TECNOLOGIA DE FLOTAÇÃO DOS CIMENTOS DE APATITA DA MINA DE FOSFATO DA COPEBRÁS

TEIXEIRA, M.F.L.[1], HENRIQUES, A.B.[2], SEGUIN, F. [3], RANGEL, L.V. [4], MILANEZI, B.P.

[5][1]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG-MG), Departamento Engenharia de Minas. email: miflteixeira@gmail.com

[2]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG-MG), Departamento Engenharia de Minas. email: abicalho@demin.ufmg.br

[3]CMOC International Brasil (GO), Copebras. email: felipe.seguin@br.cmoc.com

[4]CMOC International Brasil (GO), Copebras. email: leonardo.rangel@br.cmoc.com

[5]CMOC International Brasil (GO), Copebras. email: fbruno.palharesmilanezi@br.cmoc.com

RESUMO

Melhorar a produtividade das Usinas de Beneficiamento de Fosfato, atendendo os parâmetros de qualidade necessários às unidades produtivas de fertilizantes é um desafio. A melhor proporção dos materiais geológicos a serem lavrados e homogeneizados é necessária para otimizar produtividade e estabilidade no beneficiamento. O perfil de alteração do depósito da mina Chapadão possui cerca de 100 metros de espessura e é subdividido em três tipos básicos, do topo para a base, coincidindo com intensidade decrescente de intemperismo: minério oxidado, minério micáceo e rocha alterada, em cada porção deste perfil de alteração, principalmente próximo aos contatos entre essas três divisões, encontram-se materiais duros, cimentados pelos minerais apatita, quartzo, goethita, monazita e barita. Neste trabalho os principais cimentos do depósito foram caracterizados, no estudo os cimentos de quartzo e de quartzo com goethita demonstraram contribuir negativamente na flotação, onde foi detectado impacto negativo na qualidade do concentrado de apatita para os dois tipos de cimento, e na recuperação para o cimento de quartzo. Os cimentos de apatita e de apatita com quartzo demonstraram resultados positivos na flotação, com recuperações mássicas superiores a 80%, recuperações de P_2O_5 acima de 90% e qualidade do concentrado de apatita dentro dos limites especificados.

PALAVRAS-CHAVE: Apatita, Cimentos, Duro, Flotação, Geometalurgia.

ABSTRACT

Improving the productivity of the Phosphate Beneficiation Plants, meeting the quality parameters required for Fertilizer Production Units is a challenge. The best proportion of the geological materials to be plowed and homogenized is necessary to optimize productivity and stability in the beneficiation. The change profile of the Chapadão mine deposit is about 100 meters thick and is subdivided into three basic types, from top to bottom, coinciding with decreasing intensity of weathering: oxidized ore, micaceous ore and altered rock in each portion of this profile of alteration, mainly close to the contacts between these three divisions, are hard materials, cemented by minerals apatite, quartz, goethite, monazite and barite. In this work the main deposit cements were characterized, in the study the Quartz and quartz cements with goethite showed to contribute negatively under flotation, where a negative impact on apatite concentrate quality was detected for the two types of cement, and recovery for the quartz cement. The apatite and apatite cements with quartz showed positive results under flotation, with mass recoveries higher than 80%, recoveries of P_2O_5 above 90% and quality of the apatite concentrate within the specified limits.

KEYWORDS: Apatite, Cements, Hard, Flotation, Geometallurgy.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um gigante no setor agrícola e a alta dependência do país em importações de fertilizantes é uma fragilidade (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008). O fato de 80% das jazidas de fosfato no Brasil ser de origem ígnea dificulta a exploração econômica, as usinas de beneficiamento são influenciadas pela composição do minério, isso porque esses minerais apresentam diferentes classificações e especificidades em suas composições que impactam na flotabilidade e seletividade durante o processamento (BARROS; FERREIRA; PERES, 2008).

Para obter êxito nos produtos oriundos das indústrias de fertilizantes, especificações sob contaminantes no concentrado de apatita são requeridas. A utilização do minério de apatita inicia-se desde o conhecimento do depósito de minério até a obtenção dos produtos fertilizantes. É necessário envolvimento sólido entre conhecimento geológico, conhecimento de mineração e conhecimento de processos químicos. A diferença do enfoque observada em cada área, faz com que seja necessário a elaboração de um planejamento em conjunto, na busca de otimização de todo processo produtivo minero-químico. A integração das três áreas conduz em melhores resultados de produtividade e impacta em menor custo operacional para cada área envolvida.

O aspecto motivador para a realização desse trabalho é o entendimento do impacto em eficiência e qualidade na flotação desses materiais.

Neste trabalho foram realizadas caracterizações dos cimentos de apatita e uma amostra da pilha 80 processada em 2017. Essa pilha foi utilizada como referência e além da caracterização mineral foram realizados testes de flotação padrão com a adição percentual crescente dos cimentos mais presentes no depósito na pilha referência com objetivo de avaliar o impacto em eficiência e em qualidade do concentrado final de apatita.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização Mineralógica

As amostras de alimentação e de flotação foram caracterizadas mineralogicamente, submetidas a análises por fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) juntamente com análise de espectrometria de raios-X (EDS). As medidas de fluorescência de raios-X (FRX) foram realizadas num espectro Bruker S8 TIGER WDXRF, equipado com tubo Rh. As medições de difração de raios-X (DRX) foram realizadas em um difratômetroBruker D8 Discover. A determinação da composição modal mineral foi realizada pelo método de Rietveld. As imagens foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-IT300 operado em alto vácuo, com voltagem de aceleração de elétrons de 15 kV. A inspeção composicional foi realizada utilizando a técnica de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), com um detector X-MaxN da Oxford Instruments.

2.2. Preparação de reagentes

O depressor utilizado é o amido de milho e sua gelatinização foi realizada com adição de hidróxido de sódio em temperatura ambiente a uma concentração de 7,5%. O Lioflot 567 da Miracema Nuodex, coletor de apatita utilizado nos testes, foi saponificado a 95 °C sob agitação a uma concentração de 6%.

2.3. Testes de Flotação

As amostras foram testadas em escala de bancada usando uma célula de flotação Denver de acordo com o procedimento interno PCT.13.001.050 da Copebrás/CMOC. A Figura 1 mostra o diagrama do procedimento e seus parâmetros operacionais. O concentrado final, os rejeitos e as saídas das etapas foram analisadas por FRX.

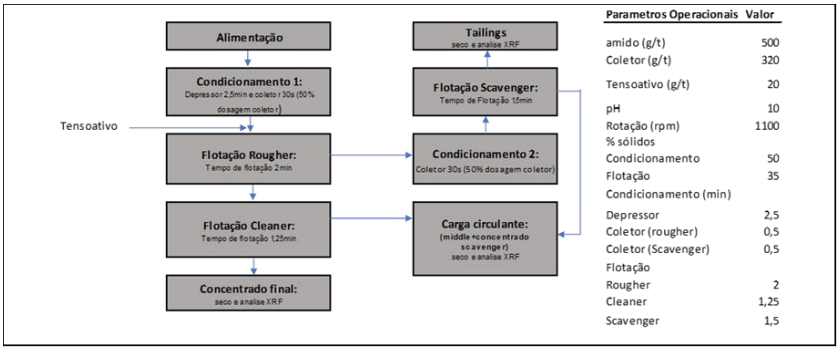


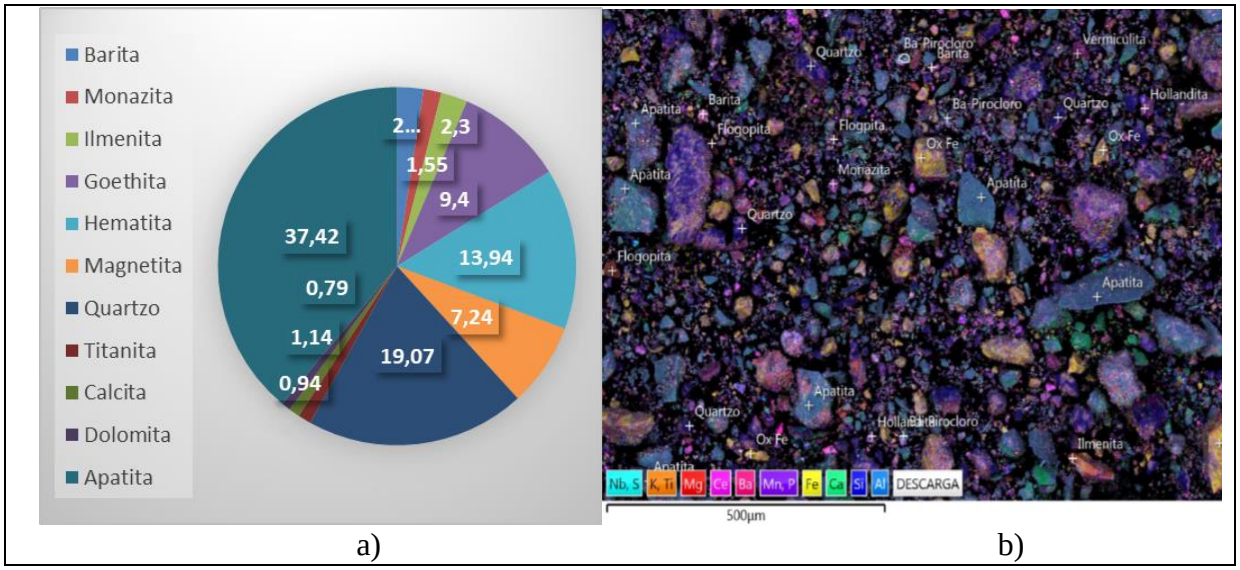
Figura 1. Procedimento PCT 13.001.05 Copebrás CMOC International/CMOC para testes de flotação de apatita em bancada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização Mineralógica

A pilha 80 processada em 2017 demonstra-se heterogênea entre as demais, por se tratar de um *blend (mistura)*, cerca de 70% desse *blend* é composto por apatita (37,42%), quartzo (19,07%) e hematita (13,94%).

- Pilha 80:

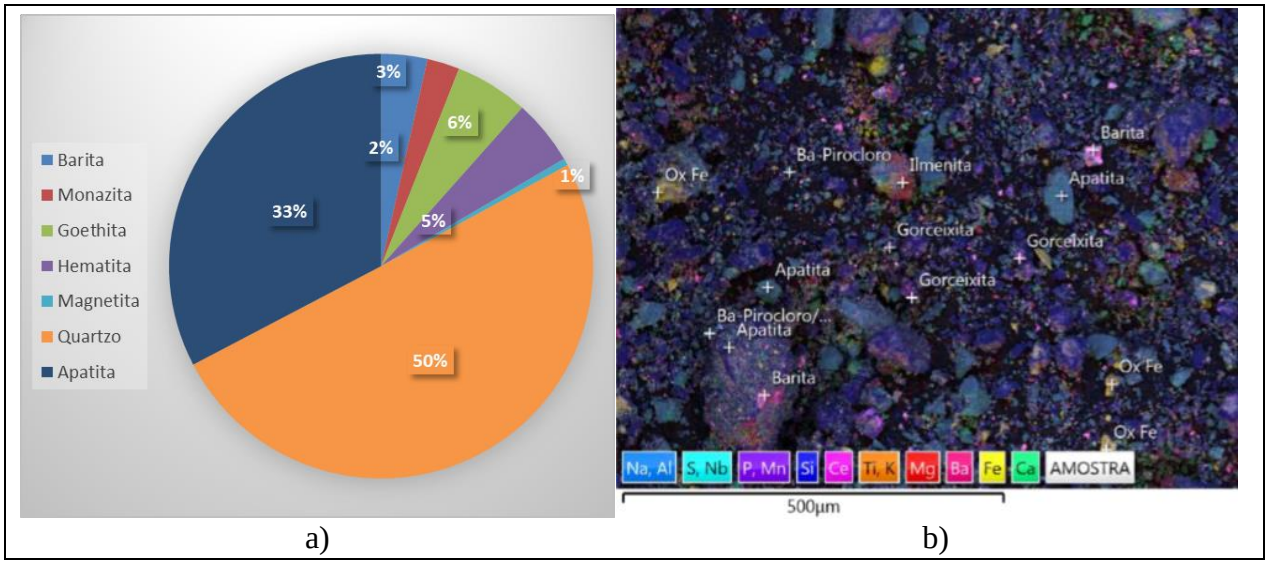


a) b)

Figura 2. Caracterização mineralógica da amostra pilha 80/2017. (a) análise quantitativa pelo método de Rietveld. Mapa composicional obtido por EDS da imagem MEV: (b) imagem global.

A amostra de Cimento de Quartzo apresenta mais de 80% da composição de Quartzo (50%) e Apatita (33%).

- Amostra de Cimento de Quartzo:

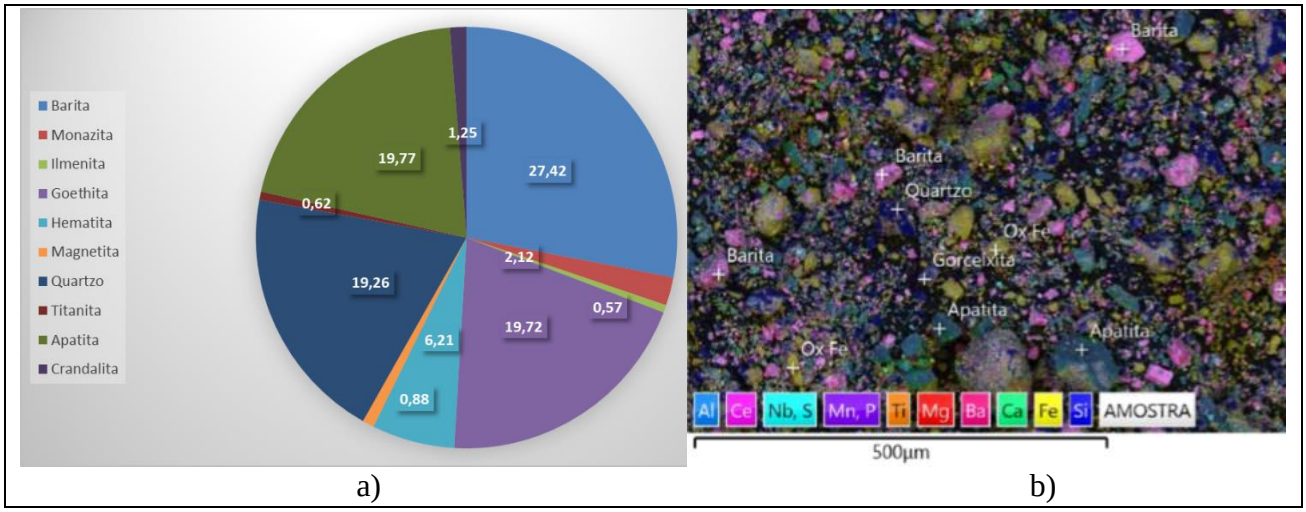


a) b)

Figura 3. Caracterização Mineralógica da amostra Cimento de Quartzo. (a) análise quantitativa pelo método de Rietveld. Mapa composicional obtido por EDS da imagem MEV: (b) imagem global.

A amostra de Cimento de Quartzo com Goethita é heterogênea, basicamente 85% de sua composição é composta por quatro tipos de minerais: barita (27,42%), ilmenita (19,77%), goethita (19,72%) e quartzo (19,26%).

- Amostra de Cimento de Quartzo com Goethita:

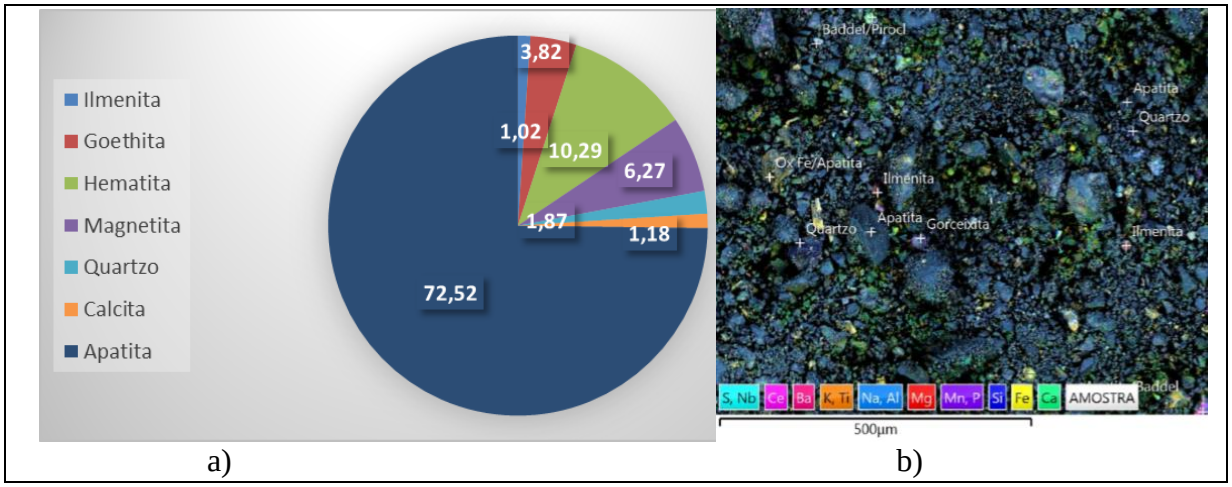


a) b)

Figura 4. Caracterização Mineralógica da amostra Cimento de Quartzo com Goethita. (a) análise quantitativa pelo método de Rietveld. Mapa composicional obtido por EDS da imagem MEV: (b) imagem global.

A amostra de Cimento de Apatita é mais de 70% composta por apatita pura.

- Amostra de Cimento de Apatita:

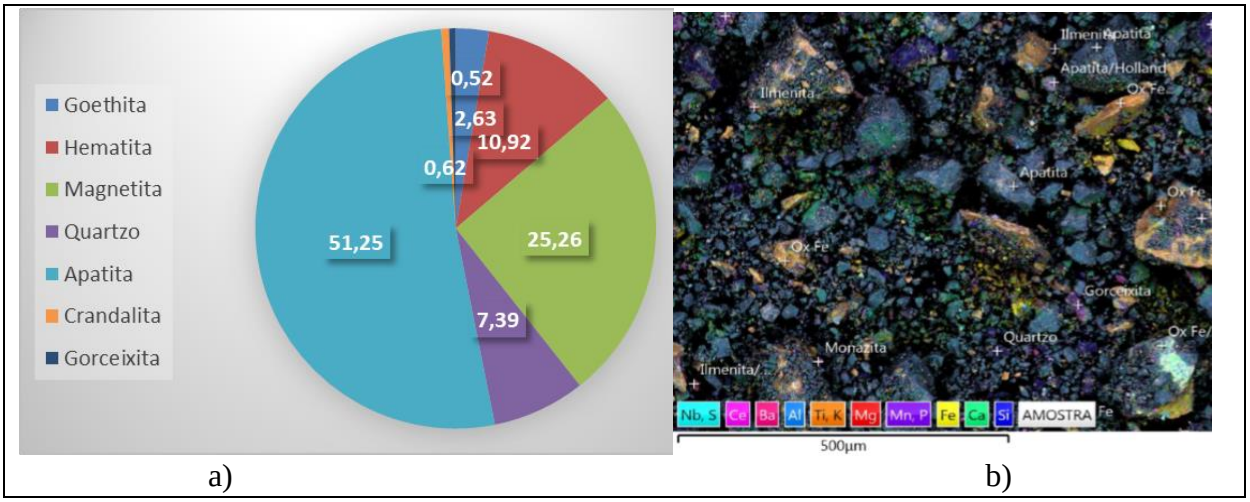


a) b)

Figura 5. Caracterização Mineralógica da amostra Cimento de Apatita. (a) análise quantitativa pelo método de Rietveld. Mapa composicional obtido por EDS da imagem MEV: (b) imagem global.

A amostra de Cimento de Apatita com Quartzo tem mais de 75% em sua composição de apatita (51%) e magnetita (25%).

- Amostra de Cimento de Apatita com Quartzo:



a) b)

Figura 6. Caracterização Mineralógica da amostra Cimento de Apatita com Quartzo. (a) análise quantitativa pelo método de Rietveld. Mapa composicional obtido por EDS da imagem MEV: (b) imagem global.

Tabela 1. Resultados de análises de FRX para as amostras pilha 80/2017, demais cimentos existentes no depósito de fosfato e especificação industrial do concentrado final.

Amostra \ Teor (%)	P_2O_5	CaO	Fe_2O_3	SiO_2	MgO	BaO
Pilha 80	14,87	18,91	34,81	17,35	1,23	1,06
Cimento de Quartzo	10,88	14,14	11,62	54,09	0,1	1,89
Cimento de Quartzo com Goethita	7,08	7,43	36,48	18,28	0,01	17,65
Cimento de Apatita	27,75	37,13	25,62	0,85	1,23	0,24
Cimento de Apatita com Quartzo	20,18	26,99	40,44	5,6	1,07	0,19
Especificação Concentrado final de Apatita	≥36,5	-	≤ 2,9	≤ 3,5	≤ 0.50	≤ 0,8

3.2. Testes de Flotação em bancada

Na figura 7 têm-se os resultados de eficiência (a) e de qualidade do concentrado final de apatita (b) encontrados nos testes padrão. O Cimento de Quartzo apresenta o menor desempenho em recuperação entre os demais, a amostra de Cimento de Quartzo com Goethita demonstra baixa seletividade, não atendendo a especificação da Tabela 1. O concentrado do Cimento de Quartzo também não atendeu aos limites especificados na Tabela 1. Os cimentos de Apatita e de Apatita com Quartzo apresentam recuperações mássicas superiores a 80% e recuperações metalúrgicas superiores a 89%, apresentando ainda resultados de teor de P_2O_5, Fe_2O_3 e SiO_2 no concentrado com qualidade mais elevada do que o especificado na Tabela 1.

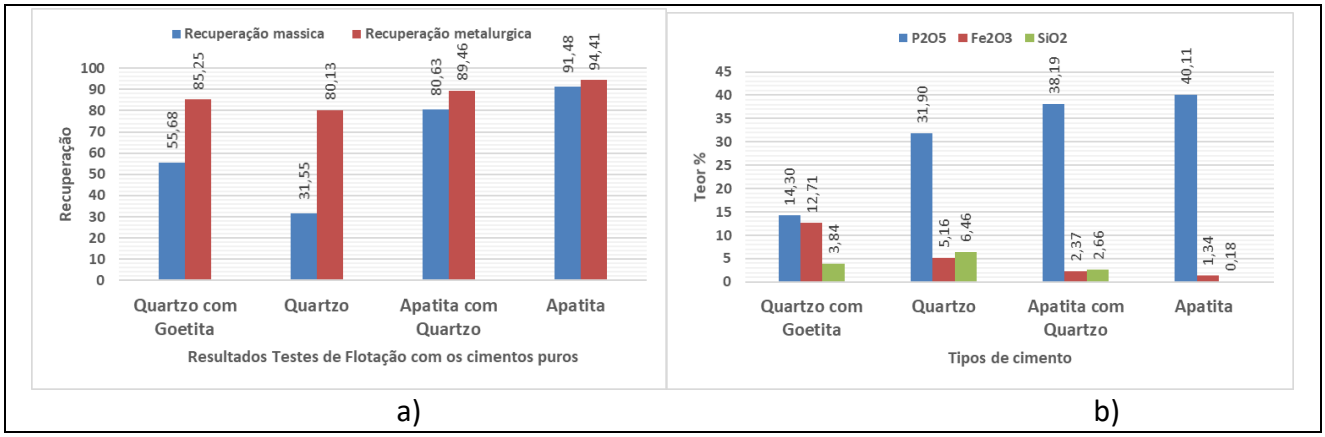


Figura 7. Teste de flotação padrão nos Cimentos sem *Blends* a) recuperação mássica e metalúrgica b) teor de P_2O_5, Fe_2O_3 e SiO_2 no concentrado final de apatita.

Na figura 8 observa-se que com o aumento do incremento de Cimento de Quartzo à pilha referência a eficiência da flotação de apatita reduz significativamente somado o impacto negativo na qualidade do concentrado final.

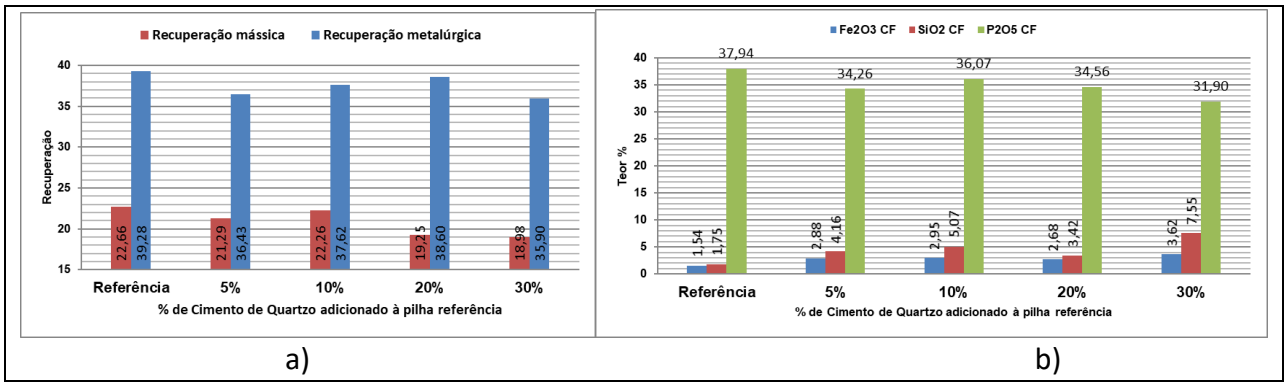


Figura 8. Teste de flotação padrão com a adição de Cimento de Quartzo à pilha Referência: a) recuperação mássica e metalúrgica b) teor de P_2O_5, Fe_2O_3 e SiO_2 no concentrado final de apatita.

Na figura 9 observa-se que o acréscimo de Cimento de Quartzo com Goethita causa baixa seletividade na flotação, resultando em não adequação na qualidade do concentrado de apatita especificada, condição ainda pior se comparado à adição Cimento de Quartzo ao *blend*.

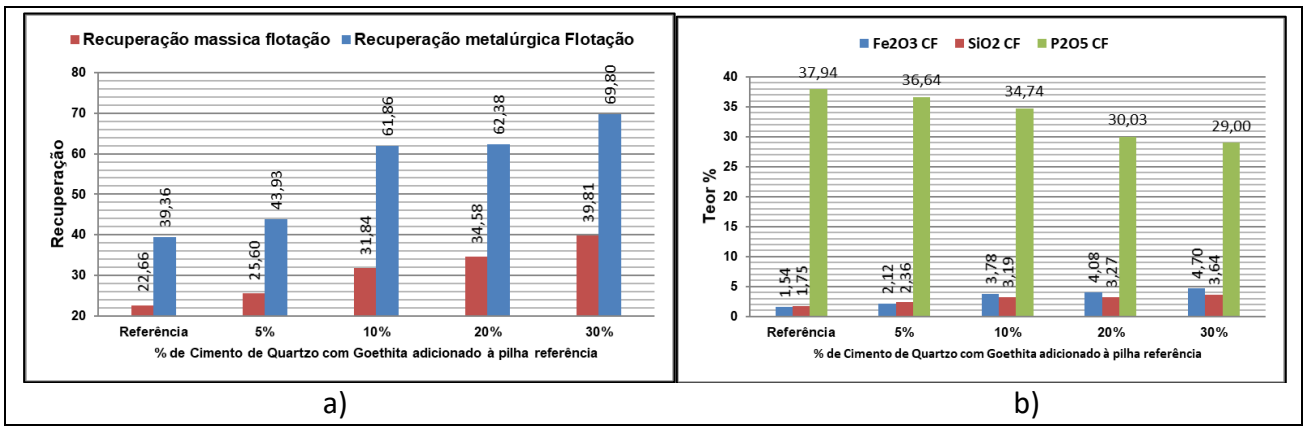


Figura 9. Teste de flotação padrão com a adição de Cimento de Quartzo com Goethita à pilha Referência: a) recuperação mássica e metalúrgica b) teor de P_2O_5, Fe_2O_3 e SiO_2 no concentrado final de apatita.

O teste padrão com as amostras de cimento de apatita, Figura 10, e de cimento de apatita com quartzo indicam uma contribuição positiva ao resultado da flotação. A medida que o percentual de desses cimentos aumenta na flotação têm-se uma curva ascendente positiva para os resultados de recuperação.

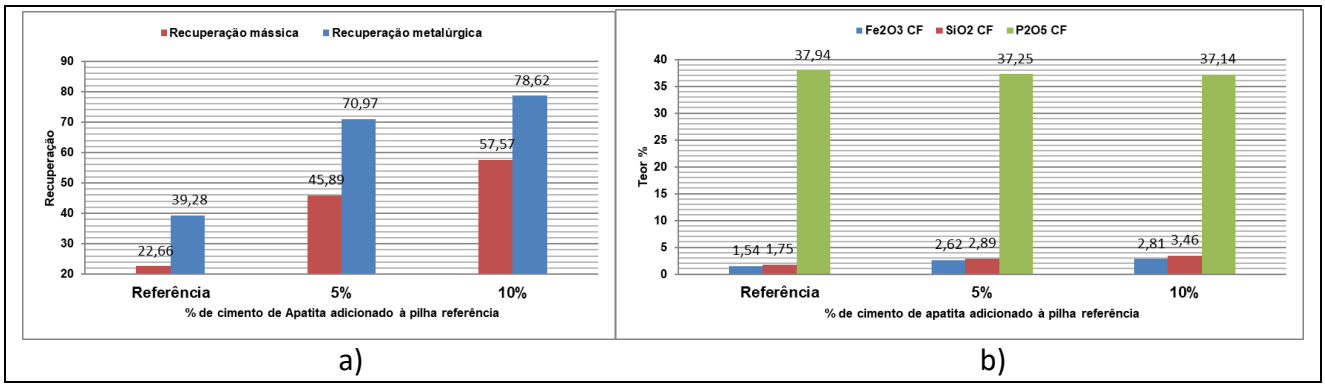


Figura 10. Teste de flotação padrão com a adição de Cimento de Apatita à pilha 80/2017 a) recuperação mássica e metalúrgica b) teor de P_2O_5, Fe_2O_3 e SiO_2 no concentrado final de apatita.

O Cimento de Quartzo juntamente com o Cimento de Quartzo com Goethita nas condições padrão de processamento diminuem a eficiência e a qualidade do concentrado de apatita produzido. Por outro lado, os cimentos de Apatita e de Apatita com Quartzo contribuem positivamente no processo de flotação.

4. CONCLUSÕES

Através do estudo conclui-se que a adição de Cimento de Quartzo e Cimento de Quartzo com Goethita ao *Blend* de minério possibilita impactos negativos na etapa de flotação: aumentando a probabilidade de menores recuperações neste estágio e dificuldade de atendimento a qualidade especificada do concentrado de apatita final.

Neste estudo especificadamente, a adição de Cimento de Quartzo em 5% ao Blend referência impactou em acréscimo no teor de SiO_2 no concentrado final de 1,75% para 4,16%, impactando em teores de P_2O_5 menor que 35%. A adição de 30% de cimento de quartzo ao blend, impactou não somente o aumento do teor de SiO_2, 7,55%, mas também no aumento de teor de Fe_2O_3 acima da especificação, 3,62%, diluindo o teor de P_2O_5 para 31,9%, fora do especificado na Tabela 1. Além

disso, a adição de 10% de cimento de quartzo neste blend reduziu a recuperação mássica em 6%, e ainda, a adição de 20% deste cimento impactou em redução de 15% em recuperação mássica na flotação.

Para o cimento de quartzo com goethita observado que o acréscimo em 5% neste blend especificadamente, impactou positivamente em recuperação mássica, cerca de 12% de acréscimo, mantendo a qualidade conforme especificação da Tabela 1. A partir de 10% de acréscimo a seletividade na flotação foi impactada negativamente, em massa a recuperação deste estágio aumentou em 40%, porém com atingimento de teores de P_2O_5 de 34,7% e Fe_2O_3 de 3,78% (fora da especificação). Desse ponto em diante o acréscimo de cimento de quartzo com goethita impactou em aumento de massa recuperada impactada pela baixa seletividade: em 30% da adição deste cimento ao blend obteve-se teor de P_2O_5 de 29% e Fe_2O_3 de 4,7%. O cimento de quartzo com goethita possui forte tendência linear negativa em relação a seletividade, porém sugere-se mais estudos com blends diferenciados adicionando proporções de até 5% deste cimento ao blend para avaliar a possibilidade de aproveitamento deste recurso no processo atual.

Os Cimentos de Apatita e de Apatita com Quartzo contribuem positivamente ao *blend* na flotação no que se refere a eficiência e seletividade.

Para se produzir os volumes orçados atualmente e atender à qualidade especificada, sugere-se estudar uma rota de processamento particular para o cimento de quartzo e explorar mais o estudo de blends com a adição de cimento de quartzo com goethita em contribuições de até 5%, afim de se avaliar limites e impactos toleráveis para aproveitamento deste recurso no processo de concentração.

5. REFERÊNCIAS

Albuquerque, R.O., 2010. Process alternatives for the flotation of the Itataias phosphorous-uraniferous ore. Ph.D. Thesis, CPGEM/UFMG, 201 p.

ANDA, 2018. Availableat http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por

Chaves, A.P., Leal Filho, L.D.S. and Braga, P. F., 2010. Flotação. In: Tratamento de Minérios, 5ª Edição/Ed. Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina Alves França - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 963p.

Fonseca, D.S., 2016. Fosfato. In: Sumário Mineral 2015. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasil, pp. 70-71.

Gentry, R.P., Miller, W.J. andPugh, D.G., Neathery, M.W., Bynum, J.B., 1978. Effects of feeding high magnesium to young dairy calves. JournalofDairy Science, 61(12): 1750-1754.

Guimarães, R.C., Araújo, A.C., Peres, A.E.C., 2006. Column Flotation: a key to the production of apatite concentrates from slimes. In: Beneficiation of phosphates Technology and Sustainability, 1st ed. Society of Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., Littleton, v. 1, 135-143.

Monteiro, M.F., 2008. Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples. M.Sc. Thesis, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 179 p.

Paiva, P.R., 2011. Propriedades de superfície da apatita provenientes de rochas de filiação carbonatítica e sua concentração por flotação. Ph.D. Thesis, UNB/Brasília, 163 p.

Saab, A.A., e Paula, R.A., 2008. O mercado de fertilizantes no brasil: Diagnósticos e propostas de políticas. Revista de Política Agrícola, 17(2): 5-24.

Silva, E.M.S., Peres, A.E.C., Silva, A.C, Elwert, T. and Tuchtfeld, S., 2017. Apatite flotation using sorghum as depressant. In: XVII Balkan Mineral Processing Congress Proceedings, Istambul/Turkey, pp. 411-421.

Silva, A.C.; Teixeira, M. F. L. ; Milanezi, B. P. ; Melo Filho, A. H. P. ; Araújo, T. D. A. ; Borges Júnior, W. F. ; Silva, E. M. S. . Milling of the phosphate rock flotation circuit circulating load aiming production increase and iron content reduction in the final concentrate. In: Beneficiation of Phosphates VIII, 2018, Cape Town, South Africa. Proceedings of the Beneficiation of Phosphates VIII. New York, USA: Engineering Conferences International, 2018. v. 1. p. 1-12.