

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Minas



BT/PMI/015

**A Influência do Amido de Milho na
Eficiência de Separação
Apatita/Minerais de Ganga Via
Processo Serrana**

**Laurindo de Salles Leal Filho
Arthur Pinto Chaves**

São Paulo - 1992

PDF

O presente trabalho é uma versão abreviada da tese de doutorado apresentada pelo Eng^o Laurindo de Salles Leal Filho, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves: "A influência do amido na eficiência de separação apatita/minerais de ganga via processo Serrana".

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Minas da Escola Politécnica/USP

Leal Filho, Laurindo de Salles

A influência do amido de milho na eficiência de separação apatita/minerais de ganga via processo Serrana / L. de S. Leal Filho, A.P. Chaves. -- São Paulo : EPUSP, 1992.

17p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/015)

1. Minérios - Processamento 2. Flotação I. Chaves, Arthur Pinto II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

CDU 622.7

622.765

A INFLUÊNCIA DO AMIDO DE MILHO NA EFICIÊNCIA DE SEPARAÇÃO
APATITA/MINERAIS DE GANGA VIA PROCESSO SERRANA

Laurindo de Salles Leal Filho

Arthur Pinto Chaves

RESUMO

O presente trabalho investiga o papel do amido de milho na flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga com ácidos graxos de tall-oil. Este modificador, além de atuar como depressor da calcita em todas as concentrações testadas, mostrou capacidade de deprimir a apatita e dolomita somente sob concentrações maiores que 50 g/t.

A ação conjunta amido/tall-oil mostrou ser capaz de modular a tensão superficial da polpa de flotação e volume de espuma formado no sistema. Em função deste dois parâmetros foi possível estabelecer as dosagens de amido e coletor capazes de otimizar o desempenho do processo.

1 - INTRODUÇÃO (1)

A jazida de fosfato do Morro da Mina, concessão da Serrana S.A. de Mineração, está localizada junto à Rodovia BR-116, Distrito de Cajati, Município de Jacupiranga, Estado de São Paulo; a meio caminho entre a cidade de Curitiba - PR - (180 km) e a capital do Estado (240 km).

No período de 1943 a 1969 foi lavrado um minério de natureza residual, resultante da concentração da fluorapatita pela lixiviação do protominério subjacente, de origem magmática (carbonatito). Em virtude desse minério residual apresentar alto teor de P_2O_5 (21%) aliado a argilominerais e magnetita como minerais de ganga, a concentração do mineral-minério era efetuada facilmente através de simples operações unitárias de desagregação, lavagem e separação magnética.

Por volta de 1960, todavia, a continuidade do empreendimento mineiro se viu ameaçada pela exaustão iminente do minério residual. Na esperança de dar continuidade a um empreendimento mineiro que respondia pelo abastecimento de um quarto da demanda brasileira de P_2O_5 , voltaram-se as atenções para a possibilidade de concentrar a apatita disseminada no protominério que dera origem à jazida secundária/residual então em lavra. Seu grande volume e regularidade de distribuição de teores de P_2O_5 já haviam sido indicados por estudos geológicos anteriores e, logo após, confirmados por uma pesquisa geológica detalhada.

Separar a apatita dos demais minerais de ganga que constituíam o protominério não era uma tarefa simples para aquela geração de técnicos: consultadas, organizações e empresas de consultoria estrangeiras deram respostas negativas ou resultados insatisfatórios. Tratava-se, pois, de um problema

"sui generis", tanto pela associação mineralógica apatita/carbonatos quanto pelo baixo teor de P₂O₅ apresentado pelo protominério.

A Serrana S.A. de Mineração optou por desenvolver tecnologia brasileira para a solução do problema, delegando esta responsabilidade ao professor Paulo Abib Andery da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, também funcionário da referida empresa.

Através da flotação aniônica direta da apatita em meio alcalino com ácidos graxos de tall-oil e a utilização do amido de milho como modificador foi possível delinear uma estratégia para a separação entre apatita e minerais de ganga: nascia o Processo Serrana.

O bom desempenho do Processo Serrana está intimamente relacionado com o papel exercido pelo agente modificador amido de milho na flotação aniônica direta da apatita. De fato, passados 25 anos, enquanto os ácidos graxos de tall-oil foram substituídos por sarcosinatos de alquila como coletores, até os dias de hoje não se encontraram reagentes substitutos ao amido de milho como agente modificador (2) (3).

LEAL FILHO e Colaboradores (3), testaram vários modificadores orgânicos na flotação aniônica direta do carbonatito de Jacupiranga com ácidos graxos de tall-oil. Os resultados são apresentados na figura 1, onde se pode destacar:

- i - o melhor desempenho dos amidos de milho ceroso, padrão e gritz quando comparados com outros modificadores orgânicos: carboximetilcelulose, goma guar e tanino;
- ii - a baixa recuperação da flotação na ausência de modificadores.

A baixa recuperação observada nos ensaios de flotação sem modificadores orgânicos não poderia a priori ser esperada caso se atentasse para o fato de que ensaios de microflotação executados em $\text{pH} \approx 10,3$ com calcita de Jacupiranga/tall-oil e apatita de Jacupiranga/tall-oil (4) apontam uma interação forte e de mesma magnitude entre ambas as espécies minerais e o coletor nesse nível de pH. Tais informações poderiam assim ser interpretadas:

- i - se ambos os minerais interagem intensamente com o coletor, a adição de um reagente que competisse com o mesmo por sítios da interface calcita/solução inibiria a flotação desse mineral, proporcionando seletividade ao processo. Nesta situação, o agente modificador poderia ser chamado de depressor;
- ii - na ausência de um agente depressor, ocorreria a flotação de ambos os minerais, ocasionando altas recuperações de P205 acompanhadas de baixíssimos teores de concentrado.

Baseando-se nos fatos acima comentados, há de se convir que a atuação do amido na flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga com ácidos graxos de tall-oil é muito mais complexa que a associada a um simples mecanismo baseado na adsorção preferencial do depressor sobre carbonatos, minimizando sua interação com o coletor. Um maior esclarecimento para esta dúvida é o objetivo desta investigação.

Neste trabalho, para avaliar a eficiência com que ocorre a separação apatita/minerais de ganga, usar-se-á a expressão de SCHULZ (05) que compilou o esforço desenvolvido por vários pesquisadores, entre 1913 e 1970, no sentido de encontrar uma expressão algébrica capaz de definir a "excelência ou perfeição técnica" de uma separação de minerais. Após apresentar e discutir a aplicação de mais de 30 expressões diferentes para quantificar

este efeito, tal autor propõe a utilização de um parâmetro denominado: Eficiência de Separação que será representado pela letra E. Este parâmetro é calculado pelas expressões algébricas:

$$i - E = (\text{Recuperação do útil no concentrado}) - (\text{Recuperação da ganga no concentrado}) \text{ ou}$$

$$ii - E = [(a - r)/(c - r)] \times [c/a - (cm - c)/(cm - a)] \times 100$$

a: teor de P2O5 na alimentação;

c: teor de P2O5 no concentrado;

r: teor de P2O5 no rejeito;

cm: teor de P2O5 máximo possível no concentrado, que é igual a 42% no caso da apatita de Jacupiranga;

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O minério utilizado foi o Minério Calcítico Padrão, predominante na jazida do Morro da Mina. Amostras deste minério foram colhidas na própria usina de concentração, após este já ter sido submetido às etapas de cominuição, remoção da magnetita por separação magnética e ainda deslamagem para eliminação de partículas ultrafinas. Tal procedimento garante ao material condições de preparação idênticas às que caracterizam o Processo Serrana em escala industrial. Dados granulométricos e químicos sobre o minério são apresentados na tabela 1.

Após a amostragem do minério, este sofreu decantação em tambores de 200 litros, foi secado ao sol, homogeneizado e quarteado em alíquotas de 400 gramas para ensaios de flotação em bancada. Estes, por sua vez, foram executados em cubas de 1,8 litros, em célula Denver, a 1100 rpm. O minério era empalpado com água destilada a 33% de sólidos, condicionado em pH = 10,3 por 5 minutos com amido de milho gelatinizado na proporção

amido: soda = 5:1.; submetido a uma expansão da polpa a 20% de sólidos acompanhada de nova correção do pH (com NaOH 10% p/v) para pH = 10,3. Nesta hora era adicionado o tall-oil in natura e condicionado por 30 segundos, executando-se, então, a flotação até a exaustão do material flotado. Após a flotação os produtos eram filtrados, secados e enviados para análises químicas.

Medidas de tensão superficial de polpas de flotação foram executadas em tensiômetro Fischer Autotensiomat, a 25°C.

Medidas de altura de espuma formada por polpas de flotação foram executadas através de metodologia denominada teste Ross-Miles Modificado, que é apresentada e discutida na referência (06).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. A Influência do Amido na Cinética de Flotação dos Minerais

Através de ensaios de flotação em função do tempo de decorrência do evento verificou-se a importância dos primeiros 30 segundos na flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga. Neste intervalo de tempo ocorre de modo extremamente marcante a recuperação dos quatro principais minerais que, juntos, correspondem a 96% do minério.

Comparando-se a recuperação da apatita com a dos principais minerais de ganga em função do tempo de flotação e das dosagens de amido adicionadas ao sistema, observou-se que (figura 02):

- i - as maiores recuperações de apatita, flogopita e dolomita, foram obtidas na presença de amido. O inverso ocorreu com a calcita;
- ii - dentro dos três níveis de dosagens de amido testados (0,

50 e 100 g/t), apatita e dolomita apresentaram maiores recuperações em dosagens de 50 g/t. A dosagem de 100 g/t mostrou capacidade de diminuir a recuperação de ambos os minerais;

- iii - a calcita, tanto em 50 g/t como em 100 g/t de amido, apresentou níveis de recuperação próximos entre si e inferiores à recuperação obtida com 0 g/t de amido;
- iv - a flogopita apresentou um comportamento bastante peculiar, pois sua recuperação aumentou drasticamente com o aumento da dosagem de amido no sistema. No intervalo de tempo dos primeiros 60 segundos de flotação, a recuperação deste mineral saltou de 13% para 63%, enquanto a dosagem de amido aumentava de 0 para 100 g/t.

3.2. A Influência da Concentração dos Reagentes na Eficiência de Separação Apatita/Ganga

A prática industrial do Processo Serrana tem mostrado ser constante a necessidade de ajuste das dosagens de amido e tall-oil adicionadas ao sistema de flotação. De fato, tem sido esta uma das ferramentas mais rápidas e diretas para correção dos resultados metalúrgicos da flotação. As decisões de aumentar ou diminuir uma certa dosagem têm sido historicamente calcadas em um conhecimento empírico eficiente e objetivo, adquirido ao longo da convivência com o processo industrial.

Ensaio de flotação em escala de bancada com minério PN varrendo as concentrações de amido e tall-oil em uma ampla faixa mostraram que a eficiência (E) de separação entre a apatita e a ganga varia com a concentração de ambos os reagentes segundo uma superfície côncava, onde um máximo de eficiência é encontrado por

volta de 17-20 mg/l de amido e 13-17 mg/l de tall-oil (figura 03). Por outro lado, a área ocupada pelos pares de coordenadas (concentração de amido x concentração de tall-oil) que geram um máximo na eficiência (E) do processo também geram um lugar geométrico de máximo local na tensão superficial da polpa de flotação (figura 04) e um ponto de mínimo na altura de espuma gerada pelo sistema trifásico ar/minério/solução no teste Ross-Miles modificado (figura 05).

A tensão superficial da polpa de flotação mostrou ser função direta das dosagens de amido e coletor adicionadas ao sistema (figura 04). Somente na presença de 16,7 mg/l de tall-oil, a tensão superficial da polpa foi de 51 dyn/cm. Adicionando-se paulatinamente amido ao sistema, a tensão superficial passou a ser estritamente crescente até atingir um máximo local com valores superiores a 58 dyn/cm quando então, surpreendentemente, dá início à queda em sua magnitude para patamares da ordem de 53 dyn/cm. A tensão superficial da polpa na presença de 16,7 mg/l de amido e total ausência de tall-oil, por sua vez, apresentou valor muito próximo ao da água pura: 71 dyn/cm. Nesta situação não ocorre formação de espuma e nem há possibilidade de flotação. Só ocorre arraste mecânico de uma porção desprezível do minério alimentado.

O comportamento da tensão superficial de soluções contendo a dupla amido/tall-oil se mostrou bastante diferente da tensão superficial de polpas contendo tal dupla na presença de minério PN. A figura 06 ilustra tal comportamento bastante interessante, onde pode-se ressaltar:

-
- i - tanto na figura 06A quanto na 06B as tensões superficiais das polpas (minério + solução) se mostraram superiores às das soluções (ausência de minério) em

- todas as concentrações da dupla amido/tall-oil testadas;
- ii - mantendo-se constante a concentração de coletor (figura 06A), à medida que cresce a concentração do modificador, a tensão superficial das soluções puras é estritamente decrescente. O mesmo não ocorre com polpas que, além de apresentarem tensões superficiais mais altas ao longo de toda a faixa de concentração testadas, apresentam um máximo de tensão superficial na faixa de concentração da dupla amido/tall-oil onde ocorre separação apatita/ganga mais eficiente (figura 06A x figura 03);
 - iii - o máximo de tensão superficial observado na figura 06A pode indicar uma menor presença de agentes tensoativos na interface líquido/ar em função de uma migração seletiva dessas espécies químicas para interfaces mineral/solução, gerando um máximo de eficiência (E) na separação apatita/ganga (figura 06A x figura 03);
 - iv - na ausência de amido, pouca diferença existe na magnitude das tensões superficiais das soluções versus polpas (figura 06A). Por outro lado, na faixa ótima de concentração da dupla amido/tall-oil, isto é, onde ocorre um máximo no valor de (E), ocorre a maior discrepância entre os valores das tensões superficiais de soluções (ausência de minério) versus polpas (presença de minério);
 - v - a ocorrência, na interface líquido/ar, de um filme de agentes tensoativos dispostos em um arranjo mais difuso (menos compacto) pode propiciar condições mais favoráveis à interação bolhas/partículas hidrofóbicas, permitindo o posicionamento de dipolos existentes na estrutura dos tensoativos de modo a facilitar a adesão

partícula/bolha dentro de um tempo menor que o tempo de contato entre partícula e bolha (07). Tal fenômeno poderia estar sendo favorecido ao se verificar um aumento da tensão superficial de patamares de 51 para 58 dyn/cm.

Na figura 05, pode-se verificar uma correlação entre tensão superficial da polpa e altura de espuma gerada no teste Ross-Miles modificado. Tal conjunção de fatores poderia favorecer a separação apatita/ganga, conforme sugere o máximo de eficiência (E) encontrado sob tais condições experimentais.

4 - CONCLUSÕES

1. A Ação Depressora do Amido sobre os Minerais em Estudo Merece Destaque:

- i - sobre a calcita, em toda a faixa de dosagens testadas, este reagente se mostrou capaz de diminuir sua recuperação;
- ii - sobre a apatita e dolomita, este reagente mostrou ser capaz de aumentar sua recuperação dentro de uma faixa ótima de dosagem (50 g/t). Dosagens maiores (100 g/t) mostraram capacidade de diminuir a recuperação.
- iii - com relação ao mineral flogopita, observou-se que o amido foi capaz de favorecer um aumento de sua recuperação.

2. A Capacidade do Amido em atuar na interface líquido/ar, modulando características de espuma do sistema de flotação e melhorando o desempenho do processo pôde ser verificada através das seguintes evidências experimentais:

- i - variando-se a concentração de tall-oil e amido na polpa de flotação foi possível modular sua tensão superficial;
- ii - uma máxima eficiência na separação apatita/ganga foi obtida com valores de tensão superficial da ordem de 58 dyn/cm;
- iii - nas concentrações de amido e tall-oil que geraram um máximo de eficiência de separação apatita/ganga e tensão superficial de 58 dyn/cm, a altura da espuma formada pelo sistema solução/ar/sólidos atingiu um mínimo: $(24 \pm 2 \text{ mm})$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ANDERY, P.A. Concentração de apatita do carbonatito de Jacupiranga, estado de São Paulo. São Paulo, 1967. 73p. Tese (Câtedra) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 2 - ANTUNES, S.T. et al. Evolução tecnológica na busca de qualidade. /Apresentado ao 5. Encontro Nacional de Rocha Fosfática, São Paulo, 1990/
- 3 - LEAL FILHO, L.S. Contribuição ao estudo de depressores para a flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga. Belo Horizonte, 1988. 165p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 4 - FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI/SERRANA S.A. DE MINERAÇÃO. Relatório final do Projeto Minérios Morro da Mina. Belo Horizonte, 1987. (Relatório Interno).

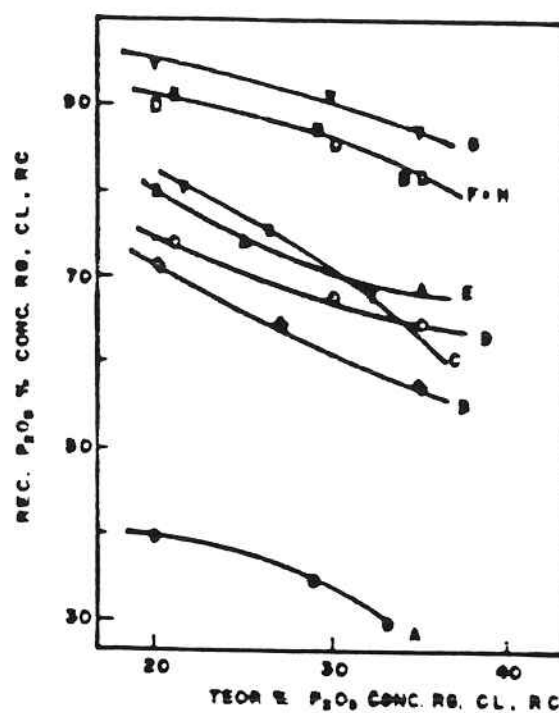
- 5 - SCHULZ, N.F. Separation efficiency. Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, v.247, p.81-7, Mar. 1970.
- 6 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for foaming properties of surface-active agents; D 1173-53 /Teste Ross-Miles/ Annual Book of ASTM Standards, pt.30, p.184-6, 1980.
- 7 - LEJA, J.; HE, B.Q. The role of flotation frothers in the particle-bubble attachment process. In: WARK SYMPOSIUM, 1983. Principles of mineral flotation; ed. by M.H. Jones and J.T. Woodcock. Victoria, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1984. p.73-89. (Institute's Symposia Series, 40)

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do minério utilizado nos testes de flotação.

	MINÉRIO PN			
	+ 48	+325	-325	TOTAL
(%) RET.	29,3	58,7	12,1	100,0
(%) ACUM.	29,3	88,0	100,0	--
(%) P ₂ O ₅	2,81	6,49	5,83	5,34
(%) MgO	2,98	3,11	3,36	3,11
(%) SiO ₂	0,68	1,03	0,68	0,89
(%) K ₂ O	0,10	0,06	0,04	0,07
(%) Fe ₂ O ₃	1,29	2,00	3,22	1,94
(%) MgO	3,00	3,10	3,40	3,08

48 = 48 malhas Tyler (0,296 mm).

325 = 325 malhas USBM (0,044 mm).



CURVA	SÍMBOLO	DEPRESSOR	DOSAGEM g/t	pH COND./ FLOT.	DOSAGEM DE TALL-OIL g/t
A	●	-	-	10,3	48
B	◐	goma guar	10	10,3	53
C	▼	TFS	50	10,3	53
D	○	Tanino	50	9,3	42
E	▲	CMC	10	10,3	58
F	◐	Ácido pa- drác	50	10,3	53
G	▼	Amido ceto	63	10,3	56
H	□	Gritz	50	10,3	53

RG=rougher

CL=cleaner

RC=recleaner

Figura 1. Influência de Vários Depressores no Desempenho da Flotação Aniônica Direta do Fosfato de Jacupiranga

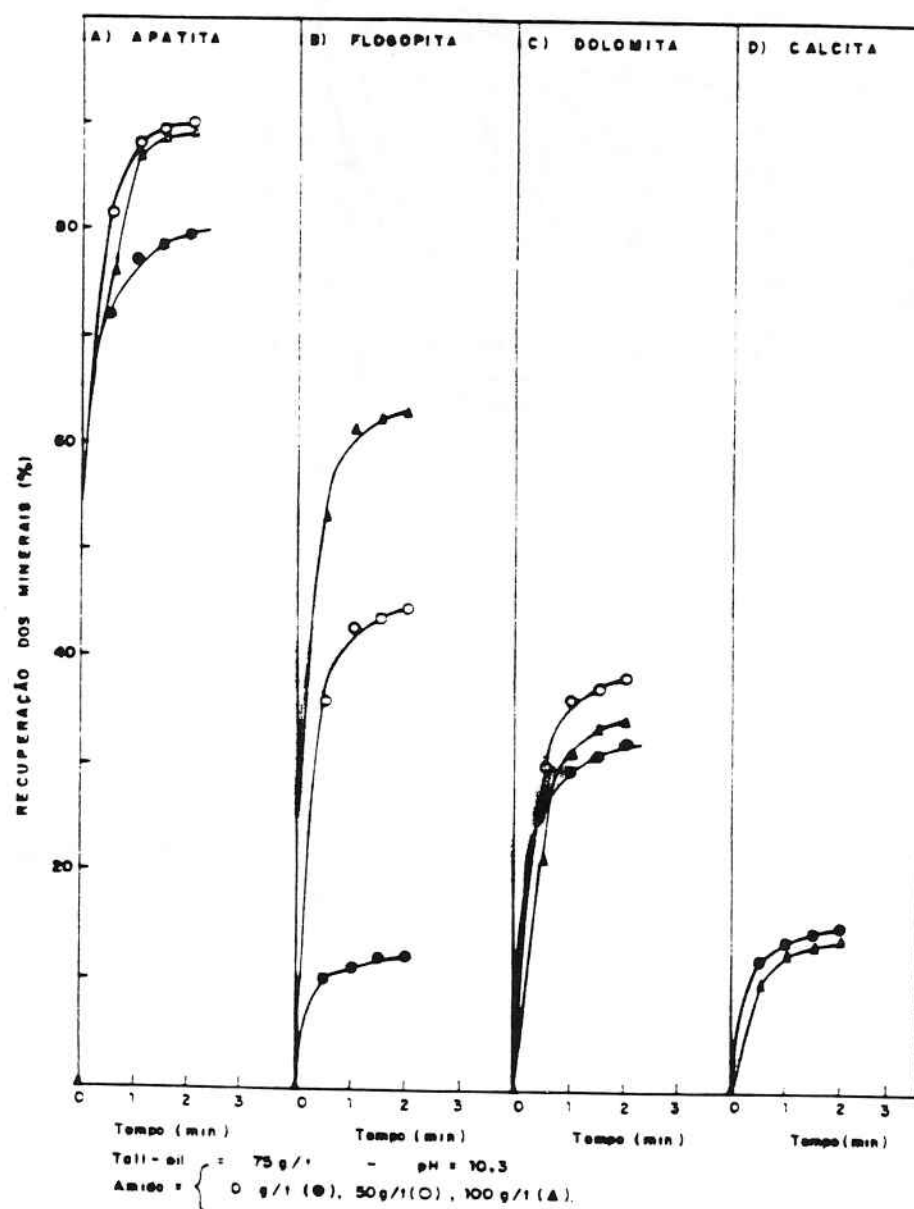


Figura 2. Recuperação dos Minerais Apatita, Calcita, Dolomita e Flogopita versus Tempo de Flotação sob Diferentes Dosagens de Amido

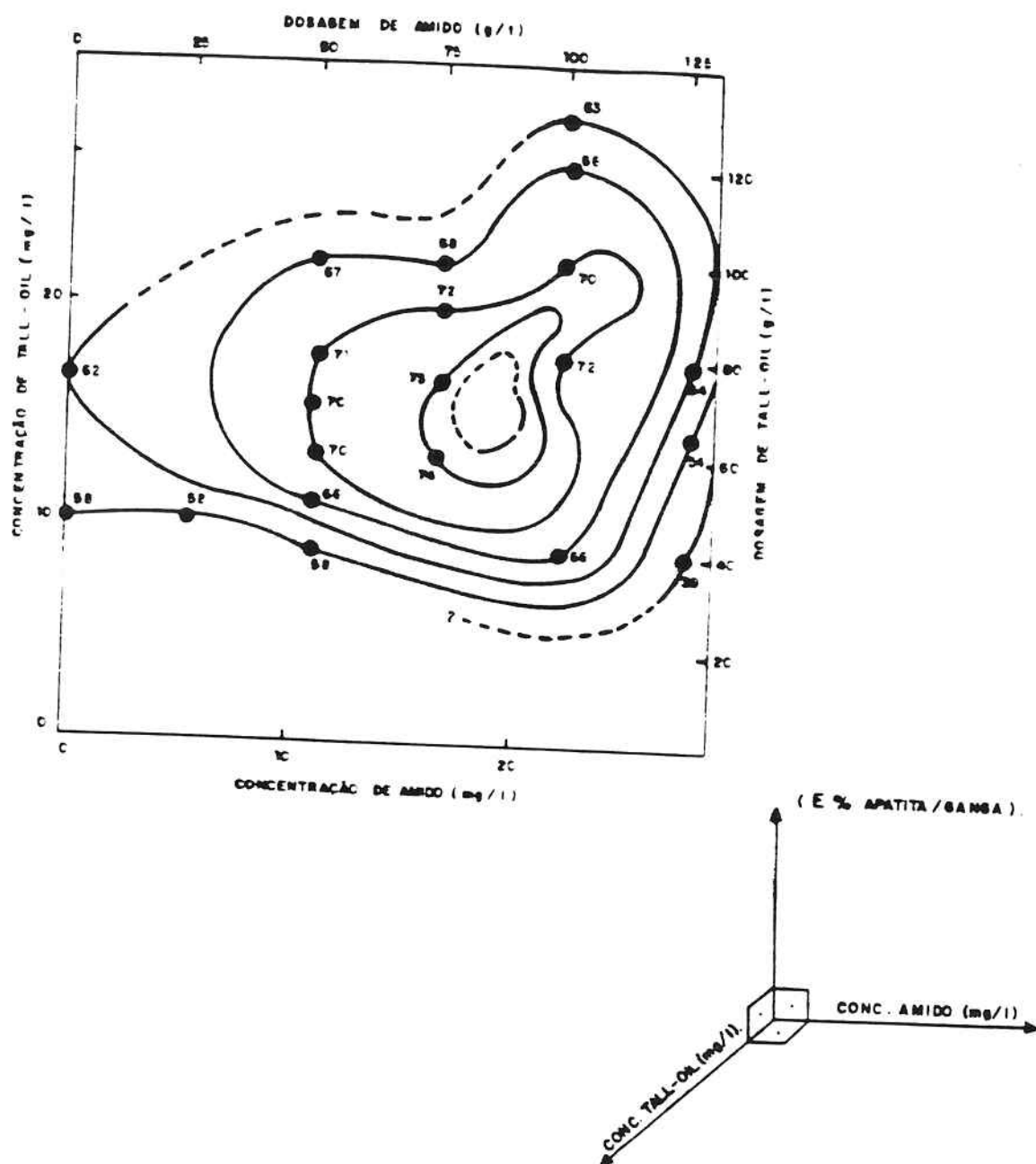


Figura 3. Eficiência (E) da Separação Apatita/Ganga Versus Concentração de Tall-Oil e Amido

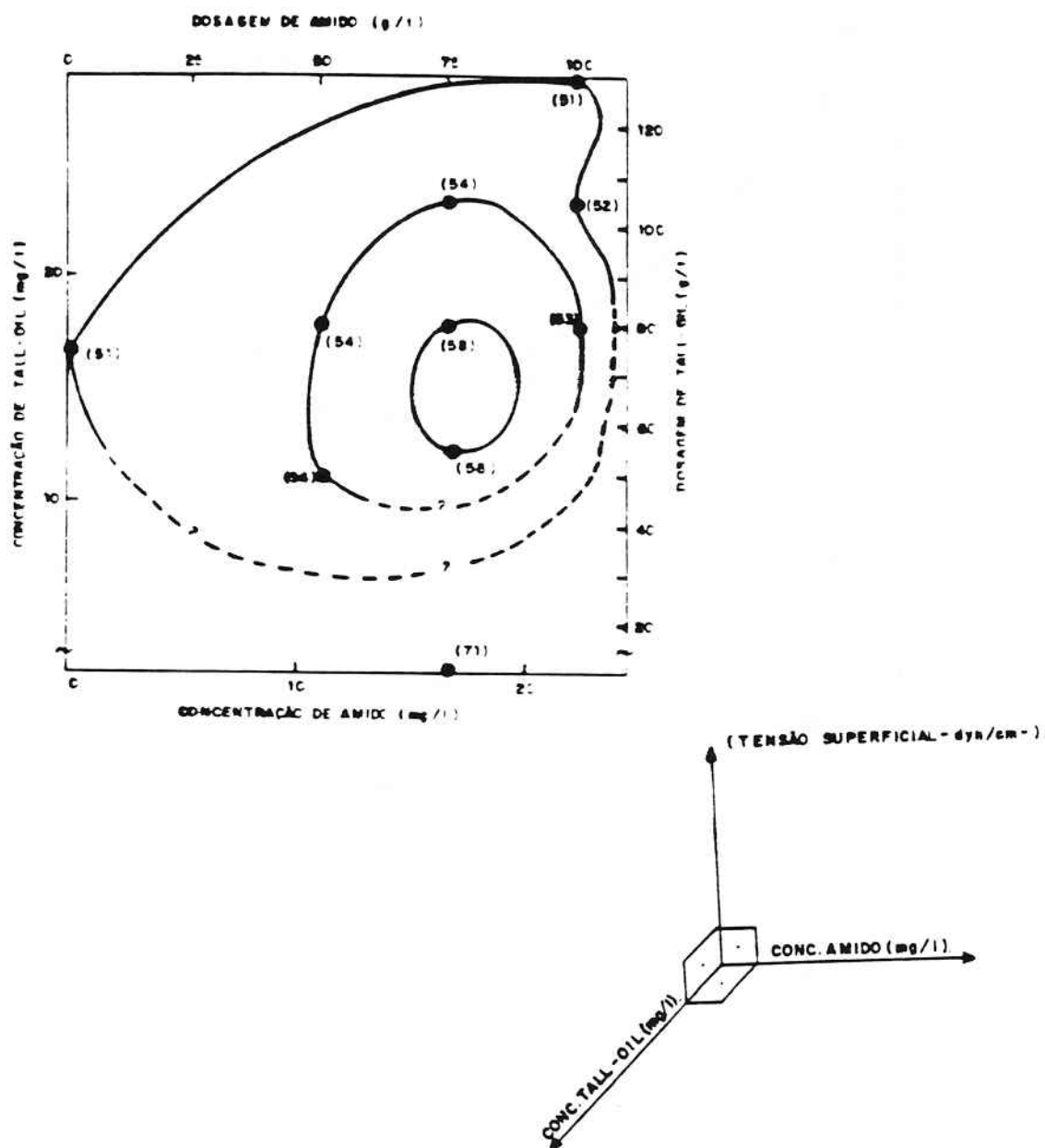


Figura 4. Tensão Superficial de Polpas de Flotação Versus Concentração de Tall-Oil e Amido

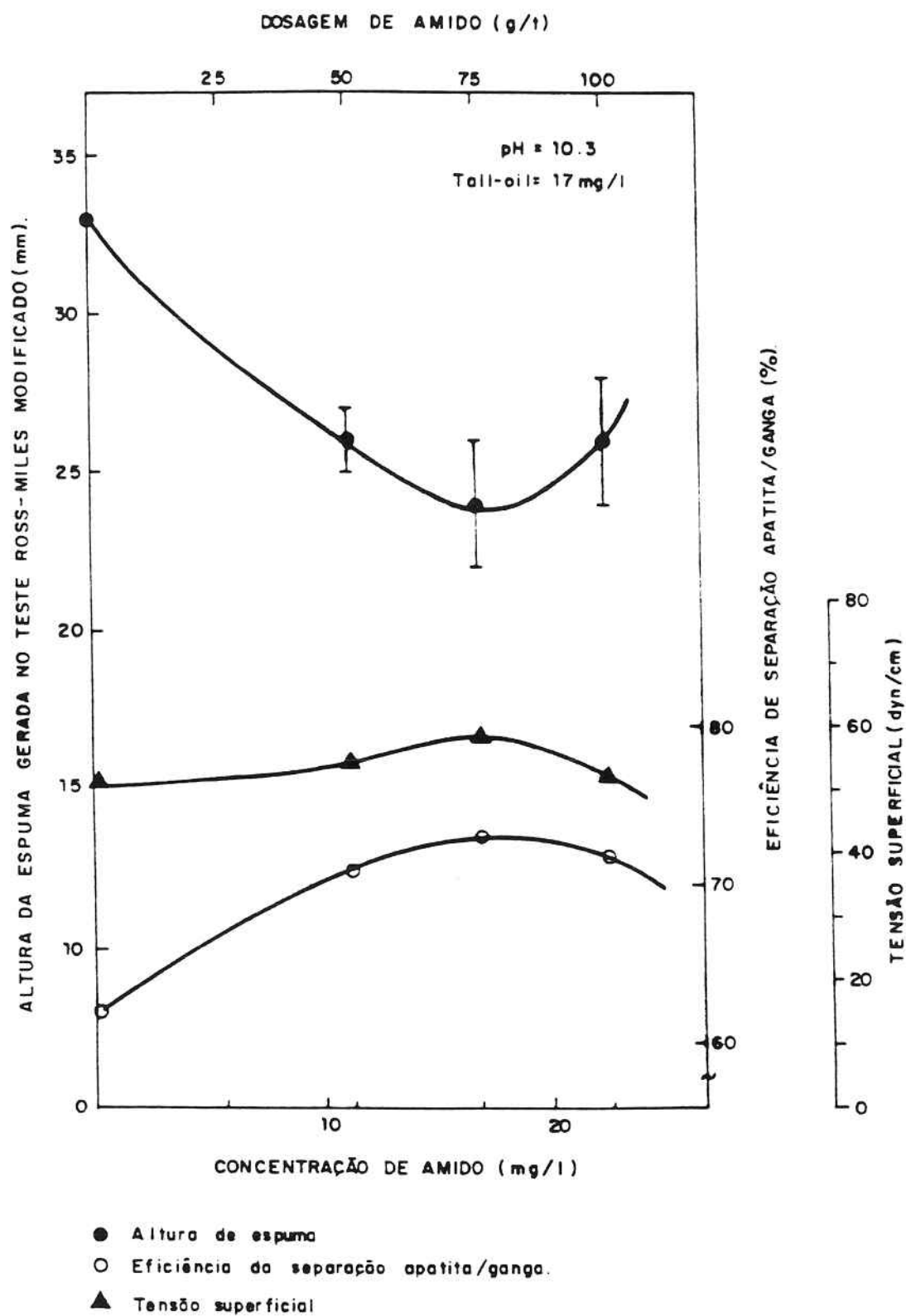


Figura 5. Altura de Espuma, Eficiência de Separação Apatita/Ganga e Tensão Superficial de Polpas de Flotação Versus Concentração de Amido

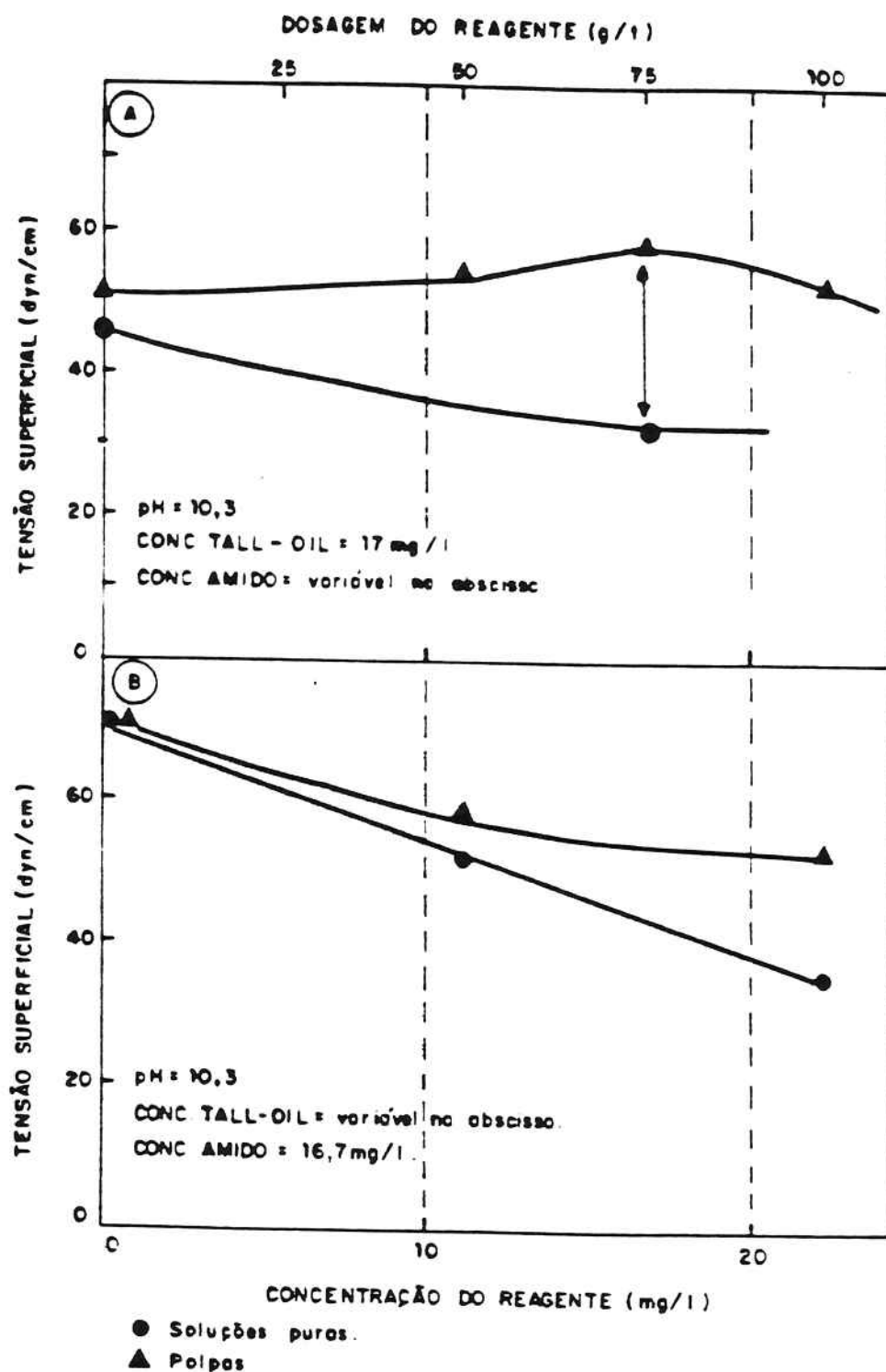


Figura 6. Tensão Superficial de Polpas de Flotação e Soluções Puras Versus:

- (a) Concentração de Amido
- (b) Concentração de Tall-Oil

BOLETIM TÉCNICO - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo da Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo do Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Conditional Simulation Method for Design of Blending Piles - FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES

