

ESTUDO GEOMETALÚRGICO DE FOSFATO PARA MAIOR EFICIÊNCIA NA RECUPERAÇÃO METALÚRGICA E AUMENTO DA VIDA ÚTIL DE UMA MINERADORA NO ESTADO DE GOIÁS

Janaina Pereira de Lima¹
Gaspar Moreira Braga Junior²

382

Resumo: Este projeto de pesquisa foi realizado em empresa mineradora na área de minerais fosfatados (apatita) para fabricação de fertilizante, fosfato bicálcico e ácido fosfórico, teve como objetivo otimizar o processo de beneficiamento de rocha fosfatada determinando o melhor blend para obtenção do maior rendimento metalúrgico e maior aproveitamento da mina aumentando a sua vida útil. A intenção era reduzir o teor de Fe_2O_3 no concentrado final, reduzir a variação do blend de tipologias. A mina em questão é composta basicamente de minerais micáceos, óxidos e uma tipologia denominada Bloco Preto que apresenta valor de WI (Work Index) mais elevado, com liberação do mineral apatita a partir de 150 (Microns) mesh, sendo que a liberação para as demais tipologias ocorre em 65 (Microns) mesh, ou seja, é necessário maior consumo energético para liberação e conseqüentemente obtenção do máximo rendimento metalúrgico para esta tipologia. Após a conclusão do estudo de cada tipologia individualmente, foram feitos diversos testes para determinar o melhor blend, considerando a capacidade instalada na usina de beneficiamento. Chegando na seguinte composição: 40% de Micáceos; 55% de Óxidos; 5 % de Bloco Preto. Com esta composição houve aumento do rendimento metalúrgico, sendo possível aproveitamento de 5% de Bloco Preto, material que não era utilizado anteriormente, aumentando assim a vida útil da mina. Os testes mostraram que é possível elevar ainda mais a recuperação metalúrgica, utilizando-se maior proporção de Bloco Preto e obtendo um concentrado final com teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) abaixo de 2,9 %, desde que haja modificação na rota de processo, pois a liberação da apatita nesta tipologia ocorre em frações mais finas. Como parte deste trabalho foram realizados testes com diferentes concentrações de reagentes para a flotação e diferentes pH's visando atingir máxima recuperação metalúrgica.

Palavras-chave: Apatita, Geometalurgia, Flotação

Abstract: This research project was carried out in a mining company in the area of phosphate mining (apatite) for the manufacture of fertilizer, dicalcium phosphate and phosphoric acid, had as to optimize the process of processing phosphate rock determining the best blend to obtain the highest metallurgical yield and greater utilization of the mine increasing its useful

¹ Engenheira de minas graduado pela Faculdade FINOM. Email: janaina.jpl@hotmail.com

² Engenheiro de Minas pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP- MG, Ouro Preto

Recebido em 11/02/2020
Aprovado em 22/02/2020

life. One was intended to reduce the Fe₂O₃ content in the final concentrate, reducing the variation of the typologie mixture. The mine in question is basically composed of microaceous minerals, oxides and a typology called Bloco Preto that has a higher WI (Work Index) value, with release of the mineral apatite from 150 (Microns) mesh, and the release to the more typologies occur in 65 (Microns) mesh, that is, it is necessary higher energy consumption for release and consequently obtaining the maximum metallurgical yield for this typology. After the completion of the study of each typology individually, several tests were performed to determine the best mixture, considering the installed capacity in the processing plant. Arriving at the next composition: 40% of Micáceos; 55% Oxides; 5% Black Block. With this composition there was an increase in metallurgical yield, being possible use of 5% of the Black Block, material that was not previously used, thus increasing the life of the mine. The tests show that it is possible to further increase the metallurgical recovery, using a higher proportion of the Black Block and obtaining a final concentrate with iron oxide content (Fe₂O₃) below 2.9%, provided that there is a change in the process route, because the release of apatite in this typology occurs in finer fractions. As part of this work, tests were carried out with different concentrations of reagents for flotation and different pH's aiming to achieve maximum metallurgical recovery.

Keywords: Apatite, Geometallurgy, Flotation

1- INTRODUÇÃO

Cada vez mais a mineração se faz presente em nossas vidas e, constantemente em nosso dia-a-dia, mais do que possamos imaginar. Os minerais são utilizados para diferentes finalidades, como por exemplo, construção civil, eletrônicos, alimentos, etc.

Neste contexto, tem-se a mineração de minerais fosfatados, ao qual apatita é considerada um dos minerais mais abundantes da costa terrestre, apresenta-se principalmente como fluorapatita, hidroxiapatita e cloroapatita. A principal utilização deste mineral é para a indústria alimentícia e na agricultura na fabricação de fertilizantes.

Observa-se que as mineralogias dos depósitos de apatita apresentam alta complexidade, podendo se observar a presença de contaminantes de influência significativa na recuperação de fósforo nas plantas de beneficiamento, o conseqüentemente resulta em altos custos de produção, e que embora já tenha ocorrido muita melhoria tecnológica para aproveitamento dessa apatita. Do ponto de vista econômico os depósitos ígneos e sedimentares são os mais importantes para a produção de apatita no Brasil, sendo localizada principalmente na região do triângulo mineiro, como também na parte de Goiás. De acordo com o DNPM (2001), o estado de Goiás detém 73,8% de toda a reserva fosfato brasileira,

porém a alta variabilidade do minério apatítico, que geralmente ocorre com o aprofundamento da mina é ponto importante para estudos frequentes de geometurgia.

A geometurgia é integração do conhecimento sobre o minério quanto à geologia, minerais associados, presença de minerais contaminantes, dureza, WI, todas as características inerentes ao minério e associar com o processamento do mineral na usina de beneficiamento avaliando o comportamento e rendimento metalúrgico e possíveis impactos. Com isto há melhor aproveitamento da jazida e redução dos custos operacionais.

Neste contexto, faz-se necessário o desenvolvimento de melhorias visando um melhor aproveitamento dos recursos minerais disponíveis não deixando de lado as questões econômicas e as expectativas de consumo, pois deve-se ressaltar que os depósitos sedimentares e ígneas são os mais importantes, como também os mais relevantes do ponto de vista econômico.

O ciclo do suprimento do fósforo é um dos elementos essenciais para qualidade da nossa saúde e de extrema importância para nossa vida, ressaltando que sua composição do núcleo que consiste nas células dos seres vivos, tendo eventualmente todo um processo, sendo ocorrido passando para o solo por solubilização e posteriormente ser absorvido pelas plantas, podendo considerar a vida do animal pela alimentação dos herbívoros, como também os onívoros, sendo uma ação de forte declínio referente ao seu retorno normal ao solo. Quando acontece da vegetação sendo de (cultura ou natural) ser constantemente removida, temos por necessidade compensar toda a perda de fósforo e também outros poucos elementos pela aplicação de fertilizantes. (LUZ; LINS, 2004).

Quando surge uma carência de fertilizantes nas terras de cultura, propriamente acontece a falta de desenvolvimento em relação as plantações, fazendo com que não tenha um crescimento desejável e uma produtividade nas produções agrícolas, prejudicando a lucratividade do mesmo (LAPIDO-LOUREIRO E NASCIMENTO, 2003).

Além do nitrogênio e o potássio, o fósforo é um dos três macronutrientes mais relevantes, sua função em relação ao processo de conversão da energia solar em alimentos, fibra e óleo pelas plantas faz com que se torne um elemento fundamental, pois desempenha função chave na fotossíntese, no metabolismo de açúcares sendo se grande relevância no armazenamento e transferência de energia, como também, na divisão celular, no alargamento

das células, sendo considerado a transferência da informação genética como um dos fatores de grande relevância (POTAFOS,2005).

São inúmeras utilidades desse bem mineral para todos nos seres vivos e para chegar no produto final encontramos nas indústrias minerais vários recursos e formas diferentes de se tratar cada mineral, considerando as suas características físicas, químicas e também as variabilidades existentes. Portanto torna-se necessário um trabalho com diversas condições operacionais com o objetivo de alcançar melhores resultados para beneficiar e auxiliar diferentes áreas da empresa, visando no caso desse trabalho um objetivo final de produção de concentração fosfática com máxima eficiência. O estudo de pesquisa tem como objetivo determinar o blend ideal a partir de um estudo geometalúrgico de uma mineradora localizada no município de Catalão – Goiás, afim de aumentar recuperação metalúrgica e conseqüentemente melhorar os resultados econômicos e financeiros da empresa. Os objetivos específicos são: Caracterizar as principais tipologias; caracterizar as principais litologias, com foco na caracterização mineralógica do Bloco Preto; determinar o blend ideal para obtenção do maior rendimento metalúrgico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área em estudo é uma Mineradora de Fosfato localizada no município de Catalão no estado de Goiás. A empresa em questão localiza-se no município de Catalão – Goiás, atua no setor de extração e beneficiamento de rocha fosfática, como também na produção de matérias primas intermediárias: ácido fosfórico e sulfúrico, fosfato bicálcico DCP (utilizado para alimentação animal), fertilizantes simples considerado de baixa concentração, fertilizantes mistos como: “N” e “P”, correspondem entorno de 11% da produção de fertilizantes no Brasil de acordo com dados do DNPM. Para atingir o objetivo final deste estudo, muitas técnicas de pesquisa e metodologias foram empregadas.

Logo, o conhecimento científico tem como fundamento principal a lógica, a razão, se testado por outras pessoas ou pesquisadores o resultado deverá ser o mesmo.

3.2. Tipos e Descrição Geral da Pesquisa

O trabalho de pesquisa em questão é classificado como pesquisa prática. De acordo com Demo (2000), a pesquisa prática baseia-se no sistema de ideias sem perder o rigidez da metodologia, os métodos qualitativos seguem como por exemplo: a pesquisa participante, pesquisa-ação, onde o pesquisador faz a restituição dos dados ao grupo estudado para as análise de possíveis intervenções.

Para o trabalho em questão, foi realizada pesquisa bibliográfica afim de verificar a aplicação dos principais conceitos utilizados neste trabalho, bem como a validação dos ganhos obtidos. A coleta e obtenção dos dados foi realizada através de amostragem com método devidamente validado, cálculo de rendimento metalúrgico e dados históricos que possibilitaram comparar a situação anterior ao estudo em questão.

Aplicou-se também, o instrumento de coleta de dados (pesquisa documental) e a pesquisa exploratória, devido a necessidade de correlacionar variáveis, testar hipóteses.

3.3. Caracterização do empreendimento

A área em estudo foi a influência da geometurgia no aumento de rendimento no beneficiamento de rocha fosfática. O fluxograma deste circuito de beneficiamento está representado na figura 1. O processo de beneficiamento inicia-se com britagem, realizada através de britador de impacto. Após o minério é empilhado, a empresa opera com duas pilhas, enquanto uma é formada a outra é retomada e direcionada à planta de beneficiamento.

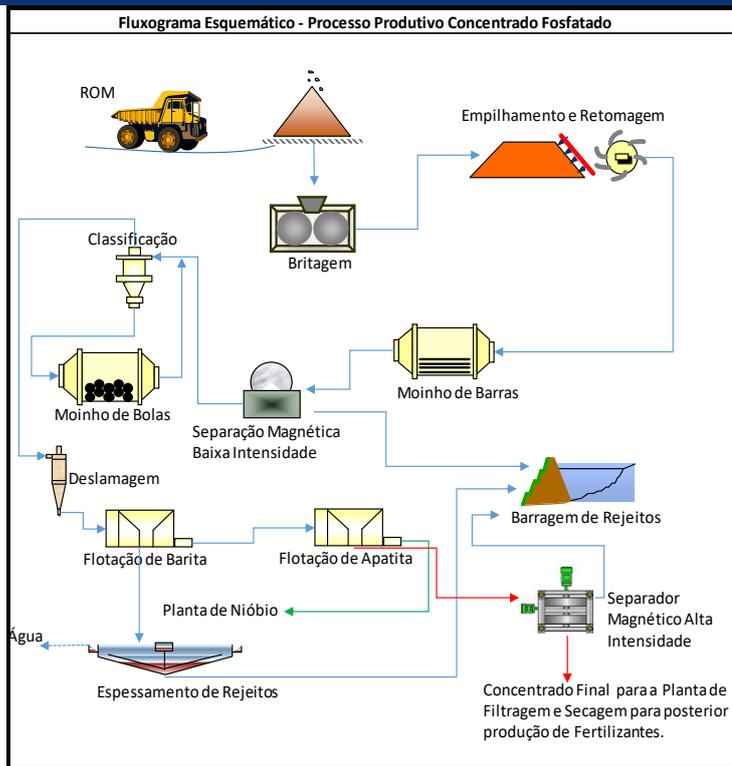


Figura 1 - Fluxograma Usina de Beneficiamento.
Fonte: Autor.

A moagem primaria ocorre através de moimho de barras, alimentando cerca de 720 t/h, o objetivo desta moagem é a liberação da magnetita (Fe_2O_3), principal fonte do contaminante “Fe”, esta liberação ocorre em aproximadamente 20 mesh. A etapa posterior é a separação magnética de baixa intensidade, para remoção dos minerais ferromagnéticos (magnetita) que são direcionados para a barragem de rejeito.



Figura 2 - Pilha de Minério sendo formada.
Fonte: Jornal O Popular, 2008.

A moagem de bolas ocorre em circuito fechado com hidrociclones, o objetivo é liberar a apatita, que no processo atual ocorre em aproximadamente 65 mesh. Após a moagem o minério é deslamado através de hidrociclones, a lama, material com granulometria inferior a 400 mesh obtida no overflow é direcionada para o espessador de lamas para o reaproveitamento de água. O material do underflow é direcionado à flotação de barita, com objetivo de remover este contaminante. O afundado da flotação de barita é direcionado à flotação de apatita, o rejeito deste processo é enviado à planta de nióbio para recuperação deste material, enquanto o concentrado é submetido a um separador magnético de alta intensidade para remoção de outros minerais ferrosos paramagnéticos (hematita, goethita, limonita, etc).

3.4. Instrumentos de Pesquisa

O instrumento de pesquisa utilizado, foi baseado em um relatório disponibilizado pela equipe da empresa, contendo dados amostrais e operacionais do processo, além de resultados de testes realizados pela equipe de engenharia de processo da empresa e por

laboratórios externos, todos com foco no conhecimento geometalúrgico para elevar o rendimento metalúrgico do processo de beneficiamento.

As principais variáveis estudadas foram: % de cada tipologia, teor de fosfato (P_2O_5), teor de contaminante (Fe), recuperação metalúrgica, teor de concentrado, Work Index (WI), consumo de reagentes (g/t) utilizados no processo de flotação, pH utilizado no processo de flotação. Além destas variáveis foram utilizados dados de análises granulométricas realizadas em laboratório, bem como, resultados operacionais para comparação dos resultados após o estudo em questão. Para determinação do WI foi utilizado método padrão de laboratório.

3.5. Procedimentos de Coleta e de Análise de Dados

O banco de dados foi obtido com base no relatório disponibilizado pela empresa, constando as principais variáveis: % de cada tipologia, teor de fosfato (P_2O_5), teor de contaminante (Fe), recuperação metalúrgica, teor de concentrado, Work Index (WI), consumo de reagentes (g/t) utilizados no processo de flotação, pH utilizado no processo de flotação. Os dados analisados são de 2008, a partir de então o estudo em questão foi base para outros estudos realizados pela empresa que possibilitaram ampliar a produção anual, bem como estreitar a comunicação entre os setores de planejamento de lavra e beneficiamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nós tópicos posteriores tem-se os resultados de coleta e avaliação dos dados com base nos conceitos apresentados no referencial bibliográfico deste estudo.

4.1. Caracterização Tipológica

A mina em questão divide-se em três unidades distintas com suas subdivisões. A unidade de topo, aloterita vermelha, possui espessuras variadas, não apresenta estruturas e é constituído basicamente por argilas, limonita, goethita e eventualmente magnetita. Possui coloração vermelha a marrom avermelhada com concreções ferruginosas e é rica em Al_2O_3 e Fe_2O_3 . A unidade seguinte é tratada como a aloterita amarela que é estéril. A zona estéril encontra-se sob a aloterita vermelha e é caracterizado como solo areno argiloso constituído por argilominerais, hidróxidos de ferro e manganês, fosfatos secundários, de coloração

amarelada, podendo apresentar alguma estrutura. Possui, na porção basal um enriquecimento em magnetita, que pode representar o principal constituinte do solo tornando-o friável. Essa unidade é caracterizada como rica em Fe_2O_3 caracterizada como a porção do solo que preserva as estruturas primárias da rocha. É nesse estrato que está localizado o minério fosfático. Na aloterita os teores de P_2O_5 podem ser elevados, porém trata-se de fosfatos secundários, o que impossibilita a recuperação na planta de concentração, desta forma o minério é encontrado apenas na isalterita, para uma melhor caracterização da zona mineralizada, dividiu-se em seis unidades mapeáveis, partindo da base para o topo são:

⇒ **Rocha Fresca (R.F.):** Trata-se da rocha propriamente dita, que no mapa tipológico não sofre discriminação e não é tratada como minério. Apresenta-se maciça a pouco alterada, geralmente efervesce quando atacada por HCl, com estruturas de fluxo magmático a brechóide e em geral nota-se que são enxames de diques de várias composições, verticais a subverticais.

⇒ **Rocha Alterada (R.A.):** É caracterizada como a porção sobre a rocha fresca que pode ser ou não mineralizada. É, em geral, de colorações esverdeadas, argilosas, arenosas ou micácea, dependendo da rocha da qual esta é derivada, apresenta efervescência quando atacada por HCl.

⇒ **Micáceo de Base (I/MB):** É a porção basal da isalterita que possui como característica principal a presença da tetra-ferriflogopita. Apresenta-se com as mesmas estruturas das rochas que a originaram, como por exemplo, diques e veios.

⇒ **Micáceo de Topo (I/MT):** É a porção intermediária da isalterita que possui como característica principal a presença da vermiculita. Apresenta-se com as mesmas estruturas das rochas que a originaram.

⇒ **Silexito (SX):** Encontram-se normalmente nos contatos do Micáceo de base com Micáceo de topo e/ou no contato do Micáceo de topo com oxidado, pode ocorrer verticalizado, inclinado ou horizontal. Quando horizontal, tende a ser mais delgado, podendo possuir até 1m de espessura, porém quando vertical nota-se que sua espessura é maior podendo apresentar-se com dezenas de metros de espessura. Apresenta-se com fratura conchoidal, maciço a poroso, brechóide de coloração bege esbranquiçado a preto, podendo ter muita magnetita e, por vezes, alguma mica se faz presente.

⇒. **Oxidado (I/OX):** Minério mais evoluído do perfil de alteração, de coloração variando do ocre, passando por róseo a marrom escuro, apresenta-se terroso e sem a presença de micas.

⇒. **Estéril (ES):** O topo da isalterita pode ser estéril. Esse fato é evidenciado no campo onde se puderam notar as estruturas primárias da rocha. Esse contato estéril/minério é bastante irregular, podendo se apresentar nas cotas 865 a até 845. Geralmente o material estéril se apresenta amarelado com estruturas de fluxo e veios de nelsonito horizontalizados e zonas compostas basicamente por magnetita. Abaixo está o modelo que mostra como estas tipologias estão organizadas.

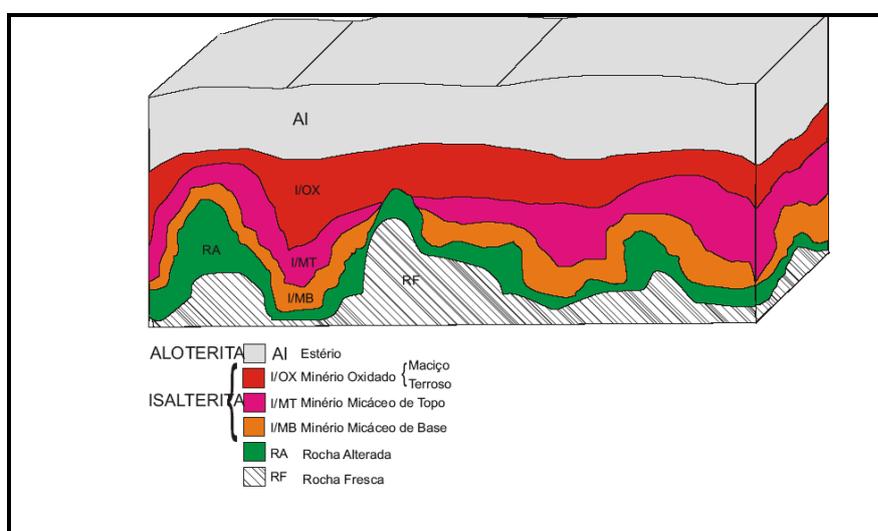


Figura 3 - Disposição das tipologias.
Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

4.2. Caracterização litológica com foco na caracterização do Bloco Preto

O primeiro passo foi o mapeamento das litologias e tipologias existentes na mina. Para tal foi realizada pesquisa mineral com estudo minucioso dos furos de sonda, inspeção geológica, testes em campo, avaliação microscópica, etc.

Para determinação da disposição tipológica foi utilizado software específico para planejamento de lavra e mapa geológico disponível para a região.

4.3. Caracterização Litológica

A mina em questão possui tipos litológicos bastante heterogêneos, em que se nota três tipos principais de rochas: rochas silicáticas, representadas por flogopitito, flogopita picrito e brechas; rochas carbonatíticas, representadas por carbonatito calcítico, dolomítico e

ferro dolomítico; e rochas foscoríticas, representadas por foscorito, nelsonito e dunito (que apesar de ser silicático pertence, nesse caso, a serie de rochas foscoríticas). As rochas silicáticas são geralmente rochas ultramáficas que por processos metassomáticos tornaram-se flogopititos.

Essas rochas são estéreis e ricas em Fe e Mg, devido ao fato de serem compostas basicamente por flogopita, $(Mg, Fe^{2+})_3Si_3AlO_{10}(OH, F)_2$, com a diferença que nas flogopitas do complexo Catalão I o ferro substitui o alumínio nas posições tetraédricas (tetraferroflogopita: $KMg_3Fe_3+Si_3O_{10}(OH)_2$).

As brechas e a flogopita picrito também são compostas basicamente por tetraferroflogopita, tendo como características principais sua formação. São representantes do magma original que injetados cortam a seqüência de rochas em fases mais tardias, que, no caso da brecha, pode arrancar pedaços de outras rochas (xenólitos) o que em alguns casos pode ocorrer um enriquecimento em fosfato dependendo dos xenólitos incorporados.

As rochas carbonatíticas são representadas em sua maioria por carbonatito dolomítico, ou magnesiano, que é formado basicamente por dolomita $CaMg$, portanto é uma rocha rica em MgO . Há, também, carbonatitos com ferro e cálcio, que são representados pela ankerita e pela calcita respectivamente. Nota-se que o carbonatito calcítico, apesar de restrito possui teores relativamente bons de P_2O_5 por conter apatita. Os carbonatitos, no entanto possuem uma particularidade. No perfil de alteração eles são lixiviados devido ao fato de serem bastante solúveis em água.

Esse fato acarreta tanto na concentração de fosfato no perfil de alteração quanto no aumento de contaminantes no fundo da mina, por ainda haver carbonato nesses níveis mais inferiores. Isso é comprovado pela relação CaO/P_2O_5 ser maior que 1,32 evidenciando que há mais cálcio, além do cálcio da estrutura cristalina da apatita.

As rochas foscoríticas são representadas pelo foscorito, que é composto por magnetita, apatita e tetra-ferroflogopita, é a mais abundante e principal rocha fonte de apatita na área. O nelsonito é composto por magnetita e apatita, e pode ser dividido em seus extremos, em apatitito e magnetitito. Na mina há diques e veios de apatitito, porém são restritos a poucos metros. Já o magnetitito ocorre em maiores metragens, podendo ter mais de 5 metros de espessura, apesar de ser restrito e não possuir abundantes afloramentos. O dunito

é o extremo silicático da série dos foscritos, onde originalmente é formado por olivina, mas por processos metassomáticos encontra-se alterado em forma de (possivelmente) serpentina.

Normalmente em complexos magmáticos há um zonamento concêntrico que representa a diferenciação do magma, onde as zonas mais externas são constituídas da porção do magma menos evoluída, aumentando para o centro, ou seja, o centro da intrusão deve-se encontrar rochas mais diferenciadas, que apresentam composição fosfática e carbonática, já nas porções mais externas as rochas predominantes são silicáticas. Essa estrutura zonada ou anelar pode repetir em diferentes escalas, que podem ser vistas em locais variados com zonamentos de vários tipos de rochas. A mina situa-se em uma zona de foscrito com carbonatito e flogopitito subordinado e existindo estruturas anelares em posições distintas da mina. As brechas formam grandes estruturas anelares mais ou menos regulares, assim como as zonas mais ricas em flogopitito.

Localmente notam-se contatos verticais a subverticais, porém observando os corpos juntos observam-se estruturas anelares em escalas variadas.

4.4. Caracterização Litológica do Bloco Preto

Esta litologia foi caracterizada separadamente devido à sua abundância na mina em questão e necessidade de utilização para aumento da vida útil.

- ***Avaliação mineralógica e petrográfica***

A rocha é correspondente a um nelsonito intemperizado e secundariamente cimentado por quartzo microcristalino e por óxidos/hidróxidos de ferro. O processo de intemperismo resultou na seguinte sequência de eventos:

a) Dissolução e lixiviação do carbonato intersticial do nelsonito primário, aumentando significativamente a porosidade da rocha e o acesso de soluções intempéricas à mesma;

b) Oxidação parcial da magnetita para hematita (martitização) e, em alguns casos de alteração mais avançada, para óxidos/hidróxidos de ferro;

c) Percolação de soluções ricas em ferro e deposição de óxidos/hidróxidos de ferro como películas ao redor dos grãos preexistentes de apatita e magnetita, ou preenchendo discontinuidades (fraturas e clivagens) nesses grãos, em alguns locais cimentação da rocha por óxidos/hidróxidos de ferro;

d) Cimentação generalizada por sílica (quartzo microcristalino) nos espaços intergranulares e fraturas de grãos de apatita e magnetita, eliminando quase totalmente a porosidade gerada nas fases iniciais do intemperismo e conferindo à rocha o alto grau de endurecimento e resistência observada em escala macroscópica.

- ***Possíveis impactos no comportamento da rocha em testes de caracterização tecnológica***

a) A alteração da magnetita para hematita (martitização) implica em perda das características magnéticas da primeira, proporcionalmente à intensidade da transformação;

b) A cobertura da superfície dos grãos de apatita por películas de óxidos/hidróxidos de ferro interferirá no processo de flotação da apatita, e aqueles grãos da rocha original que contenham fraturas preenchidas por óxidos/hidróxidos de ferro tendem a ser convertidos em grãos com superfície coberta por essa película durante a cominuição do material;

c) A agregação de sílica de fonte externa (cimento de quartzo microcristalino) tende a contribuir para a diluição do teor relativamente ao minério do tipo oxidado e que não tenha sofrido cimentação.

- ***Caracterização mineralógica por lâmina delgada polida da rocha in natura***

Quanto à textura e estrutura, a rocha é inequigranular, constituída essencialmente por grãos de apatita e de magnetita parcialmente oxidada para hematita (martita). Os grãos são cimentados (cimentação praticamente completa) por óxidos/hidróxidos de ferro e/ou quartzo microcristalino. Os espaços vazios da rocha foram preenchidos por quartzo microcristalino, eliminando quase totalmente a porosidade produzida no primeiro estágio de intemperismo e conferindo as propriedades de alta dureza e coerência da rocha analisada.

TABELA 1 - Composição mineralógica.

Componente	% modal
Apatita	13.90
Magnetita/Hematita	38.79
Óxidos e Hidróxidos de Fe	26.76
Quartzo	20.48
Carbonato + pirocloro	0.07
Outros	0.00
Total (1.338 grãos)	100.00

Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

- **Caracterização mineralógica – Análise Química realizada através de Absorção Atômica**

O quadro a seguir mostra a composição química determinada no laboratório da realizada em leitura com pastilha fundida utilizando aparelho de Absorção Atômica.

TABELA 2 - Composição química.

Óxido	% peso
Nb ₂ O ₅	0,59
P ₂ O ₅	6,69
CaO	8,35
Al ₂ O ₃	0,00
Fe ₂ O ₃	51,04
SiO ₂	24,37
MgO	0,00
BaO	0,00
TiO ₂	0,85
PbO	1,73
ThO ₂	0,11
U ₃ O ₈	0,00
Total	93,73

Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

- **Caracterização mineralógica – Difractometria de Raio X**

Em 65 mesh, o grão de apatita apresentou estar totalmente envolto por película de óxidos/hidróxidos de ferro e, ainda outros (cinza escuro, no centro) totalmente envolto por agregado de quartzo microcristalino (cinza claro).

Na malha 100 mesh, foi verificado uma apatita prismática com cerca de 70% da superfície coberta por película de óxidos/hidróxidos de ferro.

Para 150 mesh, a apatita apresentou cerca de 40 % da superfície coberta por óxidos/hidróxidos de ferro e quartzo microcristalino.

TABELA 3 - Composição mineralógica por fração granulométrica.

Componente	% modal 65mesh	% modal 100mesh	% modal 150mesh
Apatita	13.78	14.30	14.30
Magnetita/Hematita	33.63	38.49	25.00
Óxidos e Hidróxidos de Fe	41.25	30.94	50.35
Quartzo	10.43	14.21	10.18
Quartzo microcristalino	0.91	2.07	0.10
Outros	0	0	0
<i>Total (1.140 grãos)</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

- **Caracterização mineralógica – Microscópio eletrônico de Varredura (MEV)**

Através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), foram analisados 1064 grãos de uma alíquota do material moído na granulometria de 65 mesh, nos quais foram determinados, por estimativa visual, a presença de recobrimento superficial e sua mineralogia, e a percentagem livre da superfície (contorno) dos grãos. Uma avaliação qualitativa da granulação foi realizada para 1003 dos grãos analisados, onde se obteve:

⇒ 87.69% dos grãos de apatita estão parciais a totalmente cobertos por películas de óxidos/hidróxidos de ferro (genericamente designados como limonita, uma vez que não foi determinada a espécie mineralógica);

⇒ 10.90% da apatita supostamente estão cobertas por misturas de limonita e quartzo microcristalino e 0.75% por quartzo microcristalino;

⇒ 0.66% dos grãos de apatita estão 100% liberados.

4.5. Determinação do Blend ideal

Define-se como Blend a proporção de cada tipologia empregada no planejamento de lavra e disponível na pilha de minério que alimenta a usina de beneficiamento. Antes de definir o blend ideal alguns estudos foram necessários como por exemplo, avaliação do rendimento individual de cada tipologia, bem como avaliação de alguns parâmetros como liberação do mineral de interesse, determinação do WI, etc.

Diversos blends foram testados com base no desempenho individual de cada tipologia e da litologia em particular “Bloco Preto”.

Tipologias:

Litologia:

⇒ Micáceo de Topo
⇒ Micáceo de Base
⇒ Oxidado

⇒ Bloco Preto

Esta litologia foi estudada devido seu alto teor de fosfato e sua presença abundante na mina.

4.6. Determinação do Blend

O blend foi estabelecido pelo setor de engenharia de processo após rigoroso trabalho para avaliação do rendimento individual de componente do blend e testes em escala de bancada e industrial. O blend foi fixado com a seguinte proporção:

397

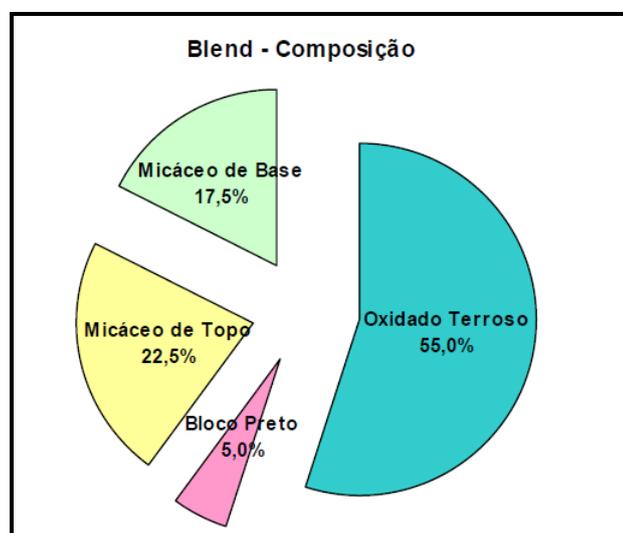


GRÁFICO 1 - Composição do Blend.
Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

Foram testadas 15 pilhas no período em 2008 com esta composição de blend. Os resultados indicaram que houve perda de 10% em lama, 3% na flotação de barita, 12% na flotação de apatita e 10% no processo de separação magnética. Obtendo assim recuperação global média de 65%.

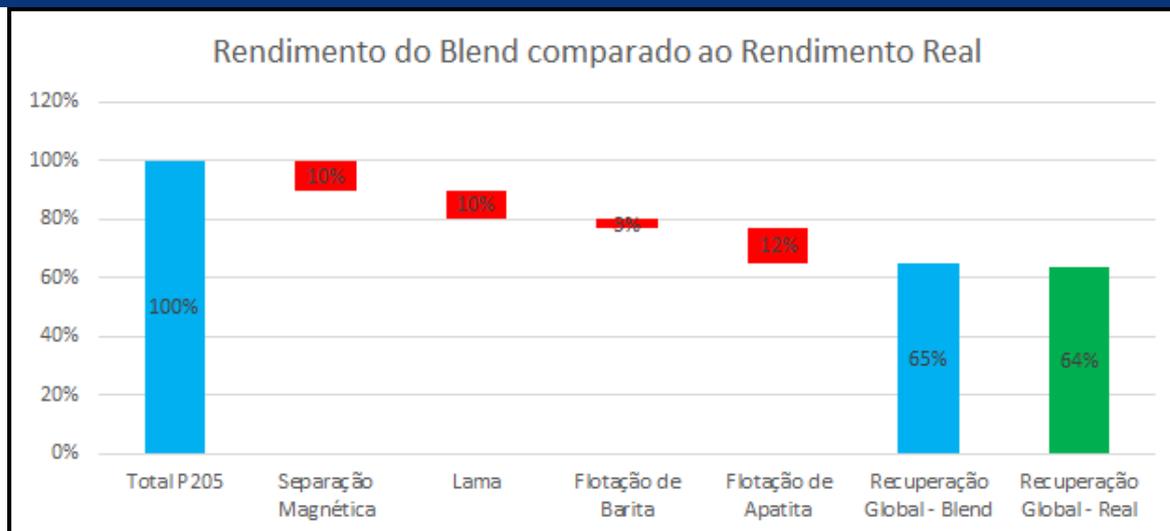


GRÁFICO - 2 - Rendimento do Blend versus Rendimento Real da Usina de Beneficiamento.
Fonte: Mineradora em estudo, 2008.

Avaliando os resultados, observa-se que o rendimento do blend foi 1% superior ao rendimento real obtido na planta de beneficiamento. Ou seja, considerando um período de um ano, com alimentação média de 720 t/h com teor médio de P₂O₅ de 12,5%, há um aumento na produção de fosfato de 6.701 t para uma eficiência (disponibilidade x utilização) da empresa de 85%.

Importante considerar que o teor de fosfato para o concentrado final foi mantido, bem como o teor de contaminantes. Podendo-se utilizar 5% da litologia Bloco Preto, elevando a vida útil da mina.

4.7. Determinação do Work Index

O ensaio de WI foi realizado na usina piloto da Produção de Concentrado Úmido seguindo a “Lei Geral” da cominuição, proposta por Pereira e elaborada a partir da teoria de Bond. O WI é um parâmetro da cominuição que expressa a resistência de determinado minério de ser britado ou moído.

Foi realizado ensaio de WI utilizando malha de corte de 65mesh (216 μm), o cálculo foi realizado utilizando a equação abaixo.

$$W_i = 44,5 / \{ (P_i)^{0,23} * (GBP)^{0,82} * [(10/\sqrt{P80}) - (10/\sqrt{F80})] \}$$

$$P_i = \text{malha teste desejada } (\mu\text{m})$$

GBP = (g/revolução): é uma variável definidora da moabilidade do minério para a malha-teste e controladora do término do teste.

P80 = malha em que se tem 80% de produto passante (μm)

F80 = malha em que se tem 80% de alimentação (feed) passante (μm).

Após a realização dos testes, obtiveram-se os seguintes resultados:

TABELA 4 - Work Index por componente do blend.

Minério	WI	Densidade Aparente
	Kwh/t	
Oxidado Terroso	9,93	2,051
Bloco Preto	11,68	2,26
Micáceo de Topo	10,28	2,13
Micáceo de Base	10,46	1,979
Blend	10,23	2,014

Fonte: Mineradora em estudo, 2008.

Observa-se que o WI para o Bloco Preto é superior, ou seja, é necessário maior consumo energético para moagem deste material para uma mesma granulometria. Considerando que a liberação desta litologia ocorre em valor superior a 65 mesh, o consumo energético é ainda maior. Aumentar a porcentagem desta litologia no Blend aumenta-se a carga circulante (atualmente em torno de 350% da alimentação), com redução da alimentação nova e maior geração de finos visto o aumento no tempo de moagem e conseqüentemente maior perda de P_2O_5 na deslamagem e/ou flotação de barita.

4.8. Determinação da dosagem de reagentes

Através de amostras coletadas na mina, confeccionou-se uma pilha homogeneizada de cada tipologia, em seguida, amostras de cada uma delas foram quarteadas para posteriores testes batch e composição do blend.

TABELA 5 - Análise química das pilhas.

AMOSTRA	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	BaO	Nb ₂ O ₅	BLEND
MT	10,28	12,99	1,55	38,97	15,36	2,08	2,39	0,26	22,50%
MB	11,79	16,17	2,10	37,15	15,54	3,02	0,90	0,20	17,50%
BP	15,34	20,57	0,87	42,79	12,00	1,17	0,40	0,16	5,00%
OX	13,95	18,19	1,47	35,39	13,41	1,43	1,60	0,27	55,00%
BL	12,85	17,00	1,53	37,30	14,54	1,87	1,76	0,28	100,00%

Fonte: Mineradora em estudo, 2008.

O teste de caracterização de barita e apatita utilizou a metodologia padrão, descrita no fluxograma abaixo variando apenas a dosagem de alguns reagentes.

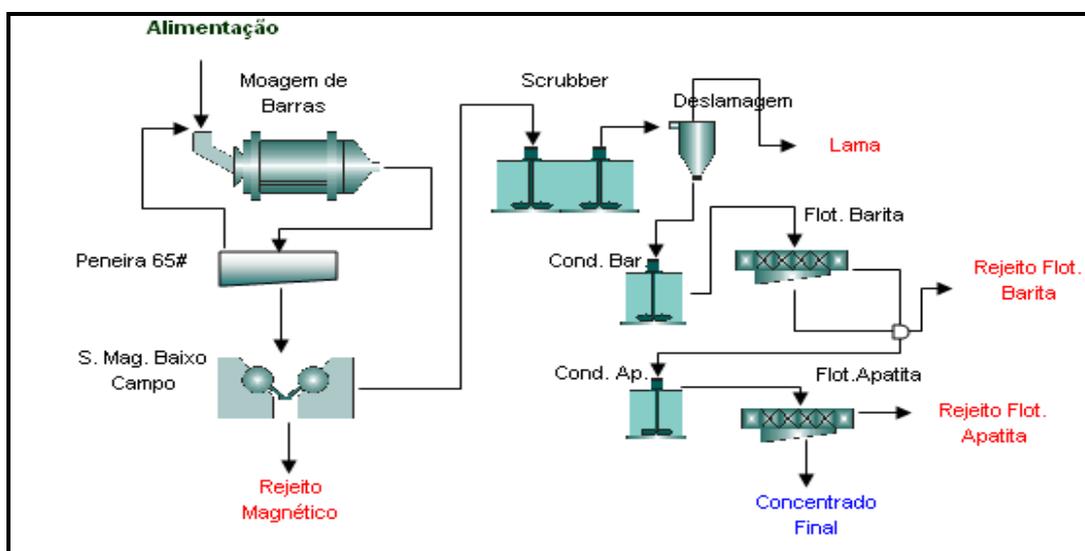


Figura 1- Metodologia Padrão para Testes Batch.

Fonte: Mineradora estudo,2018.

Para a flotação de barita foram dosados os seguintes reagentes:

⇒ **Coletor: Sulfofon**

⇒ **Espumante: Flotanol**

Para a apatita foi utilizado:

⇒ **Coletor: Lioflot**

A dosagem de amido foi de 500 g/t e a do tensoativo Renex 40 g/t.

As dosagens dos reagentes foram realizadas conforme gráficos 3 e 4, bem como os resultados obtidos.

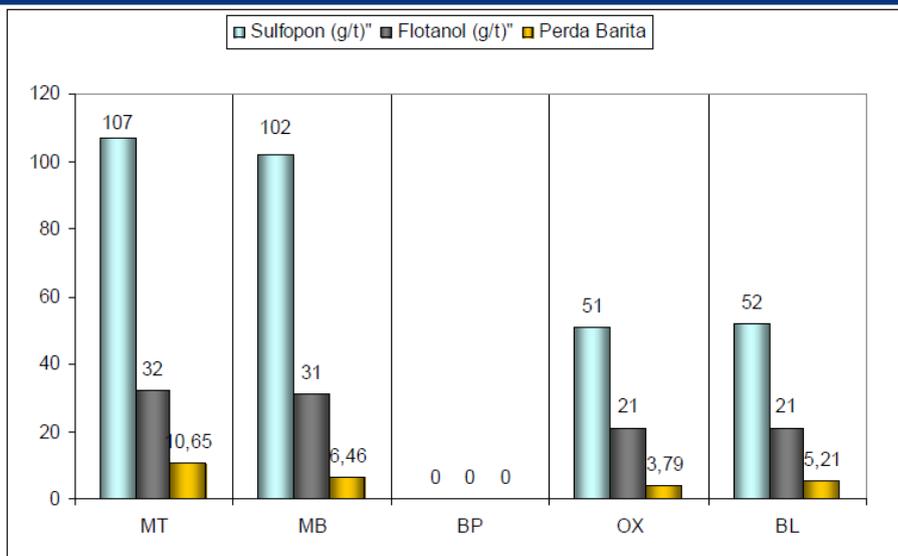


GRÁFICO - 3 - Dosagem de reagentes – Flotação de Barita por tipologias / litologia e blend.
Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

Para a litologia Bloco Preto não é necessário flotação de barita devido ao baixo teor deste mineral. Para a flotação de apatita a dosagem de coletor e resultado obtido está descrito no gráfico abaixo.

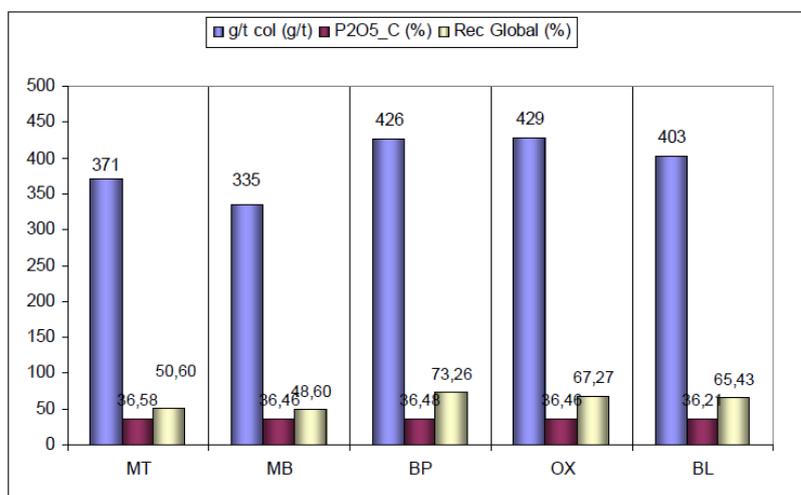


GRÁFICO- 4 - Dosagem de reagente e resultado – Flotação de Apatita por tipologias / litologia e blend. Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

Os teores dos principais contaminantes obtido em cada teste encontra-se no gráfico 5.

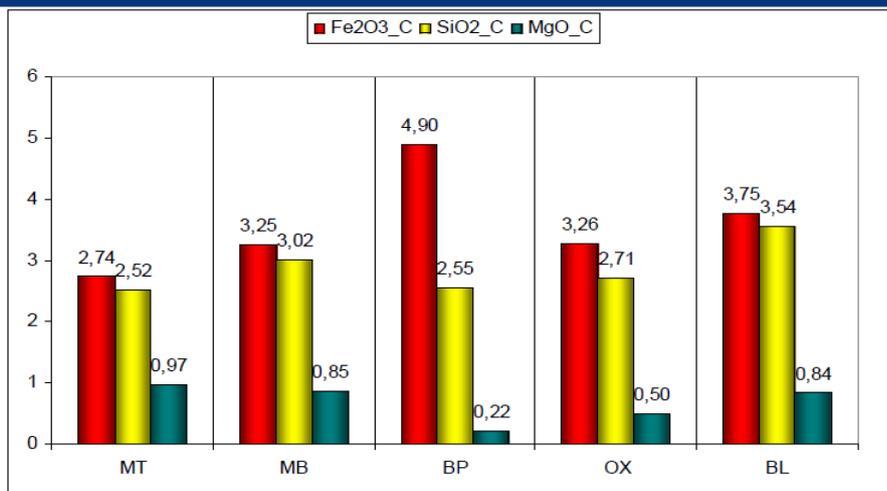


GRÁFICO - 5 - Teor dos principais contaminantes no concentrado final.
Fonte: Mineradora em estudo,2018.

Considerando a flotação de barita, observa-se que para o Bloco Preto não é necessária esta etapa visto o baixo teor de BaO na alimentação, no processo industrial este mesmo procedimento é adotado, quando a pilha possui um baixo teor de bário, ou seja, interrompe-se a flotação de barita.

Observa-se que a tipologia com os mais altos teores de P_2O_5 e Fe_2O_3 é o Bloco Preto, 15,34 e 42,79% respectivamente. Os micáceos somam 40 % no blend e estes possuem o teor mais baixo de P_2O_5 (10,28 e 11,79%), e são mais ricos em MgO e SiO_2 , portanto é necessário avaliar a performance destas tipologias cuidadosamente quanto à recuperação final.

A dosagem de coletor para a flotação de barita é superior na flotação de micáceos (topo e de base), bem como a perda de P_2O_5 nestes testes foi mais alta, 10,69%. Quanto ao espumante o gasto é menor no oxidado e no blend.

Para a flotação de apatita, observa-se que o gasto de coletor é maior no Bloco Preto, no entanto, esta dosagem está próxima da que foi utilizada no Blend. A recuperação de P_2O_5 é menor nos micáceos e maior para o Bloco Preto, no entanto o teor de Fe_2O_3 no concentrado final do Bloco Preto permaneceu alto, 4,90%. Após os testes e análise de resultados verificou-se que a melhor dosagem e a que foi adotada como padrão para cada tipologia e para o Blend é a seguinte:

TABELA 6 - Dosagem Padrão para cada tipologia / litologia e Blend.

Conc.	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t
Amostra	Sulfopon	Flotanol	Amido	Renex	Lioflot
MT	107	32	530	42	371
MB	102	31	507	41	335
BP	0	0	508	41	426
OX	51	21	511	41	429
BL	52	21	503	40	403

Fonte: Mineradora em estudo, 2018.

Há potencial significativo para aproveitamento do Bloco Preto, porém importante considerar que para os testes em questão o P80 de moagem utilizado para esta litologia foi de 150 mesh para garantir a liberação dos grãos de apatita. Considerando que para as demais tipologias foi empregada moagem com P80 de 65 mesh. Porém para o blend cuja moagem utilizada foi a padrão de 65 mesh observa-se que o rendimento foi superior ao rendimento metalúrgico médio obtido na planta (64%), conforme comparado no tópico anterior.

7. CONCLUSÃO

O estudo em questão apresentados nesta pesquisa possibilitaram um entendimento amplo ao que tange as tipologias e litologias, principalmente se tratando de Bloco Preto. Verifica-se que é possível estabelecer uma rota de processo para este tipo de minério, já que o teor de fosfato e a recuperação são elevados.

O maior conhecimento geometalúrgico propiciou determinar um blend para processamento na planta de beneficiamento instalada, sem modificação na rota de processo.

Porém para um maior aproveitamento da litologia Bloco Preto é necessário aumentar o tempo de moagem, com isto há perda na alimentação horária. É fundamental portanto aumentar a capacidade instalada, com conseqüente aumento do custo operacional.

O estudo em questão proporcionou um ganho imediato de 1% na recuperação metalúrgica. Com aumento da vida útil da mina em 5%.

A atuação do engenheiro de minas, atuante na área de processo, tem por objetivo proporcionar melhores formas operacionais, determinar melhor rota de processo, a fim de aumentar a recuperação metalúrgica e reduzir os custos operacionais.

REFERÊNCIAS

BOND, F. C. Confirmation of The Thirdy Theory. 1953.

DNPM (2001). **Fosfato**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-fosfato>>. Acesso em 06 de maio de 2017, 13:20

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO (2003): M, Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: Uma Abordagem Mínero-Química- Metalúrgica, CETEM, [w.cetem.gov.br] /Publicações/Série Estudos e Documentos no 53.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. Introdução ao tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

NASCIMENTO, Débora Rosa. Flotação aniônica de minério de ferro. 2010. 116 (f.). (Tratamento de minérios) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

POTAFOS (2005): [www.ppi.ppic.org], Publicações POTAFOS, Arquivo do Agrônomo no 10 – Nutri-fatos, 24p, acesso em 08/05/2017.

TRATAMENTO DE MINÉRIOS: Práticas Laboratoriais/Ed. João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. ULTRAFERTIL S.A., Catalão, Brasil, 1996.

VANN, J., Jackson, J., Coward, S., Dunham, S. 2011. The geomet curve – a model for implementation of geometallurgy. The first AUSIMM International Geometallurgy Conference, Brisbane. Proceedings: 35-43.

VERAS, M.M. Influencia do Tipo de Espumante nas características de Espuma produzida na Flotação. Recife, UFPE,2010. Dissertação de mestrado.