Nos estudos de flotação em escala de laboratório com a C3P, foi avaliado o efeito da variação da velocidade superficial da água de lavagem I ( $J_{w1}$ ), adicionada na camada de espuma, e da variação da velocidade superficial da adição da água de lavagem II ( $J_{w2}$ ), mantendo-se as demais variáveis operacionais constantes. Foram utilizadas as velocidades superficiais de  $J_{w1}$  de  $0,25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (mesmos níveis adotados de  $J_w$  para os estudos em CCR), e para  $J_{w2}$  os valores foram de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (condição aberta);  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A Figura 4.18 apresenta o efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre a recuperação em massa para o fluxo do concentrado e na Figura 4.19 (a) e (b) são mostrados os valores para os fluxos do drenado e do rejeito respectivamente. Observa-se uma tendência de diminuição da recuperação em massa no concentrado em função do aumento de  $J_{w2}$  para os três valores de  $J_{w1}$  testados. As

maiores recuperações em massa no fluxo do concentrado foram alcançadas com a coluna operando com  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_{W1} = 0,31$  e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e a menor recuperação foi para  $J_{W2} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_{W1} = 0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . O fluxo do drenado para  $J_{W2}$  maior ou igual a  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  apresenta recuperação em massa extremamente baixa, atingindo valor máximo de 4%, indicando que para a coluna de laboratório com a configuração geométrica adotada e nos níveis das variáveis estudadas, o controle das distribuições de massa se dá exclusivamente na interação entre os fluxos do concentrado e do rejeito. Entretanto, é importante observar que para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , independente do valor de  $J_{W1}$  adotado, a recuperação em massa no drenado é bastante expressiva variando entre 12 e 18% aproximadamente.

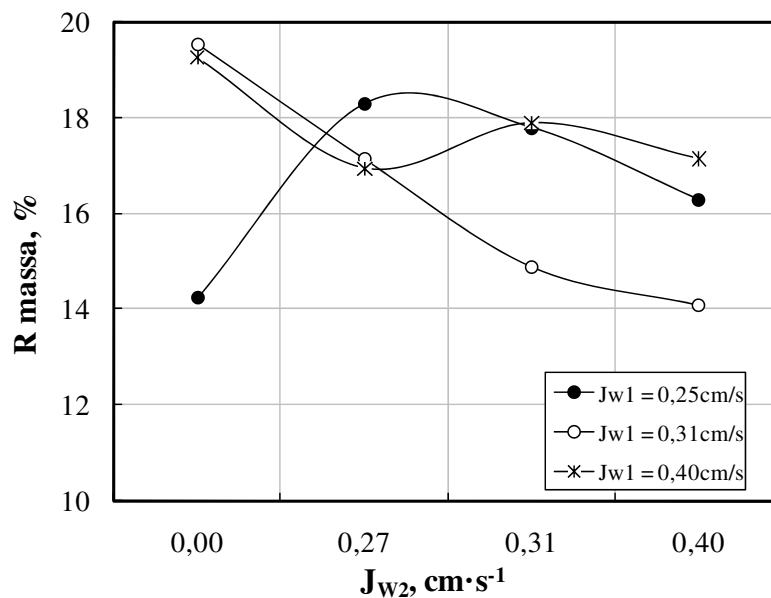


Figura 4.18. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

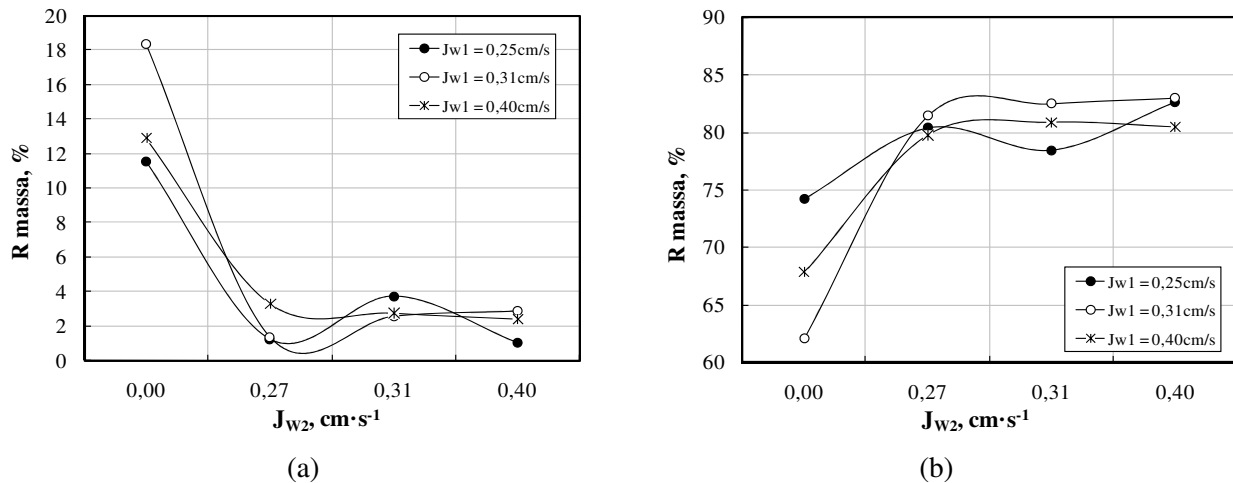


Figura 4.19. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

O efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre a recuperação metalúrgica de apatita para o fluxo do concentrado, do drenado e do rejeito estão apresentados nas Figuras 4.20 e 4.21 (a) e (b) respectivamente. Para  $J_{W1} = 0,31$  e  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  a recuperação metalúrgica no concentrado diminui conforme o aumento de  $J_{W2}$ , sendo que para  $J_{W1}$  de  $0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  há uma estabilização da curva para valores acima de  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . A máxima recuperação alcançada foi de 73% aproximadamente e o valor mínimo foi de 55%.

No fluxo do drenado a recuperação metalúrgica de apatita varia entre 7-15% quando aplicado  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  sendo que a maior foi observada para  $J_{W1} = 0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , e para valores superiores de  $J_{W2}$  as recuperações nesse fluxo não passam de 3% devido principalmente a baixa recuperação mássica desse fluxo (Figura 4.22).

Em C3P são obtidos teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no concentrado de até 36,5% (34,5% em CCR – melhor resultado) conforme mostra a Figura 4.23. O maior teor analisado foi para a condição em que a coluna operou com  $J_{W1} = 0,31 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $J_{W2} = 0,40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os teores no drenado para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (condição de maiores recuperação em massa) variam entre 8-11% o que sugere que esse fluxo poderia ser recirculado visto que os teores das impurezas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  (Figuras 4.24 e 4.25) são semelhantes a amostra da alimentação da flotação.

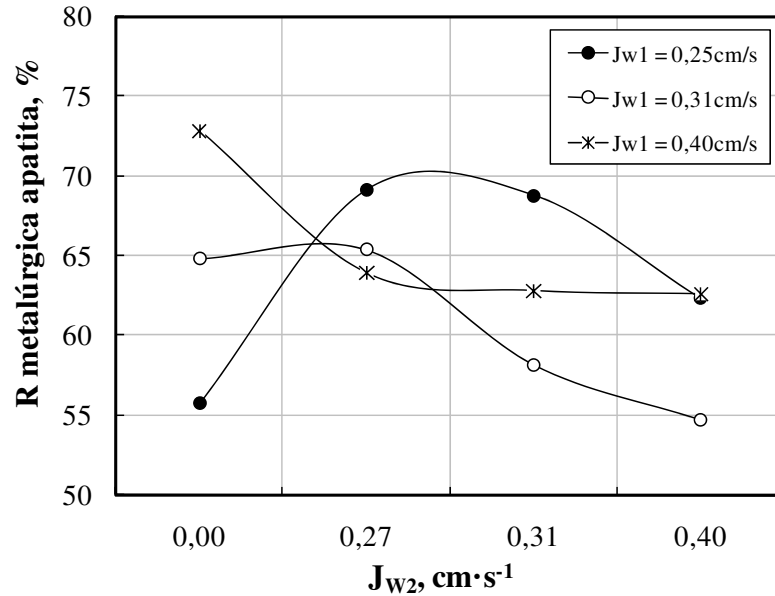
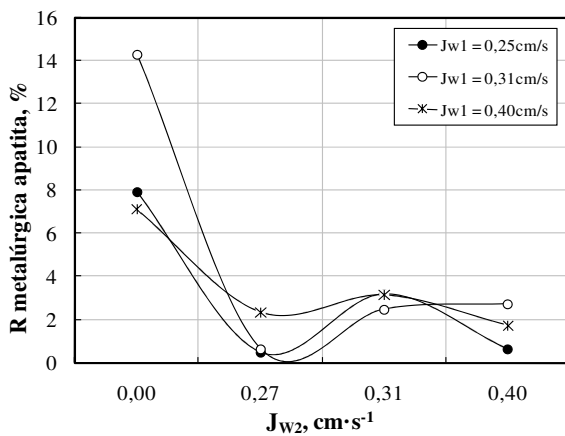
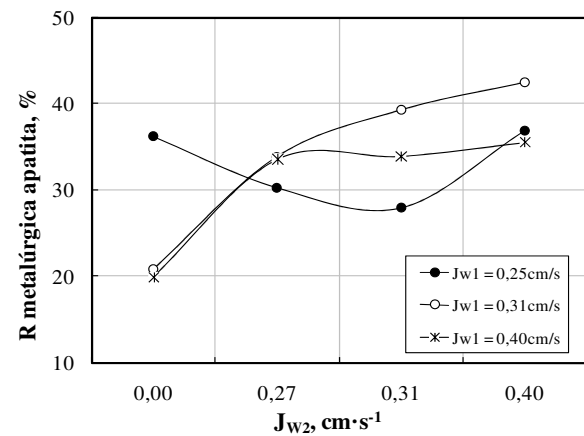


Figura 4.20. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre a recuperação metalúrgica de apatita na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.



(a)



(b)

Figura 4.21. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre a recuperação metalúrgica de apatita no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

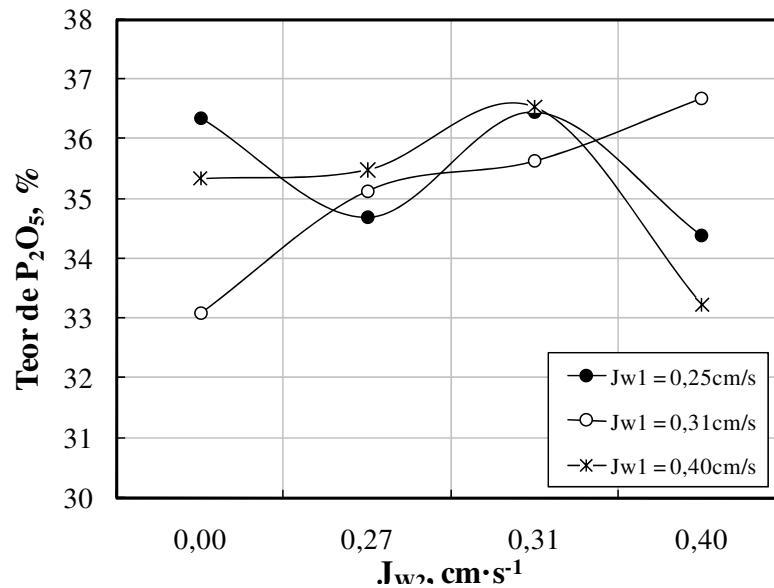


Figura 4.22. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

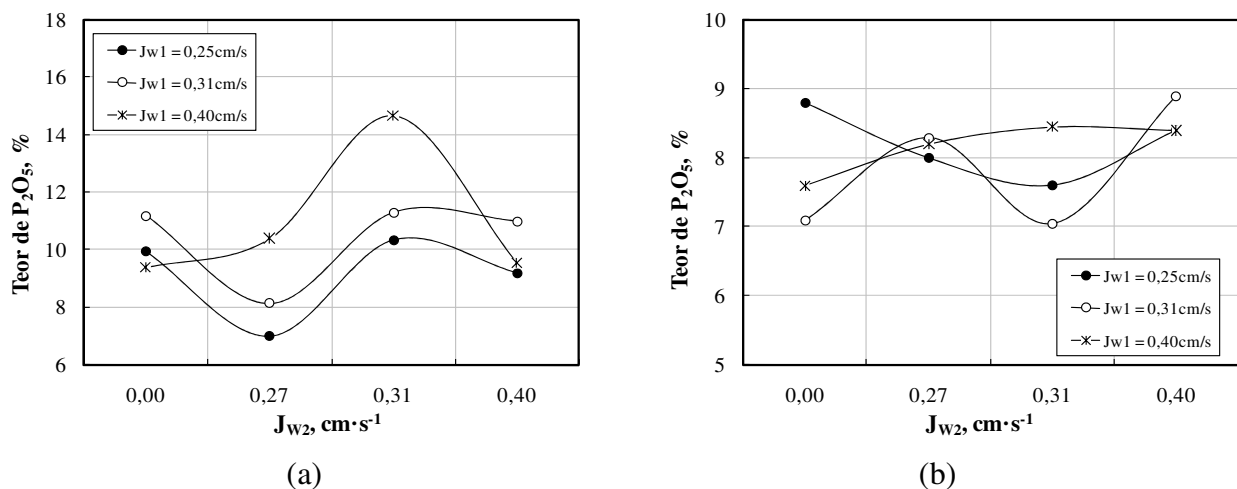


Figura 4.23. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

O teor das impurezas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  para os três fluxos da C3P estão apresentados da Figura 4.24 até a Figura 4.27. A C3P produz um concentrado com teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  até 4,5% e teor de  $\text{SiO}_2$  sempre inferior a 3%.

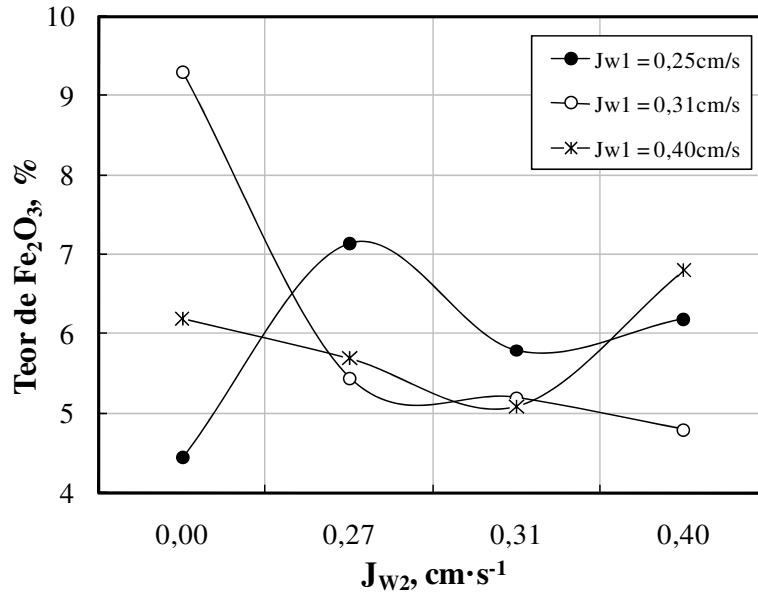


Figura 4.24. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

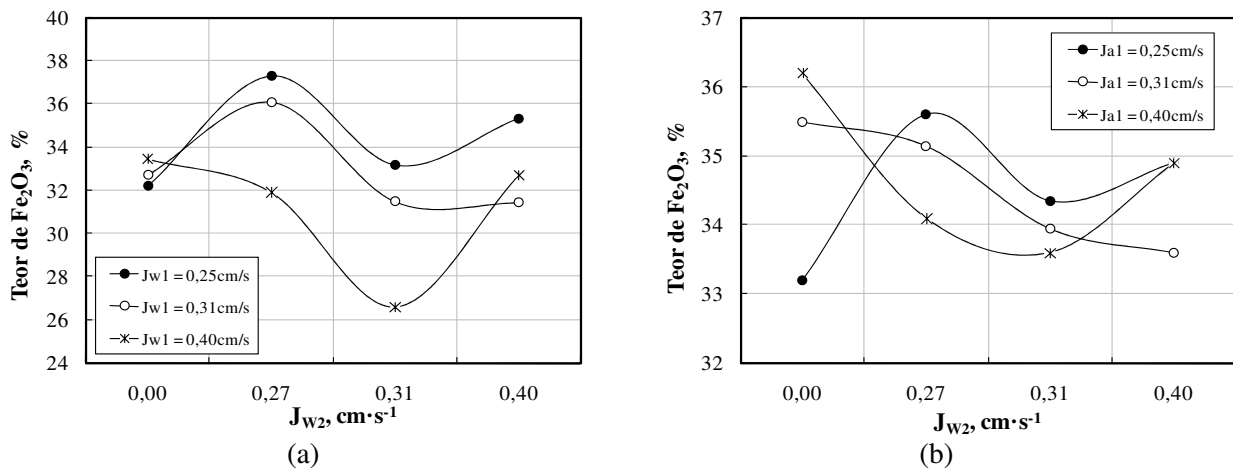


Figura 4.25. Efeito da variação de  $J_{w1}$  e  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.



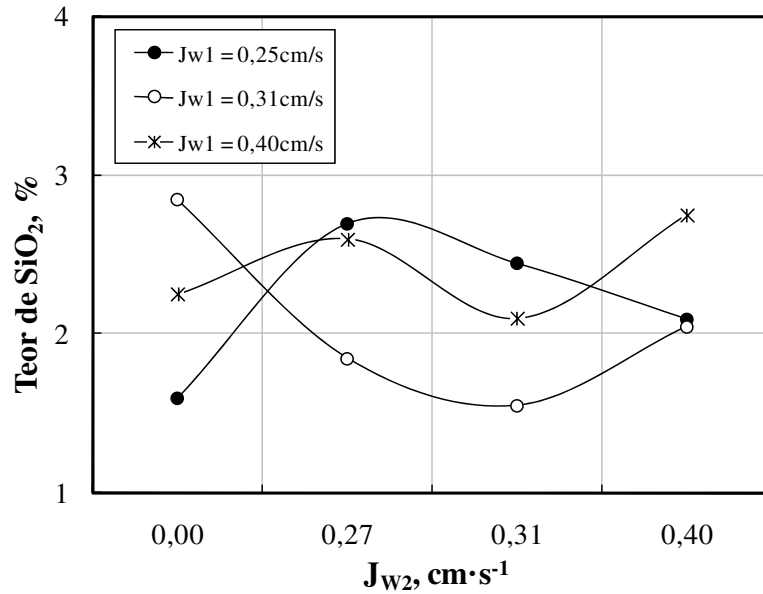


Figura 4.26. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  na corrente do concentrado. Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

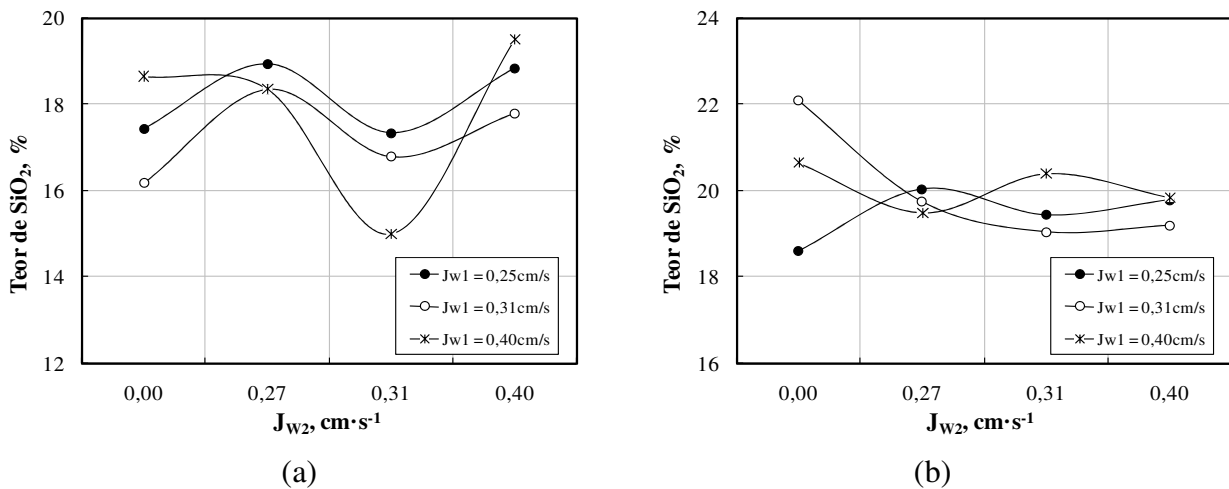


Figura 4.27. Efeito da variação de  $J_{W1}$  e  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  no drenado (a) e no rejeito (b). Condições: Altura da camada de espuma = 18 cm; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $60 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1200 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ , % sólidos no condicionamento = 40%; % sólidos na alimentação = 15%,  $J_a = 0,66 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $J_g = 0,49 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , pH de condicionamento = 12.

#### 4.4 Estudos de flotação em coluna piloto (Coluna de 4'')

Conforme descrito no item (3.2.1.1) os estudos de flotação com finos de minério de fosfato em escala piloto foram realizados com quatro diferentes amostras de polpa denominadas de AM 01, AM 02, AM 03 e AM 04, sendo que cada uma delas corresponde a diferentes materiais (pilhas de homogeneização) que alimentaram a usina de concentração. Os resultados estão apresentados de forma comparativa entre os obtidos em CCR, denominado ensaio *Standard* (STD), e os obtidos em C3P. Depois de realizadas de duas a quatro amostragens dos fluxos do concentrado e rejeito para balanço de massa e metalúrgico para a CCR, a coluna era alterada para a configuração C3P e avaliado o efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre os parâmetros de separação (recuperação metalúrgica e teor) e conteúdo de impurezas nos produtos da coluna. Para as amostras AM 01, AM 02 e AM 03, a C3P operou com zona de lavagem intermediária baixa (33 cm) nos estudos com a AM 04 a coluna operou com zona de lavagem intermediária alta (83 cm).

##### 4.4.1 Estudos em coluna convencional reta (CCR)

###### 4.4.1.1 Amostra de polpa AM 01 – Zona de lavagem intermediária baixa

A Tabela XVIII mostra o teor dos elementos da alimentação da flotação da amostra AM 01. O teor de CaO (apatita) é de 11,3%, o de  $Fe_2O_3$  de 30,0% e de  $SiO_2$  de 14,1%. A Figura 4.28 mostra os resultados de recuperação em massa para quatro amostragens com a CCR operando com condições operacionais fixas. Os valores variam entre 28,4% e 30,1% com valor médio de 29,4%. Os resultados mostram boa reprodutibilidade visto que cada amostra foi coletada em um intervalo de 90 minutos de operação contínua do sistema de flotação. A Figura 4.29 (a) apresenta o teor de  $P_2O_5$  de cada amostra e a média dos quatro valores, e em (b) os valores de recuperação metalúrgica de apatita. Os teores de  $P_2O_5$  variaram entre 29,2% e 31,4% (média de 30,7%) e a recuperação metalúrgica entre 92,4% e 93,6% (média de 93,2%). O teor obtido no concentrado final não está adequado a especificação do concentrado em escala industrial que deve ser no mínimo de 33% de  $P_2O_5$ . Por outro lado, nessas condições de operação foi obtida uma elevada recuperação metalúrgica de apatita, bem acima da prática industrial nesse circuito que é ao redor

de 75%. Os resultados alcançados devem-se principalmente a dosagem relativamente baixa de depressor ( $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ) para esse circuito e ao baixo valor de pH adotado.

Tabela XVII – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 01.

$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{BaSO}_4$
13,1	11,3	30,0	14,1	2,9	0,6	0,3

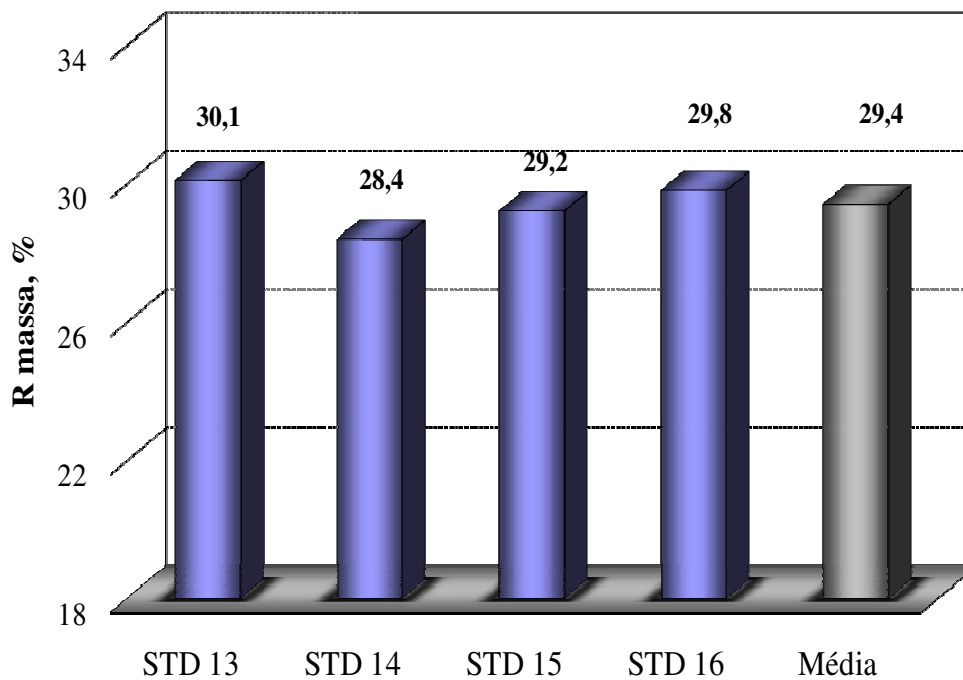


Figura 4.28. Recuperação em massa para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_a = 0,65 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

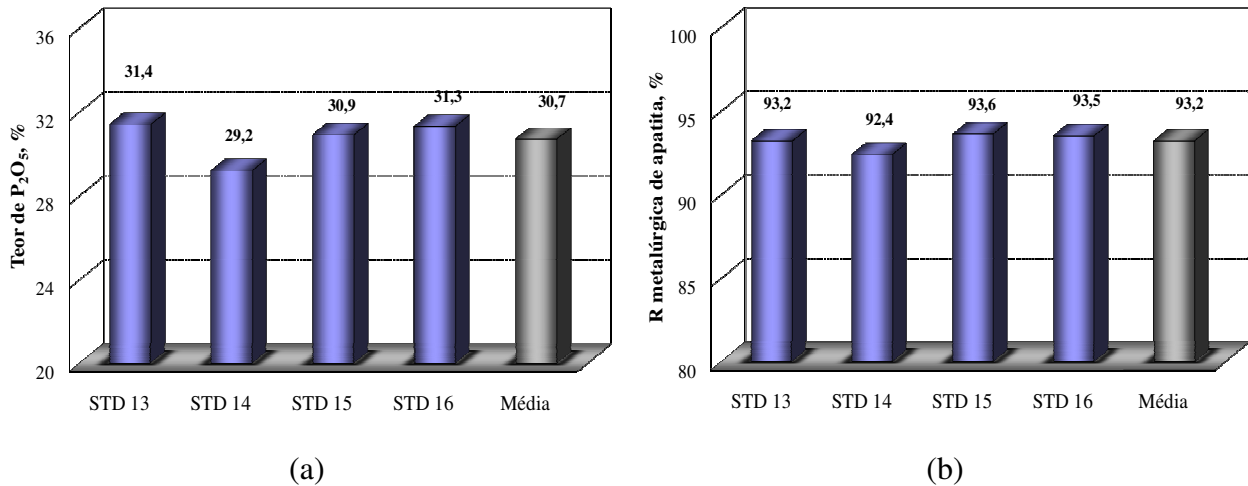


Figura 4.29. Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (a) e metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 800 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

O teor e a recuperação metalúrgica das impurezas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> estão apresentados nas Figuras 4.30 (a) e (b) e 4.31 (a) e (b) respectivamente. O teor médio de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no concentrado final foi de 11,1% com recuperação metalúrgica de 10,9%, e para as impurezas de SiO<sub>2</sub> os valores foram de 3,5% e 7,3% respectivamente. Assim como para o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> os teores dessas duas impurezas estão acima da especificação do produto em escala industrial que devem ser de no máximo 6,5% para o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de 2,5% para a SiO<sub>2</sub>. Novamente, os altos valores de impurezas podem estar associados a baixa dosagem de depressor adotada nessa rodada de ensaios.

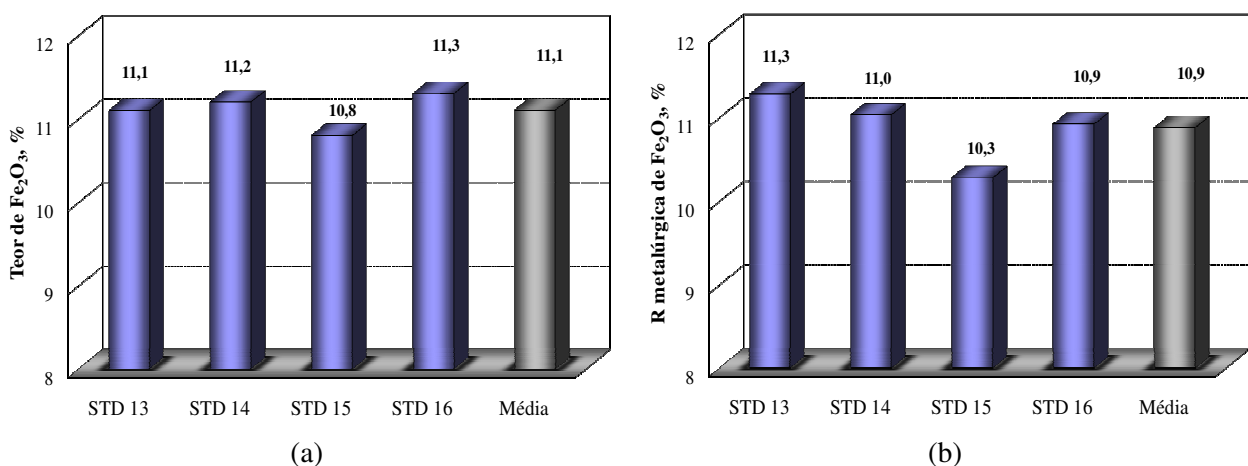


Figura 4.30. Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 800 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

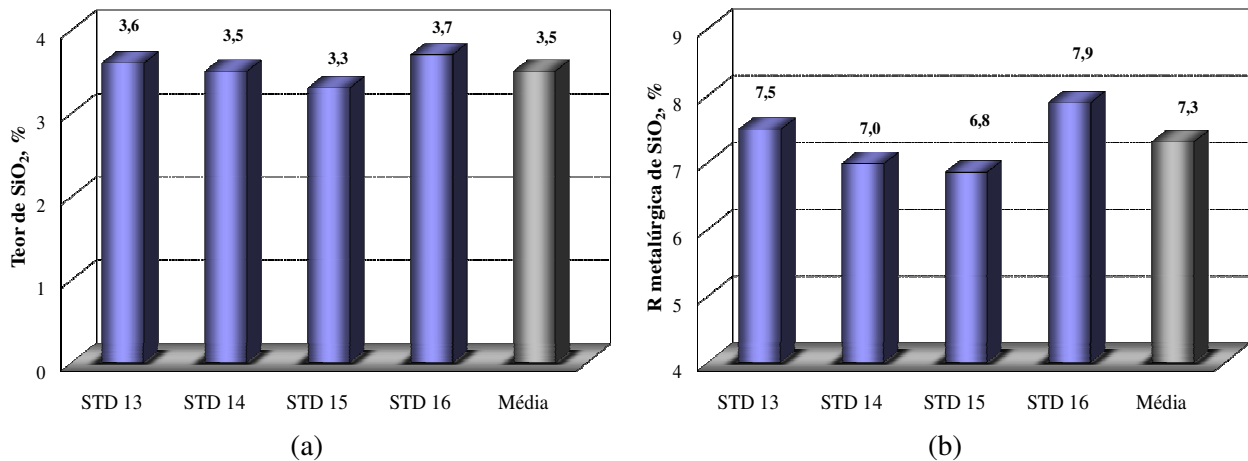


Figura 4.31. Teor de SiO<sub>2</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de quatro amostragens). **Condições:** sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 800 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

#### 4.4.1.2 Amostra de polpa AM 02 – Zona de lavagem intermediária baixa

A Tabela XIX mostra o teor dos elementos da alimentação da flotação da amostra AM 02. O teor de CaO (apatita) é de 11,0%, o de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 33,7% e de SiO<sub>2</sub> de 15,4%, sendo assim um pouco mais pobre em apatita e com maior conteúdo de impurezas comparada com a amostra AM 01. A Figura 4.32 mostra os resultados de recuperação em massa para duas amostragens com a CCR operando com condições operacionais fixas. Os valores foram idênticos para as duas amostras sendo de 22%. A Figura 4.33 (a) apresenta o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de cada amostra e a média dos dois valores, e em (b) os valores de recuperação metalúrgica de apatita. O teor médio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi de 33,8% e a recuperação metalúrgica de 88,5%, para teor médio de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 7,5% (Figura 4.34 (a)) e de SiO<sub>2</sub> de 2,7% (Figura 4.35 (a)), com recuperação metalúrgica de 4,9% e 3,9% respectivamente para as duas impurezas (Figuras 4.34 e 4.35 (b)). Os resultados metalúrgicos obtidos com essa amostra foram superiores aos obtidos com a amostra AM 01 visto que o concentrado alcança a especificação para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> um pouco acima e de SiO<sub>2</sub> praticamente adequado. Ainda, comparando os resultados obtidos na flotação das duas amostras, é observada uma diminuição de 6% na recuperação em massa e de 5% na recuperação metalúrgica de apatita da AM 02 em relação a AM 01, assim como diminuição na recuperação metalúrgica das impurezas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de SiO<sub>2</sub>.

Os diferentes resultados obtidos com as duas amostras podem ser explicados, primeiro, pelo fato da mudança da amostra ensaiada, mas fundamentalmente pelo aumento da dosagem de depressor Fubá de milho gelatinizado que passou de  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  nos estudos com a amostra AM 01 para  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$  nos ensaios com a amostra AM 02. A diminuição dos teores de impurezas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e de  $\text{SiO}_2$  nos concentrados de flotação da AM 02 é explicada pela capacidade do fubá em deprimir minerais de ganga na flotação de minérios de fosfato, tais como óxidos hidratados de ferro e determinadas espécies de minerais silicatados conforme mostrado na revisão feita por Barros (2006).

Tabela XVIII – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 02.

$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{BaSO}_4$
12,1	11,0	33,7	15,4	3,2	0,6	0,3

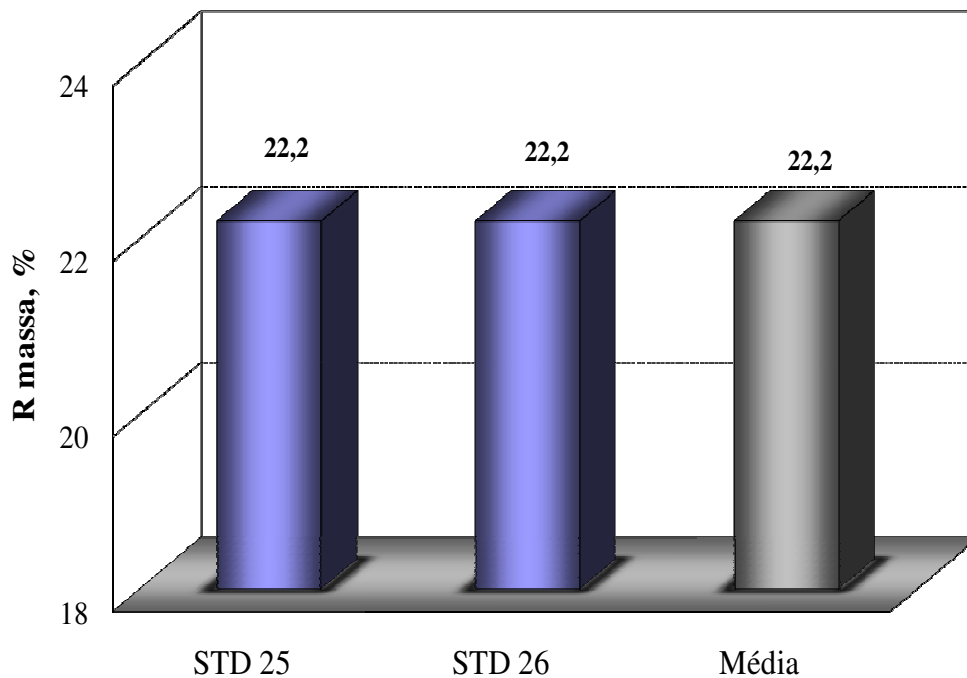


Figura 4.32. Recuperação em massa para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1 \text{ cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

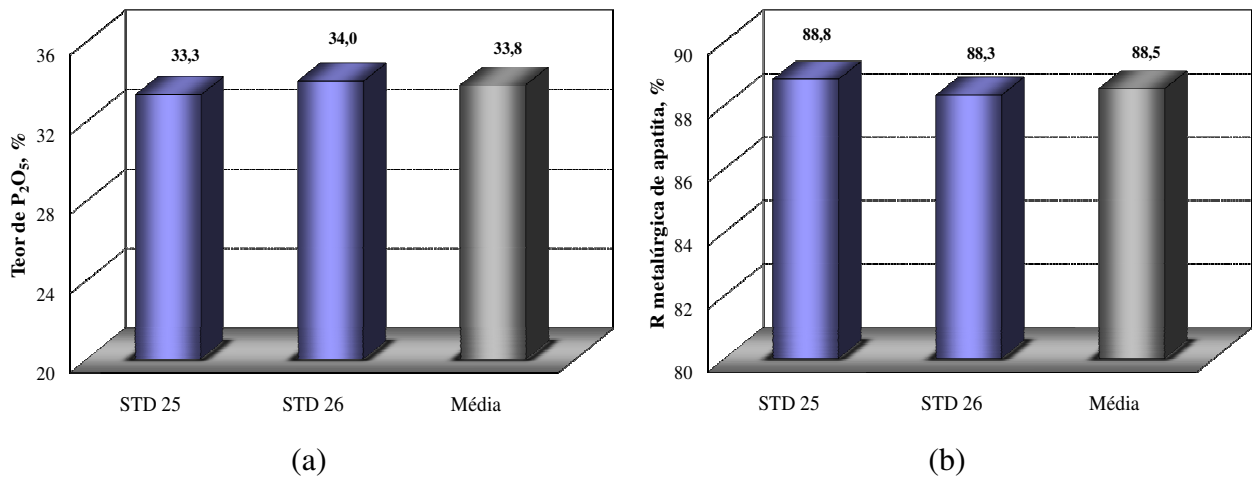


Figura 4.33. Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

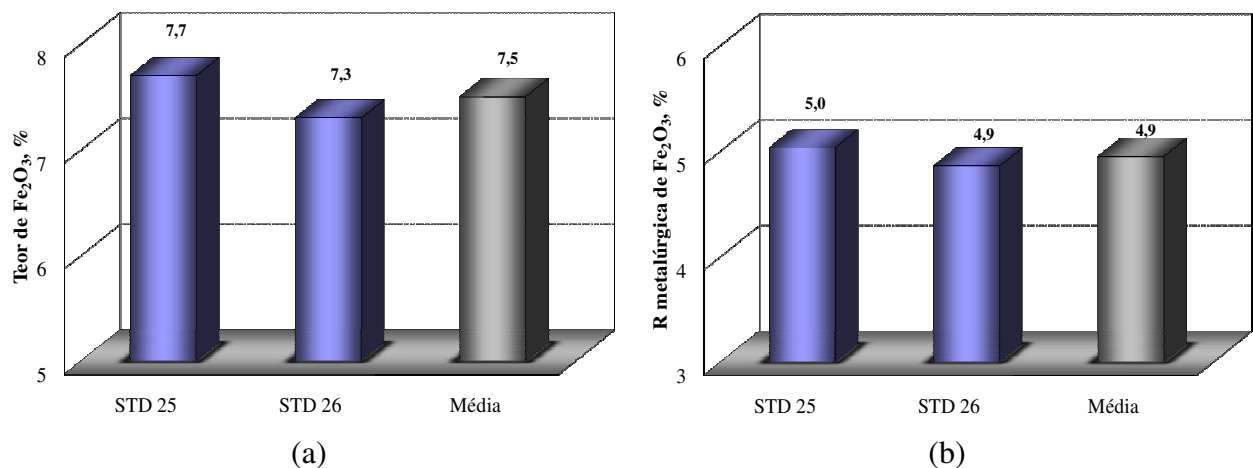


Figura 4.34. Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cms<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

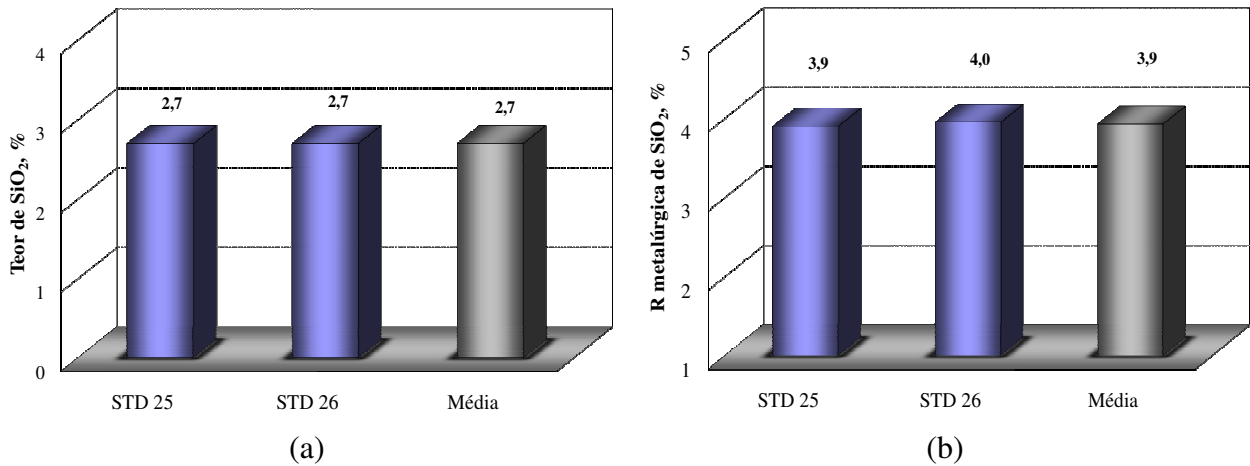


Figura 4.35. Teor de SiO<sub>2</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

#### 4.4.1.3 Amostra de polpa AM 03 – Zona de lavagem intermediária baixa

A Tabela XX mostra o teor dos elementos da alimentação da flotação da amostra AM 03. O teor de CaO (apatita) é de 10,2%, o de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 28,8% e de SiO<sub>2</sub> de 17,2%, sendo a amostra com menor conteúdo de apatitas ensaiada. A Figura 4.36 mostra os resultados de recuperação em massa para duas amostragens com a CCR operando com condições operacionais fixas. Os valores foram praticamente iguais variando entre 16,5% e 16,9% o que resulta em valor médio de 16,7%, apresentando recuperação mássica menor à observada nos ensaios com as amostras AM 01 e AM 02. A Figura 4.37 (a) apresenta o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de cada amostra e a média dos dois valores, e em (b) os valores de recuperação metalúrgica de apatita. O teor médio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi de 35,3% e a recuperação metalúrgica de 75,5%, para teor médio de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 4,4% (Figura 4.38 (a)) e de SiO<sub>2</sub> de 2,1% (Figura 4.39 (a)), com recuperação metalúrgica de 2,6% e 2,0% respectivamente para as duas impurezas (Figuras 4.38 e 4.39 (b)).

Em relação às variáveis de processo adotadas na flotação da AM 03 que difere das duas amostras anteriores, é o fato desta ter sido condicionada com pH 12 ao invés de 11,6. Em relação às amostras anteriores, com a AM 03 foi obtida menor recuperação em massa e metalúrgica, porém com maior teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e menores teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de SiO<sub>2</sub> no concentrado de flotação.

Segundo Barros (2006), a flotação das apatitas com a utilização de ácidos graxos ocorre em ampla faixa de pH podendo ser obtidas altas recuperações de fósforo. Apatitas



recristalizadas, impregnadas superficialmente por óxido de ferro podem ser flotadas e mesmo partículas mistas podem ser recuperadas em condições especiais de flotação, sendo o problema crítico a obtenção de seletividade entre apatitas e gangas. Assim, os estudos devem ser conduzidos para a obtenção de maior seletividade, considerando a necessidade de obtenção de uma especificação mínima que atenda as exigências do processo de solubilização química, o que explica as necessidades de alteração das condições de flotação na prática industrial em função dos materiais que alimentam a usina de concentração como forma de se obter o melhor desempenho em termos de teor e recuperação.

Tabela XIX – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 03.

$P_2O_5$	CaO	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	MgO	$BaSO_4$
11,3	10,2	28,8	17,2	3,1	0,8	0,3

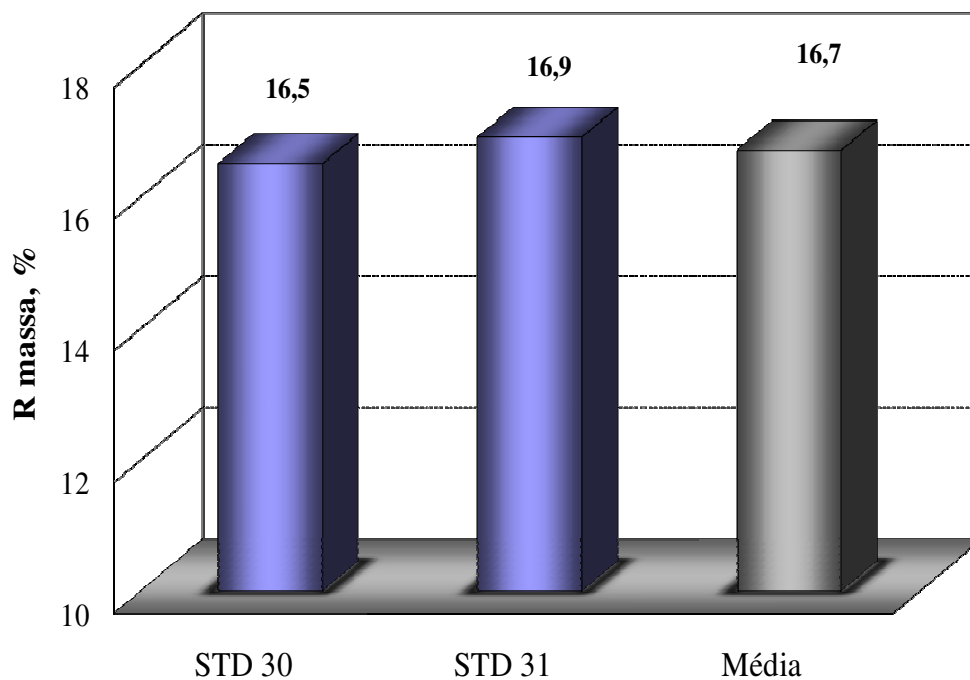


Figura 4.36. Recuperação em massa para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

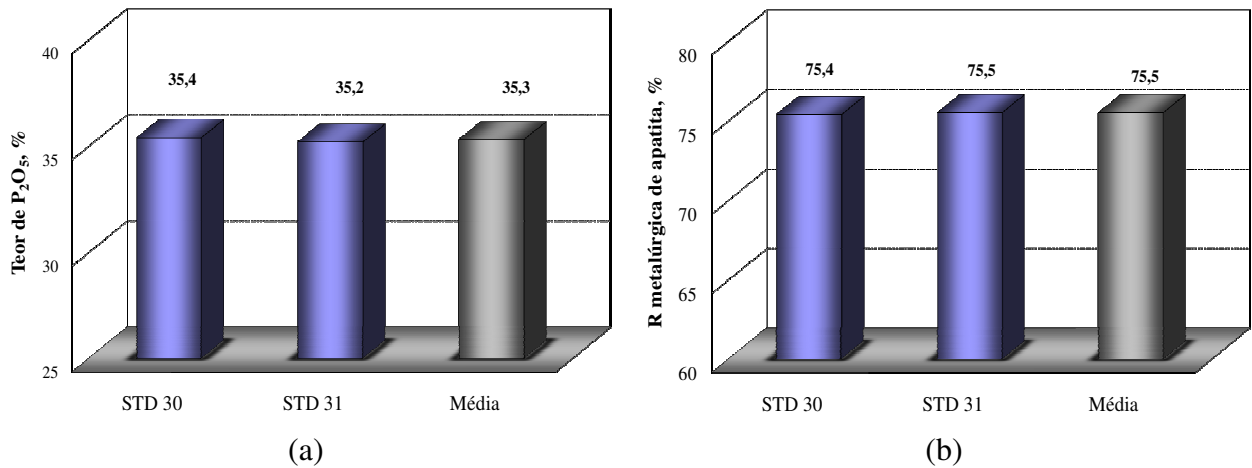


Figura 4.37. Teor de  $P_2O_5$  (a) e recuperação metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

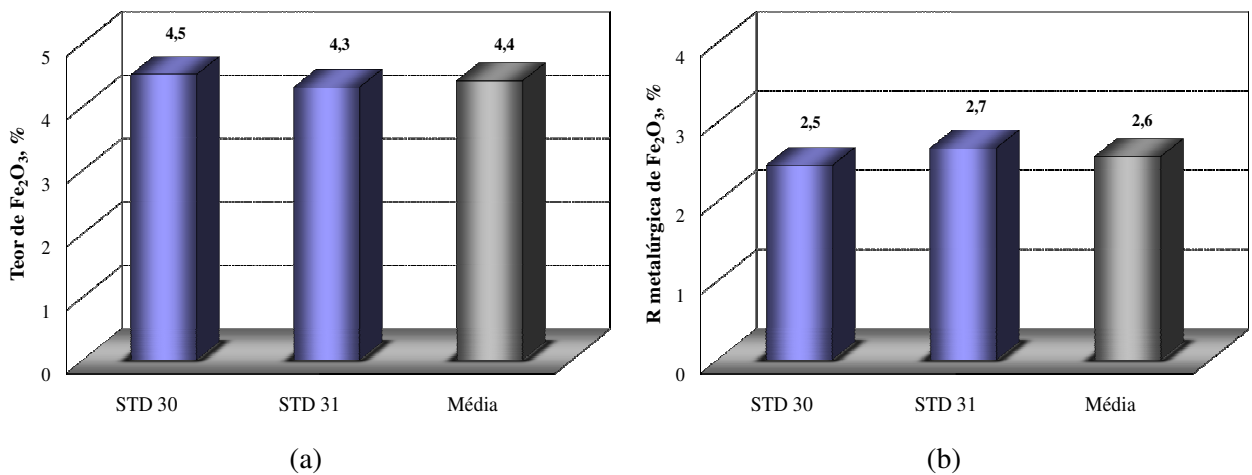


Figura 4.38. Teor de  $Fe_2O_3$  (a) recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

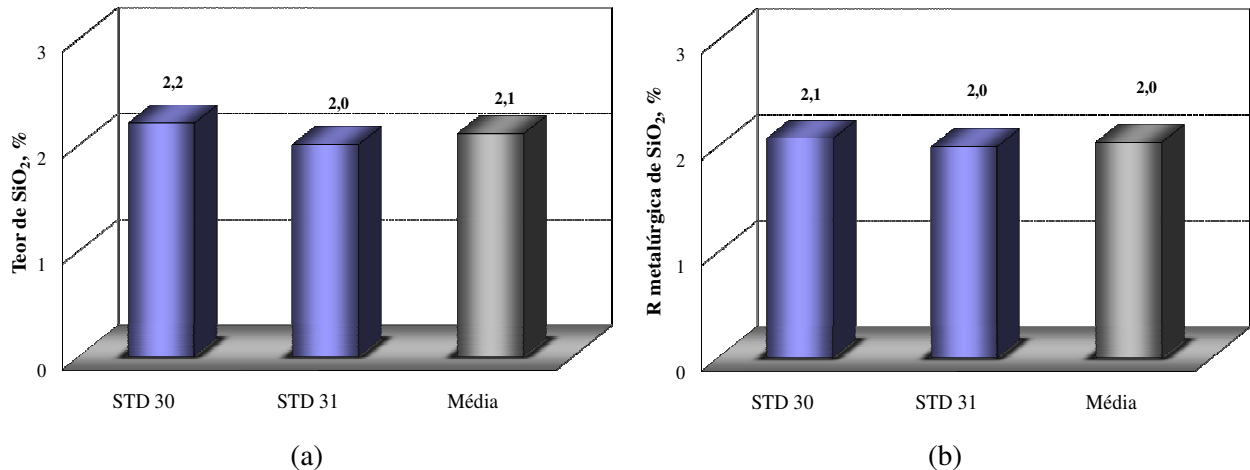


Figura 4.39. Teor de SiO<sub>2</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

#### 4.4.1.4 Amostra de polpa AM 04 – Zona de lavagem intermediária alta

O teor de CaO (apatita), de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de SiO<sub>2</sub> para a amostra AM 04 foi de 11,4%, 28,3% e 13,7% respectivamente conforme mostra a Tabela XXI. Os níveis das variáveis operacionais adotados para os ensaios com essa amostra foram idênticos aos adotados para a amostra AM 03. A recuperação em massa (média de três amostragens) foi de 15,2%, o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 36,6% e a recuperação metalúrgica de apatita de 63,4% (Figuras 4.40 e 4.41 (a) e (b)). O teor médio de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi de 3,4% (Figura 4.42 (a)) e de SiO<sub>2</sub> de 1,5% (Figura 4.43 (a)), com recuperação metalúrgica de 1,8% para as duas impurezas (Figuras 4.42 e 4.43 (b)).

Tabela XX – Teores na alimentação da flotação para a amostra AM 04.

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>
11,7	11,4	28,3	13,7	2,5	0,7	0,2

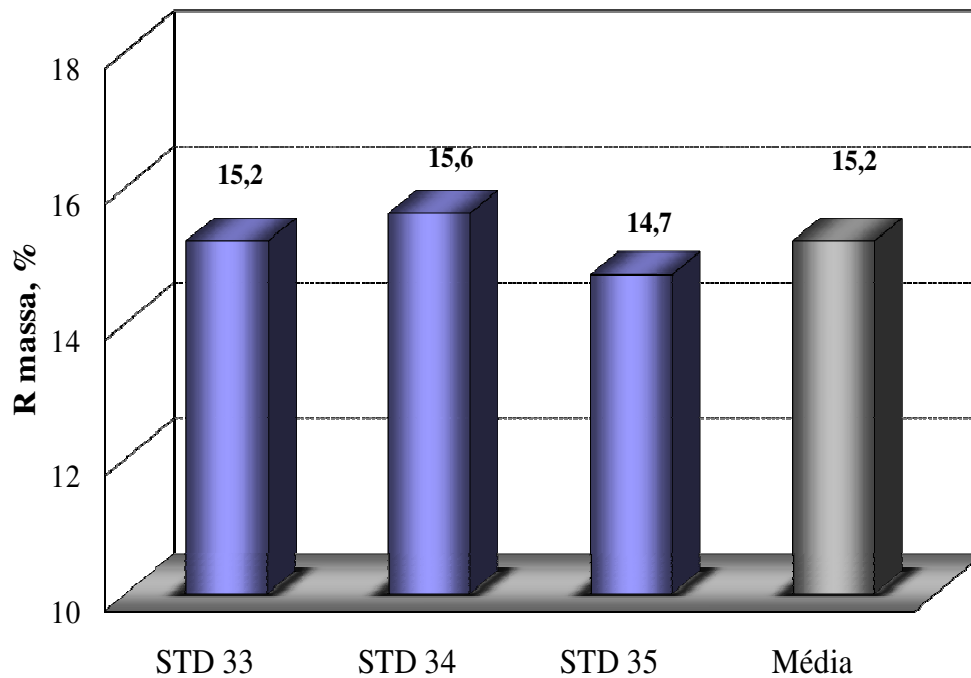


Figura 4.40. Recuperação em massa para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

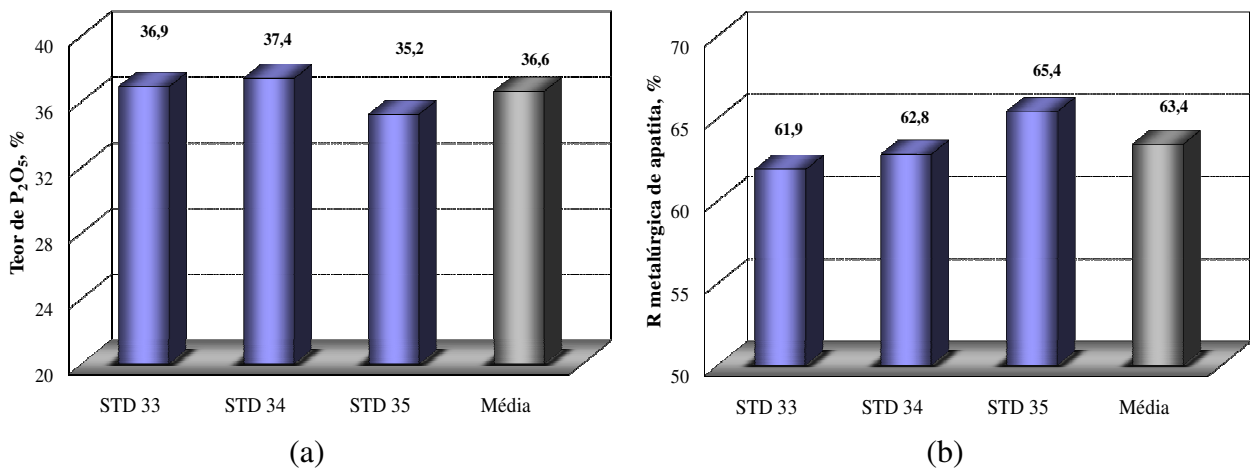


Figura 4.41. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) e recuperação metalúrgica de apatita (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

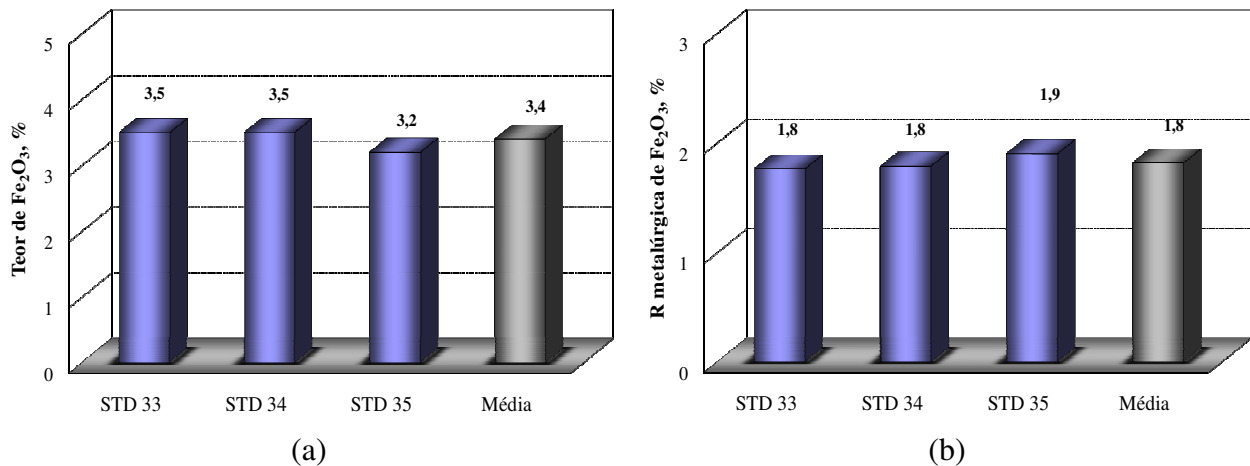


Figura 4.42. Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** Taxa de alimentação = 45 kg·h<sup>-1</sup>; % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 19 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 11 min.

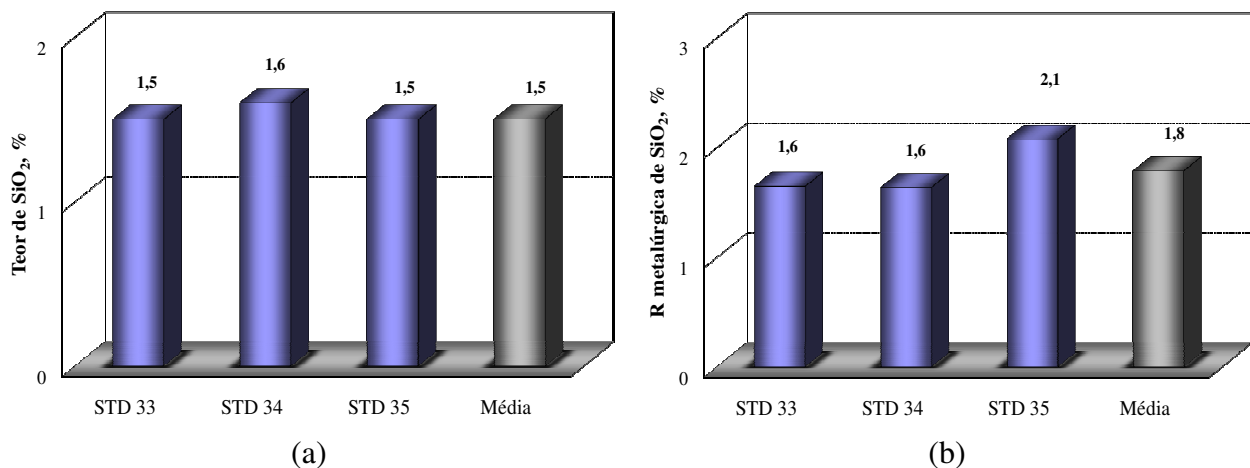


Figura 4.43. Teor de SiO<sub>2</sub> (a) e recuperação metalúrgica (b) para CCR (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>; J<sub>g</sub> = 0,52 cm·s<sup>-1</sup>; J<sub>w</sub> = 0,37 cm·s<sup>-1</sup>; Tempo de condicionamento com depressor = 19 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 11 min.

Levando-se em conta os resultados de teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e a recuperação metalúrgica de apatita obtida para cada amostra ensaiada (AM 01, AM 02, AM 03 e AM 04), é possível estabelecer a curva de desempenho da flotação conforme mostra a Figura 4.44.

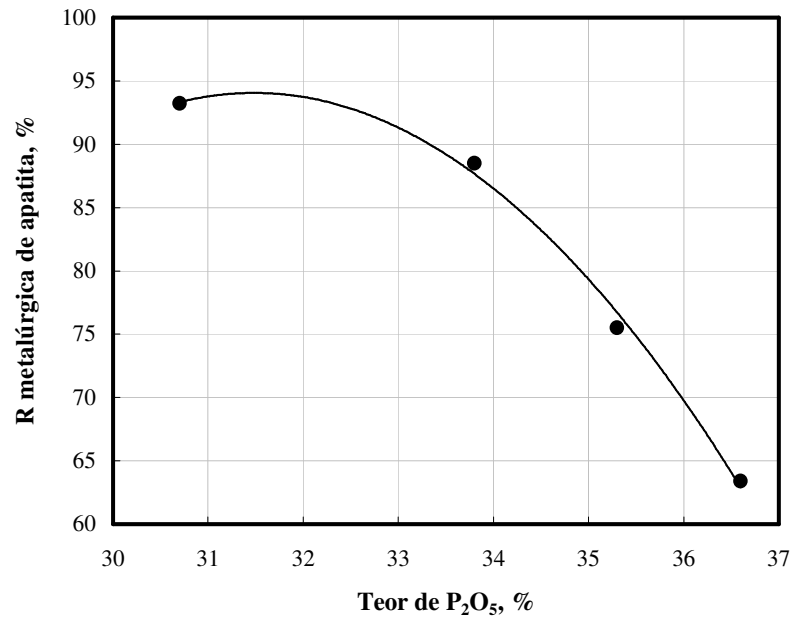


Figura 4.44. Curva teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus recuperação metalúrgica de apatita para amostra de Finos Naturais considerando os resultados obtidos na flotação das amostras AM 01, AM 02, AM 03 e AM 04. Estudos de flotação em escala piloto. Coluna de 4”.

Observa-se pela curva que quando o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no concentrado atinge valor próximo a 34%, para cada ponto percentual a mais de teor obtido a recuperação metalúrgica cai entre 12-13%.

#### 4.4.2 Estudos em coluna modificada de três produtos (C3P)

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos estudos de flotação em C3P para as quatro amostras de polpa utilizadas e com resultados obtidos em CCR descritos no item 4.5.1.

##### 4.4.2.1 Amostra de polpa AM 01 – Zona de lavagem intermediária baixa

A recuperação em massa para os fluxos do concentrado, drenado e rejeitos na C3P em função da velocidade superficial da água de lavagem II para amostra AM 01 é mostrada na Figura 4.45. Os níveis de  $J_{W2}$  testados foram de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . A menor recuperação em massa no concentrado foi obtida para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e para valores superiores houve pouca variação desse parâmetro para esse fluxo. No rejeito a variação também é pequena com exceção do ponto com  $J_{W2} = 0,12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  que apresentou o menor valor para esse

parâmetro nesse fluxo. No drenado por outro lado, é clara a tendência de diminuição da recuperação em massa no fluxo conforme o aumento de  $J_{W2}$ . A recuperação em massa cai de 20,8% para 13,6% quando  $J_{W2}$  aumenta de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  para  $0,27 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

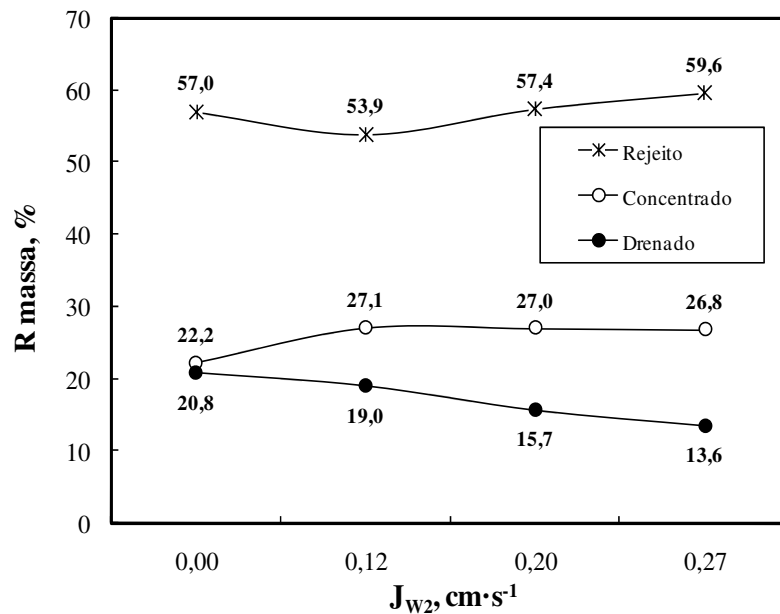


Figura 4.45. Recuperação em massa para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

O teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e a recuperação metalúrgica de apatita em função da variação de  $J_{W2}$  são mostrados na Figura 4.46 (a) e (b) respectivamente. O maior teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para o concentrado foi obtido quando  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (33,4%) e para valores maiores permanece quase inalterado com variação entre 32,0 e 32,6%. Resultado semelhante foi obtido por Valderrama e Rubio (2008) na flotação de rejeitos de ouro em C3P em escala piloto (coluna de 2''), onde foi avaliado o efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre o grau de enriquecimento do concentrado para amostra da alimentação à flotação com e sem aplicar condicionamento em alta intensidade (CAI) (Valderrama e Rubio, 1998) como etapa de condicionamento da polpa pré flotação. Foi observado aumento significativo sobre o grau de enriquecimento conforme o aumento de  $J_{W2}$  somente para os estudos onde foi aplicado o CAI e variação pouco significativa desse parâmetro quando não foi aplicado esse tipo de condicionamento. Em relação aos fluxos do drenado e do rejeito, tanto os teores quanto a distribuição de apatita apresentam pouca variação, sendo que os teores variam entre 3,4%-4,2% para o drenado e entre 1-1,4% para o rejeito, com perdas de apatita semelhantes aos dois fluxos entre 4-7%. Para o concentrado, a recuperação metalúrgica de apatita também

apresenta pouca variação ficando entre 87,2%-88,8%, valores um pouco inferiores aos obtidos em CCR (93,2%).

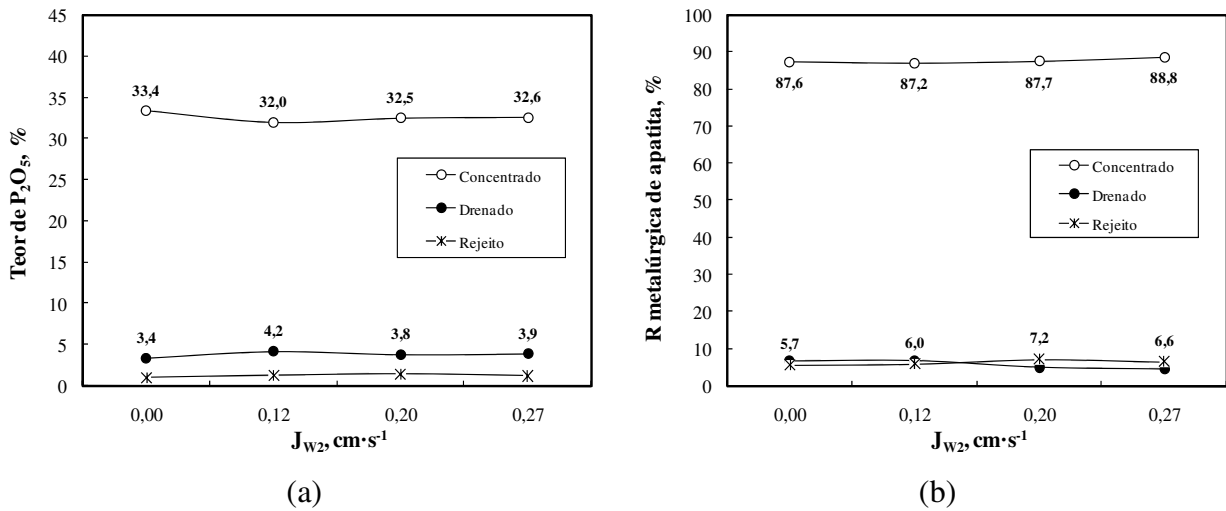


Figura 4.46. Teor de  $P_2O_5$  (a) e distribuição da apatita (b) para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800 g \cdot t^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 g \cdot t^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 cm \cdot s^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 cm \cdot s^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

As Figuras 4.47 e 4.48 (a) e (b) apresentam os resultados de teor e distribuição das impurezas de  $Fe_2O_3$  e de  $SiO_2$  respectivamente. Os teores de  $Fe_2O_3$  observados no rejeito e no drenado são maiores que a amostra da alimentação da flotação (30%) e no concentrado o teor é inferior ao obtido na CCR para todos os valores de  $J_{w2}$  testados. Conforme o aumento de  $J_{w2}$ , as impurezas de ferro tendem a se concentrar no fluxo do rejeito com diminuição no fluxo do drenado e do concentrado, com variação mais significativa no drenado. O mesmo comportamento é visualizado para as impurezas de sílica.



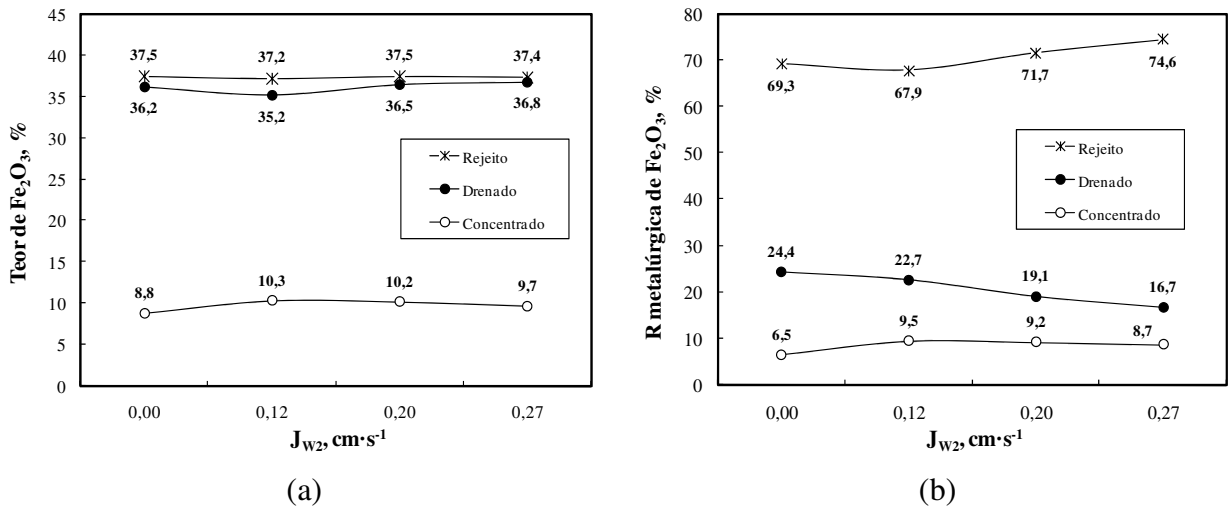


Figura 4.47. Teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

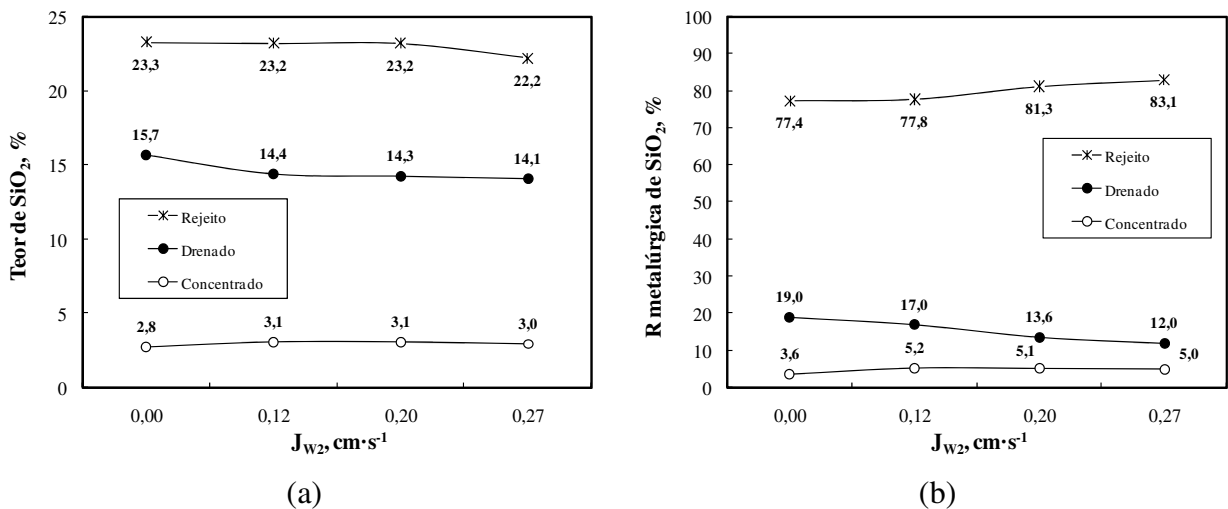


Figura 4.48. Teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) para C3P (média de três amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 45; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $800\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

#### 4.4.2.2 Amostra de polpa AM 02 – Zona de lavagem intermediária baixa

A recuperação em massa para os fluxos do concentrado, drenado e rejeitos em função da variação de  $J_{W2}$  para os estudos com a amostra AM 02 é mostrada na Figura 4.49. Nesse caso, as velocidades superficiais de  $J_{W2}$  testadas foram de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $0,23 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,36 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . A recuperação em massa no concentrado permanece praticamente inalterada conforme o aumento de  $J_{W2}$  ficando em torno de 20%. Por outro lado, a recuperação em massa no drenado diminui de 23,2% para 10,8% quando  $J_{W2}$  aumenta de  $0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  para  $0,36 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  em contraste com a recuperação de massa no fluxo do rejeito que aumenta de 56,5% para 68,8% no intervalo avaliado.

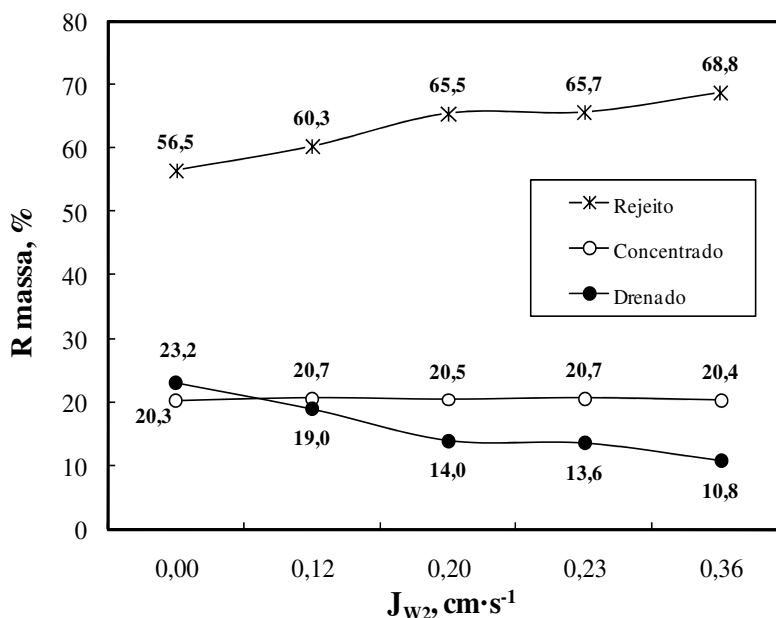


Figura 4.49. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

A Figura 4.50 (a) e (b) apresentam os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e de recuperação metalúrgica de apatita em função de  $J_{W2}$  para a corrente do concentrado, drenado e rejeito. O maior teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  analisado foi para  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (34,9%) e permanece quase inalterado para os demais valores testados, mesmo comportamento observado nos fluxos do drenado e do rejeito. A recuperação metalúrgica de apatita no concentrado sofre pouca influência de  $J_{W2}$  assim como observado com a recuperação em massa. Em relação aos fluxos do rejeito e do drenado, é observado que as

perdas de apatita para  $J_{W2}$  até  $0,12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  estão mais concentradas no drenado em relação ao rejeito, havendo inversão desse comportamento para  $J_{W2}$  superior a  $0,20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

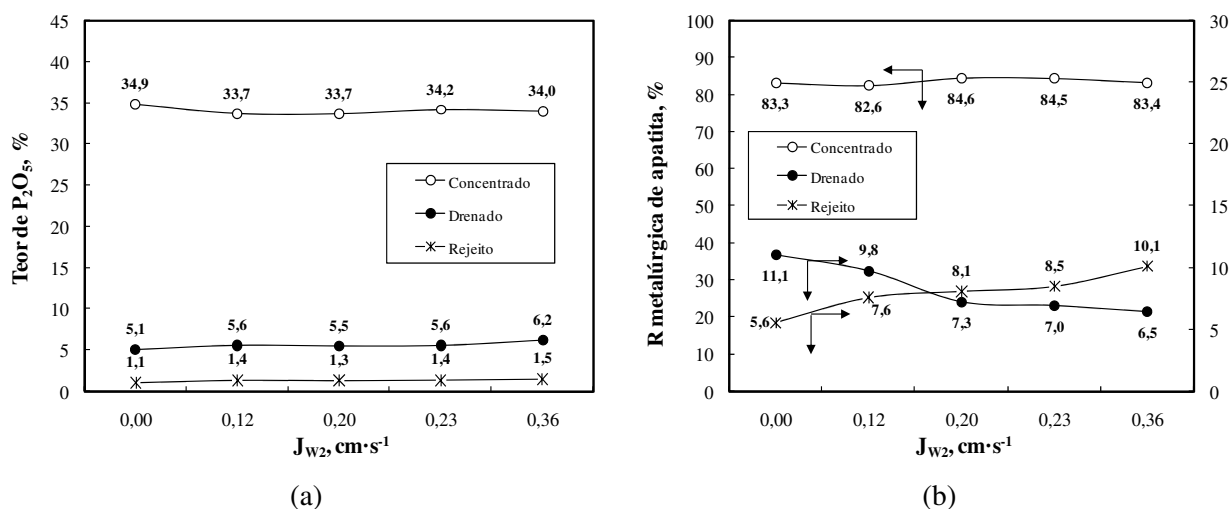


Figura 4.50. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre o teor de  $P_2O_5$  (a) e distribuição de apatita (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_{W1} = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

O teor de  $Fe_2O_3$  em função de  $J_{W2}$  para os fluxos do concentrado, drenado e rejeito em função de  $J_{W2}$  está mostrado na Figura 4.51 (a). Assim como observado para a AM 01, tanto no drenado como no concentrado o teor dessa impureza é maior que o analisado na amostra da alimentação com variação pouco significativa para toda a faixa de  $J_{W2}$  testada (mesmo comportamento observado no concentrado). Em relação à distribuição desse composto (Figura 4.51 (b)), as mudanças acontecem nos fluxos do drenado e do rejeito em comparação ao concentrado que permanece quase inalterado para a faixa de  $J_{W2}$  testada. A mesma análise pode ser feita em relação às impurezas de  $SiO_2$  conforme resultados apresentados na Figura 4.52 (a) e (b).

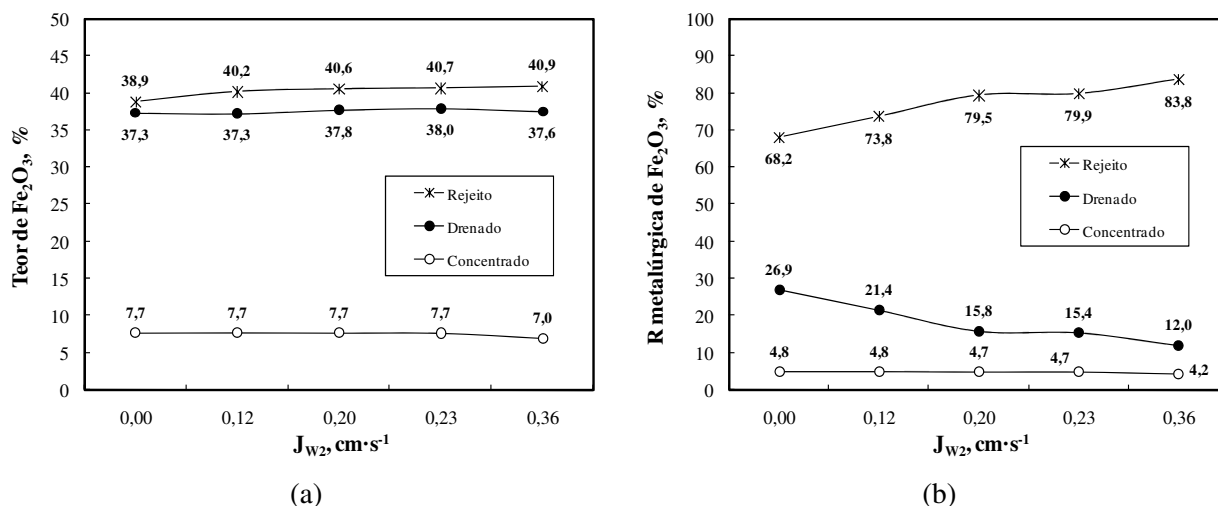


Figura 4.51. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_{gs} = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

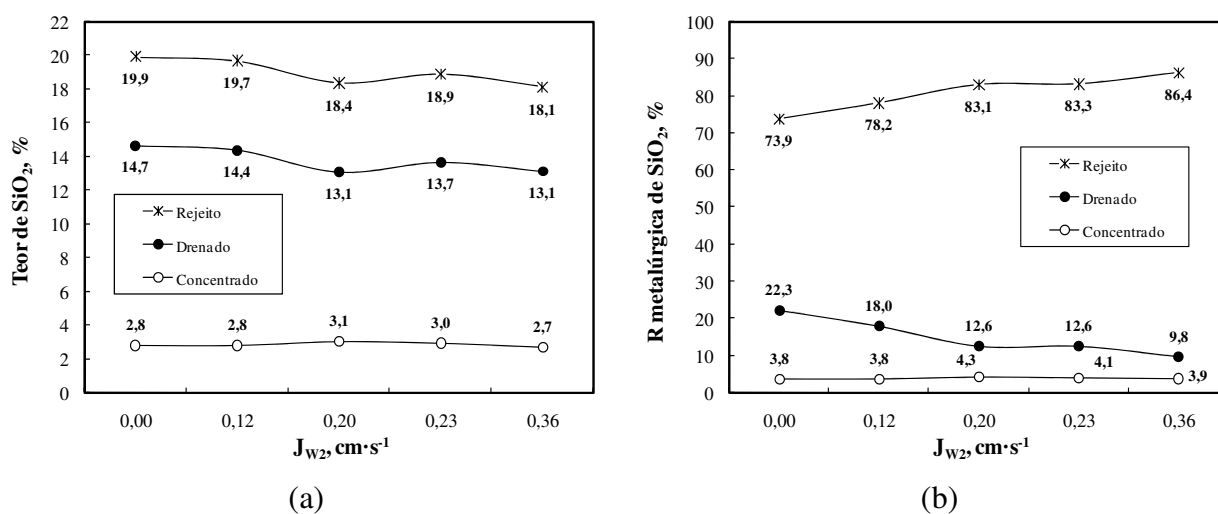


Figura 4.52. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 39; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1$  cm; pH no condicionamento = 11,6; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_{gs} = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 15 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 9 min.

#### 4.4.2.3 Amostra de polpa AM 03 – Zona de lavagem intermediária baixa

O mesmo comportamento observado da distribuição mássica pelos produtos da C3P em função da variação de  $J_{W2}$  observado para a AM 02 é visualizado nos estudos de flotação com a AM 03 conforme mostra a Figura 4.53. A recuperação em massa no concentrado tem pequena variação em função de  $J_{W2}$ , enquanto é observada uma tendência clara de queda na recuperação no produto drenado, e como consequência aumento de recuperação em massa no fluxo do rejeito conforme o aumento de  $J_{W2}$ .

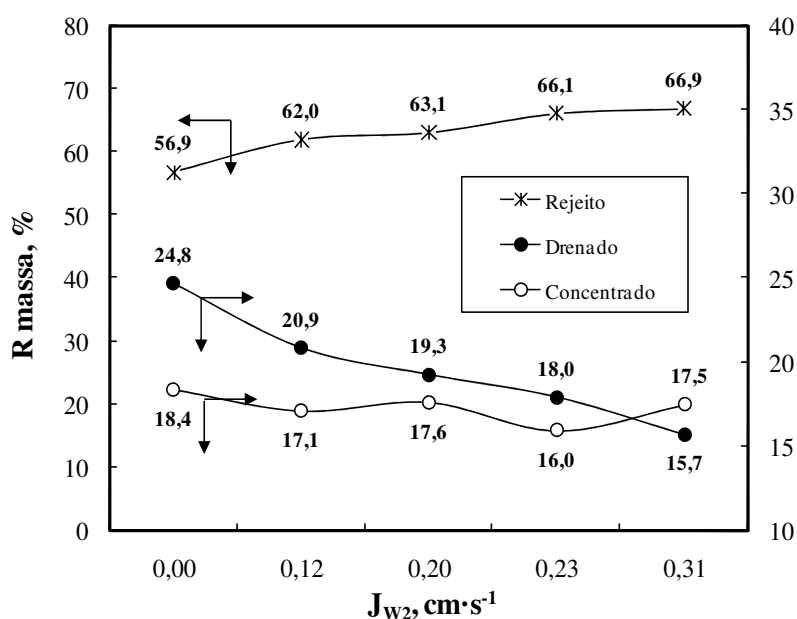


Figura 4.53. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre a recuperação em massa nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

O efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no concentrado de flotação é mostrado na Figura 4.54 (a), variando entre 34,1 e 35,5. A recuperação metalúrgica de apatita para essa corrente apresentou variação de até 6%, com valor mínimo de 66,4% e máximo de 72,2%, abaixo dos 75,5% obtido no concentrado em CCR (teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 35,3%).

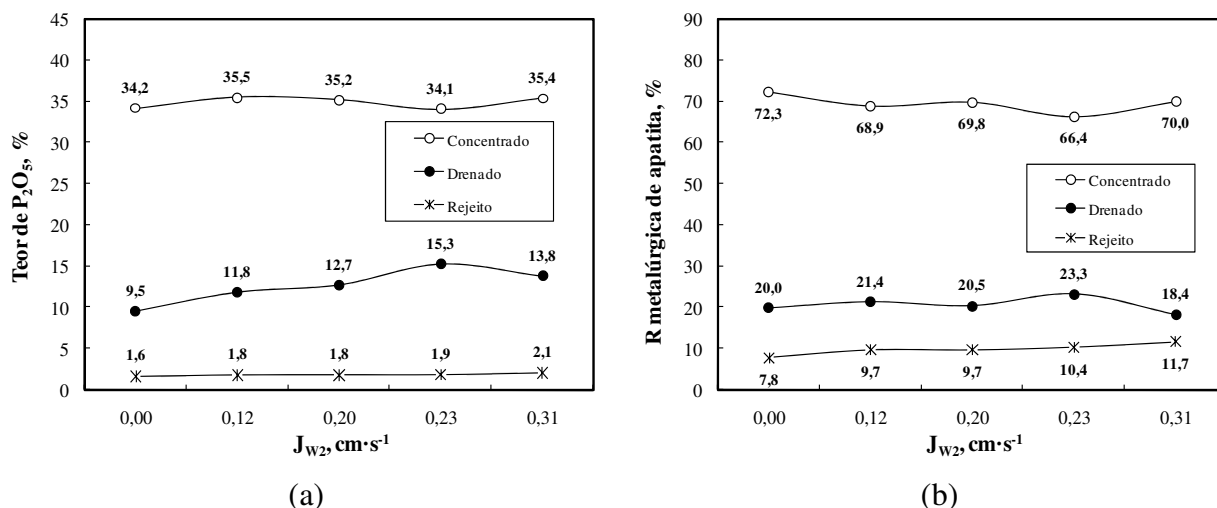


Figura 4.54. Efeito da variação de  $J_{W2}$  sobre o teor de  $P_2O_5$  (a) e distribuição de apatita (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70 \pm 1$  cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

Por outro lado, ao contrário do comportamento observado com as amostras AM 01 e AM 02, o teor de  $P_2O_5$  no fluxo do drenado, com exceção ao ponto onde  $J_{W2} = 0,0 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  é sempre maior que o analisado na amostra da alimentação (10,2%). Considerando para o caso onde  $J_{W2} = 0,12 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (melhor teor no concentrado final), o teor de  $P_2O_5$  foi de 11,8% e representa em torno de 21% do fluxo de massa. Somando-se a recuperação de apatita obtida no concentrado e no produto drenado, a recuperação na C3P para este caso seria de 90,3%. Os teores de impurezas de ferro e sílica no produto drenado também são semelhantes aos da amostra da alimentação da flotação, sendo que para a  $SiO_2$ , para todos os valores de  $J_{W2}$  testados, o teor foi inferior ao da alimentação (17,2%) (Figuras 4.55 e 4.56 (a)). Em relação à distribuição desses elementos pelos fluxos da C3P (Figura 4.55 e 4.56 (b)), observa-se uma pequena queda de recuperação no fluxo do concentrado, pequena diminuição significativa no drenado e conseqüente aumento no rejeito. Enquanto que para as impurezas a distribuição parece estar controlada entre o produto drenado e rejeito, para os minerais portadores de fósforo o fluxo se divide entre o concentrado e o rejeito, mantendo-se com quantidade constante no fluxo do drenado.

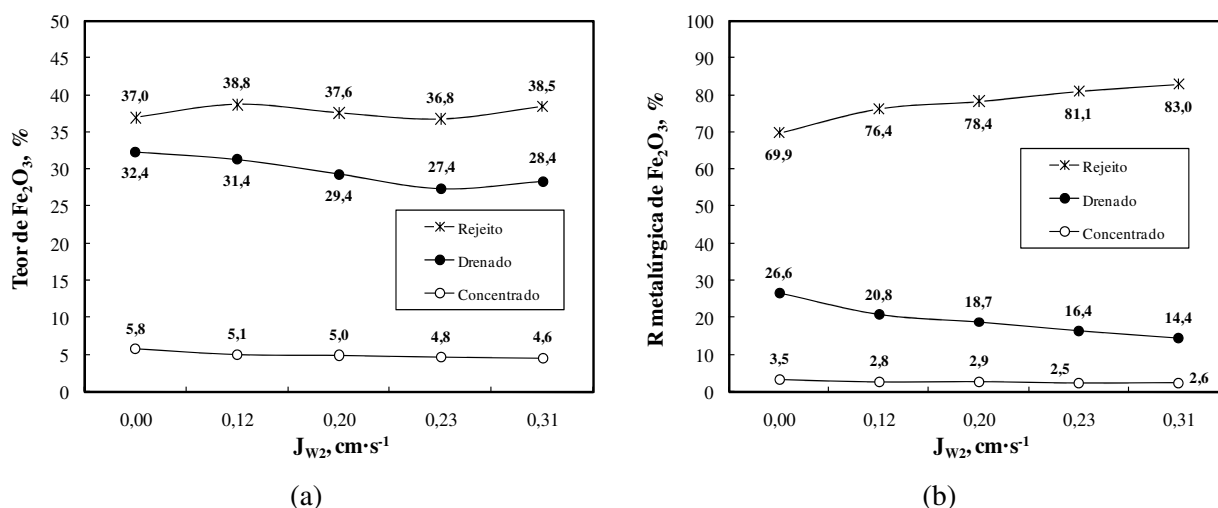


Figura 4.55. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1$ cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

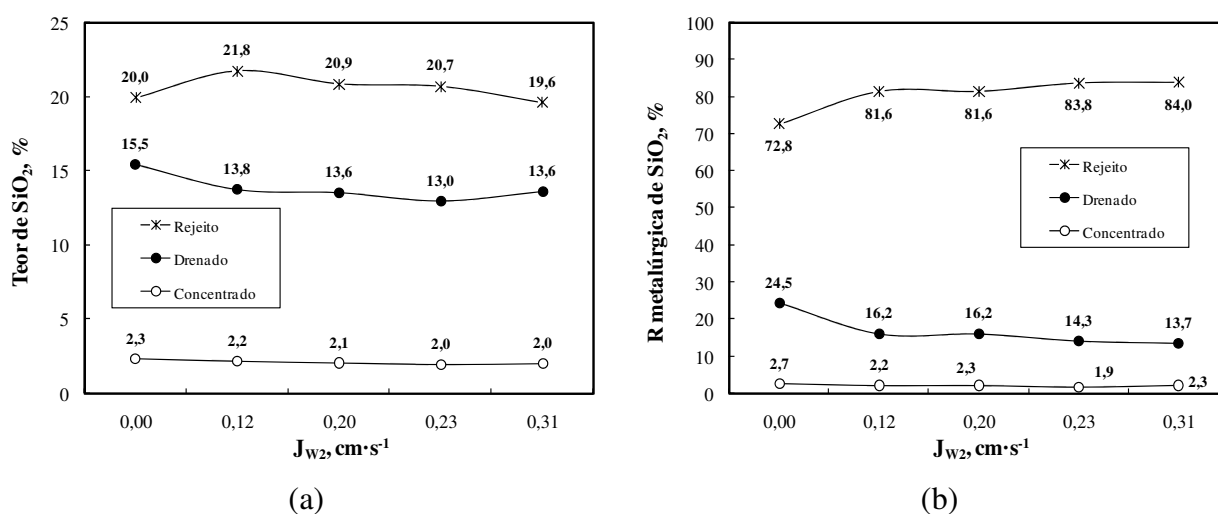


Figura 4.56. Efeito da variação de  $J_{w2}$  sobre o teor de  $\text{SiO}_2$  (a) e distribuição (b) nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para ensaios em C3P (média de duas amostragens). **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1$ cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

#### 4.4.2.4 Amostra de polpa AM 04 – Zona de lavagem intermediária baixa

Para os ensaios com a amostra AM 04 foi efetuada uma alteração na geometria da C3P. Foi incorporado mais um trecho de 50 cm entre o ponto de alimentação o ponto de adição da água de lavagem II, aumento assim a zona de lavagem intermediária de 33cm para 83 cm, o que também resultou em uma coluna de 7,70 m de altura total, (7,20 para os ensaios com a AM 01, AM 02 e AM 03) (detalhes construtivos estão descritos no item 3.2.2.2).

Ao contrário do observado nos estudos com a C3P com zona de lavagem intermediária baixa onde a recuperação em massa no concentrado permanece praticamente constante em função da variação de  $J_{W2}$  com diminuição para o fluxo do drenado e aumento no fluxo do rejeito, nos ensaios com a C3P com zona de lavagem intermediária alta é observado queda na recuperação em massa tanto no concentrado como no produto drenado, acumulando-se assim no fluxo do rejeito. No concentrado, a recuperação em massa caiu de 11,7% para 6,3% quando  $J_{W2}$  aumentou de 0,0 para 0,27  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , no drenado a queda foi de 23% para 9,5% para os mesmos valores de  $J_{W2}$ , e o rejeito aumentou de 65,4% para 84,3% (Figura 4.57).

Mesmo com o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 36,6% obtido com a CCR, em C3P foram alcançados teores ainda maiores no concentrado de flotação chegando até 39% e com valor mínimo de 37,4%, para recuperação metalúrgica de apatita entre 45% e 25% para o intervalo de  $J_{W2}$  testado (Figura 4.58 (a) e (b)). Para  $J_{W2} >$  que 0,12  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  observa-se maior perda de apatita pelo fluxo do rejeito em comparação com o produto drenado e quando  $J_{W2} >$  que 0,20  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , as perdas pelo rejeito são maiores que a soma do concentrado e drenado.

Para o caso de  $J_{W2} >$  que 0,0  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  é obtido um concentrado de flotação de altíssimo teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (39%) e recuperação metalúrgica de apatita de 45% aproximadamente. O produto drenado recupera em torno de 33% da apatita contida com teor de 18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , mais alto que o da alimentação que analisou 11,4% sugerindo o reciclo desse fluxo para um estágio de deslamagem, condicionamento e flotação. Além do alto teor de fósforo, o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é de 27,4% (alimentação de 28,3%) e o teor de  $\text{SiO}_2$  é de 12,7% contra 13,7% na alimentação, como mostram as Figuras 4.59 e 4.60 (a). As recuperações dessas impurezas no concentrado são extremamente baixas ficando no máximo a 1,2% e chegando próximo de zero (Figuras 4.59 e 4.60 (b)).



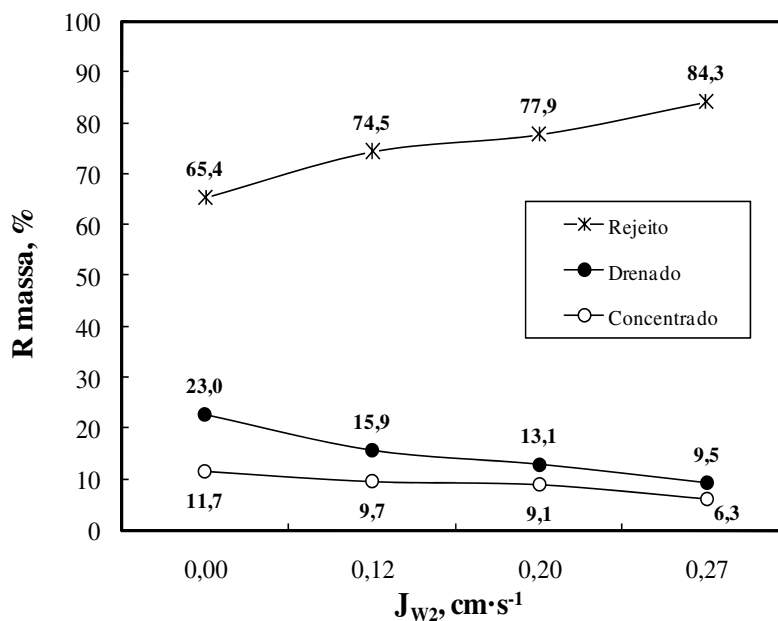


Figura 4.57. Recuperação em massa para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

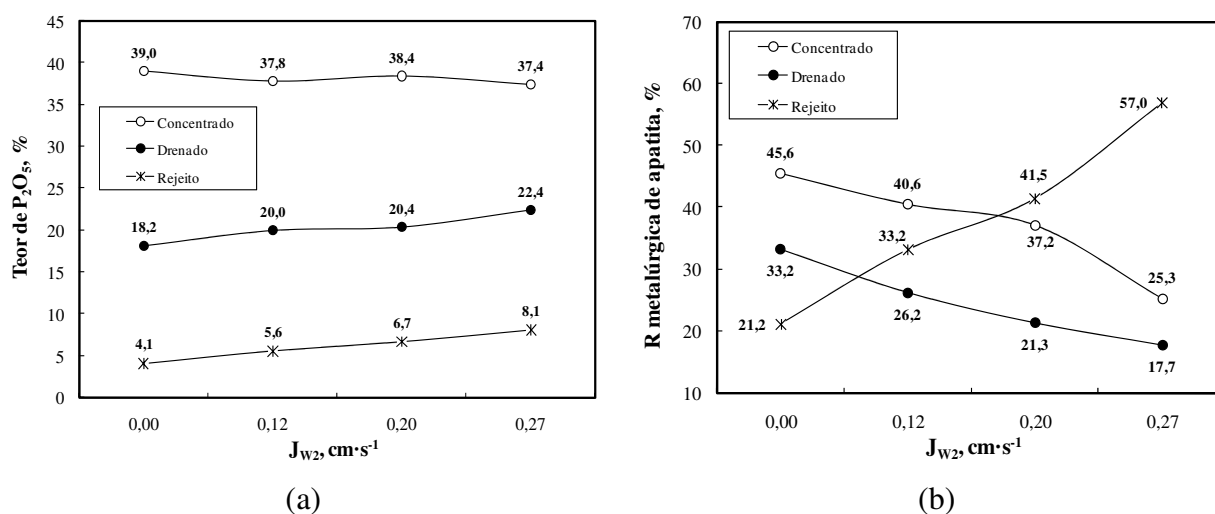


Figura 4.58. Teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (a) distribuição de apatita (b) para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma =  $70\pm 1\text{cm}$ ; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado =  $1400\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ; Dosagem de sabão de óleo de soja =  $70\text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$ ;  $J_g = 0,52\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

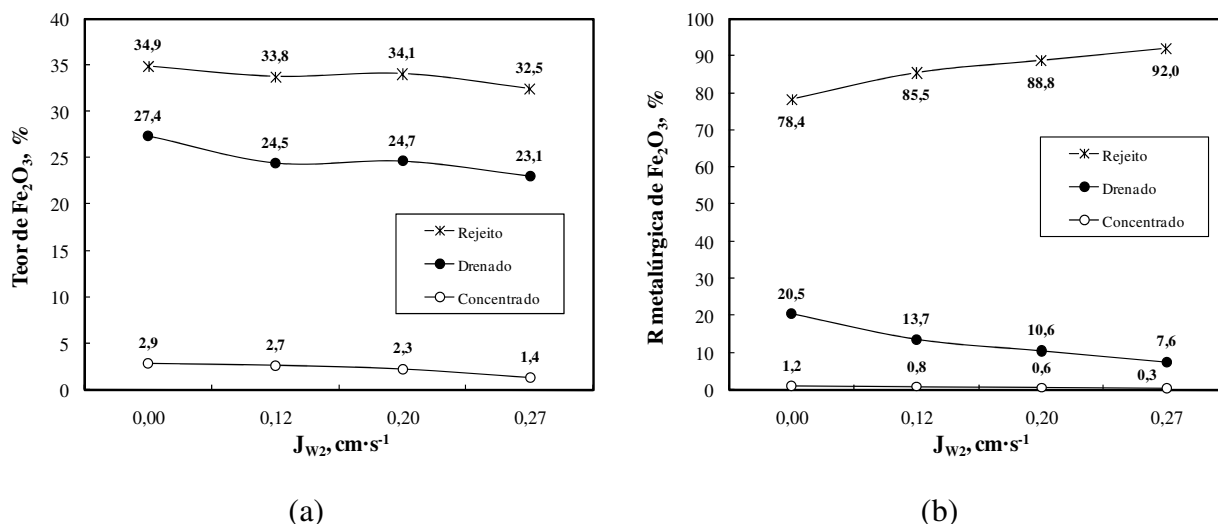


Figura 4.59. Teor (a) e distribuição (b) de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

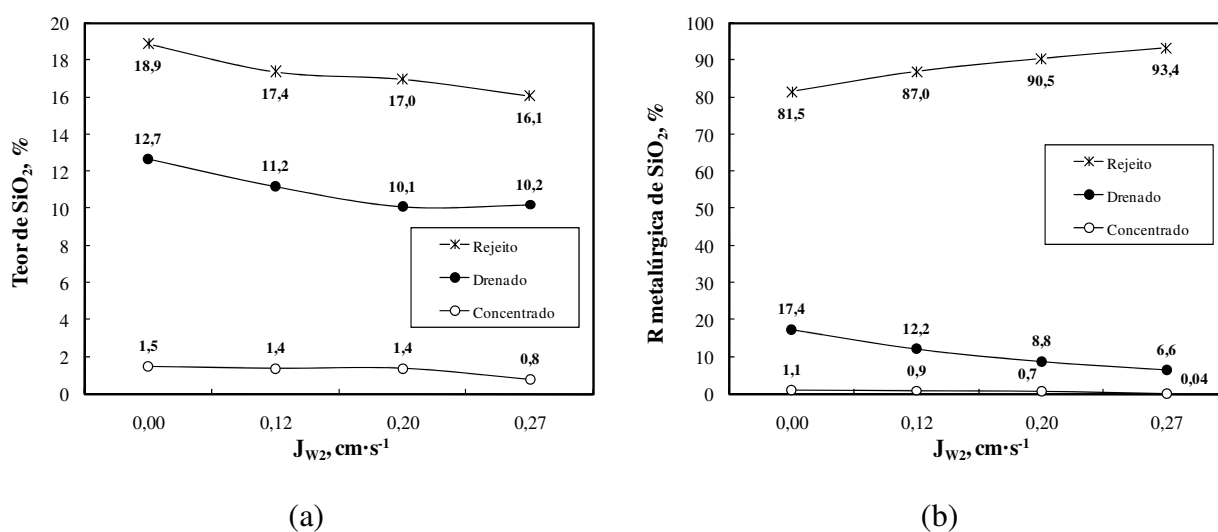


Figura 4.60. Teor (a) e distribuição (b) de SiO<sub>2</sub> nos fluxos do concentrado, drenado e rejeito para C3P. **Condições:** % sólidos no condicionamento = 40; % sólidos na alimentação = 25; h espuma = 70±1cm; pH no condicionamento = 12,0; Dosagem de fubá de milho gelatinizado = 1400 g·t<sup>-1</sup>; Dosagem de sabão de óleo de soja = 70 g·t<sup>-1</sup>;  $J_g = 0,52 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $J_w = 0,37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Tempo de condicionamento com depressor = 17 min; Tempo de condicionamento com o coletor = 10 min.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, o processamento e discussão dos dados permitem estabelecer as seguintes conclusões:

1. O borbulhador da coluna de laboratório gera bolhas com diâmetro médio de *Sauter* entre 1000 e 470  $\mu\text{m}$  para uma faixa de concentração de *Dowfroth* 250 entre 5 e 40  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para velocidade superficial do gás constante de 0,49  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Foi verificado que ocorre uma diminuição mais acentuada no diâmetro médio de bolhas quando se varia a concentração de DF 250 de 5 até 20  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Para concentrações de DF 250 acima de 20  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , a variação no diâmetro médio de bolhas é menos significativa explicada pela estabilização na diminuição da tensão superficial na interface líquido/gás. As medidas de *holdup* aparente na zona de coleção para um sistema bifásico ar/água, mostraram que ocorre um aumento deste parâmetro quando se incrementa a velocidade superficial do gás e a concentração de espumante (*Dowfroth* 250). O fluxo superficial de bolhas ( $S_b$ ) variou entre 20 e 90  $\text{s}^{-1}$  e foi verificada uma relação linear entre esse parâmetro e o *holdup* de gás;

2. Em escala de laboratório, a adição de traçadores solúveis em água no fluxo da alimentação mostra que não ocorre arraste de água de alimentação até o produto drenado tanto em sistema bifásico quanto em sistema tri-fásico. Assim, esses resultados permitem concluir que o fluxo do drenado é constituído basicamente das partículas drenadas da fase espuma e permitem avaliar a recuperação metalúrgica real desta fase. Os estudos com a injeção do traçador no ponto de adição da água de lavagem II mostram que a maior parte do fluxo dessa água é direcionada para a corrente do drenado e não para o rejeito diminuindo com o aumento da velocidade superficial dessa. Apesar disso, é evidenciado o efeito da diminuição do arraste de finos de ganga para a zona de limpeza e aumento na seletividade, dado ao aumento de teores de minerais portadores de fósforo e menor conteúdo de impurezas tanto no concentrado quanto no drenado, comprovado pelo aumento no teor de CaO nessas correntes;

3. A recuperação em massa, metalúrgica de apatita e o teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em CCR são pouco influenciados pela variação da velocidade superficial da água de lavagem para valores entre 0,25 e 0,40  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  ficando em torno de 20%, 74% e 34% respectivamente. Por outro lado, o aumento desse parâmetro diminui o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  nos concentrados de flotação. É observada uma

diminuição na recuperação em massa e metalúrgica na C3P quando comparada com a CCR e são obtidos concentrados com maiores teores de  $P_2O_5$  (até 37,6%) e menor conteúdo de impurezas que os concentrados obtidos em CCR. Esse melhor desempenho em termos de teores é explicado pela eficiente eliminação realizada pela segunda água de lavagem de finos de ganga arrastados na zona intermediária, e ao fato do produto drenado da fase espuma não se acumular na interface polpa/espuma, como ocorre na coluna reta, proporcionado a ausência deste material na zona de coleção. O produto drenado na C3P na flotação de finos de fosfato apresenta características químicas semelhantes em termos de teores de minerais portadores de fósforo e contaminantes ao minério que alimenta a flotação desses materiais na usina, sugerindo assim o seu reciclo, contribuindo assim para aumentos na recuperação metalúrgica da C3P;

4. A adição de água II diminui a transferência de massa para o produto drenado fazendo a recuperação nessa corrente cair de 10-13% na condição aberta ( $J_{W2} = 0,0 \text{ cms}^{-1}$ ) para valores entre 0,5-3% para  $J_{W2} > 0,27 \text{ cms}^{-1}$  em escala de laboratório. O aumento de  $J_{W2}$  aumenta o teor de  $P_2O_5$  no concentrado e diminui o teor de impurezas. Nessas condições, as perdas de apatita são quase exclusivamente pelo rejeito;

5. Os resultados dos estudos de flotação na C3P em escala piloto operando com zona de lavagem intermediária alta e na condição aberta ( $J_{W2} = 0 \text{ cms}^{-1}$ ) mostram que é possível produzir rejeitos com menor conteúdo de apatita (menores perdas) e maior conteúdo de impurezas de ferro e sílica. Os teores de apatita na corrente do concentrado são maiores que os obtidos na CCR (2,5% aproximadamente) e menores suas impurezas (óxidos de ferro e sílica). Esses resultados permitem concluir que nessas condições operacionais, a C3P poderia ser empregada em um eventual circuito *cleaner* (flotação limpeza) com reciclo do produto drenado (20% da massa aproximadamente), para manter uma boa recuperação. De esta forma, os concentrados (limpos) apresentam características de produto final em termos de teores e permitiria ainda, a possibilidade de blendagem com outros concentrados mais “pobres” (com maior teor de impurezas).

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Estudos com injeção de traçador nos fluxos da alimentação, água de lavagem I e água de lavagem II em coluna de 4 polegadas de diâmetro a fim de elucidar os mecanismos de transferência de massa para colunas de grande porte, tanto em sistema bi-fásico quanto em sistema tri-fásico;
2. Realizar estudos em escala piloto de determinação de parâmetros de dispersão de gás associados a resultados metalúrgicos de flotação de outros sistemas minerais como forma de estabelecer um modelo de flotação que sirva como base para *scale up* de equipamentos de flotação;
3. Avaliar a possibilidade de reciclo da fração drenada para um eventual circuito de deslamagem, acondicionamento e flotação no caso específico da aplicação da C3P (e nas condições onde se aplica) na flotação de finos de minérios de fosfato, como forma de aumentar a recuperação global do circuito de flotação;
4. Estudos em uma C3P de no mínimo 24 polegadas de diâmetro e 9 metros de altura dado aos desafios construtivos que um equipamento desse tipo apresenta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUZEID, A-Z. M. Physical and thermal treatment of phosphates ores – An Overview. **International Journal of Mineral Processing**. 85, pp 267-208, 2008.
- ALIAGA, W., SAMPAIO, C.H., BRUM, I.A.S., FERREIRA, K.R.S., BATISTELLA, M.A. Flotation of high-grade fluorite in a short column under negative bias regime. **Minerals Engineering**. 19, pp 1393-1396, 2006.
- AQUINO, J.A., FURTADO, J.R.V. Flotação reversa aplicada ao minério fósforo-uranífero de Itaitaia (CE). **Em XI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Natal-RN, Vol. I, pp 31-48, 1985.
- AQUINO, J. A., OLIVEIRA, M. L. M., FERNANDES. M. D (a). Flotação em coluna. **Tratamento de Minérios**, Ed. Adão Benvindo da Luz *et al.*. 3ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 850 p, 2002.
- AQUINO, J.A, JÚNIOR, W.E.P., GUIMARÃES, R.C., ALBUQUERQUE, R.O., PRAES, P.E., (b). Estudo piloto de flotação em coluna com os finos de minério fosfático. **Em: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Recife, Brasil, Vol. I, pp 203-209, 2002.
- AQUINO, J.A., OLIVEIRA, M.L.M., DE PAULA JÚNIOR. W.E., TAKAYAMA. T. Flotação em coluna aplicada à recuperação de prata em resíduo de lixiviação. **Em: XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Florianópolis, Brasil, Vol. II, pp 27-34, 2004.
- ATA, S., AHMED, N., JAMESON, G.J. Collection of hydrophobic particles in the froth phase. **International Journal of Mineral Processing**. 64, pp 101-122, 2002.
- BARROS, L.A.F., LEAL FILHO, L.S., PERES, A.E.C. Plant practice innovations in a phosphate concentrator – Technical note. **Minerals Engineering**. Vol. 14, Nº 1, pp 117-121, 2001.
- BARROS, L.A.F. Concentração de minérios fosfáticos. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. Flotação – O Estado da Arte no Brasil**. Arthur Pinto Chaves (Organizador), Editora Signus, Vol. IV, Capítulo 5, 444 p, 2006.
- BRUM, I.A.S., SAMPAIO, C.H., GOMES, J.C.Q., BATISTELLA, M.A. (a) Efeito da presença de partículas minerais grossas de fluorita no processo de flotação em coluna. **Em: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Natal-RN, Brasil. Vol. I, pp 405-412, 2005.
- BRUM, I.A.S., SAMPAIO, C.H., ALIGA, W. (b) Estudos para concentração de fluorita do Paraná em coluna de flotação – Uma análise preliminar. **Em: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Natal-RN, Brasil. Vol. I, pp 317-324, 2005.
- BRUM, I.A.S., ALIAGA, W., SAMPAIO, C.H., FERREIRA, K.R., BATISTELLA, M.A. Concentração de fluorita em coluna de flotação em regime de bias negativo. **Em: XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa/VII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology**. Ouro Preto-MG, Brasil. Vol. I, pp 243-250, 2007.
- CABRAL, S, A. Desenvolvimento de um processo de beneficiamento para o minério sulfetado de chumbo e zinco da Cia Brasileira do Cobre (CBS).RS. Dissertação de Mestrado - **Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS**, 133 p, 1995.
- CABRAL, S., RUBIO, J. Flotação coletiva de sulfetos de Zn e Pb em coluna C3P. **III Mining Italian-Brazilian Congress**, Canela, RS, Brasil, pp 522-530, 1996.

- CIRIBENI, V., PÉREZ, M., CANO, E., ECHENIQUE, O. Estudio cinético de flotación de fluorita en columna. Em: **XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa/VII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology**. Ouro Preto-MG, Brasil. Vol. I, pp 303-311, 2007.
- DAHLKE, R., GOMEZ, C., FINCH, J.A. Operating range of a flotation cell determined from gas holdup vs gas rate. **Minerals Engineering**. 18, pp 977-980, 2005.
- DEGLON, D.A., EGYA-MENSAH, D., FRANZIDIS, J.P. Review of hydrodynamics and gas dispersion in flotation cells on South African platinum concentrators. **Minerals Engineering**. Vol 13, N° 13, pp 235-244, 2000.
- DOBBY, G, S. A fundamental flotation model and flotation column scale-up. PhD Thesis. **Department of mining and metallurgical engineering, McGill University**, Montreal, Canadá, 1984.
- DOBBY, G, S. **Column Flotation Course**, UFMG – Brasil, 1989.
- DOBBY, G.S., FINCH, J.A. Column flotation: A selected review, Part II. **Minerals Engineering**, Vol. 4, N° 7-11, pp 911-923, 1991.
- ELGILLANI, D.A., ABOUZEID, A-Z.M. Flotation of carbonates from phosphate in acidic media. **International Journal of Mineral Processing**. 38, pp. 235-256, 1993.
- EL-SHALL, H., ABDEL-KHALEK. N.A., SVORONOS. S. Collector-frother interaction in column flotation of Florida phosphate. **International Journal of Mineral Processing**. 20, pp 187-199, 2000.
- EL-SHALL, H., ZHANG, P., ABDEL KHALEK, N., EL-MOFTY, S. Beneficiation technology os phosphates challenges and solutions. **Minerals & Metallurgical Processing**. Vol. 21, N° 1, pp 17-26, 2004.
- FALUTSU, M., DOBBY, G. S.,(a). Direct measurment of froth drop back and collection zone recovery in a laboratory flotation column. **Minerals Engineering**. Vol 2(3), pp 377-386, 1989.
- FALUTSU, M., DOBBY, G. S.,(b). Direct measurment of froth zone performace in a laboratory flotation column. **The International Symposium on Processing of Complex Ore**. Dobby and Rao Ed., Halifax, pp 335-347, 1989.
- FÉRIS L.A., RUBIO, J., Dissolved air flotation (DAF) performance at low saturation pressures. **Filtration and Separation**, 36(9), 61–65, 1999.
- FÉRIS, L.A., GALLINA, C.W., RODRIGUES, R.T., RUBIO, J,. Optimizing dissolved air flotation design and saturation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Vol. 17, No. 04-07, pp. 549-555, 2000.
- FINCH, J, A.; DOBBY, G, S. **Column flotation**. Pergamon Press, Great Britain, first edition, 1990.
- FINCH, J.A., DOBBY, G.S. Column flotation: A selected review. Part I. **International Journal of Mineral Processing**, 33, pp 343-354, 1991.
- FINCH, J.A., XIAO, J., HARDIE, C., GOMEZ, C.O. Gas dispersion properties: Bubble surface area flux and gas holdup. **Minerals Engineering**, Vol. 13, N° 4, pp 365-372, 2000.
- FINCH, J.A., GELINAS, S., MOYO, P. Frother-related at McGill University. **Minerals Engineering**. 19, pp 726-733, 2006.
- FLINT, I.M., WYSLOUZIL, H.E., LIMA ANDRADE, V.L., MURDOCK, D.J. Column flotation of iron ore. **Minerals Engineering**. Vol. 5, N° 10-12, pp 1185-1194, 1992.
- FOOT, D. G., JR MCKAY, J. D., SHIRTS, M. B. Column flotation of chromite and fluorite ores. **Canadian Metallurgical Quarterly**, Vol 25(1), pp 15-21, 1986.

- FURTADO, J.R.V., PERES, A.E.C. Flotação em coluna aplicada aos finos de minério fósforo-uranífero de Itataia-CE. **Em Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Natal-RN, Vol. I, pp 15-27, 1985.
- GALLEGOS-ACEVEDO, P.M., PÉREZ-GARIBAY, R., URIBE-SALAS, A., NAVA-ALONSO, F. Bubble load estimation in the froth zone to predict the concentrate mass flow rate of solids in column flotation. **Minerals Engineering**. Vol 20, 13, pp 1210-117, 2007.
- GORAIN, B.K., FRANZIDIS, J.P., MANLAPIG, E.V. (a) Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell – Part 1: Effect on bubble size distribution. **Minerals Engineering**. Vol. 8, N° 6, pp. 615-635, 1995.
- GORAIN, B.K., FRANZIDIS, J.P., MANLAPIG, E.V. (b) Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell – Part 2: Effect on gas holdup. **Minerals Engineering**. Vol. 8, N° 12, pp. 1557-1570, 1995.
- GORAIN, B.K., FRANZIDIS, J.P., MANLAPIG, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell – Part 3: Effect on superficial gas velocity. **Minerals Engineering**. Vol. 9, N° 6, pp. 639-654, 1996.
- GORAIN, B.K., FRANZIDIS, J.P., MANLAPIG, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell – Part 4: Effect of bubble surface area flux on flotation performance. **Minerals Engineering**. Vol. 10, N° 4, pp. 367-379, 1997.
- GORAIN, B.K., NAPIER-MUNN, T.J., FRANZIDIS, J.P., MANLAPIG, E.V. Studies on impeller type, impeller speed and air flow rate in an industrial scale flotation cell – Part 5: Validation of k-Sb relationship and effect of froth depth. **Minerals Engineering**. Vol. 11, N° 7, pp. 615-626, 1998.
- GRAU, R.A., HEISKANEN, K. Gas dispersion measurements in a flotation cell. **Minerals Engineering**. 16, pp 1081-1089, 2003.
- GRAU, R.A., LASKOWSKI, J.S., HEISKANEN, K. Effects of Frothers on bubble size. **International Journal of Mineral Processing**. 76, pp. 225-233, 2005.
- GUIMARÃES, R.C., PERES, A.E.C. Experiência brasileira de produção de concentrado fosfático a partir de lamas. **Em: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Recife, Brasil, Vol. I, pp 247-253, 2002.
- GUIMARÃES, R.C., PERES, A.E.C. Production of phosphate concentrates from slimes: Brazilian experience. **In: Proceedings XXII International Mineral Processing Congress**, Cape-Town, África do Sul, pp 606-612, 2003.
- GUIMARÃES, R.C., ARAUJO, A.C., PERES, A.E.C. Reagents in igneous phosphate ores flotation. **Minerals Engineering**. 18, pp 199-204, 2005.
- HABASHI, F. A short history of mineral processing. **In Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress**. Istanbul, Turquia. Vol I. pp 3-8, 2006.
- HERNÁNDEZ, H., GÓMEZ, C.O., FINCH, J.A. Gas dispersion and de-inking in a flotation column. **Minerals Engineering**. 16, pp 739-744, 2003.
- HONAKER, R.Q., OZSEVER, A.V. Evaluation of the selective detachment process in flotation froth. **Minerals Engineering**. 16, pp 975-982, 2003.
- HOUOT, R. Beneficiation of phosphatic ores through flotation: Review of industrial applications and potential developments. **International Journal of Mineral Processing**. 9, pp 353-384, 1982.
- HULS, B.J. E WILLIAMS, S.R. Limitations in application of column flotation. **In: Proceedings XVIII International Mineral Processing Congress**, Sydney-Australia, pp 779-791, 1993.
- ITYOKUMBUL, M.T., SALAMA, A.I.A., AL TAWHEEL, A.M. Estimation of bubble size in flotation columns. **Minerals Engineering**. Vol 8. N° 1-2, pp 77-89, 1995.



- KAWATRA, S.K. E EISELE, T.C. The use of horizontal baffles to improve the effectiveness of column flotation of coal, **XVIII International Mineral Processing Congress**, Sydney-Australia, pp 771-777, 1993.
- KRACHT, W., VALLEBUONA, G., CASALI, A. Rate constant modelling for batch flotation, as a function of gas dispersion properties. **Minerals Engineering**. 18, pp. 1067-1076, 2005.
- LASKOWSKI, J.S. Fundamental properties of flotation frothers. In: Lorenzen, L., Bradshaw, D. (Eds.), **Proceedings of the XXII International Mineral Processing Congress**, Cape Town, South Africa, pp. 788-797, 2003.
- LEDO, P.G.S., PAULO, J.B.A., LIMA, R.F.S., BRANDÃO, P.R.G., Vieira, M. Flotação de calcita utilizando óleos vegetais regionais saponificados. **Em: Anais XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Florianópolis, Brasil, Vol. 2, pp 61-69, 2004.
- LÓPEZ, D.A.R. Caracterização do sistema de flotação em coluna de finos de fluorita de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia, **Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS**, 177 p, 1991.
- LOUREIRO, F.E.J., MONTE, M.B.M., NASCIMENTO, M. **Rochas e minerais industriais – Usos e especificações**. (Eds) Luz, A.B. e Lins, F.F. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Capítulo 7. 726 p. 2005.
- MARTINS, M. A. S., LISBOA, K. S., SILVA. E., MONREDOM, T. Uma nova geração de sistemas de aeração em colunas de flotação e sua aplicação na mina de Timbopeba da CVRD. **Em: XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Florianópolis, Brasil. Vol 2, pp 149-156, 2004.
- MASSINAEI, M., KOLAHDOOZAN, M., NOAPARAST, M., OLIAZADEH, M., YIANATOS, J.B., R. SHAMSADINI, R., YARAHMADI, M. Hydrodynamic and kinetic characterization of industrial columns in rougher circuit. **Minerals Engineering**. *Article in press*, 2008.
- MASSINAEI, M., KOLAHDOOZAN, M., NOAPARAST, M., OLIAZADEH, M., YIANATOS, J.B., R. SHAMSADINI, R., YARAHMADI, M. (a) Froth zone characterization of an industrial flotation column in rougher circuit. **Minerals Engineering**. Vol. 22, 3, pp 272-278, 2009.
- MASSINAEI, M., KOLAHDOOZAN, M., NOAPARAST, M., OLIAZADEH, M., YIANATOS, J.B., R. SHAMSADINI, R., YARAHMADI, M. (b) Hydrodynamic and metallurgical characteristics of industrial and pilot columns in rougher circuit. **Minerals Engineering**. Vol. 22, 1, pp 96-99, 2009.
- MELO. F., LASKOWSKI, J.S. Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation, **Minerals Engineering**, 19, pp. 766-773, 2006.
- MOUDGIL, B.M., INCE, D. Flotation of dolomitic impurities from Jhamarkotra (India) phosphorities. **International Journal of Mineral Processing**. 24, pp. 47-54, 1988.
- MURDOCK, D, J., Consideraciones en el diseño y aplicaciones de celdas columnas de gran tamaño, **Informe Tecnico Expo Minería**, Santiago, Chile, 1992.
- NESSET. J.E., HERNANDEZ-AGUILAR, J.R., ACUNA, C., GOMEZ, C.O., FINCH, J.A. Some gas dispersion characteristics of mechanical flotation machines. **Minerals Engineering**. 19, pp. 807-815, 2006.
- OLIVEIRA, M.L.M., AQUINO, J.A., SEMAAN, w.M. Análise técnica da unidade industrial de flotação de prata da Companhia Paraibuna de Metais. **Em: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Recife-PE, Brasil. Vol I, pp 221-227, 2002.

- OLIVEIRA, M.L.M.; AQUINO, J.A. Aspectos relevantes das colunas de flotação. **Em: Anais XXI Anais XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Natal-RN, Brasil.** Vol I. pp. 243-250, 2005.
- QUINN, J.J., KRACHT, W., GOMEZ, C.O., GAGNON, C., FINCH, J.A. Comparing the effect of salts and frother (MIBC) on gas dispersion and froth properties. **Minerals Engineering.** 20, pp. 1296-1302, 2007.
- RODRIGUES, R. T., RUBIO, J. New basis for measuring the size distribution of bubbles. **Mineral Engineering.** N° 16, pp 757-765, 2003.
- RODRIGUES, R.T., TABOSA, E.O., VARELA, J.J., RUBIO, J. Nova técnica para avaliação da distribuição de tamanho de bolhas na flotação. **Em: Anais XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Florianópolis, Brasil, Vol. 2,** pp 79-86, 2004.
- RODRIGUES, R. T. Inovação na geração e caracterização de bolhas para o processo de flotação. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia, **Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS,** 114 p, 2004.
- RUBINSTEIN, J.B., GERASIMENKO, M.P. Design, simulation and operation of a new generation of column flotation machines. **In: Proceedings of XVIII International Mineral Processing Congress.** Vol. 2, pp 793-804, 1993.
- RUBINSTEIN, J.B., BADENICOV, V. New aspects in the theory and practice of column flotation. **In: Proceedings of XIX International Mineral Processing Congress.** Vol. 3, pp 113-116, 1995.
- RUBINSTEIN, J.B. Column Flotation, Process, Design and Practices. **Gordon and Breach Science Publishers.** Vol II, 1995.
- RUBIO, J., LÓPEZ, D.A.R. Processo de flotação de finos de fluorita em coluna modificada. **Proceedings of the III Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, Flotação: Fundamentos, Prática e Meio Ambiente,** Belo Horizonte, Brasil, pp 369-388, 1992.
- RUBIO, J. Modified column flotation of mineral particles. **International Journal of Mineral Processing.** 48, pp 183-196, 1996.
- SAMPAIO, C.H., ALIAGA, W., PEREIRA, T.J., BATISTELLA, M.A. Flotação de fluorita em coluna sem água de limpeza. **Em: XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa/VII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology.** Ouro Preto-MG, Brasil. Vol. I, pp 351-358, 2007.
- SANTANDER, M. E. Aplicação de uma coluna de flotação modificada no tratamento de sulfetos metálicos. Dissertação de Mestrado - **Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS,** 162 p, 1993.
- SANTANDER, M. E., BEAS, E., RUBIO, J. Flotación em coluna modificada de sulfuros de cobre. **Anais do IV Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology,** Concepción-Chile, S. Castro e J. Alvarez, (Eds), Vol 4, pp 165-178, 1994.
- SCHWARZ, S., ALEXANDER, D. Gas dispersion measurements in industrial flotation cells. **Minerals Engineering.** 19, pp 554-560, 2006.
- SILVA, J.C.F., SOUZA, M.D., BARROS. O circuito de recuperação de ultrafinos do complexo de mineração de Tapira (CMT-Fosfertil). **Em: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa,** Recife, Brasil, Vol. I, pp 32-40, 2002.
- SIS, H., CHANDER, S. Reagents used in the flotation of phosphate ores: a critical review. **Minerals Engineering,** 16, pp 577-585, 2003.
- SWEET, C., VAN HOOOSTRATEN, J., HARRIS, M., LASKOWSKI, J.S. The effect of frothers on bubble size and frothability of aqueous solutions. In: Finch, J.A., Rao, S.R., Holubec, I. (Eds.), **Processing of Complex Ores, 2nd UBC-McGill Symposium 8,** 1997.

- TAKAHASHI, T., MIYAHARA, T., MOCHIZUKI, H. Fundamental study of dissolved air pressure flotation. **J. Chem. Engineering**, Japan. Vol. 12, pp 275-280, 1979.
- TAKATA, L.A. Flotação em coluna. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. Flotação – O Estado da Arte no Brasil**. Arthur Pinto Chaves (Organizador), Editora Signus, Vol. IV, Capítulo 3, 444 p, 2006.
- TAO, D., LUTTRELL, G.H., YOON, R-H. A parametric study of froth stability and its effect on column flotation of fine particles. **International Journal of Mineral Processing**, 59, pp. 25-43, 2000.
- TAO, D., FAN, M., HONAKER, R., PAREKH, B.K. Picobubble enhanced flotation of coarse phosphate particle. **In: Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress**. Istanbul, Turquia, 2006.
- TAVERA, F.J., ESCUDERO, E., FINCH, J.A. Gás holdup in flotation columns: laboratory measurements. **International Journal of Mineral Processing**, 61, pp 23-40, 2001.
- TORTORELLI, J. P., CRAVEN, J. W., TOGURI, J. M., DOBBY, G. S., Agar. G. E. The effect of external gas/slurry contact on the flotation of fine particles. **Minerals Engineering**. Vol. 10, No. 10, pp 1127-1138, 1997.
- URIBE-SALAS, A., DE LIRA-GOMÉZ. P., PÉREZ-GARIBAY, R., NAVA-ALONSO, F., MAGALLANES-HERNÁNDEZ. L., LARA-VALENZUELA, C. Overloading of gas bubbles in column flotation of coarse particles and effect upon recovery. **International Journal of Mineral Processing**. Vol 71, pp 167-178, 2003.
- VALDERRAMA, L. C., CABRAL, S., SANTANDER. M., RUBIO, J. Flotação de minérios em coluna de três produtos. **Anais XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Rio de Janeiro, Vol. 1, pp 421-436, 1995.
- VALDERRAMA, L. C. Estudos de flotação não convencional para o tratamento de rejeitos de ouro. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia, **Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS**, 124 p, 1997.
- VALDERRAMA, L.C., RUBIO, J. High intensity conditioning and the carrier flotation of gold fine particles. **International Journal of Mineral Processing**, 52, pp 273-285, 1998.
- VALDERRAMA, L.C., ROSA, J.J., SANTANDER, M., RUBIO, J., Treatment of gold tailings with the 3PC – column flotation. **Proceedings XXI International Mineral Processing Congress**, Roma, Italy, Vol. B, pp B9-30, 2000.
- VALDERRAMA, L., RUBIO, J., PÉREZ, S. Comparación entre la columna de flotación modificada y la columna recta usando relaves de oro. **Anais XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Recife, PE, Brasil, Vol 1, pp 216-220, 2002.
- VALDERRAMA, L., RUBIO, J. Unconventional column flotation of low-grade gold fine particles from tailings. **International Journal of Mineral Processing**, 86, 1-4, pp 75-84, 2008.
- YANG, D. C. A new packed column flotation system. **In Column flotation '88. Annual SME Meeting** K. V Sastry Ed. Phoenix-Arizona, pp 257-265, 1988.
- YANG, D. C. Technical advantages of packed flotation columns, **Column '91**, G. E. Agar, Ed, pp 631-641, 1991.
- YIANATOS, J. B., FINCH, J. A., LAPLANTE, A. R. Holdup profile and bubble size distribution of flotation column froths. **Canadian Metallurgical Quarterly**. Vol 25(1), p 23-29, 1986.
- YIANATOS, J., FINCH, J.A., DOBBY, G.S., MANQIU, X. Bubble size estimation in a bubble swarm. **Journal of Colloid and Interface Science**. Vol. 126, N° 1, 1988.
- YIANATOS, J., FINCH. J.A. Gas holdup versus gas rate in bubbly regime. **International Journal of Mineral Processing**. Vol. 29, pp 141-146, 1990.

- YIANATOS, J. E BERGH, L. (a) Parámetros de diseño y operación de columnas de flotación. **Proceedings III of the Meetings of the Southern Hemisphere on Mineral Technology**, Flotação: Fundamentos, Prática e Meio Ambiente, M.J.G. Salum & V.S.T. Ciminelli (Eds.), Belo Horizonte/MG-Brasil, pp 511-529, 1992.
- YIANATOS, J.B., BERGH, L.G. (b) RTD studies in an industrial flotation column: use of the radioactive tracer technique. **International Journal of Mineral Processing**. 36, pp 81-91, 1992.
- YIANATOS, J., BERGH, L., LÓPEZ, R., MOLINET, P., GIMENEZ, P., Characterization of an industrial flotation column at division Andina, Codelco-Chile. **Minerals Engineering**, Vol 12. N° 12, pp 565-569, 1999.
- YIANATOS, J., BERGH, L., CONDORI, P., AGUILERA, J. Hydrodynamic and metallurgical characterization of industrial flotation Banks for control purposes. **Minerals Engineering**. Vol. 14, N° 9, pp 1033-1046, 2001.
- YIANATOS, J., Current status of column flotation. **In Proceedings of flotation and flocculation: From Fundamentals to Applications, Strategic Conference and workshop**, Kona-Hawaii, pp 213-220, 2002.
- YIANATOS. J.B., BERGH. L.G., DÍAZ, F., RODRÍGUEZ, J. Mixing characteristics of industrial flotation equipment. **Chemical Engineering Science**. 60, pp 2273-2282, 2005.
- YOON, R. H., LUTTRELL, G. H., ADEL. G. T., MANKOSA, M. J. Recent advances in fine coal flotation In: S. chader (Editor), **Proceedings, Engineering Foundation Conference on Advances in Coal and Mineral Processing Using Flotation**. SME, Inc litteton, Co, pp 211-218, 1989.
- WHEELER, D. Historical view of column flotation development, **In Column Flotation '88, Annual SME meeting**, K. V. Sastry Ed. Phoenix-Arizona, pp 3-4, 1988.

## APÊNDICES

### Apêndice I – Determinação do tamanho de bolhas pelo método do *drift flux* (Yianatos *et al.*, 1988)

Masliyah derivou uma expressão geral para velocidade relativa de uma partícula em um fluido para determinar a sedimentação de partículas esféricas em um sistema multi-espécies. Bolhas e esferas rígidas em água têm coeficientes de arraste equivalentes para número de Reynolds de aproximadamente 500. Assim, para  $Re$  menor que 500, uma expressão análoga para bolhas pode ser:

$$U_{bs} = \frac{g \cdot d_b \cdot F(\epsilon L) \cdot [\rho_b - \rho_{susp}]}{18 \cdot \mu L \cdot [1 + 0,15 \cdot Re_b^{0,687}]}, \quad (1)$$

onde:

$$Re_b = \frac{d_b \cdot U_{bs} \cdot \rho L \cdot \epsilon L}{\mu L} \quad (2)$$

e,

$$F(\epsilon L) = \epsilon L^{m-2} \quad (3)$$

onde  $m$  é definido de acordo com Richardson e Zaki, para  $1 < Re < 200$ ,

$$m = \left[ 4,45 + 18 \cdot \left( \frac{d_b}{d_c} \right) \right] \cdot Re^{-0,1} \quad (4)$$

e, para  $200 < Re < 500$ ,

$$m = 4,45 \cdot Re^{-0,1} \quad (5)$$

e o número de Reynolds é definido por

$$Re = \frac{d_b \cdot U_t \cdot \rho L}{\mu L} \quad (6)$$

e

$$Ut = \frac{Ubs}{\epsilon L^{m-1}} \quad (7)$$

A equação (1) para um sistema bi-fásico (líquido/ar) pode ser simplificada, desde que  $\rho_s = 0$  para:

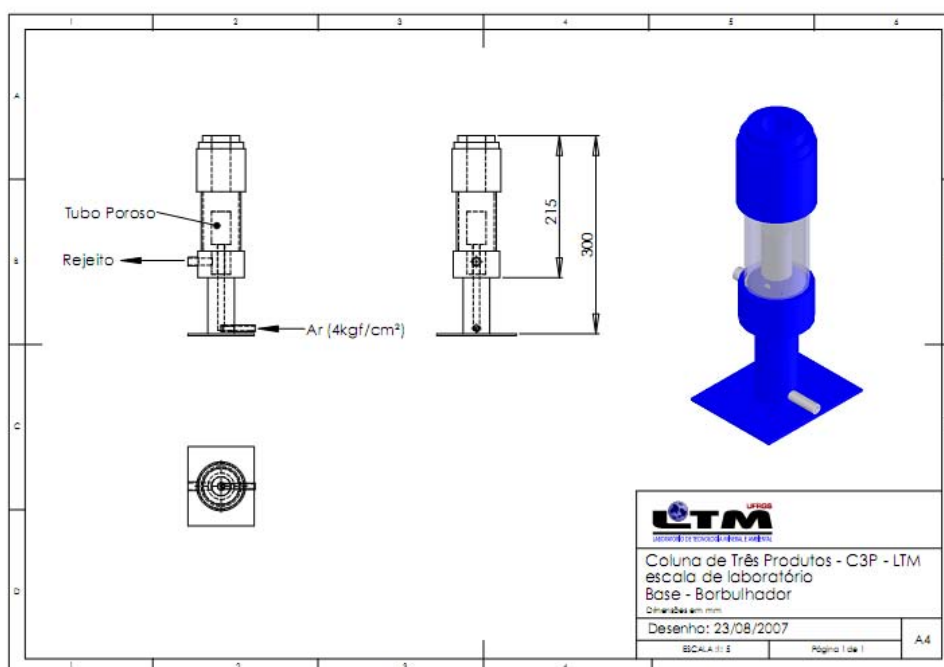
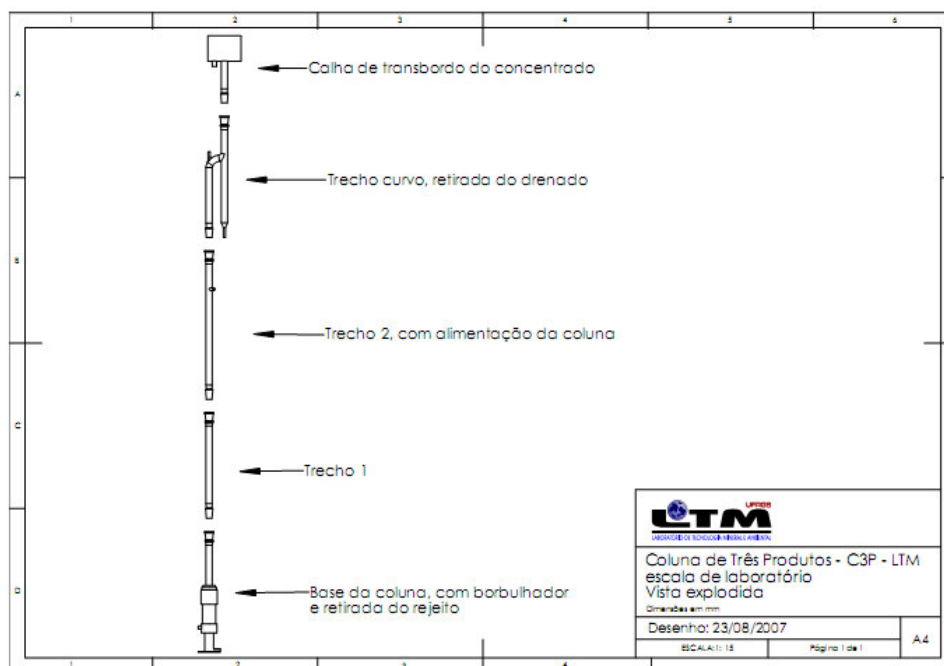
$$Ubs = \frac{g \cdot db^2 \cdot F(\epsilon L) \cdot \epsilon L \cdot (-\rho L)}{18 \mu L \cdot [1 + 0,15 \cdot Reb^{0,687}]} \quad (8)$$

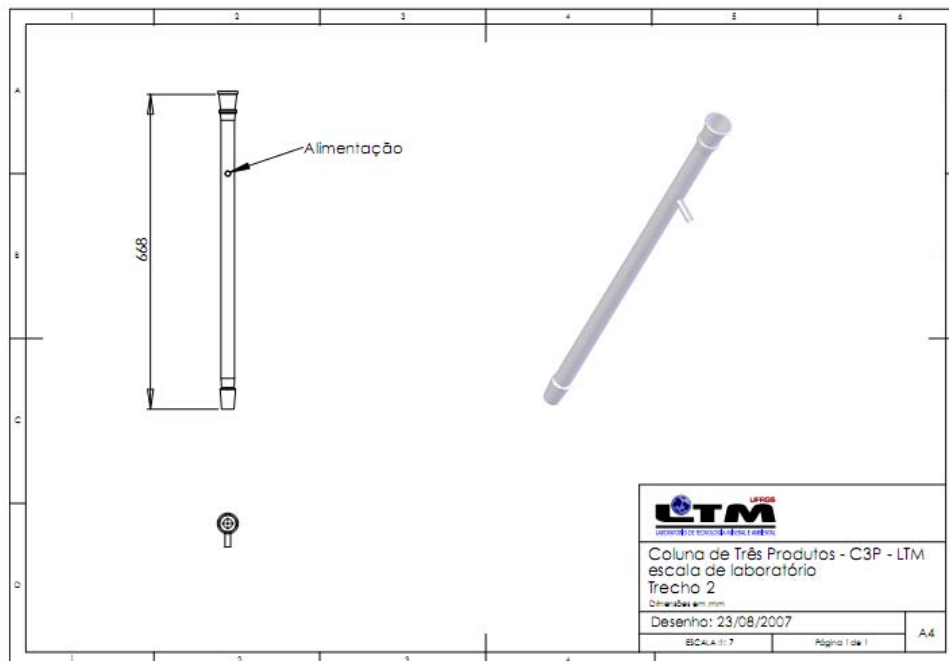
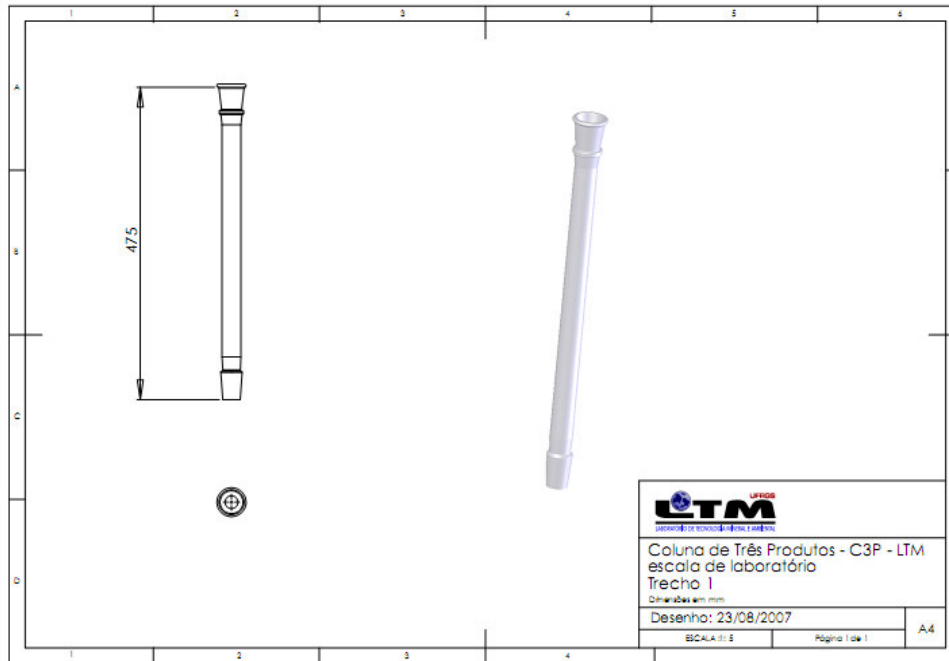
Em um sistema líquido/gás no qual há um fluxo neutro de ambas as fases, a velocidade de escorregamento,  $Ubs$ , é definida como a média da velocidade relativa,

$$Ubs = \frac{J_g}{\epsilon_g} \mp \frac{J_L}{(1-\epsilon_g)} \quad (9)$$

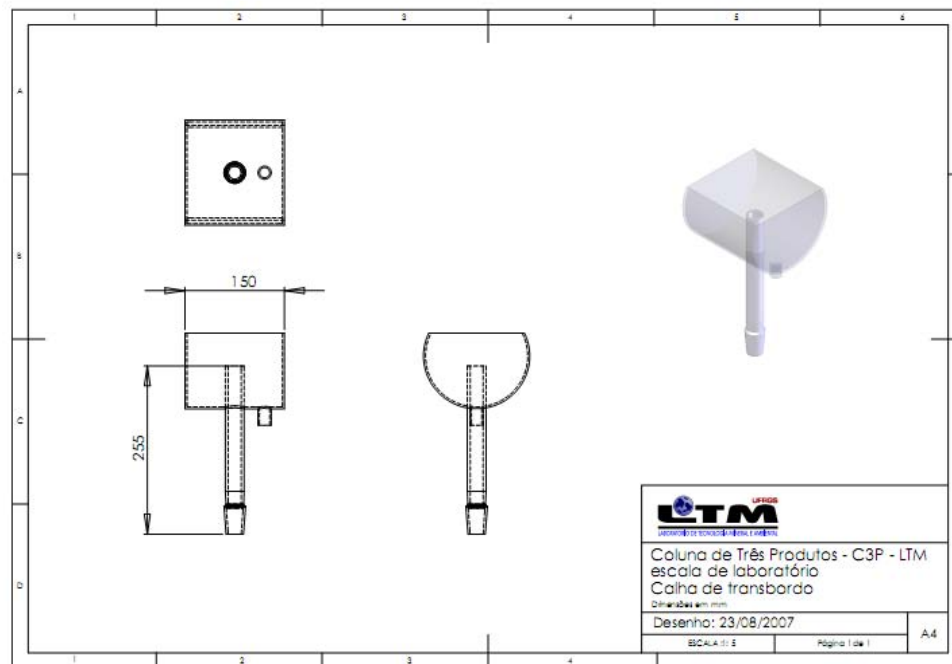
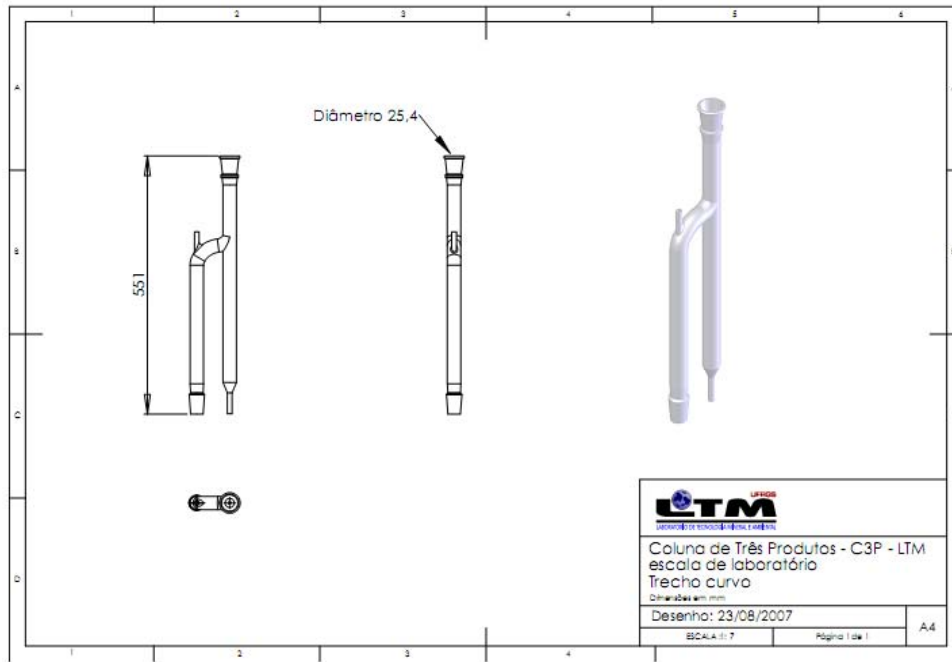
onde + se refere ao fluxo de gás/líquido contra-corrente e – se refere ao fluxo co-corrente. Todos os parâmetros do lado direito são medidos, conseqüentemente  $Ubs$  pode ser determinado. A solução para  $db$  é determinada pela repetição na substituição da estimativa de  $db$  na equação (8) até que o valor de  $Ubs$  calculado seja igual ao valor de  $Ubs$ .

## Apêndice II – Aspectos construtivos da coluna modificada de três produtos de laboratório









### Apêndice III – Balanços de massa e metalúrgico para ensaios em CCR em escala piloto

STD-01		Condições Operacionais			Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	800	g/t	AM	330,79												
Data:		6/9/2006			CFN	70,51	Redução do tempo de amostragem para 30 segundos. Anteriormente o tempo adotado era de 60 segundos											
Hora:		11:00			RFN	260,28												
Amost (s) 30	Polpa AM-01	Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,040					
		Veloc.:	0,52	cm/s	Recuperação													
%solid. CN 40,5	%solid. AL 25,0	Água Lavag.:	1,4	L/min	massa (%)								21,3					
		Veloc.:	0,37	cm/s	Fluxo													
		h espuma:	70	cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59					
	CFN		27,87	34,26	12,33	5,15	1,78	0,40	1,39	4,35	2,20	0,46	0,51					
	RFN		8,29	7,20	33,47	18,48	3,08	1,77	0,16	7,16	1,31	0,46	0,53					
Rec. (%)	CFN		47,7	56,3	9,1	7,0	13,5	5,8	70,2	14,1	31,3	21,3	20,7					
	RFN		52,3	43,7	90,9	93,0	86,5	94,2	29,8	85,9	68,7	78,7	79,3					

STD-02		Condições Operacionais			Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	800	g/t	AM	338,61												
Data:		6/9/2006			CFN	77,14	Idem ao STD 01											
Hora:		14:00			RFN	261,47												
Amost (s) 30	Polpa AM-01	Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,041					
		Veloc.:	0,52	cm/s	Recuperação													
%solid. CN 40,5	%solid. AL 25,0	Água Lavag.:	1,4	L/min	massa (%)								22,8					
		Veloc.:	0,37	cm/s	Fluxo													
		h espuma:	70	cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59					
	CFN		27,14	32,65	12,92	5,37	1,84	0,43	1,24	4,34	2,07	0,46	0,51					
	RFN		7,85	5,75	34,22	19,85	3,53	2,11	0,12	6,98	1,22	0,45	0,54					
Rec. (%)	CFN		50,5	62,6	10,0	7,4	13,3	5,7	75,3	15,5	33,4	23,2	21,8					
	RFN		49,5	37,4	90,0	92,6	86,7	94,3	24,7	84,5	66,6	76,8	78,2					

STD-03		Condições Operacionais			Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	800	g/t	AM	305,67												
Data:		6/9/2006			CFN	56,28	Redução da velocidade superficial do ar para 0,39 cm/s											
Hora:		15:00			RFN	249,39												
Amost (s) 30	Polpa AM-01	Vazão de ar:	1,5	L/min	Alimentação (t/h)								0,037					
		Veloc.:	0,39	cm/s	Recuperação													
%solid. CN 40,5	%solid. AL 25,0	Água Lavag.:	1,4	L/min	massa (%)								18,4					
		Veloc.:	0,37	cm/s	Fluxo													
		h espuma:	70	cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59					
	CFN		29,07	34,15	11,58	4,27	1,72	0,57	1,23	4,19	2,02	0,46	0,49					
	RFN		7,53	5,16	33,08	20,64	3,41	1,78	0,15	6,76	1,29	0,45	0,55					
Rec. (%)	CFN		46,6	59,9	7,3	4,5	10,2	6,7	64,9	12,3	26,1	18,7	16,7					
	RFN		53,4	40,1	92,7	95,5	89,8	93,3	35,1	87,7	73,9	81,3	83,3					

STD-04		Condições Operacionais			Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	800	g/t	AM	307,41												
Data:		6/9/2006			CFN	58,00	Ar em 0,39 cm/s e redução da concentração de coletor para 56 g/t											
Hora:		16:00			RFN	249,41												
Amost (s) 30	Polpa AM-01	Vazão de ar:	1,5	L/min	Alimentação (t/h)								0,037					
		Veloc.:	0,39	cm/s	Recuperação													
%solid. CN 40,5	%solid. AL 25,0	Água Lavag.:	1,4	L/min	massa (%)								18,9					
		Veloc.:	0,37	cm/s	Fluxo													
		h espuma:	70	cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59					
	CFN		31,16	36,65	9,61	3,43	1,55	0,61	1,17	3,38	1,70	0,37	0,47					
	RFN		7,74	5,47	33,68	20,92	3,63	1,94	0,22	6,42	1,28	0,45	0,56					
Rec. (%)	CFN		48,4	60,9	6,2	3,7	9,0	6,8	55,3	10,9	23,6	16,1	16,3					
	RFN		51,6	39,1	93,8	96,3	91,0	93,2	44,7	89,1	76,4	83,9	83,7					

STD-05		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800	g/t		AM	333,49						
Data:		8/9/2006		pH: 11,6		CFN	78,67	A partir desse ensaio, foi aumentado o tempo de residência do condicionamento da polpa com o depressor, fazendo-se a mudança da altura do nível de descarga do tanque					
Hora:		12:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)	Polpa	30		Veloc.: 0,52 cm/s		0,040							
%solid. CN	%solid. AL	40,5		Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação massa (%)							
		25,0		Veloc.: 0,37 cm/s		23,6							
Fluxo		h espuma: 70 cm						MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59
	CFN		33,97	41,26	8,14	2,43	1,18	0,26	1,07	2,81	1,32	0,29	0,43
	RFN		6,17	2,70	35,44	20,16	3,96	2,24	0,18	7,01	1,49	0,48	0,57
Rec. (%)	CFN		63,0	82,5	6,6	3,6	8,4	3,5	64,7	11,0	21,5	15,7	18,9
	RFN		37,0	17,5	93,4	96,4	91,6	96,5	35,3	89,0	78,5	84,3	81,1

STD-06		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800	g/t		AM	299,16						
Data:		8/9/2006		pH: 11,6		CFN	48,06	Redução da concentração do coletor para 56 g/t					
Hora:		14:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)	Polpa	30		Veloc.: 0,52 cm/s		0,036							
%solid. CN	%solid. AL	40,5		Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação massa (%)							
		25,0		Veloc.: 0,37 cm/s		16,1							
Fluxo		h espuma: 70 cm						MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59
	CFN		35,57	44,10	6,09	2,08	0,75	0,37	1,07	2,03	0,83	0,19	0,40
	RFN		7,74	4,54	33,62	18,90	3,74	1,87	0,24	7,03	1,50	0,51	0,57
Rec. (%)	CFN		46,8	65,0	3,4	2,1	3,7	3,6	46,0	5,2	9,6	6,7	11,8
	RFN		53,2	35,0	96,6	97,9	96,3	96,4	54,0	94,8	90,4	93,3	88,2

STD-07		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800	g/t		AM	364,42						
Data:		8/9/2006		pH: 11,8		CFN	75,02	Aumento da concentração de coletor para 70 g/t e redução da velocidade superficial do ar para 0,39 cm/s					
Hora:		16:00		Vazão de ar: 1,5 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)	Polpa	30		Veloc.: 0,39 cm/s		0,044							
%solid. CN	%solid. AL	40,5		Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação massa (%)							
		25,0		Veloc.: 0,37 cm/s		20,6							
Fluxo		h espuma: 70 cm						MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59
	CFN		33,67	41,91	7,38	2,38	0,96	0,71	1,06	2,50	1,09	0,24	0,42
	RFN		6,29	3,00	35,36	19,96	3,82	1,93	0,27	7,24	1,51	0,52	0,58
Rec. (%)	CFN		58,1	78,4	5,1	3,0	6,1	8,7	50,4	8,2	15,8	10,7	15,8
	RFN		41,9	21,6	94,9	97,0	93,9	91,3	49,6	91,8	84,2	89,3	84,2

STD-08		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800	g/t		AM	341,46						
Data:		11/9/2006		pH: 11,8		CFN	99,27	Problemas com eletrodo do medidor de pH. pH lido menor que o real					
Hora:		14:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)	Polpa	30		Veloc.: 0,52 cm/s		0,041							
%solid. CN	%solid. AL	45		Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação massa (%)							
		25,0		Veloc.: 0,37 cm/s		29,1							
Fluxo		h espuma: 70 cm						MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM		13,35	11,99	28,54	15,22	2,78	0,6	0,23	4,54	1,6	0,53	0,59
	CFN		33,54	39,89	9,76	3,29	1,44	0,16	0,89	2,33	1,28	0,19	0,43
	RFN		6,28	1,15	37,92	18,64	3,58	0,86	0,10	6,52	1,87	0,68	0,69
Rec. (%)	CFN		68,6	93,4	9,5	6,7	14,2	7,1	78,5	12,8	21,9	10,3	20,3
	RFN		31,4	6,6	90,5	93,3	85,8	92,9	21,5	87,2	78,1	89,7	79,7

STD-09		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800 g/t		AM	345,27							
Data: 11/9/2006		pH: 11,8				CFN	98,86	Problemas com eletrodo do medidor de pH. pH lido menor que o real					
Hora: 14:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)		RFN	246,41						
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52 cm/s		0,041									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37 cm/s		massa (%)									
45	25,0	h espuma: 70 cm		28,6									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	13,27	13,17	29,99	14,22	2,92	0,67	0,33	5,37	1,73	0,55	0,62
		CFN	30,69	43,13	10,22	3,19	1,29	0,18	0,90	2,50	1,37	0,22	0,44
		RFN	6,28	1,15	37,92	18,64	3,58	0,86	0,10	6,52	1,87	0,68	0,69
Rec. (%)		CFN	66,2	93,8	9,8	6,4	12,6	7,7	78,3	13,3	22,7	11,5	20,4
		RFN	33,8	6,2	90,2	93,6	87,4	92,3	21,7	86,7	77,3	88,5	79,6

STD-10		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800 g/t		AM	293,68							
Data: 11/9/2006		pH: 11,8				CFN	76,68	Amostra dividida em duas alíquotas					
Hora: 15:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)		RFN	217,00						
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52 cm/s		0,035									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37 cm/s		massa (%)									
45	25,0	h espuma: 70 cm		26,1									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,92	11,09	29,99	14,79	3,09	0,71	0,29	4,95	1,54	0,52	0,61
		CFN	32,82	39,56	9,80	3,20	1,35	0,17	0,91	1,89	1,24	0,16	0,43
		RFN	5,89	1,03	37,13	18,89	3,71	0,90	0,07	6,03	1,65	0,65	0,68
Rec. (%)		CFN	66,3	93,1	8,5	5,6	11,4	6,3	82,1	10,0	21,0	8,0	18,3
		RFN	33,7	6,9	91,5	94,4	88,6	93,7	17,9	90,0	79,0	92,0	81,7

STD-11		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800 g/t		AM	357,93							
Data: 11/9/2006		pH: 11,8				CFN	93,69	Amostra dividida em duas alíquotas					
Hora: 14:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)		RFN	264,24						
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52 cm/s		0,043									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37 cm/s		massa (%)									
45	25,0	h espuma: 70 cm		26,2									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,69	11,61	27,24	13,74	2,64	0,19	0,27	4,94	1,69	0,45	0,59
		CFN	31,94	41,11	9,56	3,10	1,23	0,19	0,87	2,02	1,22	0,18	0,43
		RFN	5,87	1,15	33,51	17,51	3,14	0,19	0,06	5,98	1,86	0,54	0,64
Rec. (%)		CFN	65,9	92,7	9,2	5,9	12,2	26,2	83,7	10,7	18,9	10,6	19,2
		RFN	34,1	7,3	90,8	94,1	87,8	73,8	16,3	89,3	81,1	89,4	80,8

STD-12		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	800 g/t		AM	233,62							
Data: 12/9/2006		pH: 11,6				CFN	83,08	Alimentação abaixo da vazão de trabalho. Problemas na bomba de alimentação da polpa do tanque pulmão ao tanque de condicionamento dom o depressor					
Hora: 10:30		Vazão de ar: 2,0 L/min		Alimentação (t/h)		RFN	150,54						
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52 cm/s		0,028									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4 L/min		Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37 cm/s		massa (%)									
45	25,0	h espuma: 70 cm		35,6									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,50	10,53	30,37	14,72	3,02	0,65	0,42	5,18	1,92	0,53	0,60
		CFN	26,04	28,20	15,85	4,54	2,64	0,21	1,03	3,56	2,67	0,36	0,54
		RFN	5,02	0,78	38,39	20,34	3,23	0,90	0,09	6,08	1,51	0,63	0,64
Rec. (%)		CFN	74,1	95,2	18,6	11,0	31,1	11,4	86,3	24,4	49,4	24,0	31,8
		RFN	25,9	4,8	81,4	89,0	68,9	88,6	13,7	75,6	50,6	76,0	68,2

STD-13		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES									
		Depressor:	800	g/t		AM	340,30										
Data:		12/9/2006		pH:		11,6		RFN	238,02								
Hora:		12:00		Vazão de ar:		2,0 L/min		Alimentação (t/h)		Sistema estável							
Amost (s)	Polpa	30		AM-01		Veloc.:		0,52 cm/s								0,041	
%solid. CN	%solid. AL	45		25,0		Água Lavag.:		1,4 L/min								Recuperação massa (%)	
				h espuma:		70 cm		30,1									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
Teores (%)	AM		13,58	11,09	29,56	14,49	2,96	0,66	0,35	4,95	1,73	0,52	0,60				
	CFN		31,42	34,38	11,09	3,61	1,82	0,16	1,01	2,67	1,60	0,23	0,46				
	RFN		5,92	1,08	37,49	19,17	3,45	0,87	0,06	5,93	1,78	0,64	0,66				
Rec. (%)	CFN		69,5	93,2	11,3	7,5	18,5	7,3	87,9	16,2	27,9	13,4	23,0				
	RFN		30,5	6,8	88,7	92,5	81,5	92,7	12,1	83,8	72,1	86,6	77,0				

STD-14		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES									
		Depressor:	800	g/t		AM	333,19										
Data:		12/9/2006		pH:		11,6		RFN	238,41								
Hora:		13:00		Vazão de ar:		2,0 L/min		Alimentação (t/h)		Sistema estável							
Amost (s)	Polpa	30		AM-01		Veloc.:		0,52 cm/s								0,040	
%solid. CN	%solid. AL	45		25,0		Água Lavag.:		1,4 L/min								Recuperação massa (%)	
				h espuma:		70 cm		28,4									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
Teores (%)	AM		12,40	10,88	28,80	14,31	2,84	0,59	0,35	4,98	1,35	0,49	0,61				
	CFN		29,24	35,34	11,17	3,51	1,75	0,17	1,00	2,81	1,77	0,25	0,47				
	RFN		5,71	1,15	35,81	18,61	3,27	0,76	0,09	5,84	1,18	0,59	0,66				
Rec. (%)	CFN		67,1	92,4	11,0	7,0	17,5	8,2	81,5	16,1	37,4	14,4	22,1				
	RFN		32,9	7,6	89,0	93,0	82,5	91,8	18,5	83,9	62,6	85,6	77,9				

STD-15		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES									
		Depressor:	800	g/t		AM	330,51										
Data:		12/9/2006		pH:		11,6		RFN	234,00								
Hora:		15:00		Vazão de ar:		2,0 L/min		Alimentação (t/h)		Sistema estável							
Amost (s)	Polpa	30		AM-01		Veloc.:		0,52 cm/s								0,040	
%solid. CN	%solid. AL	45		25,0		Água Lavag.:		1,4 L/min								Recuperação massa (%)	
				h espuma:		70 cm		29,2									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
Teores (%)	AM		12,98	11,66	30,82	13,86	2,84	0,64	0,35	5,13	1,92	0,56	0,62				
	CFN		30,86	37,35	10,85	3,25	1,76	0,18	1,02	2,56	1,75	0,23	0,46				
	RFN		5,60	1,06	39,05	18,24	3,29	0,83	0,07	6,19	1,99	0,69	0,69				
Rec. (%)	CFN		69,4	93,6	10,3	6,8	18,1	8,2	85,7	14,6	26,6	12,1	21,6				
	RFN		30,6	6,4	89,7	93,2	81,9	91,8	14,3	85,4	73,4	87,9	78,4				

STD-16		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES									
		Depressor:	800	g/t		AM	324,33										
Data:		12/9/2006		pH:		11,6		RFN	227,70								
Hora:		16:00		Vazão de ar:		2,0 L/min		Alimentação (t/h)		Sistema estável							
Amost (s)	Polpa	30		AM-01		Veloc.:		0,52 cm/s								0,039	
%solid. CN	%solid. AL	45		25,0		Água Lavag.:		1,4 L/min								Recuperação massa (%)	
				h espuma:		70 cm		29,8									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
Teores (%)	AM		13,49	11,58	30,78	13,90	2,86	0,63	0,34	5,11	1,90	0,56	0,62				
	CFN		31,32	36,31	11,28	3,68	1,83	0,16	0,96	2,56	1,68	0,24	0,46				
	RFN		5,92	1,08	39,05	18,24	3,29	0,83	0,07	6,19	1,99	0,69	0,69				
Rec. (%)	CFN		69,2	93,5	10,9	7,9	19,1	7,6	85,3	14,9	26,4	12,9	22,1				
	RFN		30,8	6,5	89,1	92,1	80,9	92,4	14,7	85,1	73,6	87,1	77,9				

STD-17		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES						
		Depressor:	1200	g/t		AM	337,28							
Data: 20/9/2006		pH: 11,6				RFN	258,54	Sistema estável						
Hora: 16:00		Vazão de ar: 2,0		L/min	Alimentação (t/h)									
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52		cm/s	0,040									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4		L/min	Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37		cm/s	massa (%)									
36	25,0	h espuma: 70		cm	23,3									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>		
Teores (%)	AM	12,32	11,35	31,22	15,55	3,26	0,44	0,21	5,44	0,85	0,41	0,56		
	CFN	34,22	43,31	7,21	2,68	0,71	0,07	0,78	1,06	0,44	0,07	0,38		
	RFN	5,65	1,62	38,53	19,47	4,04	0,55	0,03	6,77	0,98	0,52	0,61		
Rec. (%)	CFN	64,8	89,1	5,4	4,0	5,1	3,7	88,8	4,6	12,0	3,9	15,9		
	RFN	35,2	10,9	94,6	96,0	94,9	96,3	11,2	95,4	88,0	96,1	84,1		

STD-18		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES						
		Depressor:	1200	g/t		AM	349,46							
Data: 20/9/2006		pH: 11,6				RFN	262,55	Sistema estável						
Hora: 16:20		Vazão de ar: 2,0		L/min	Alimentação (t/h)									
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52		cm/s	0,042									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4		L/min	Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37		cm/s	massa (%)									
36	25,0	h espuma: 70		cm	24,9									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>		
Teores (%)	AM	12,81	12,04	31,96	15,87	3,36	0,52	0,22	5,56	0,86	0,46	0,56		
	CFN	33,13	43,33	7,67	2,96	0,78	0,09	0,77	1,16	0,46	0,08	0,38		
	RFN	6,08	1,68	40,00	20,14	4,21	0,66	0,04	7,02	0,99	0,59	0,62		
Rec. (%)	CFN	64,3	89,5	6,0	4,6	5,8	4,3	86,4	5,2	13,3	4,3	16,9		
	RFN	35,7	10,5	94,0	95,4	94,2	95,7	13,6	94,8	86,7	95,7	83,1		

STD-19		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES						
		Depressor:	1200	g/t		AM	346,55							
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	264,67	Sistema estável						
Hora: 09:35		Vazão de ar: 2,0		L/min	Alimentação (t/h)									
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52		cm/s	0,042									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4		L/min	Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37		cm/s	massa (%)									
36	25,0	h espuma: 70		cm	23,6									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>		
Teores (%)	AM	13,00	12,18	32,62	15,79	3,33	0,83	0,18	5,67	1,00	0,48	0,57		
	CFN	34,67	45,56	7,85	2,87	0,73	0,09	0,77	1,24	0,52	0,09	0,38		
	RFN	6,30	1,85	40,28	19,79	4,14	1,06	0,00	7,04	1,15	0,60	0,63		
Rec. (%)	CFN	63,0	88,4	5,7	4,3	5,2	2,6	100,0	5,2	12,3	4,4	15,7		
	RFN	37,0	11,6	94,3	95,7	94,8	97,4	0,0	94,8	87,7	95,6	84,3		

STD-20		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES						
		Depressor:	1200	g/t		AM	348,33							
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	265,30	Idem ao STD 19						
Hora: 10:45		Vazão de ar: 2,0		L/min	Alimentação (t/h)									
Amost (s)	Polpa	Veloc.: 0,52		cm/s	0,042									
30	AM-01	Água Lavag.: 1,4		L/min	Recuperação									
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.: 0,37		cm/s	massa (%)									
36	25,0	h espuma: 70		cm	23,8									
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>		
Teores (%)	AM	12,88	11,58	31,34	16,01	3,27	1,88	0,20	5,56	1,19	0,46	0,56		
	CFN	34,53	43,53	7,21	2,49	0,68	1,65	0,75	1,11	0,42	0,08	0,38		
	RFN	6,10	1,58	38,89	20,24	4,08	1,95	0,03	6,95	1,43	0,58	0,61		
Rec. (%)	CFN	63,9	89,6	5,5	3,7	5,0	20,9	88,7	4,8	8,4	4,1	16,3		
	RFN	36,1	10,4	94,5	96,3	95,0	79,1	11,3	95,2	91,6	95,9	83,7		

STD-21		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1400	g/t		AM	349,89						
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	266,41	Sistema estável					
Hora: 12:40		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:		0,52	cm/s	0,042							
30	AM-01	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:		0,37	cm/s	massa (%)							
36	25,0	h espuma:		70	cm	23,9							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,49	12,60	32,04	15,00	3,16	0,77	0,24	5,98	1,09	0,48	0,56	
	CFN	33,84	47,10	7,37	2,60	0,70	0,82	0,80	1,16	0,47	0,10	0,38	
	RFN	5,80	1,79	39,77	18,89	3,93	0,75	0,07	7,49	1,28	0,60	0,62	
Rec. (%)	CFN	64,6	89,2	5,5	4,1	5,3	25,5	78,2	4,6	10,3	5,0	16,1	
	RFN	35,4	10,8	94,5	95,9	94,7	74,5	21,8	95,4	89,7	95,0	83,9	

STD-22		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1400	g/t		AM	352,54						
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	271,23	Sistema estável					
Hora: 12:40		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:		0,52	cm/s	0,042							
30	AM-01	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:		0,37	cm/s	massa (%)							
36	25,0	h espuma:		70	cm	23,1							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,48	11,61	30,53	15,36	3,18	0,84	0,18	5,53	1,00	0,43	0,55	
	CFN	33,83	43,94	6,92	2,54	0,67	0,46	0,76	1,06	0,40	0,07	0,37	
	RFN	6,08	1,92	37,61	19,20	3,93	0,95	0,00	6,87	1,18	0,54	0,60	
Rec. (%)	CFN	62,5	87,3	5,2	3,8	4,9	12,7	100,0	4,4	9,2	3,7	15,6	
	RFN	37,5	12,7	94,8	96,2	95,1	87,3	0,0	95,6	90,8	96,3	84,4	

STD-23		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1000	g/t		AM	340,47						
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	260,32	Sistema estável					
Hora: 14:00		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:		0,52	cm/s	0,041							
30	AM-01	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:		0,37	cm/s	massa (%)							
36	25,0	h espuma:		70	cm	23,5							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,36	11,32	33,07	15,70	3,25	0,42	0,29	5,60	0,93	0,46	0,56	
	CFN	32,95	43,05	7,35	2,86	0,68	0,11	0,83	1,25	0,46	0,09	0,38	
	RFN	6,02	1,55	40,99	19,65	4,04	0,51	0,12	6,94	1,07	0,58	0,61	
Rec. (%)	CFN	62,8	89,5	5,2	4,3	4,9	6,2	68,0	5,3	11,7	4,6	16,1	
	RFN	37,2	10,5	94,8	95,7	95,1	93,8	32,0	94,7	88,3	95,4	83,9	

STD-24		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1000	g/t		AM	335,76						
Data: 21/9/2006		pH: 11,6				RFN	255,69	Sistema estável					
Hora: 12:40		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:		0,52	cm/s	0,040							
30	AM-01	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:		0,37	cm/s	massa (%)							
36	25,0	h espuma:		70	cm	23,8							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,41	11,38	31,87	15,81	3,19	0,44	0,36	5,56	0,96	0,45	0,55	
	CFN	33,95	42,93	7,02	2,61	0,72	0,07	0,85	1,14	0,41	0,07	0,37	
	RFN	5,66	1,50	39,65	19,94	3,96	0,55	0,20	6,95	1,13	0,57	0,60	
Rec. (%)	CFN	65,3	90,0	5,3	3,9	5,4	3,8	57,1	4,9	10,2	3,7	16,2	
	RFN	34,7	10,0	94,7	96,1	94,6	96,2	42,9	95,1	89,8	96,3	83,8	

STD-25		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES																								
		Depressor:	1400	g/t		AM	327,81																									
Data: 22/9/2006		pH: 11,6				RFN	255,04	Sistema estável																								
Hora: 12:50		Vazão de ar: 2,0 L/min		Veloc.: 0,52 cm/s		Alimentação (t/h)								Sistema estável																		
Amost (s)	Polpa	Água Lavag.: 1,4 L/min		Veloc.: 0,37 cm/s		Recuperação massa (%)														Sistema estável												
30	AM-01	h espuma: 70 cm																								Sistema estável						
%solid. CN	%solid. AL	Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>																									Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
39,5	25,0																															
Teores (%)		AM	12,06	10,93	34,27	15,47	3,18	0,59	0,29	5,69	1,09	0,50	0,56																			
		CFN	33,53	43,73	7,77	2,72	0,72	0,14	0,85	1,52	0,43	0,12	0,38																			
		RFN	5,93	1,57	41,83	19,11	3,88	0,72	0,13	6,88	1,28	0,61	0,61																			
Rec. (%)		CFN	61,7	88,8	5,0	3,9	5,0	5,3	65,1	5,9	8,7	5,3	15,1																			
		RFN	38,3	11,2	95,0	96,1	95,0	94,7	34,9	94,1	91,3	94,7	84,9																			

STD-26		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES																								
		Depressor:	1400	g/t		AM	341,60																									
Data: 22/9/2006		pH: 11,6				RFN	265,80	Sistema estável																								
Hora: 14:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Veloc.: 0,52 cm/s		Alimentação (t/h)								Sistema estável																		
Amost (s)	Polpa	Água Lavag.: 1,4 L/min		Veloc.: 0,37 cm/s		Recuperação massa (%)														Sistema estável												
30	AM-01	h espuma: 70 cm																								Sistema estável						
%solid. CN	%solid. AL	Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>																									Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
39,5	25,0																															
Teores (%)		AM	12,21	11,14	33,30	15,34	3,19	0,58	0,28	5,91	0,98	0,51	0,57																			
		CFN	34,07	44,32	7,29	2,73	0,70	0,07	0,83	1,37	0,40	0,11	0,38																			
		RFN	5,98	1,68	40,72	18,93	3,90	0,73	0,12	7,20	1,15	0,63	0,62																			
Rec. (%)		CFN	61,9	88,3	4,9	4,0	4,9	2,7	66,4	5,1	9,0	4,7	14,9																			
		RFN	38,1	11,7	95,1	96,0	95,1	97,3	33,6	94,9	91,0	95,3	85,1																			

STD-27		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES																								
		Depressor:	1400	g/t		AM	324,32																									
Data: 26/9/2006		pH: 11,6				RFN	242,42	Sistema estável																								
Hora: 12:40		Vazão de ar: 2,0 L/min		Veloc.: 0,52 cm/s		Alimentação (t/h)								Sistema estável																		
Amost (s)	Polpa	Água Lavag.: 1,4 L/min		Veloc.: 0,37 cm/s		Recuperação massa (%)														Sistema estável												
30	AM-01	h espuma: 70 cm																								Sistema estável						
%solid. CN	%solid. AL	Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>																									Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
39,5	25,0																															
Teores (%)		AM	12,2	11,1	31,2	15,3	3,2	0,9	0,6	6,0	1,3	0,5	0,6																			
		CFN	31,31	40,71	9,60	3,83	0,94	0,21	0,89	2,57	0,80	0,23	0,40																			
		RFN	5,76	1,16	38,55	19,20	3,91	1,12	0,44	7,17	1,52	0,62	0,65																			
Rec. (%)		CFN	64,7	92,2	7,8	6,3	7,5	6,0	40,6	10,8	15,1	11,1	17,2																			
		RFN	35,3	7,8	92,2	93,7	92,5	94,0	59,4	89,2	84,9	88,9	82,8																			

STD-28		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES																								
		Depressor:	1400	g/t		AM	332,20																									
Data: 26/9/2006		pH: 11,6				RFN	252,50	Sistema estável																								
Hora: 13:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		Veloc.: 0,52 cm/s		Alimentação (t/h)								Sistema estável																		
Amost (s)	Polpa	Água Lavag.: 1,4 L/min		Veloc.: 0,37 cm/s		Recuperação massa (%)														Sistema estável												
30	AM-01	h espuma: 70 cm																								Sistema estável						
%solid. CN	%solid. AL	Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>																									Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
39,5	25,0																															
Teores (%)		AM	12,21	10,9026	31,469	15,0705	3,097047	0,87887	0,4595545	5,9780012	1,40407586	0,5216346	0,5900211																			
		CFN	32,19	41,23	9,10	3,54	0,87	0,21	0,87	2,36	0,72	0,21	0,40																			
		RFN	5,91	1,33	38,53	18,71	3,80	1,09	0,33	7,12	1,62	0,62	0,65																			
Rec. (%)		CFN	63,2	90,7	6,9	5,6	6,7	5,7	45,4	9,5	12,3	9,7	16,3																			
		RFN	36,8	9,3	93,1	94,4	93,3	94,3	54,6	90,5	87,7	90,3	83,7																			



STD-29		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	1400	g/t		AM	332,90												
Data: 26/9/2006		pH: 11,6				CFN	81,84	Sistema estável											
Coletor:						RFN	251,06												
Hora: 13:15		Vazão de ar:		2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,040					
Amost (s) 30		Polpa AM-01		Veloc.: 0,52		cm/s													
%solid. CN 39,5		%solid. AL 25,0		Água Lavag.: 1,4		L/min													
				Veloc.: 0,37		cm/s													
				h espuma: 70		cm		24,6											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO							BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,49	11,0011	31,723	16,1904	3,268064	0,91891	0,422587	5,9652196	1,30545389	0,5167474	0,5960817						
		CFN	32,70	41,16	9,43	3,89	0,90	0,21	0,86	2,30	0,77	0,20	0,40						
		RFN	5,90	1,17	38,99	20,20	4,04	1,15	0,28	7,16	1,48	0,62	0,66						
Rec. (%)		CFN	64,4	92,0	7,3	5,9	6,8	5,6	50,0	9,5	14,5	9,5	16,5						
		RFN	35,6	8,0	92,7	94,1	93,2	94,4	50,0	90,5	85,5	90,5	83,5						

STD-30		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	1400	g/t		AM	311,78												
Data: 29/9/2006		pH: 12,0				CFN	51,40	Sistema estável											
Coletor:						RFN	260,38												
Hora: 11:35		Vazão de ar:		2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,037					
Amost (s) 30		Polpa AM-04		Veloc.: 0,52		cm/s													
%solid. CN 40		%solid. AL 25,0		Água Lavag.: 1,4		L/min													
				Veloc.: 0,37		cm/s													
				h espuma: 70		cm		16,5											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO							BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,20	10,0671	30,307	17,7302	3,309368	0,93503	0,2939701	6,1594092	1,22876259	0,5142729	0,5537308						
		CFN	35,39	46,07	4,51	2,23	0,52	0,15	0,77	1,04	0,26	0,08	0,37						
		RFN	6,42	2,96	35,40	20,79	3,86	1,09	0,20	7,17	1,42	0,60	0,59						
Rec. (%)		CFN	52,1	75,4	2,5	2,1	2,6	2,6	43,2	2,8	3,5	2,6	11,0						
		RFN	47,9	24,6	97,5	97,9	97,4	97,4	56,8	97,2	96,5	97,4	89,0						

STD-31		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	1400	g/t		AM	316,61												
Data: 29/9/2006		pH: 12,0				CFN	53,65	Sistema estável											
Coletor:						RFN	262,96												
Hora: 11:50		Vazão de ar:		2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,038					
Amost (s) 30		Polpa AM-04		Veloc.: 0,52		cm/s													
%solid. CN 40		%solid. AL 25,0		Água Lavag.: 1,4		L/min													
				Veloc.: 0,37		cm/s													
				h espuma: 70		cm		16,9											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO							BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,39	10,3229	27,248	16,5843	2,841813	0,73952	0,2336995	5,5839601	1,20157481	0,4154414	0,5261097						
		CFN	35,20	45,97	4,30	1,95	0,40	0,10	0,84	0,80	0,18	0,05	0,36						
		RFN	6,53	3,05	31,93	19,57	3,34	0,87	0,11	6,56	1,41	0,49	0,56						
Rec. (%)		CFN	52,4	75,5	2,7	2,0	2,4	2,3	60,9	2,4	2,5	2,0	11,6						
		RFN	47,6	24,5	97,3	98,0	97,6	97,7	39,1	97,6	97,5	98,0	88,4						

STD-32		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES											
		Depressor:	1400	g/t		AM	310,87												
Data: 29/9/2006		pH: 12,0				CFN	49,86	Sistema estável											
Coletor:						RFN	261,01												
Hora: 11:55		Vazão de ar:		2,0	L/min	Alimentação (t/h)								0,037					
Amost (s) 30		Polpa AM-04		Veloc.: 0,52		cm/s													
%solid. CN 40		%solid. AL 25,0		Água Lavag.: 1,4		L/min													
				Veloc.: 0,37		cm/s													
				h espuma: 70		cm		16,0											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO							BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,15	10,2032	29,728	17,9518	3,221471	0,88763	0,2242526	6,0599286	1,19272204	0,4833902	0,5447145						
		CFN	34,44	44,77	4,75	1,89	0,35	0,09	0,77	0,72	0,16	0,03	0,36						
		RFN	6,70	3,60	34,50	21,02	3,77	1,04	0,12	7,08	1,39	0,57	0,58						
Rec. (%)		CFN	49,5	70,4	2,6	1,7	1,7	1,6	55,1	1,9	2,2	1,0	10,6						
		RFN	50,5	29,6	97,4	98,3	98,3	98,4	44,9	98,1	97,8	99,0	89,4						

STD-33		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1400	g/t		AM	294,61						
Data: 4/10/2006		pH: 11,8				CFN	44,83	Sistema estável					
Hora: 12:20		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:	0,52	cm/s	0,035								
30	AM-05	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:	0,37	cm/s	massa (%)								
40	25,0	h espuma:	70	cm	15,2								
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,31	12,0101	30,156	14,8955	2,881977	0,79218	0,1865171	5,6780846	1,27761753	0,486308	0,5480449	
	CFN	36,99	48,84	3,50	1,61	0,33	0,08	0,78	0,43	0,15	0,02	0,37	
	RFN	7,88	5,40	34,94	17,28	3,34	0,92	0,08	6,62	1,48	0,57	0,58	
Rec. (%)	CFN	45,7	61,9	1,8	1,6	1,7	1,5	63,6	1,2	1,8	0,6	10,3	
	RFN	54,3	38,1	98,2	98,4	98,3	98,5	36,4	98,8	98,2	99,4	89,7	

STD-34		Condições Operacionais				Massa (g)		OBSERVAÇÕES					
		Depressor:	1400	g/t		AM	296,18						
Data: 4/10/2006		pH: 11,8				CFN	46,27	Sistema estável					
Hora: 12:25		Vazão de ar:	2,0	L/min	Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa	Veloc.:	0,52	cm/s	0,036								
30	AM-05	Água Lavag.:	1,4	L/min	Recuperação								
%solid. CN	%solid. AL	Veloc.:	0,37	cm/s	massa (%)								
40	25,0	h espuma:	70	cm	15,6								
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)	AM	12,52	12,0479	30,294	14,6339	2,868208	0,82409	0,1740425	5,5892312	1,34816395	0,4840776	0,545631	
	CFN	37,45	48,44	3,47	1,53	0,32	0,09	0,79	0,40	0,15	0,02	0,36	
	RFN	7,90	5,31	35,26	17,06	3,34	0,96	0,06	6,55	1,57	0,57	0,58	
Rec. (%)	CFN	46,7	62,8	1,8	1,6	1,7	1,7	70,9	1,1	1,7	0,6	10,3	
	RFN	53,3	37,2	98,2	98,4	98,3	98,3	29,1	98,9	98,3	99,4	89,7	

## Apêndice IV – Balanços de massa e metalúrgico para ensaios em C3P em escala piloto

C3P-01		Condições Operacionais						Observações																													
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5. Nos estudos em CCR, comparativos com esses ensaios em C3P, a usina operava com água da A0 (melhor qualidade) - STD de referência - STD 13, 14, 15 e 16																													
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM									328,35																							
Data:		pH: 11,6±0,05			CFN									68,24																							
Hora:		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN									69,91																							
Amost (s)		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN									190,20																							
Polpa AM-01		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)									0,039																							
%		Veloc.: 0,36 cm/s			R. massa (%)																																
CN		Água Lavag 2.: 0 L/min			CFN									DFN																							
AL		Veloc.: 0 cm/s																																			
45		Vazão drenado: 1,4 L/min			20,8									21,3																							
25,0		Veloc.: 0,36 cm/s																																			
h espuma: 70±1 cm																																					
Fluxo																																					
Teores (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO			BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>			BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CeO <sub>2</sub>					
AM		12,17			9,98			30,79			17,83			3,21			0,61			0,27			5,61			1,57			0,59			0,73					
CFN		33,91			41,51			8,74			2,87			1,06			0,09			0,85			1,84			1,01			0,17			0,94					
DFN		8,79			3,15			35,55			16,94			3,72			0,72			0,18			6,09			1,93			0,65			0,73					
RFN		5,61			1,18			36,95			23,53			3,80			0,76			0,10			6,79			1,63			0,72			0,66					
Rec. (%)		CFN			57,9			86,4			5,9			3,3			6,9			3,1			64,7			6,8			13,4			6,0			26,6		
DFN		15,4			6,7			24,6			20,2			24,6			25,0			14,0			23,1			26,3			23,4			21,2					
RFN		26,7			6,8			69,5			76,4			68,5			71,9			21,2			70,1			60,3			70,6			52,2					

C3P-02		Condições Operacionais						Observações																													
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5. Nos estudos em CCR, comparativos com esses ensaios em C3P, a usina operava com água da A0 (melhor qualidade) - Esse ensaio é idem ao C3P 1, amostragem feita após duas horas de operação após a primeira amostragem.																													
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM									313,48																							
Data:		pH: 11,6±0,05			CFN									72,15																							
Hora:		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN									67,83																							
Amost (s)		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN									173,50																							
Polpa AM-01		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)									0,038																							
%		Veloc.: 0,36 cm/s			R. massa (%)																																
CN		Água Lavag 2.: 0 L/min			CFN									DFN																							
AL		Veloc.: 0 cm/s																																			
45		Vazão drenado: 1,4 L/min			23,0									21,6																							
25,0		Veloc.: 0,36 cm/s																																			
h espuma: 70±1 cm																																					
Fluxo																																					
Teores (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO			BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>			BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CeO <sub>2</sub>					
AM		13,09			10,91			30,71			17,36			3,18			0,61			0,31			5,78			1,56			0,61			0,63					
CFN		34,25			41,13			9,09			2,76			1,20			0,11			0,94			1,96			1,16			0,18			0,44					
DFN		9,31			4,06			35,78			15,97			3,62			0,64			0,19			6,04			2,00			0,65			0,74					
RFN		5,76			1,02			37,72			23,98			3,83			0,81			0,10			7,27			1,56			0,77			0,66					
Rec. (%)		CFN			60,2			86,8			6,8			3,7			8,7			4,1			69,2			7,8			17,1			6,8			16,2		
DFN		15,4			8,1			25,2			19,9			24,6			22,6			13,1			22,6			27,7			23,1			25,6					
RFN		24,4			5,2			68,0			76,4			66,7			73,2			17,7			69,6			55,2			70,1			58,3					

C3P-03		Condições Operacionais						Observações																													
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5. Nos estudos em CCR, comparativos com esses ensaios em C3P, a usina operava com água da A0 (melhor qualidade) - Esse ensaio é idem ao C3P 1, amostragem feita após duas horas de operação após a primeira amostragem.																													
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM									323,61																							
Data:		pH: 11,6±0,05			CFN									73,73																							
Hora:		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN									63,10																							
Amost (s)		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN									186,78																							
Polpa AM-01		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)									0,039																							
%		Veloc.: 0,36 cm/s			R. massa (%)																																
CN		Água Lavag 2.: 0 L/min			CFN									DFN																							
AL		Veloc.: 0 cm/s																																			
45		Vazão drenado: 1,4 L/min			22,8									19,5																							
25,0		Veloc.: 0,36 cm/s																																			
h espuma: 70±1 cm																																					
Fluxo																																					
Teores (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO			BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>			BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CeO <sub>2</sub>					
AM		12,09			11,03			31,05			16,27			3,07			0,58			0,28			5,84			1,61			0,62			0,64					
CFN		31,99			43,38			8,52			2,61			1,05			0,11			0,86			1,64			1,01			0,15			0,43					
DFN		7,51			2,96			37,33			14,15			3,12			0,63			0,17			6,43			2,15			0,70			0,75					
RFN		5,79			0,98			37,83			22,37			3,85			0,75			0,08			7,29			1,66			0,78			0,69					
Rec. (%)		CFN			60,3			89,6			6,3			3,7			7,8			4,3			71,2			6,4			14,3			5,5			15,2		
DFN		12,1			5,2			23,4			17,0			19,8			21,2			12,0			21,5			26,1			22,0			22,8					
RFN		27,6			5,1			70,3			79,4			72,4			74,5			16,8			72,1			59,6			72,5			62,0					

C3P-04		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5. Nos estudos em CCR, comparativos com esses ensaios em C3P, a usina operava com água da A0 (melhor qualidade) - Esse ensaio é idem ao C3P 1, amostragem feita após duas horas de operação após a primeira amostragem.											
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 35,91													
Data:		15/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 193,80													
Hora:		16:00		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,36 cm/s		R. massa (%)													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,9 L/min		CFN								DFN					
45		25,0		Veloc.: 0,23 cm/s		24,5								11,8					
h espuma:		70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min															
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>							Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		AM		13,21	11,38	29,34	16,31	3,14	0,58	0,31	5,19	1,49	0,54	0,62					
		CFN		33,90	42,11	8,04	2,69	1,12	0,13	0,87	1,57	1,03	0,13	0,42					
		DFN		9,05	4,05	35,90	16,28	3,81	0,71	0,14	5,77	1,81	0,62	0,72					
		RFN		6,01	0,90	36,34	21,56	3,80	0,73	0,12	6,48	1,61	0,68	0,68					
Rec. (%)		CFN		63,0	90,8	6,7	4,0	8,7	5,5	69,7	7,4	16,9	5,9	16,6					
		DFN		8,1	4,2	14,4	11,8	14,3	14,4	5,4	13,1	14,3	13,6	13,7					
		RFN		29,0	5,0	78,8	84,2	77,0	80,1	24,9	79,5	68,7	80,5	69,7					

C3P-5		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5 e A).											
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 60,21													
Data:		18/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 179,71													
Hora:		11:00		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,36 cm/s		R. massa (%)													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,45 L/min		CFN								DFN					
45		25,0		Veloc.: 0,12 cm/s		26,9								18,3					
h espuma:		70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min															
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>							Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		AM		13,54	11,84	29,59	16,04	3,02	0,67	0,37	5,16	1,74	0,55	0,63					
		CFN		31,92	37,90	10,41	3,04	1,40	0,15	0,93	2,45	1,45	0,23	0,47					
		DFN		9,87	4,35	35,01	14,41	3,54	0,68	0,15	5,97	2,09	0,64	0,75					
		RFN		5,74	1,53	37,20	22,97	3,65	0,93	0,17	6,23	1,76	0,68	0,66					
Rec. (%)		CFN		63,4	86,2	9,5	5,1	12,5	6,0	67,5	12,8	22,5	11,2	20,2					
		DFN		13,4	6,7	21,7	16,5	21,5	18,5	7,4	21,2	22,1	21,3	22,0					
		RFN		23,2	7,1	68,8	78,4	66,1	75,5	25,1	66,0	55,5	67,5	57,8					

C3P-6		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5 e A).											
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 59,96													
Data:		18/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 161,12													
Hora:		12:00		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,36 cm/s		R. massa (%)													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,45 L/min		CFN								DFN					
45		25,0		Veloc.: 0,12 cm/s		27,3								19,7					
h espuma:		70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min															
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>							Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		AM		13,69	11,54	29,50	16,15	3,08	0,66	0,31	5,13	1,59	0,55	0,62					
		CFN		32,02	37,34	10,22	3,14	1,39	0,16	0,91	2,28	1,30	0,22	0,47					
		DFN		9,31	4,05	35,41	14,39	3,52	0,76	0,16	6,09	2,11	0,67	0,74					
		RFN		5,90	1,06	37,22	23,49	3,78	0,88	0,05	6,24	1,55	0,68	0,65					
Rec. (%)		CFN		63,7	88,2	9,4	5,3	12,3	6,6	81,0	12,1	22,3	10,9	20,7					
		DFN		13,4	6,9	23,7	17,6	22,6	22,7	10,3	23,4	26,1	23,9	23,6					
		RFN		22,8	4,9	66,9	77,1	65,1	70,7	8,7	64,5	51,6	65,2	55,7					

C3P-7		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5 e A).											
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 309,77													
Data:		18/9/2006		pH: 11,6±0,05		CFN 85,42													
Hora:		12:50		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 48,97													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 175,38													
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
%solid. CN		%solid. AL		Veloc.: 0,36 cm/s		0,037													
45		25,0		Água Lavag 2.: 0,75 L/min		R. massa (%)													
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,20 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		27,6 15,8													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		13,42	11,68	30,29	16,01	3,02	0,65	0,30	5,20	1,72	0,56	0,62					
		CFN		32,15	37,41	10,44	3,13	1,59	0,16	0,87	2,15	1,51	0,22	0,48					
		DFN		9,78	3,80	36,21	14,26	3,66	0,75	0,19	6,05	2,08	0,66	0,76					
		RFN		5,32	1,34	38,31	22,78	3,53	0,86	0,06	6,45	1,73	0,70	0,65					
Rec. (%)		CFN		66,0	88,4	9,5	5,4	14,5	6,8	78,9	11,4	24,1	10,8	21,3					
		DFN		11,5	5,1	18,9	14,1	19,2	18,3	9,9	18,4	19,1	18,6	19,4					
		RFN		22,4	6,5	71,6	80,5	66,3	75,0	11,2	70,2	56,8	70,6	59,3					

C3P-8		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5 e A).											
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 300,20													
Data:		18/9/2006		pH: 11,6±0,05		CFN 79,39													
Hora:		14:15		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 46,54													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 174,27													
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
%solid. CN		%solid. AL		Veloc.: 0,36 cm/s		0,036													
45		25,0		Água Lavag 2.: 0,75 L/min		R. massa (%)													
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,20 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		26,4 15,5													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		13,67	11,64	29,61	16,75	3,06	0,66	0,29	5,15	1,30	0,54	0,61					
		CFN		32,82	38,31	9,89	3,02	1,40	0,13	0,93	2,20	1,33	0,20	0,46					
		DFN		9,14	3,84	36,82	14,24	3,54	0,73	0,18	6,03	2,12	0,67	0,77					
		RFN		6,16	1,58	36,67	23,67	3,69	0,88	0,03	6,26	1,06	0,66	0,64					
Rec. (%)		CFN		63,5	87,0	8,8	4,8	12,1	5,2	84,4	11,3	27,1	9,8	19,9					
		DFN		10,4	5,1	19,3	13,2	17,9	17,2	9,6	18,1	25,4	19,2	19,5					
		RFN		26,2	7,9	71,9	82,0	70,0	77,6	6,0	70,6	47,5	71,0	60,7					

C3P-9		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 800 g/t			Massa (g)			A usina opera com água de processo proveniente da B5 e A0).											
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 291,45													
Data:		18/9/2006		pH: 11,6±0,05		CFN 78,08													
Hora:		15:00		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 39,57													
Amost (s)		Polpa AM-01		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 173,80													
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
%solid. CN		%solid. AL		Veloc.: 0,36 cm/s		0,035													
45		25,0		Água Lavag 2.: 1,05 L/min		R. massa (%)													
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,27 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		26,8 13,6													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		13,35	11,45	9,66	15,96	3,03	0,66	0,36	5,07	1,58	0,54	0,62					
		CFN		32,61	37,97	9,66	2,96	1,33	0,17	0,94	2,15	1,35	0,20	0,47					
		DFN		9,23	3,91	36,83	14,08	3,58	0,73	0,20	6,03	2,07	0,66	0,67					
		RFN		5,64	1,26	3,47	22,23	3,67	0,87	0,13	6,16	1,58	0,67	0,67					
Rec. (%)		CFN		65,4	88,8	26,8	5,0	11,8	6,9	70,6	11,4	22,8	9,9	20,4					
		DFN		9,4	4,6	51,8	12,0	16,0	14,9	7,6	16,2	17,7	16,5	14,8					
		RFN		25,2	6,6	21,4	83,1	72,2	78,2	21,7	72,5	59,4	73,6	64,8					

C3P-11		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)			Não existe o ensaio C3P 10. Depois do ensaio 9 passa diretamente para o 11											
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM 368,47														
Data: 25/9/2006		pH: 11,6±0,05			CFN 75,77														
Hora: 11:00		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 86,29														
Amost (s) 30		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 206,41														
Polpa AM-03		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h) 0,044														
Veloc.: 0,36 cm/s		Água Lavag 2.: 0 L/min			R. massa (%)														
%solid. CN 39,5		Veloc.: 0,00 cm/s			CFN									DFN					
%solid. AL 25,0		Vazão drenado: 1,4 L/min			20,6		23,4												
h espuma: 70±1 cm		Veloc.: 0,36 cm/s																	
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>							
Teores (%)	AM	12,50	10,86	31,62	15,10	3,22	0,59	0,25	5,65	0,96	0,47	0,56							
	CFN	35,36	44,04	7,66	2,78	0,78	0,14	0,81	1,66	0,45	0,13	0,39							
	DFN	9,42	5,29	37,20	14,62	3,54	0,63	0,06	6,55	1,28	0,58	0,61							
	RFN	5,40	1,00	38,08	19,82	3,99	0,73	0,12	6,74	1,02	0,55	0,61							
Rec. (%)	CFN	58,2	83,4	5,0	3,8	5,0	4,9	67,2	6,0	9,6	5,7	14,2							
	DFN	17,6	11,4	27,6	22,7	25,7	25,2	5,7	27,1	31,1	28,9	25,3							
	RFN	24,2	5,2	67,5	73,5	69,3	69,9	27,1	66,8	59,3	65,5	60,5							

C3P-12		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)														
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM 364,24														
Data: 25/9/2006		pH: 11,6±0,05			CFN 72,87														
Hora: 11:10		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 83,75														
Amost (s) 30		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 207,62														
Polpa AM-03		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h) 0,044														
Veloc.: 0,36 cm/s		Água Lavag 2.: 0 L/min			R. massa (%)														
%solid. CN 39,5		Veloc.: 0,00 cm/s			CFN									DFN					
%solid. AL 25,0		Vazão drenado: 1,4 L/min			20,0		23,0												
h espuma: 70±1 cm		Veloc.: 0,36 cm/s																	
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>							
Teores (%)	AM	12,29	10,51	32,76	15,39	3,35	0,63	0,15	5,91	0,99	0,50	0,57							
	CFN	34,48	43,69	7,69	2,89	0,77	0,12	0,76	1,61	0,43	0,13	0,39							
	DFN	9,03	4,94	37,48	14,72	3,68	0,61	0,01	6,58	1,19	0,59	0,60							
	RFN	5,82	1,12	39,66	20,04	4,13	0,81	0,00	7,15	1,10	0,60	0,62							
Rec. (%)	CFN	56,1	83,1	4,7	3,8	4,6	3,8	98,5	5,4	8,7	5,2	13,7							
	DFN	16,9	10,8	26,3	22,0	25,2	22,4	1,5	25,6	27,7	26,9	24,2							
	RFN	27,0	6,1	69,0	74,2	70,2	73,8	0,0	69,0	63,5	67,9	62,1							

C3P-13		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)														
Pilha		Coletor: 70 g/t			AM 347,54														
Data: 25/9/2006		pH: 11,6±0,05			CFN 72,95														
Hora: 12:15		Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 65,17														
Amost (s) 30		Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 209,42														
Polpa AM-03		Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h) 0,042														
Veloc.: 0,36 cm/s		Água Lavag 2.: 0,45 L/min			R. massa (%)														
%solid. CN 39,5		Veloc.: 0,12 cm/s			CFN									DFN					
%solid. AL 25,0		Vazão drenado: 1,4 L/min			21,0		18,8												
h espuma: 70±1 cm		Veloc.: 0,36 cm/s																	
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>							
Teores (%)	AM	12,20	10,65	33,00	15,09	3,26	0,61	0,16	5,82	1,03	0,51	0,56							
	CFN	33,37	42,12	7,45	2,81	0,77	0,12	0,75	1,48	0,43	0,10	0,38							
	DFN	9,27	5,31	37,78	14,42	3,70	0,67	0,00	6,50	1,19	0,58	0,61							
	RFN	5,74	1,35	40,41	19,57	3,99	0,77	0,00	7,12	1,19	0,63	0,61							
Rec. (%)	CFN	57,4	83,0	4,7	3,9	5,0	4,1	100,0	5,3	8,8	4,1	14,2							
	DFN	14,2	9,3	21,5	17,9	21,3	20,4	0,0	20,9	21,7	21,4	20,4							
	RFN	28,3	7,6	73,8	78,2	73,8	75,5	0,0	73,7	69,6	74,5	65,4							

C3P-14		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 67,20							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 212,54							
Hora:		12:15		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,042							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,45 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,12 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		20,3		19,2							
		Veloc.: 0,36 cm/s											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,18	10,89	32,90	15,33	3,44	0,64	0,15	5,73	0,91	0,50	0,57
		CFN	34,05	44,12	7,97	2,86	0,81	0,14	0,74	1,59	0,49	0,13	0,38
		DFN	9,22	5,88	36,72	14,39	3,61	0,69	0,00	6,28	1,19	0,56	0,61
		RFN	5,80	1,36	40,04	19,80	4,27	0,79	0,00	6,94	0,96	0,60	0,62
Rec. (%)		CFN	56,7	82,1	4,9	3,8	4,8	4,4	100,0	5,6	10,9	5,3	13,5
		DFN	14,5	10,3	21,4	18,0	20,1	20,7	0,0	21,0	25,1	21,6	20,5
		RFN	28,8	7,6	73,7	78,2	75,1	74,9	0,0	73,4	64,0	73,1	66,0

C3P-15		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 51,35							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 223,08							
Hora:		13:00		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,042							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,75 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,20 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		20,9		14,8							
		Veloc.: 0,36 cm/s											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,76	10,58	33,33	14,69	2,91	0,62	0,17	5,78	1,25	0,50	0,58
		CFN	32,86	43,42	7,96	3,42	0,90	0,15	0,79	1,60	0,50	0,13	0,39
		DFN	8,36	4,83	36,31	13,02	2,85	0,57	0,06	6,38	1,57	0,52	0,61
		RFN	5,69	1,24	40,88	18,73	3,57	0,78	0,00	7,00	1,42	0,62	0,63
Rec. (%)		CFN	58,4	85,7	5,0	4,9	6,5	5,1	94,9	5,8	8,4	5,4	14,1
		DFN	10,5	6,8	16,1	13,1	14,5	13,7	5,1	16,3	18,6	15,3	15,7
		RFN	31,1	7,5	78,9	82,0	79,0	81,3	0,0	77,9	73,1	79,3	70,2

C3P-16		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 47,62							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 241,44							
Hora:		13:00		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,043							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,75 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,20 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		20,0		13,2							
		Veloc.: 0,36 cm/s											
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,00	10,65	33,56	14,31	2,90	0,66	0,22	5,78	1,25	0,52	0,58
		CFN	34,48	44,47	7,40	2,68	0,69	0,15	0,76	1,47	0,44	0,11	0,39
		DFN	9,25	6,22	39,20	13,19	3,09	0,68	0,03	6,67	1,68	0,61	0,63
		RFN	5,81	1,40	40,28	18,01	3,53	0,81	0,09	6,89	1,41	0,62	0,62
Rec. (%)		CFN	57,5	83,5	4,4	3,7	4,8	4,5	70,3	5,1	7,0	4,3	13,6
		DFN	10,2	7,7	15,4	12,1	14,0	13,6	1,8	15,2	17,7	15,6	14,4
		RFN	32,4	8,8	80,2	84,1	81,2	81,9	27,8	79,7	75,3	80,2	72,0

C3P-17		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 47,04							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 226,90							
Hora:		14:15		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,042							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,9 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,23 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		Veloc.: 0,36 cm/s		21,3 13,5							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	12,42	11,18	32,89	14,63	2,92	0,64	0,24	5,69	1,21	0,50	0,58
		CFN	34,98	44,58	7,65	2,91	0,75	0,15	0,85	1,43	0,42	0,12	0,38
		DFN	9,46	6,10	38,39	13,31	3,17	0,72	0,19	6,50	1,50	0,60	0,63
		RFN	5,68	1,34	39,98	18,73	3,57	0,79	0,05	6,91	1,41	0,60	0,64
Rec. (%)		CFN	59,9	84,8	4,9	4,2	5,5	4,9	75,6	5,3	7,4	5,1	13,8
		DFN	10,3	7,4	15,8	12,3	14,7	15,1	10,7	15,4	16,7	16,3	14,6
		RFN	29,8	7,8	79,3	83,5	79,8	79,9	13,6	79,2	75,9	78,6	71,6

C3P-18		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 46,61							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 227,12							
Hora:		14:25		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,041							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 0,9 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,23 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		Veloc.: 0,36 cm/s		20,1 13,6							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,87	10,43	34,10	15,21	3,14	0,64	0,23	5,90	1,11	0,52	0,59
		CFN	33,43	43,65	7,65	3,01	0,75	0,17	0,80	1,49	0,43	0,11	0,39
		DFN	8,90	5,07	37,55	14,44	3,30	0,76	0,06	6,36	1,40	0,57	0,62
		RFN	5,93	1,44	41,43	19,07	3,83	0,76	0,09	7,15	1,25	0,64	0,64
Rec. (%)		CFN	56,7	84,2	4,5	4,0	4,8	5,3	70,4	5,1	7,8	4,2	13,4
		DFN	10,2	6,6	15,0	12,9	14,3	16,1	3,6	14,7	17,2	14,8	14,4
		RFN	33,1	9,1	80,5	83,1	80,9	78,5	26,1	80,3	74,9	81,0	72,3

C3P-19		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
Pilha		4761		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 36,29							
Data:		25/9/2006		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 232,19							
Hora:		15:25		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)							
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,36 cm/s		0,040							
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 2.: 1,2 L/min		R. massa (%)							
39,5		25,0		Veloc.: 0,31 cm/s		CFN DFN							
h espuma: 70±1 cm		Vazão drenado: 1,4 L/min		Veloc.: 0,36 cm/s		20,4 10,8							
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>	
Teores (%)		AM	11,86	10,27	33,64	14,46	2,97	0,68	0,21	5,75	1,20	0,50	0,58
		CFN	34,01	41,98	6,96	2,74	0,67	0,13	0,79	1,28	0,41	0,09	0,38
		DFN	9,53	6,19	37,55	13,14	3,02	0,67	0,15	6,33	1,54	0,58	0,62
		RFN	5,66	1,51	40,94	18,14	3,64	0,85	0,05	6,99	1,38	0,61	0,63
Rec. (%)		CFN	58,5	83,4	4,2	3,9	4,6	3,9	76,1	4,5	7,0	3,7	13,4
		DFN	8,6	6,5	12,0	9,8	10,9	10,5	7,6	11,8	13,8	12,5	11,5
		RFN	32,8	10,1	83,8	86,4	84,4	85,6	16,2	83,6	79,2	83,9	75,0



C3P-20		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)														
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 359,77													
Data:		28/9/2006		pH: 11,6±0,05		CFN 76,96													
Hora:		14:15		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 48,15													
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 234,66													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
39,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,043													
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 1,05 L/min		R. massa (%)													
				Veloc.: 0,27 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		21,4 13,4													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		10,63	9,60	31,15	16,22	3,33	0,93	0,45	6,14	1,30	0,55	0,00					
		CFN		27,08	36,74	7,07	2,71	0,65	0,13	0,89	2,31	0,63	0,24	0,00					
		DFN		10,49	7,22	34,16	13,08	3,54	0,84	0,43	7,37	1,95	0,72	0,00					
		RFN		5,27	1,19	38,43	21,29	4,16	1,21	0,31	7,15	1,39	0,61	0,00					
Rec. (%)		CFN		54,5	81,9	4,9	3,6	4,2	3,0	42,3	8,0	10,3	9,4	0,0					
		DFN		13,2	10,1	14,7	10,8	14,2	12,1	12,8	16,1	20,0	17,7	0,0					
		RFN		32,3	8,1	80,5	85,6	81,6	84,9	44,9	75,9	69,6	72,9	0,0					

C3P-21		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)														
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 359,86													
Data:		28/9/2006		pH: 11,6±0,05		CFN 75,26													
Hora:		14:22		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 50,48													
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 234,12													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
39,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,043													
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 1,05 L/min		R. massa (%)													
				Veloc.: 0,27 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		20,9 14,0													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		12,10	10,71	32,29	16,86	15,02	0,98	0,47	6,29	1,19	0,56	0,00					
		CFN		32,62	42,62	7,99	3,05	0,77	0,20	1,02	2,53	0,72	0,27	0,00					
		DFN		10,38	6,72	34,04	13,24	3,49	0,86	0,56	7,35	1,95	0,70	0,00					
		RFN		5,87	1,32	39,72	22,08	22,08	1,25	0,28	7,27	1,17	0,62	0,00					
Rec. (%)		CFN		56,4	83,2	5,2	3,8	1,1	4,3	45,0	8,4	12,7	10,1	0,0					
		DFN		12,0	8,8	14,8	11,0	3,3	12,4	16,6	16,4	23,1	17,6	0,0					
		RFN		31,6	8,0	80,0	85,2	95,7	83,3	38,4	75,2	64,2	72,3	0,0					

C3P-22		Condições Operacionais						Observações											
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)			Acrescimento de trecho com 50 cm de coluna na zona de lavagem intermediária											
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 319,94													
Data:		2/10/2006		pH: 12,0±0,05		CFN 57,12													
Hora:		11:50		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 80,20													
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 182,62													
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)													
40,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,038													
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 0 L/min		R. massa (%)													
				Veloc.: 0,00 cm/s		CFN DFN													
				Vazão drenado: 1,4 L/min		17,9 25,1													
				Veloc.: 0,36 cm/s															
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>					
		AM		11,65	11,59	30,21	15,62	2,97	0,74	0,22	6,06	1,39	0,52	0,56					
		CFN		32,51	45,97	5,62	2,25	0,47	0,12	0,79	1,62	0,35	0,16	0,38					
		DFN		12,02	10,03	33,94	15,73	3,35	0,85	0,26	6,81	1,61	0,65	0,60					
		RFN		4,96	1,53	36,27	19,76	3,58	0,89	0,03	7,12	1,61	0,57	0,60					
Rec. (%)		CFN		49,8	70,8	3,3	2,6	2,8	2,9	63,2	4,8	4,5	5,5	12,1					
		DFN		25,9	21,7	28,2	25,2	28,3	28,7	29,2	28,2	29,1	31,5	26,8					
		RFN		24,3	7,5	68,5	72,2	68,9	68,4	7,7	67,1	66,3	62,9	61,1					

C3P-23		Condições Operacionais						Observações																	
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)																				
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 325,88																			
Data:		2/10/2006		pH: 12,0±0,05		CFN 61,19																			
Hora:		11:55		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 79,54																			
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 185,15																			
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)																			
%		%		Veloc.: 0,36 cm/s		0,039																			
40,5		25,0		Água Lavag 2.: 0 L/min		R. massa (%)																			
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,00 cm/s		CFN DFN																			
				Vazão drenado: 1,4 L/min		18,8 24,4																			
				Veloc.: 0,36 cm/s																					
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CaO		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MgO		BaSO <sub>4</sub>		TiO <sub>2</sub>		BaO		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)		AM		12,57		12,15		30,11		15,59		2,98		0,77		0,23		5,92		1,34		0,52		0,55	
		CFN		35,86		47,68		5,89		2,38		0,56		0,11		0,80		1,70		0,42		0,16		0,38	
		DFN		11,27		9,04		30,89		15,20		3,04		0,79		0,06		6,15		1,58		0,55		0,56	
		RFN		5,44		1,74		37,78		20,13		3,76		0,98		0,12		7,21		1,54		0,63		0,60	
Rec. (%)		CFN		53,5		73,7		3,7		2,9		3,5		2,7		64,5		5,4		5,9		5,8		13,0	
		DFN		21,9		18,2		25,0		23,8		24,9		25,0		6,3		25,4		28,8		25,7		24,9	
		RFN		24,6		8,1		71,3		73,3		71,6		72,3		29,3		69,2		65,3		68,5		62,1	

C3P-24		Condições Operacionais						Observações																	
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)																				
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 327,59																			
Data:		2/10/2006		pH: 12,0±0,05		CFN 55,85																			
Hora:		12:15		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 67,82																			
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 203,92																			
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)																			
%		%		Veloc.: 0,36 cm/s		0,039																			
40,5		25,0		Água Lavag 2.: 0,45 L/min		R. massa (%)																			
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,12 cm/s		CFN DFN																			
				Vazão drenado: 1,4 L/min		17,0 20,7																			
				Veloc.: 0,36 cm/s																					
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CaO		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MgO		BaSO <sub>4</sub>		TiO <sub>2</sub>		BaO		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)		AM		11,98		11,42		32,51		16,60		3,39		0,85		0,23		6,28		1,21		0,58		0,57	
		CFN		34,65		46,98		5,27		2,19		0,45		0,12		0,78		1,44		0,34		0,15		0,37	
		DFN		11,21		11,13		33,06		12,99		2,80		0,71		0,13		6,22		1,74		0,61		0,57	
		RFN		6,02		1,78		39,78		21,75		4,39		1,10		0,11		7,63		1,27		0,68		0,62	
Rec. (%)		CFN		49,3		70,1		2,8		2,2		2,3		2,4		58,2		3,9		4,8		4,4		11,1	
		DFN		19,4		20,2		21,1		16,2		17,1		17,2		11,8		20,5		29,8		22,0		20,8	
		RFN		31,3		9,7		76,2		81,6		80,6		80,4		30,0		75,6		65,4		73,6		68,1	

C3P-25		Condições Operacionais						Observações																	
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)			50cm de zona de lavagem intermediária?-Ingo																	
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 321,12																			
Data:		2/10/2006		pH: 12,0±0,05		CFN 55,28																			
Hora:		12:30		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 67,78																			
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 198,06																			
30				Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)																			
%		%		Veloc.: 0,36 cm/s		0,039																			
40,5		25,0		Água Lavag 2.: 0,45 L/min		R. massa (%)																			
h espuma: 70±1 cm				Veloc.: 0,12 cm/s		CFN DFN																			
				Vazão drenado: 1,4 L/min		17,2 21,1																			
				Veloc.: 0,36 cm/s																					
Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CaO		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MgO		BaSO <sub>4</sub>		TiO <sub>2</sub>		BaO		Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		CeO <sub>2</sub>			
Teores (%)		AM		12,63		11,75		30,37		9,74		3,09		0,78		0,29		5,89		1,27		0,52		0,55	
		CFN		36,37		46,18		4,85		2,15		0,51		0,14		0,84		1,38		0,30		0,12		0,38	
		DFN		13,63		12,55		29,69		14,53		3,23		0,73		0,23		5,95		1,33		0,54		0,55	
		RFN		5,66		1,86		37,72		10,22		3,76		0,98		0,16		7,13		1,52		0,62		0,60	
Rec. (%)		CFN		49,6		67,7		2,7		3,8		2,8		3,1		49,6		4,0		4,1		4,0		11,9	
		DFN		22,8		22,6		20,6		31,5		22,1		19,7		16,6		21,3		22,1		22,0		21,0	
		RFN		27,6		9,8		76,6		64,7		75,1		77,2		33,8		74,7		73,8		74,0		67,1	

C3P-26		Condições Operacionais						Observações						
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)									
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 337,79								
Data:		2/102006		pH: 12,0±0,05		CFN 59,41								
Hora:		14:20		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 65,22								
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 213,16								
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)								
40,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,041								
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 0,75 L/min		R. massa (%)								
				Veloc.: 0,20 cm/s		CFN DFN								
				Vazão drenado: 1,4 L/min		17,6 19,3								
				Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
		AM		12,40	11,98	30,28	16,16	3,26	0,87	0,25	5,97	1,20	0,54	0,55
		CFN		35,22	47,53	4,96	2,07	0,47	0,12	0,79	1,38	0,34	0,14	0,37
		19/1/1933		13,65	12,73	29,38	13,55	2,92	0,68	0,13	5,71	1,45	0,54	0,54
		RFN		5,66	1,84	37,62	20,89	4,14	1,13	0,14	7,33	1,36	0,65	0,60
Rec. (%)		CFN		49,9	69,8	2,9	2,3	2,5	2,4	55,1	4,1	5,0	4,6	11,9
		DFN		21,3	20,5	18,7	16,2	17,3	15,2	9,9	18,5	23,4	19,3	19,0
		RFN		28,8	9,7	78,4	81,6	80,2	82,4	35,0	77,5	71,6	76,1	69,1

C3P-27		Condições Operacionais						Observações						
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)									
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 334,95								
Data:		2/102006		pH: 12,0±0,05		CFN 55,69								
Hora:		15:05		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 60,42								
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 218,84								
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)								
40,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,040								
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 0,9 L/min		R. massa (%)								
				Veloc.: 0,23 cm/s		CFN DFN								
				Vazão drenado: 1,4 L/min		16,6 18,0								
				Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
		AM		12,44	11,95	29,97	16,27	3,22	0,84	0,32	6,00	1,19	0,53	0,55
		CFN		34,98	48,05	4,72	2,01	0,46	0,13	0,87	1,33	0,29	0,14	0,37
		DFN		15,20	14,92	27,44	12,87	2,51	0,69	0,07	5,32	1,46	0,50	0,52
		RFN		5,94	1,94	37,10	20,83	4,12	1,06	0,25	7,38	1,35	0,64	0,60
Rec. (%)		CFN		46,8	66,9	2,6	2,1	2,4	2,6	45,1	3,7	4,0	4,4	11,2
		DFN		22,0	22,5	16,5	14,3	14,1	14,8	3,9	16,0	22,1	17,0	17,1
		RFN		31,2	10,6	80,9	83,7	83,6	82,6	50,9	80,3	73,9	78,7	71,6

C3P-28		Condições Operacionais						Observações						
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)									
Pilha		4761		Coletor: 70 g/t		AM 332,49								
Data:		2/102006		pH: 12,0±0,05		CFN 50,78								
Hora:		15:20		Vazão de ar: 2,0 L/min		DFN 59,36								
Amost (s)		Polpa AM-03		Veloc.: 0,52 cm/s		RFN 222,35								
%solid. CN		%solid. AL		Água Lavag 1.: 1,4 L/min		Alimentação (t/h)								
40,5		25,0		Veloc.: 0,36 cm/s		0,040								
h espuma:		70±1 cm		Água Lavag 2.: 0,9 L/min		R. massa (%)								
				Veloc.: 0,23 cm/s		CFN DFN								
				Vazão drenado: 1,4 L/min		15,3 17,9								
				Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)		Fluxo		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
		AM		11,59	11,60	30,00	16,42	3,13	0,85	0,21	6,06	1,25	0,54	0,55
		CFN		33,19	49,99	4,77	1,95	0,38	0,12	0,76	1,36	0,33	0,15	0,37
		DFN		15,89	15,60	27,25	13,10	2,62	0,71	0,10	5,53	1,39	0,53	0,53
		RFN		5,51	1,76	36,50	20,61	3,89	1,05	0,12	7,28	1,42	0,63	0,59
Rec. (%)		CFN		43,7	65,8	2,4	1,8	1,9	2,2	54,2	3,4	4,0	4,3	10,4
		DFN		24,5	24,0	16,2	14,2	15,0	15,0	8,3	16,3	19,9	17,6	17,3
		RFN		31,8	10,1	81,4	83,9	83,2	82,9	37,5	80,3	76,1	78,2	72,3

C3P-29		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 308,84								
		pH: 12,0±0,05			CFN 57,48								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 50,65								
Data:	3/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 200,71								
Hora:	11:15	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,037								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,05 L/min			R. massa (%)								
40,5	25,0	Veloc.: 0,27 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			18,6 16,4								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo											
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO								
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>								
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO								
		BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>								
		BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
		CeO <sub>2</sub>											
Teores (%)		AM			12,36 11,47 30,75 15,75 3,16 0,83 0,51 5,98 1,28 0,54 0,55								
		CFN			35,93 46,36 4,80 2,08 0,45 0,16 0,78 1,17 0,29 0,10 0,37								
		DFN			12,11 10,34 31,02 13,81 2,92 0,75 0,15 5,74 1,55 0,54 0,54								
		RFN			5,68 1,76 38,12 20,16 3,99 1,04 0,53 7,42 1,49 0,66 0,61								
Rec. (%)		CFN			54,1 75,2 2,9 2,5 2,7 3,6 28,2 3,6 4,2 3,5 12,4								
		DFN			16,1 14,8 16,5 14,4 15,2 14,8 4,8 15,7 19,9 16,5 16,0								
		RFN			29,9 10,0 80,6 83,2 82,2 81,6 67,0 80,6 75,9 80,0 71,6								

C3P-30		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 307,34								
		pH: 12,0±0,05			CFN 56,90								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 50,89								
Data:	3/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 199,55								
Hora:	15:25	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,037								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,05 L/min			R. massa (%)								
40,5	25,0	Veloc.: 0,27 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			18,5 16,6								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo											
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO								
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>								
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO								
		BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>								
		BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
		CeO <sub>2</sub>											
Teores (%)		AM			12,10 11,69 31,17 15,85 3,13 0,80 0,20 6,02 1,29 0,54 0,56								
		CFN			35,10 47,47 4,82 2,12 0,47 0,15 0,78 1,14 0,32 0,11 0,37								
		DFN			12,33 10,71 31,43 13,18 2,89 0,71 0,12 5,80 1,63 0,54 0,55								
		RFN			5,48 1,74 38,61 20,44 3,95 1,01 0,05 7,46 1,48 0,67 0,61								
Rec. (%)		CFN			53,7 75,2 2,9 2,5 2,8 3,5 73,4 3,5 4,6 3,7 12,3								
		DFN			16,9 15,2 16,7 13,8 15,3 14,7 10,1 16,0 20,9 16,4 16,4								
		RFN			29,4 9,7 80,4 83,8 81,9 81,9 16,5 80,5 74,5 79,8 71,3								

C3P-31		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 305,64								
		pH: 12,0±0,05			CFN 54,79								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 47,81								
Data:	3/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 203,04								
Hora:	15:25	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,037								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,2 L/min			R. massa (%)								
40,5	25,0	Veloc.: 0,31 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			17,9 15,6								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo											
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			CaO								
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			SiO <sub>2</sub>								
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			MgO								
		BaSO <sub>4</sub>			TiO <sub>2</sub>								
		BaO			Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
		CeO <sub>2</sub>											
Teores (%)		AM			12,08 11,95 31,37 15,15 2,90 0,80 0,26 6,47 1,52 0,58 0,56								
		CFN			34,44 47,16 4,74 2,08 0,45 0,07 0,80 1,03 0,30 0,10 0,37								
		DFN			14,02 13,28 28,55 13,33 2,61 0,74 0,13 5,59 1,48 0,52 0,53								
		RFN			5,59 2,14 39,22 19,11 3,63 1,01 0,15 8,14 1,86 0,72 0,62								
Rec. (%)		CFN			51,1 70,7 2,7 2,5 2,8 1,6 54,4 2,9 3,5 3,1 11,8								
		DFN			18,2 17,4 14,2 13,8 14,1 14,5 7,7 13,5 15,2 14,1 14,8								
		RFN			30,7 11,9 83,1 83,8 83,1 83,9 37,8 83,6 81,2 82,8 73,4								

C3P-32		Condições Operacionais					Observações					
		Depressor: 1400 g/t	Massa (g)									
Pilha		Coletor: 70 g/t	AM	299,54								
4761		pH: 12,0±0,05	CFN	50,83								
Data:	3/10/2006	Vazão de ar: 2,0 L/min	DFN	47,30								
Hora:	15:25	Veloc.: 0,52 cm/s	RFN	201,41								
Amost (s)	Polpa AM-03	Água Lavag 1.: 1,4 L/min	Alimentação (t/h)									
30		Veloc.: 0,36 cm/s	0,036									
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,2 L/min	R. massa (%)									
40,5	25,0	Veloc.: 0,31 cm/s	CFN	DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min	17,0	15,8								
		Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)	Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
	AM	12,64	11,66	30,58	16,08	3,19	0,86	0,21	5,99	1,26	0,54	0,55
	CFN	36,38	47,57	4,49	1,98	0,47	0,11	0,76	1,01	0,23	0,09	0,37
	DFN	14,27	14,26	28,20	13,92	2,57	0,71	0,09	5,66	1,57	0,53	0,53
Rec. (%)	RFN	6,26	1,99	37,72	20,15	4,02	1,09	0,10	7,32	1,44	0,65	0,60
	CFN	48,9	69,2	2,5	2,1	2,5	2,2	61,3	2,9	3,1	2,8	11,4
	DFN	17,8	19,3	14,6	13,7	12,7	13,0	6,8	14,9	19,8	15,6	15,2
	RFN	33,3	11,5	82,9	84,2	84,8	84,9	32,0	82,2	77,1	81,5	73,4

C3P-33		Condições Operacionais					Observações					
		Depressor: 1400 g/t	Massa (g)									
Pilha		Coletor: 70 g/t	AM	318,55								
4761		pH: 11,8±0,05	CFN	37,25								
Data:	6/10/2006	Vazão de ar: 2,0 L/min	DFN	72,90								
Hora:	12:00	Veloc.: 0,52 cm/s	RFN	208,40								
Amost (s)	Polpa AM-03	Água Lavag 1.: 1,4 L/min	Alimentação (t/h)									
30		Veloc.: 0,36 cm/s	0,038									
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0 L/min	R. massa (%)									
40	25,0	Veloc.: 0,00 cm/s	CFN	DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min	11,7	22,9								
		Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)	Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
	AM	13,63	12,69	23,87	12,66	2,53	0,69	0,31	4,51	0,91	0,36	0,51
	CFN	39,81	49,17	2,93	1,46	0,26	0,08	0,79	0,31	0,10	0,00	0,36
	DFN	17,85	18,85	2,99	1,53	0,36	0,10	0,87	0,32	0,10	0,01	0,37
Rec. (%)	RFN	7,48	4,01	34,91	18,56	3,70	1,00	0,03	6,72	1,34	0,55	0,59
	CFN	34,1	45,3	1,4	1,3	1,2	1,4	29,7	0,8	1,3	0,0	8,2
	DFN	30,0	34,0	2,9	2,8	3,3	3,3	64,0	1,6	2,5	0,6	16,5
	RFN	35,9	20,7	95,7	95,9	95,5	95,3	6,3	97,6	96,2	99,4	75,3

C3P-34		Condições Operacionais					Observações					
		Depressor: 1400 g/t	Massa (g)									
Pilha		Coletor: 70 g/t	AM	318,56								
4761		pH: 11,8±0,05	CFN	36,86								
Data:	6/10/2006	Vazão de ar: 2,0 L/min	DFN	73,20								
Hora:	12:00	Veloc.: 0,52 cm/s	RFN	208,50								
Amost (s)	Polpa AM-03	Água Lavag 1.: 1,4 L/min	Alimentação (t/h)									
30		Veloc.: 0,36 cm/s	0,038									
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0 L/min	R. massa (%)									
40	25,0	Veloc.: 0,00 cm/s	CFN	DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min	11,6	23,0								
		Veloc.: 0,36 cm/s										
Teores (%)	Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
	AM	13,45	12,48	29,20	15,39	3,16	0,82	0,09	5,37	1,09	0,44	0,55
	CFN	38,23	49,48	2,91	1,45	0,27	0,08	0,75	0,32	0,10	0,00	0,36
	DFN	16,43	17,57	26,00	11,66	2,30	0,68	0,02	4,23	1,22	0,38	0,51
Rec. (%)	RFN	8,03	4,15	34,97	19,17	3,97	1,00	0,00	6,67	1,22	0,54	0,59
	CFN	32,9	45,9	1,2	1,1	1,0	1,1	95,0	0,7	1,1	0,0	7,6
	DFN	28,1	32,4	20,5	17,4	16,7	19,1	5,0	18,1	25,7	19,8	21,5
	RFN	39,1	21,8	78,4	81,5	82,3	79,8	0,0	81,2	73,2	80,2	70,9

C3P-35		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 329,56								
		pH: 11,8±0,05			CFN 32,59								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 54,42								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 242,55								
Hora:	13:06	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,040								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0,45 L/min			R. massa (%)								
40	25,0	Veloc.: 0,12 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			9,9 16,5								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	13,34	12,74	29,78	15,41	3,28	0,84	0,17	5,51	1,13	0,47	0,54	
	CFN	37,44	53,28	2,85	1,46	0,32	0,08	0,78	0,26	0,09	0,01	0,37	
	DFN	19,37	20,39	23,69	11,28	2,23	0,65	0,00	3,70	1,01	0,34	0,49	
	RFN	8,75	5,57	34,77	18,21	3,91	0,99	0,13	6,62	1,29	0,56	0,58	
Rec. (%)	CFN	27,8	41,4	0,9	0,9	1,0	0,9	44,6	0,5	0,8	0,2	6,7	
	DFN	24,0	26,4	13,1	12,1	11,2	12,7	0,0	11,1	14,8	12,0	14,9	
	RFN	48,3	32,2	85,9	87,0	87,8	86,3	55,4	88,4	84,4	87,8	78,4	

C3P-36		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 329,84								
		pH: 11,8±0,05			CFN 31,04								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 51,36								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 247,44								
Hora:	13:10	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,040								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0,45 L/min			R. massa (%)								
40	25,0	Veloc.: 0,12 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			9,4 15,6								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	12,75	12,02	28,75	14,25	2,78	0,72	0,07	5,12	1,22	0,43	0,53	
	CFN	38,22	50,87	2,56	1,33	0,22	0,07	0,76	0,23	0,09	0,00	0,36	
	DFN	17,70	19,61	25,24	11,14	2,34	0,61	0,02	3,75	1,10	0,36	0,50	
	RFN	8,53	5,57	32,77	16,52	3,19	0,83	0,00	6,02	1,39	0,50	0,56	
Rec. (%)	CFN	28,2	39,8	0,8	0,9	0,7	0,9	95,8	0,4	0,7	0,0	6,4	
	DFN	21,6	25,4	13,7	12,2	13,1	13,1	4,2	11,4	14,0	13,0	14,6	
	RFN	50,2	34,8	85,5	87,0	86,1	86,0	0,0	88,2	85,3	87,0	79,0	

C3P-37		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 326,63								
		pH: 11,8±0,05			CFN 34,01								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 41,98								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 250,64								
Hora:	14:24	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,039								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0,75 L/min			R. massa (%)								
40	25,0	Veloc.: 0,20 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			10,4 12,9								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	13,60	13,17	29,65	14,66	3,05	0,87	0,15	5,36	1,19	0,46	0,55	
	CFN	38,89	51,89	2,30	1,35	0,22	0,08	0,76	0,23	0,05	0,00	0,36	
	DFN	18,88	20,52	25,24	10,52	2,14	0,64	0,01	3,74	1,13	0,36	0,50	
	RFN	9,29	6,68	34,10	17,16	3,58	1,02	0,09	6,33	1,36	0,54	0,59	
Rec. (%)	CFN	29,8	41,0	0,8	1,0	0,8	1,0	52,9	0,4	0,4	0,0	6,8	
	DFN	17,8	20,0	10,9	9,2	9,0	9,4	0,9	9,0	12,2	10,0	11,6	
	RFN	52,4	38,9	88,3	89,8	90,2	89,6	46,2	90,6	87,4	90,0	81,7	

C3P-38		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 317,67								
		pH: 11,8±0,05			CFN 24,59								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 42,38								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 250,70								
Hora:	14:25	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,038								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 0,75 L/min			R. massa (%)								
40	25,0	Veloc.: 0,20 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			7,7 13,3								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	12,65	11,98	30,30	14,67	3,06	0,78	0,14	5,50	1,20	0,46	0,54	
	CFN	38,54	51,68	2,31	1,36	0,20	0,08	0,80	0,15	0,06	0,00	0,36	
	DFN	18,04	20,31	24,09	9,70	2,04	0,57	0,13	3,74	1,08	0,35	0,49	
	RFN	9,20	6,68	34,09	16,82	3,51	0,89	0,08	6,32	1,33	0,53	0,57	
Rec. (%)	CFN	23,6	33,4	0,6	0,7	0,5	0,8	43,5	0,2	0,4	0,0	5,1	
	DFN	19,0	22,6	10,6	8,8	8,9	9,7	12,2	9,1	12,0	10,0	12,0	
	RFN	57,4	44,0	88,8	90,5	90,6	89,5	44,3	90,7	87,6	90,0	82,8	

C3P-39		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 358,29								
		pH: 11,8±0,05			CFN 21,13								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 33,81								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 303,35								
Hora:	15:40	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,043								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,05 L/min			R. massa (%)								
40	25,0	Veloc.: 0,27 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			5,9 9,4								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	13,35	12,16	30,16	14,38	2,71	0,86	0,12	5,32	1,50	0,47	0,55	
	CFN	37,45	47,96	1,30	0,08	0,28	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,36	
	DFN	20,40	22,57	22,77	10,20	1,87	0,56	0,01	3,27	1,11	0,32	0,48	
	RFN	10,89	8,51	32,99	15,84	2,97	0,95	0,14	5,92	1,65	0,52	0,57	
Rec. (%)	CFN	16,5	23,3	0,3	0,0	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	3,9	
	DFN	14,4	17,5	7,1	6,7	6,5	6,2	0,8	5,8	7,0	6,4	8,2	
	RFN	69,0	59,2	92,6	93,3	92,9	93,8	99,2	94,1	93,0	93,3	87,9	

C3P-40		Condições Operacionais						Observações					
		Depressor: 1400 g/t			Massa (g)								
		Coletor: 70 g/t			AM 363,86								
		pH: 11,8±0,05			CFN 24,26								
Pilha	4761	Vazão de ar: 2,0 L/min			DFN 34,61								
Data:	6/10/2006	Veloc.: 0,52 cm/s			RFN 304,99								
Hora:	15:40	Água Lavag 1.: 1,4 L/min			Alimentação (t/h)								
Amost (s)	Polpa AM-03	Veloc.: 0,36 cm/s			0,044								
%solid. CN	%solid. AL	Água Lavag 2.: 1,05 L/min			R. massa (%)								
30,5	25,0	Veloc.: 0,27 cm/s			CFN DFN								
h espuma:	70±1 cm	Vazão drenado: 1,4 L/min			6,7 9,5								
		Veloc.: 0,36 cm/s											
		Fluxo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	BaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CeO <sub>2</sub>
Teores (%)	AM	13,35	11,77	29,13	14,71	2,68	0,86	0,06	5,07	1,41	0,43	0,53	
	CFN	37,38	48,02	1,42	0,08	0,28	0,05	0,00	0,05	0,00	0,02	0,36	
	DFN	19,82	22,12	23,36	10,17	1,84	0,62	0,09	3,29	1,03	0,32	0,49	
	RFN	10,71	7,71	31,99	16,39	2,97	0,95	0,06	5,67	1,57	0,47	0,55	
Rec. (%)	CFN	18,7	27,2	0,3	0,0	0,7	0,4	0,0	0,1	0,0	0,3	4,5	
	DFN	14,1	17,9	7,6	6,6	6,5	6,9	14,5	6,2	6,9	7,1	8,8	
	RFN	67,2	54,9	92,0	93,4	92,8	92,7	85,5	93,8	93,1	92,5	86,7	

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)