

Nícolas André Ferroni de Siqueira

Pesquisa sobre as causas da flotação deficiente de um fosfato de Cajati-SP.

São Paulo

2012

Nicolas André Ferroni de Siqueira

Pesquisa sobre as causas da flotação deficiente de um fosfato de Cajati-SP.

Trabalho de Formatura em Engenharia
de Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas
e de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Laurindo de Salles
Leal Filho

São Paulo

2012

TF-2012

Si 75p

Supno 2448542

H2012j

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009740

Siqueira, Nicolas André Ferroni de

**Pesquisa sobre as causas da flotação deficiente de um fosfato de Cajati-SP / N.A.F. de Siqueira. -- São Paulo, 2012.
30 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

**1. Flotação de minérios 2. Mineralogia 3. Fosfato – Cajati (SP)
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.**

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Dedico este trabalho àqueles que me
ensinaram a mirar longe, meus pais.

Primeiramente agradeço a pessoa que orientou todas as etapas deste trabalho, meu professor e orientador Dr. Laurindo de Salles Leal Filho.

Agradeço também ao total apoio de minha namorada Fabiana.

A meus amigos que estiveram ao meu lado nesses últimos meses Carla, Stella, Felipe e Thammiris.

A toda equipe do LFQI que me apoiou sempre que precisei André , Daniela, Ivani , Simone e Kelly.

RESUMO

Xenólitos (do grego antigo: "rocha estranha") são inclusões em rochas ígneas ocorridas durante a acomodação e erupção do magma. No corpo do minério de fosfato de CAJATI-SP, os xenólitos são encontrados em blocos aleatoriamente distribuídos de jacupiranguito (rocha composta essencialmente por silicatos) dentro de uma matriz de carbonatito (uma rocha composta predominantemente por carbonatos e apatita). Por apresentarem mineralizações de apatita, os xenólitos representam parte significativa dos recursos do depósito de fosfato. Quando a planta de flotação industrial de Cajati é alimentada com o minério de fosfato, rico em xenólitos (XPO), o desempenho da flotação cai se comparado ao minério de fosfato Padrão (SPO). O XPO é mais rico em silicatos (flogopita, diopsídio, forsterita) que o SPO, sendo capaz de liberar duas vezes mais Mg na solução da flotação que o minério padrão. Tal capacidade pode ser devida ao elevado teor de flogopita, um mineral que apresenta pronunciada capacidade de trocar cátions com o meio aquoso, se comparado com outros silicatos que ocorrem na mina de Cajati. Ensaios de flotação em escala de laboratório com SPO versus XPO confirmaram o mau desempenho observado em escala industrial para o XPO. Embora o ajuste da dosagem de reagentes com o objetivo de melhorar o desempenho da flotação do XPO seja uma prática comum adotada pela Vale, a recuperação de P_2O_5 continua sendo menor do que a observada para o SPO. O mau desempenho da flotação observado com o XPO em escala de laboratório corrobora seu caráter problemático e sua solução constitui um desafio para a tecnologia mineral brasileira.

Palavras-chave: Flotação de minérios, Mineralogia, Fosfatos (Cajati-SP).

ABSTRACT

Xenoliths (from the ancient Greek: "foreign rock") are inclusions in igneous rocks during magma emplacement and eruption. In the phosphate ore body of Cajati-Brazil, xenoliths are random distributed blocks of jacupiranguite (a rock composed essentially by silicates) within a carbonatite matrix (a rock composed predominantly by carbonates plus apatite). Because xenoliths also nest apatite mineralization, they represent a significant part of the phosphate resources of the deposit. When the industrial flotation plant of Cajati is fed by a phosphate ore that is rich in xenolith (XPO), flotation performance becomes poorer than it is with the Standard Phosphate Ore (SPO). XPO is very much richer in silicates (phlogopite, diopside, forsterite) than SPO. It is able to place the double amount of Mg in flotation solution than the standard ore as well. Such ability may be due to its higher content of phlogopite, a mineral that shows outstanding capacity to exchange cations with aqueous medium if compared with other silicates that occur in the mine of Cajati. Flotation experiments carried out in laboratory scale with SPO versus XPO corroborate the same bad performance that has been observed in industrial scale. Although adjustment of reagent dosage aiming at improving flotation performance of XPO has been a common practice adopted by Vale, the recovery of P₂O₅ yielded by XPO under new dosage conditions continues to be poorer than SPO. The bad flotation performance shown by XPO corroborates its problematic nature and poses a challenge to the Brazilian mineral technology to solve it.

Keywords: Ore flotation, Mineralogy, Phosphate (Cajati-SP).

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	DESENVOLVIMENTO	11
2.1	Objetivos.....	11
2.2	Revisão bibliográfica.....	11
2.3	Materiais e métodos.....	15
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
3.1	Caracterização do minério.....	18
3.2	Solubilidade do minério em meio aquoso	20
3.3	Resultados de flotação: construção de uma linha base.....	23
4.	CONCLUSÕES.....	28

1. INTRODUÇÃO

Xenólitos (do grego antigo: "rocha estranha") são inclusões em rochas ígneas ocorridas durante a acomodação e erupção do magma. No corpo do minério de fosfato de CAJATI-SP (figura 1), os xenólitos são encontrados em blocos aleatoriamente distribuídos de jacupiranguito (rocha composta essencialmente por silicatos) dentro de uma matriz de carbonatito (uma rocha composta predominantemente por carbonatos, mais apatita). Por apresentarem mineralizações de apatita, os xenólitos representam parte significativa dos recursos do depósito de fosfato (Brumatti e Sant'Agostino, 2008).



Edilley Possente/FotoRepórter/AE

Figura 1: Mina de fosfato de CAJATI – SP.

Desde 1990 um minério de fosfato padrão (SPO), composto por rocha carbonática, tem sido concentrado por flotação aniônica por via direta em $\text{pH} = 10,6$. O esquema de reagentes adotado é constituído por amido de milho (depressor de carbonatos) e alquil sarcosinato de sódio que age como um coletor da apatita (Martins e Leal Filho, 2010). No entanto, quando a planta de flotação é alimentada por um minério problemático chamado Xenolith Phosphate Ore (XPO), o esquema de reagentes tradicional falha.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é descobrir as causas da flotação deficiente do minério Xenólito de CAJATI-SP (XPO).

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Silicatos são minerais com grande complexidade química e física, que formam cristais com diversas propriedades estruturais e composições químicas de acordo com a maneira em que os tetraedros silício-oxigênio polimerizam e o tipo de substituição isomorfa na rede cristalina. Devido a essas diferenças os silicatos podem formar superfícies hidrofóbicas (como talco e pirofilita), cargas fixas (ao longo do plano de clivagem de alguns filosilicatos) e superfícies com extensa substituição por íons metálicos, os quais levam a quebra das ligações Si-O controlando fortemente o comportamento da superfície do mineral (Fuerstenau et al, 1982).

A resposta à flotação dos silicatos é determinada por sua estrutura cristalina (Tabela 1) e natureza das superfícies clivadas. De acordo com Manser (Manser, 1975), a relação existente entre a estrutura do silicato e a resposta a flotação pode ser mais bem compreendida considerando os elementos extremos da classificação estrutural apresentada na Tabela 1: os orto- e tectossilicatos.

A quebra de cristais do grupo dos ortossilicatos deverá apresentar uma superfície com cátions metálicos (como Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+}) que possuem grande energia tanto para a adsorção de ácidos graxos (Fuerstenau et al, 1985) quanto para moléculas de amido (Raju et al, 1997; Raju

et al, 1998). Com a quebra dos tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$ as ligações Si-O serão menos frequentes nestes minerais.

Por outro lado, no domínio dos tectosilicato, não há como clivar partículas minerais sem quebrar as ligações Si-O ou Al-O. Essa clivagem da origem a locais ativos na superfície do silicato do tipo SiOH ou SiO-, que irão permitir a adsorção dos coletores catiônicos. Ao longo da classificação estrutural, representada na Tabela 1, espera-se que os grupos intermediários (localizado entre as orto- e tectosilicatos) apresentem um comportamento intermediário em resposta a flotação (Manser, 1975).

Tabela 1: Classificação estrutural dos silicatos e sua resposta à flotação

Classificação estrutural dos silicatos (Fuerstenau and others, 1982)		Resposta à flotação (Manser, 1975)	
Grupos	Arranjo estrutural	Aniônico	Catiônico
Ortossilicatos	Tetraedros independentes sem o compartilhamento de oxigênios	Boa	Medíocre (*)
Metassiliactos (piroxenios)	Duplas cadeias contínuas de tetraedros com o compartilhamento alternado de 2 e 3 oxigênios	Pobre	Medíocre (*)
Metassilicatos (anfíbólios)	Duplas cadeias contínuas de tetraedros com o compartilhamento alternado de 2 e 3 oxigênios	Nula	Boa (**)
Filossilicatos	Folhas contínuas de tetraedros que compartilham 3 oxigênios	Nula	Boa (**)
Tectosilicatos	Rede tridimensional de tetraedros que partilham todos os quatro oxigênios	Nula	Muito boa (**)

Resultados de microflotação realizados por Leal Filho e colegas (Leal Filho et al, 2002) com silicatos (schorlomite, diopsídio, hydrobiotite, quartzo e flogopita) e apatitas utilizando amido de milho (0-100mg/dm³) como depressor e oleato de sódio (100mg/dm³) como coletor em pH $\geq 9,5$ mostraram que uma separação bem sucedida entre apatita/silicatos é favorável quando o silicato envolvido é facilmente deprimido pelo amido de milho, como acontece com qualquer diopsídio (piroxênio) ou schorlomite (ortossilicato).

De acordo com os dados descritos na Tabela 1, as partículas de ortossilicatos e piroxênios são capazes de expor cátions metálicos na superfície (Al, Mg, Ca e Fe), após a ruptura. Raju e colegas (Raju et al, 1997; Raju et al, 1998) relataram que a adsorção de dextrina na interface mineral/água é fortemente dependente do pH, com intervalos de elevada adsorção presentes em torno do pH de hidroxilação do metal. Devido à hidrólise do metal da superfície dentro do intervalo de $9 < \text{pH} < 11$, (susceptível de ocorrer com Fe²⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ existentes na superfície de ortossilicatos e piroxênios após a quebra das partículas) a interação da superfície do mineral com as moléculas de amido é esperada. Na verdade, sua depressão foi marcadamente observada em experiências relatadas por Leal Filho e colegas (Leal Filho et al, 2002).

Por outro lado, ao contrário de ortossilicatos e piroxênios, flogopita e hydrobiotita (Tectossilicatos) são pouco deprimidos por amido, embora eles exibam cátions metálicos (Mg²⁺, Fe²⁺ e Al³⁺) na sua superfície após a clivagem e possam interagir com moléculas de amido através da complexação da superfície. A falta de interação, no entanto, pode ser explicada pelo hábito placóide e plano de clivagem paralelo à orientação cristalográfica ao longo da qual apenas um em cada oito dos íons de silício (Si⁴⁺) da rede hexagonal da sílica é substituído por íons de alumínio (Al³⁺). Outros cátions metálicos como Mg²⁺ são expostos apenas na aresta do cristal (Bailey, 1987).

A ativação de silicatos na flotação aniônica direta de apatita pode explicar o alto teor de SiO₂, MgO, Fe₂O₃ e Al₂O₃ no concentrado da flotação (Leal Filho et al, 2010). A adsorção de coletores aniônicos de cadeia longa (tais como sarcosinato de alquila e ácidos graxos) sobre silicatos parece envolver a hidrólise de cátions metálicos (M) presentes no bulk. Os complexos hidroxí

(MS^+ ou MOH_2^+) formados são fortes ativadores da superfície do mineral. Eles adsorvem fortemente sobre superfícies sólidas e podem inverter o sinal do potencial Zeta se a sua concentração for suficientemente elevada. Neste caso, as referidas espécies hidrolisadas podem funcionar como ativadores (Fuerstenau et al, 1985; King, 1982).

Em se tratando do processo de concentração do minério de fosfato de CAJATI-SP, a diminuição na seletividade da separação apatita/flogopita quando a flotação é realizada em $\text{pH} > 10$ pode ser devida à ativação da mica por MgOH^+ e CaOH^+ que estão presentes na solução (bulk) (Leal Filho, 1999; Leal Filho et al, 2002).

A ocorrência de cátions multivalentes na solução da flotação pode ser devido à composição natural da água ou a dissolução/capacidade de permuta de íons de minerais que compõem o minério. Concentrações típicas de cálcio e de magnésio, em alguns circuitos de flotação de fosfato industriais (fase rougher) pertencentes à Vale são apresentadas na Tabela 2.

Levando em consideração o circuito industrial de CAJATI-SP, a concentração de cálcio na solução de flotação ($\text{pCa}=3,3$; $\text{pMg}=3,8$) é suficientemente elevada para promover a ativação de flogopita (Leal Filho, 2002). Além disso, a capacidade dos tectossilicatos de trocar cátions com o meio aquoso pode ser outra fonte de contaminação da solução de flotação por espécies Mg^{2+} e Ca^{2+} (Assis, 2010).

Tabela 2: Concentrações típicas de cálcio e magnésio nas soluções de flotação no estágio rougher.

Local	Companhia mineira	pH de flotação	pCa	pMg
Cajati-SP	Vale	10.6	3.3	3.8
Araxá-MG		11.5	4.2	4.1
Tapira-MG		9.5	3.5	3.9
Catalão-GO	Anglo American	10.5	3.3	3.7

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de XPO (Figura 2) e SPO foram coletadas diretamente da planta industrial, após serem submetidas à moagem, peneiramento, separação magnética em baixo campo e deslamagem. Ambas as amostras não tiveram contato com reagentes de flotação antes da amostragem. No laboratório foram secas (40 °C), homogeneizadas em pilhas alongadas para testes de peneiramento (à úmido), análise química (fluorescência de raios X), e preparação de padrões para ensaios de flotação em bancada.



Figura 2: Amostra do minério Xenólito de Cajati-SP.

A determinação da solubilidade natural (concentração de Ca e Mg em solução) versus tempo para o XPO e o SPO foi realizada a 25°C com 500g do minério condicionado em 1.1L de água destilada ($6,0 < \text{pH} < 6,2$ e condutância específica = $7.8-10.2 \mu\text{S}/\text{cm}$) sob uma velocidade de rotação do impulsor de 18.3 s^{-1} , por um período de 15 min.

Ensaio de flotação em bancada (Figura 3) foram realizados com XPO versus SPO em condições padrão adotadas pela equipe de mineração do laboratório de análises da planta industrial de CAJATI-SP.

Procedimentos dos ensaio de flotação em bancada:

- Uma massa de 400 g de minério foi misturada a 0,8 L de água destilada.
- O pH natural da polpa foi medido e registrado.

- Solução de depressor (amido de milho = 130 g/t) foi adicionada ao sistema juntamente com NaOH, a fim de estabelecer um pH = 10,6.

- Depois de 5 minutos de condicionamento do depressor, 0,3L de água destilada foram vertidos para dentro da célula, seguido da adição de NaOH visando pH = 10,6. Coletor (Berol 867 = 100 g / t) foi adicionado à polpa com posterior condicionamento de 2 min.

- A flotação Rougher foi executada até a exaustão completa da espuma (tempo de flutuação é medido e registrado).

- A espuma gerada pelo estágio Rougher foi submetida a duas etapas adicionais (cleaner-1 e cleaner-2), sem a adição de qualquer outro reagente ao sistema, exceto água destilada.

- O concentrado final (flutuado cleaner-2) e rejeitos das etapas Rougher, Cleaner-1 e Cleaner-2 (afundado) foram secos, pesados e enviados para análise química (fluorescência de raios X).



Figura 3: Célula de flotação em bancada utilizada nos ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo discute e apresenta os resultados relacionados à química, mineralogia e distribuição granulométrica de partículas dos minérios SPO versus XPO (Seção 3.1), solubilidade (Seção 3.2) e seu comportamento frente às condições padrão de flotação (Seção 3.3).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO.

A composição química do SPO versus XPO é descrita na Tabela 3, pode-se observar que o XPO é mais rico em SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ e K₂O do que o SPO. Por outro lado o SPO é mais rico em P₂O₅, CaO e MgO do que o XPO.

Tabela 3: Composição química do SPO versus XPO (*)

Minérios	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O
SPO	5.43	43.67	7.32	4.32	1.31	0.50	0.27
XPO	4.16	40.13	7.07	9.16	2.24	1.06	0.41

Com base na composição química (Tabela 3) e as informações sobre a mineralogia fornecida pela literatura (Martins e Leal Filho, 2010; Brumatti e Sant'Agostino, 2010), é possível avaliar a composição mineralógica por estequiometria, como representado na Tabela 4.

Tabela 4: Avaliação da composição mineralógica do SPO versus XPO.

Minérios	%Apatita	%Carbonatos	%Silicatos	%Outros
SPO	13	77	8	2
XPO	10	68	21	1

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, o XPO é mais rico em silicatos que o SPO. Os silicatos mais importantes encontrados em ambos os minérios são espécies que possuem Mg, como: diopsídio, forsterita, flogopita e tremolita (Brumatti e Sant'Agostino, 2010).

Uma vez que a razão MgO/SiO_2 para XPO é muito menor do que para SPO ($0,77 \times 1,69$), é possível inferir que o SPO é mais rico em espécies com Mg (dolomite). Levando em consideração o fato de que o teor de K_2O indica a presença de flogopita, é possível concluir que o XPO possui aproximadamente duas vezes mais flogopita que o SPO.

Quanto à classificação estrutural de silicatos versus seu comportamento frente à flotação, representada na Tabela 1, é importante salientar que a forsterita é um ortossilicato, o diopsídio é um piroxênio, a tremolita é um anfibólio e a flogopita é um filossilicato. Desta forma, a polimerização do tetraedro de Si-O obedece à seguinte sequência: forsterita <diopsídio <tremolita <flogopita. De acordo com Manser (Manser, 1975), a forsterita e o diopsídio apresentam resposta boa e pobre à flotação aniônica, respectivamente. Por outro lado, ambos os minerais são susceptíveis a interagir com o amido e serem deprimidos (Leal Filho et al, 2002). A tremolita e a flogopita podem apresentar resposta nula à flotação com coletores aniônicos (Manser, 1975), exceto quando elas são ativadas por complexos hidroxí como $MgOH^+$ e $CaOH^+$ (Leal Filho et al, 2002). A flogopita não deverá interagir com o amido e, eventualmente, ser deprimida (Leal Filho et al, 2002).

A distribuição granulométrica das amostras dos minérios alimentados nos ensaios de flotação é exibida na Tabela 5. É importante salientar que os minérios apresentam distribuição granulométrica semelhante, uma vez que foram submetidos ao mesmo esquema de preparação realizado em escala industrial.

Tabela 5: Granulometria do SPO versus XPO.

Tamanho (μm)	SPO		XPO	
	Retido (%)	Acumulado (%)	Retido (%)	Acumulado (%)
+150	55	55	51	51
-150 +44	33	88	37	88
-44	12	100	12	100

3.2 SOLUBILIDADE DO MINÉRIO EM MEIO AQUOSO

A concentração de cálcio na solução em função do tempo em $\text{pH}=10,6$ (pH de polpa) está representado na Figura 4, onde é possível ver que o XPO é capaz de liberar mais cálcio em solução que o SPO no início dos experimentos de solubilidade. No entanto, após 15 minutos de contato com o meio aquoso, a concentração de cálcio em solução é a mesma para os dois minérios ($\sim 0,0008 \text{ mol/dm}^3$ ou $\text{pCa} = 3,1$). Essa concentração ao final é quase que o dobro do valor típico de concentração de cálcio na fase rougher da flotação na usina de Cajati representados na Tabela 2 ($\text{pCa} = 3,3$ ou $0,0005 \text{ mol/dm}^3$).

Considerando a capacidade do XPO versus SPO em liberar magnésio na solução da flotação (Figura 5), a concentração de magnésio produzida pelo XPO é notoriamente mais elevada do que a gerada pelo SPO, independentemente do tempo de condicionamento com o meio aquoso. Após 15

minutos de condicionamento, a concentração de magnésio em solução é de 0,00028 mol/dm³ (pMg = 3,6) para XPO contra 0,00013 mol/dm³ (pMg = 3,9) para SPO. De fato, o XPO parece mostrar uma maior capacidade de liberar magnésio na solução do que o SPO. Comparando estes valores com a concentração típica de magnésio na solução de flotação da planta industrial de CAJATI-SP (pMg = 3,8), é razoável apontar que a solubilidade do SPO se encaixa aos valores tradicionais do processo, enquanto que o XPO aumenta acentuadamente a concentração de magnésio na solução de flotação.

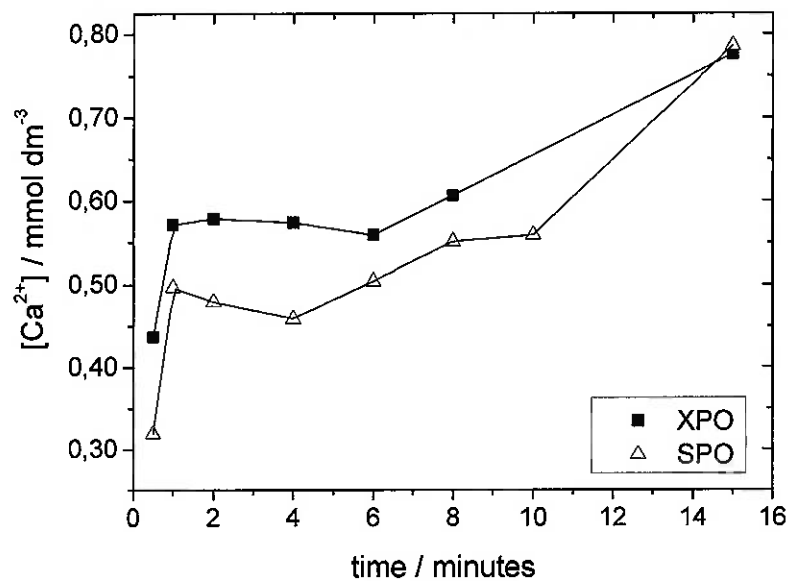


Figura 4 - Concentração de cálcio na solução versus tempo a 25 oC.

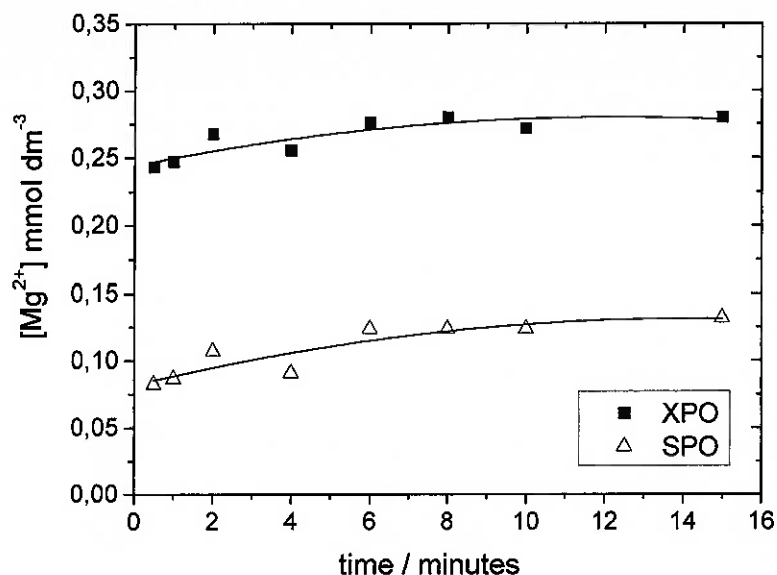


Figura 5 - Concentração de magnésio na solução versus tempo a 25 oC.

No que diz respeito à Figura 6, uma vez que a concentração de MgOH^+ atinge um máximo a $\text{pH} = 10,5$, é de se esperar que os íons MgOH^+ possam atuar como ativadores para a flotação de minerais de sílica, quando a flotação é feita em $\text{pH} = 10,6$. Por outro lado, não é esperado que CaOH^+ atinja a máxima concentração em $\text{pH} = 10,6$, mas sim em $\text{pH} = 13$ (Fuerstenau Fuerstenau e, 1982). No entanto, a precipitação no bulk de sarcosinato de cálcio seguida pela heterocoagulação de silicatos e de sarcosinatos de cálcio é uma hipótese que não pode ser ignorada (Finkelstein, 1989).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, o teor de K_2O no XPO é muito maior do que em SPO. Isto é um indício de que o XPO possui mais flogopita do que o SPO. De acordo com Leal Filho (Leal Filho, 2002), a flogopita apresenta excelente capacidade de trocar cátions com o meio aquoso, aumentando o teor de cálcio e de magnésio na solução. Deste modo, a maior concentração de Mg encontrada no sobrenadante produzido pela solubilidade do XPO pode ser explicada pelo elevado teor de flogopite no minério problema.

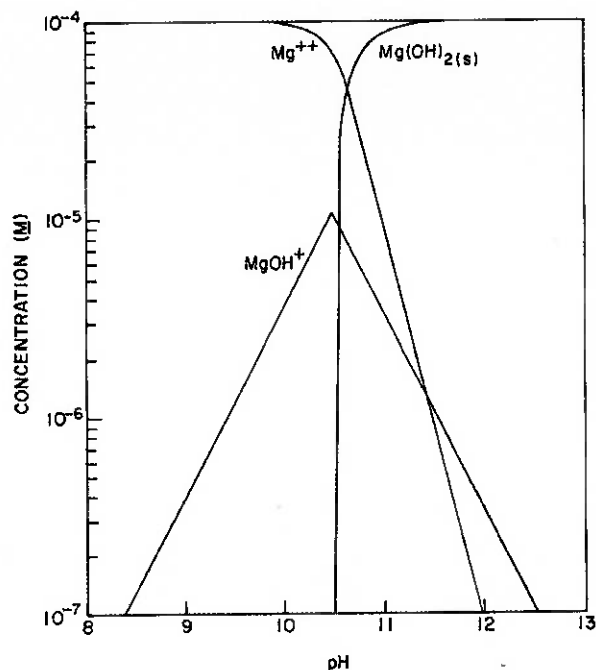


Figura 6 – Logaritmo da concentração de diferentes especiações do íon Mg versus pH para 1×10^{-4} mol/dm³ de Mg^{2+} .

3.3 RESULTADOS DE FLOTAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UMA LINHA BASE

Os resultados dos testes de flotação em bancada conduzidos em condições experimentais (depressor = 130g / t, coletor = 100 g / t, pH = 10,6), adequadas a flotação do minério padrão (SPO), mas não adequadas as características do minério problemático (XPO) estão apresentados na Figura 5.

É possível observar na figura 6 que o XPO exibiu menor recuperação de P_2O_5 que o SPO em todos os estágios de flotação: Rougher, Cleaner-1 e Cleaner-2. Os resultados da flotação do XPO versus SPO para o estágio rougher são ilustrados na Tabela 6.

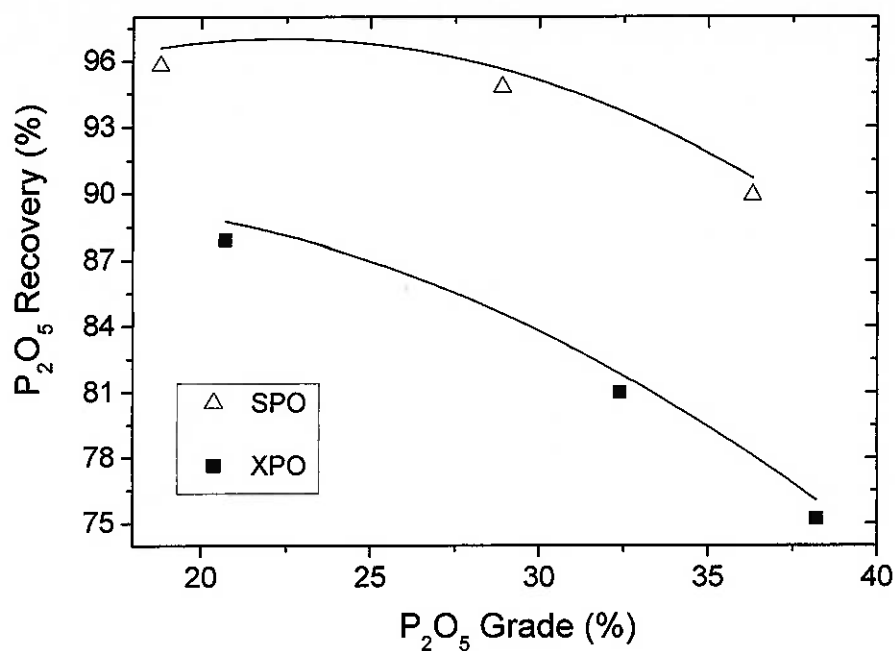


Figura 5 - Recuperação versus teor de P₂O₅ para os concentrados rougher, cleaner-1 e cleaner-2.

Tabela 6: Comportamento da flotação de XPO x SPO no estágio Rougher.

Minérios	Teor no flutuado (%)				Recuperação (%)				
	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	K ₂ O	Massa	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SiO ₂
SPO	18.8	6.26	4.03	<0,10	26.5	95.8	ND (*)	22.0	21.4
XPO	20.7	5.91	8.16	0.52	18.7	87.9	19.7	14.1	14.9

(*) Não determinado.

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 6, é importante ressaltar:

→ XPO apresenta maior teor de P_2O_5 do que o SPO (20,7% x 18,8%), com uma menor recuperação de P_2O_5 (87,9% x 95,8%);

→ O teor de MgO no concentrado rougher é similar para os dois minérios (6,26% x 5,91%). No entanto, é necessário salientar que a proporção MgO/SiO₂ para ambos os concentrados é de 0,72 x 1,55, o que indica que uma quantidade considerável de MgO no concentrado SPO é devido à flutuação de dolomita e não devido à flotação de silicatos com magnésio;

→ O concentrado obtido a partir do SPO apresentou um teor de K₂O (<0,10%) muito menor do que o obtido a partir do XPO (% K₂O = 0,52%). Desta forma, é possível inferir que a quantidade de flogopita no concentrado do XPO é muito maior do que no concentrado de SPO;

→ O conteúdo de SiO₂ no concentrado do XPO (8,16%) é o dobro do obtido no SPO (4,03%).

As mesmas tendências observadas no desempenho da flotação de XPO versus SPO na fase Rougher (Tabela 5) podem ser encontradas na etapa de cleaner-2 (Tabela 7), o que indica que o comportamento da apatita e de minerais de ganga foi semelhante tanto no rougher quanto nas etapas cleaner.

Tabela 7: Comportamento da flotação do XPO x SPO na etapa cleaner-2.

Minérios	Teor do flutuado (%)				Recuperação (%)				
	P2O5	MgO	SiO2	K2O	Massa	P2O5	K2O	MgO	SiO2
SPO	36.3	1.97	1.74	<0,10	12.9	89.9	ND (*)	3.4	4.5
XPO	38.2	1.25	1.77	0.14	8.7	75.2	2.5	1.4	1.5

(*) Não determinado.

Sempre que o minério problema (XPO) alimenta a planta de flotação, a equipe do processamento de minérios é obrigada a aumentar a dosagem tanto do depressor quanto do coletor. De acordo com informações fornecidas pela Vale, para a escala de laboratório, as condições de reagentes novos que lembram as adotadas no circuito industrial são:

→ Dosagem de fubá cresce de 130g/t para 150g/t;

→ Dosagem de coletor (Berol 867) deve ser aumentada de 100 g/t para 110g/t;

→ O pH da flotação é mantido (pH=10.6);

Estas novas condições de reagentes foram testadas em laboratório e o desempenho da flotação de XPO pode ser comparado com a condição anterior, os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Embora o processo de mudança na dosagem de reagente tenha sido capaz de melhorar a recuperação de P2O5 para o XPO ela ainda continua mais

baixa do que a produzida pelo SPO (81,8% x 89,9%), o que justifica o desenvolvimento de um novo sistema de reagentes para flotar o XPO.

Tabela 8: Comportamento da flotação do XPO x SPO na etapa cleaner-2.

Minérios	Teor do flutuado (%)				Recuperação (%)				
	P2O5	MgO	SiO2	K2O	Massa	P2O5	K2O	MgO	SiO2
SPO	36.3	1.97	1.74	<0,10	12.9	89.9	ND (*)	3.4	4.5
XPO-1(**)	38.2	1.25	1.77	0.14	8.7	75.2	2.5	1.4	1.5
XPO-2(***)	37.5	1.66	1.48	<0.10	9.8	81.8	ND (*)	2.1	1.6

(*) Não determinado.

(**) Fubá=130g/t; coletor=100g/t;

(***) Fubá=150g/t; coletor=110g/t.

4. CONCLUSÕES

O *Xenolith Phosphate Ore* (XPO) é muito mais rico em silicatos (flogopita, diopsídio, forsterita) do que o Standard Phosphate Ore (SPO). Além disso, o XPO é capaz de liberar na água de flotação uma quantidade duas vezes maior de íons Mg do que o SPO. Tal capacidade pode ser devida ao maior teor de flogopita, um mineral que apresenta excelente capacidade de trocar íons com o meio aquoso, se comparado com outros silicatos que ocorrem na mina de CAJATI-SP. Ensaios de flotação em bancada executados com o SPO versus XPO confirmaram o desempenho deficitário observado em escala industrial, quando a planta é alimentada com o XPO. Embora o ajuste da dosagem de reagentes com o objetivo de melhorar o desempenho da flotação do XPO ser uma prática comum adotada pela Vale, a recuperação de P_2O_5 gerada pelo XPO, em condições de dosagem novas reproduzidas em escala de laboratório, continua a ser mais pobre do que o SPO. Este fato justifica o desenvolvimento de um esquema novo de reagentes para se adequar às características peculiares do minério problemático.

REFERÊNCIAS

Assis, S.M., Brandão, P.R.G.; Leal Filho, L.S., Coelho, E.M., (2010). *The influence of micas and related minerals on the direct anionic flotation of apatite* in: Zhang, P., Swager, K., Leal Filho, L.S., El-Shall, H. (Eds), Tapira mine, Brazil-Part 1, *SME*, Littleton, pp.35-42.

Bailey, S.W., (1987). *Classification and structures of micas*, in: Bailey, S.W., (Eds), Micas, second ed., *Mineralogical Society of America*, Chelsea, pp. 1-12.

Brumatti, M., Sant'agostino, L.M., (2010). *Applied mineralogy supporting silicates removal from apatite ore at Cajati Mine São Paulo*, in: Zhang, P., Swager, K., Leal Filho, L.S., El-Shall, H., (Eds), Beneficiation of phosphates: technology advance and adoption, *SME*, Littleton, pp. 241-249.

Finkelstein, N.P. (1989). *Review of the interactions in flotation of sparingly soluble calcium minerals with anionic collectors. Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, Section C, 9, 157-178.

Fuerstenau, D.W., Fuerstenau, M.C., (1982). *The flotation of oxide and silicate minerals*, in: King, R.P. Principles of flotation, *South African Institute of Mining and Metallurgy*, Johannesburg, South Africa, pp. 109-158

Fuerstenau, M.C., Miller, J.D., Kuhn, M.C., (1985). *Chemistry of flotation*, *SME*, New York, pp. 90-118.

King, R.P., (1982). *Principles of flotation*, *South African Institute of Mining and Metallurgy*, Johannesburg, South Africa.

Leal Filho, L.S., (1999). *Influence of some modifying agents on the separation apatite/silicates by froth flotation*, in: Zhang, P., El-Shall, H., Wiegel, R. (Eds), *SME*, Littleton, pp.53-62.

Leal Filho, L.S., Assis, S.M., Barros, L.A.F., Peres, A.E.C., (2002). *Activation and depression of silicates during anionic flotation of igneous apatites*, in: Zhang, P., El-Shall, H., Somasundaran, P. Stana, R., Beneficiation of Phosphates: Fundamentals and Technology, *The Society of Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.*, Littleton, pp. 55-65.

Leal Filho, L. S., Martins, M., Horta, D.G., (2010). *Concentration of igneous phosphate ores via froth flotation: challenges and developments, XXV International Mineral Processing Congress*, Brisbane 6-10 September 2010.

Manser, R.M., (1975). *Handbook of silicate flotation*. Warren Spring Laboratory, Stevenage, UK.

Martins, M., Leal Filho, L.S., Parekh, B.K., (2010). *Surface tension of flotation solution and its influence on the selectivity of the separation between apatite and gangue minerals*. *Minerals & Metallurgical Processing*, 26, 79-84.

Raju, G.B., Holmgren, A., Forsling, W. (1997). *Adsorption of dextrin at mineral water interface*, *Journal of Colloid and Interface Science*, 193, 215-222

Raju, G.B., Holmgren, A., Forsling, W. (1998). *Complexation mechanism of dextrin with metal hydroxides*, *Journal of Colloid and Interface Science*, 200, 1-6