



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II – MIN491



Mariana Batista Lobato

CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO FOSFÁTICO POR FLOTAÇÃO E SEPARAÇÃO  
MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE

Ouro Preto

2017

Mariana Batista Lobato

CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO FOSFÁTICO POR FLOTAÇÃO E SEPARAÇÃO  
MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Engenharia de  
Minas da Universidade Federal de Ouro  
Preto, como obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia de Minas

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Otávia Martins  
Silva Rodrigues.

Co-orientador: Henrique Gonçalves  
Teixeira.

Ouro Preto

2017

L796c Lobato, Mariana Batista.  
Concentração de minério fosfático por flotação e separação magnética de alta intensidade [manuscrito] / Mariana Batista Lobato. - 2017.

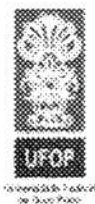
62f.: il.: tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Otávia Martins Silva Rodrigues .

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Tratamento de minérios. 2. Flotação. 3. Minério fosfático. 4. Separação magnética. I. Rodrigues , Otávia Martins Silva . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.765



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 14 dias do mês de março de 2017, às 13:00h, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO FOSFÁTICO POR FLOTAÇÃO E SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE”**, pela aluna **Mariana Batista Lobato**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Otávia Martins Silva Rodrigues (Orientadora)**, **Eng<sup>o</sup> de Minas Henrique Gonçalves Teixeira**, **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Érica Linhares Reis** e **Prof. M.Sc. Marcus Alexandre de Carvalho Winitskowski da Silveira**.


Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação*... da candidata, com a nota *8,2*... concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

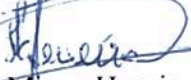
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 14 de março de 2017.

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Otávia Martins Silva Rodrigues  
Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

  
Prof. M.Sc. Marcus Alexandre de Carvalho Winitskowski da Silveira  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Érica Linhares Reis  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Eng<sup>o</sup> de Minas Henrique Gonçalves Teixeira  
Membro da Comissão Avaliadora e Coorientador

Mariana Batista lobato

  
Prof. Ms.C. José Fernando Miranda  
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

*Dedico este trabalho aos meus pais  
pelo apoio, confiança e motivação.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração do presente estudo e, particularmente:

À Professora Otávia Martins Silva Rodrigues pela orientação, críticas construtivas e ensinamentos.

Ao Henrique Gonçalves Teixeira, meu supervisor de estágio da Vale Fertilizantes, pelas oportunidades, aprendizado e incentivo.

Á todos profissionais da Planta Piloto do CMT pela essencial ajuda na realização dos testes, em especial o Técnico João Carlos Martins Lacerda pela execução dos ensaios de flotação.

Ao Thomaz pelo carinho, incentivo, paciência e auxílio durante a elaboração do texto em questão.

Aos meus familiares e amigos pelo constante carinho e confiança depositada.

Aos mestres e colegas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

## RESUMO

No Brasil, os minérios fosfáticos são encontrados, majoritariamente, em depósitos de origem ígnea e essencialmente apatíticos. A principal aplicação desses minérios é na produção de fertilizantes e um dos depósitos de maior destaque está localizado no Complexo Mineralógico de Tapira (CMT), em Minas Gerais. Os minérios extraídos no CMT apresentam um teor médio de 8% de  $P_2O_5$  e, após beneficiamento, o teor chega a 35% (especificação comercial). Na Planta de Tapira, a concentração do minério fosfático é feita por flotação e, devido à crescente contaminação por  $Fe_2O_3$ , é seguida de separação magnética de alta intensidade (SMAI). Os equipamentos utilizados para SMAI, por possuírem altos custos de investimento e operação, têm seu uso limitado apenas ao minério fosfático do circuito friável, que apresenta granulometria mais adequada e maior contaminação por material magnético. Geralmente, o teor do flotado diminui à medida que aumenta o tempo de coleta (tempo de flotação), o que se confirma no circuito estudado. Observa-se que o material flotado nos instantes iniciais já apresenta o teor de  $P_2O_5$  desejado (35%). Tais fatos poderiam implicar na eliminação da necessidade de se submeter esse material flotado nos primeiros instantes ao SMAI, abrindo a possibilidade de se realocar a utilização da separação magnética para concentrar frentes de lavra de minério fosfático granulado ou ultrafino. Assim, o presente estudo investigou a possibilidade de exclusão da aplicação de separação magnética de alta intensidade para o concentrado inicial de flotação do minério fosfático friável extraído no CMT. Primeiramente realizou-se um estudo cinético preliminar, a partir do qual se concluiu que o material flotado durante os 20 segundos iniciais da flotação já possui o teor de  $P_2O_5$  desejado (35%). Em seguida, comparou-se o benefício de se aplicar SMAI a todo o concentrado flotado ou apenas ao material gerado após 20s de flotação. Em escala piloto, os ensaios de flotação foram realizados em célula mecânica e a SMAI foi realizada utilizando-se um imã de mão de 16.000 Gauss a seco. Os resultados confirmaram a possibilidade de exclusão da aplicação de separação magnética de alta intensidade (SMAI) para apenas os flotados das células iniciais dos bancos de flotação do circuito friável para a Usina do Complexo de Mineração de Tapira.

**Palavras-chave:** Minério fosfático. Flotação. Separação Magnética

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVO.....	10
2.1	Objetivo Geral.....	10
2.2	Objetivo Específico.....	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1	Importância do Fósforo.....	11
3.2	Minérios Fosfáticos.....	11
3.3	Flotação.....	15
3.4	Separação magnética.....	20
3.5	Exemplos de Processos de Concentração de fosfato no Brasil.....	22
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Processo de amostragem para a realização do estudo.....	26
4.2	Preparação de amostra.....	26
4.3	Teste Cinético – Avaliação Preliminar.....	27
4.4	Ensaio de Flotação.....	29
4.5	Ensaio de Separação Magnética de Alta Intensidade.....	30
4.6	Análise por Regressão Linear.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1	Teste Cinético- Avaliação Preliminar.....	33
5.2	Composição Química das Amostras de Alimentação.....	34
5.3	Ensaio de Flotação e Separação Magnética de Alta Intensidade.....	35
5.4	Utilização Parcial dos Separadores Magnéticos de Alta Intensidade (SMAI).....	39
6	CONCLUSÕES.....	41
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	41
8	BIBLIOGRAFIA.....	42
9	ANEXO.....	45



## LISTA DE FIGURA

<b>Figura 1:</b> Reserva e produção mundial de fosfato .....	12
<b>Figura 2-</b> Rotas simplificadas da Usina de beneficiamento do Complexo de Mineração de Tapira.....	14
<b>Figura 3-</b> Esquema de células mecânicas .....	16
<b>Figura 4-</b> Colunas de Flotação.....	17
<b>Figura 5-</b> Estratégias de Flotação em diferentes lugares do mundo .....	19
<b>Figura 6-</b> Separador magnético de Tambor .....	21
<b>Figura 7-</b> Separador magnético tipo Carrossel .....	22
<b>Figura 8-</b> Fluxograma geral das operações unitárias envolvidas na concentração de apatita proveniente de rocha ígnea nas indústrias brasileiras.....	23
<b>Figura 9-</b> Informações sobre mineralogia e esquema de reagentes das principais operações industriais de concentração de fosfato no Brasil. ....	24
<b>Figura 10-</b> Localização das amostras de furo de sonda.....	26
<b>Figura 11-</b> Evolução do teor de apatita em função das células dos bancos de flotação .....	28
<b>Figura 12-</b> Processos e Produtos .....	31
<b>Figura 13-</b> Estimativa do teor de $Fe_2O_3$ a partir dos teores de $P_2O_5$ , por regressão linear.....	32
<b>Figura 14-</b> Teor de $P_2O_5$ versus Tempo.....	33
<b>Figura 15-</b> Curva de distribuição de tempo de residência num fluxo tipo mistura perfeita ....	34
<b>Figura 16-</b> Gráfico de Recuperação Metalúrgica de $P_2O_5$ x Amostras .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos principais elementos constituintes da vida animal e vegetal, sendo responsável pelo armazenamento e fornecimento da energia necessária para importantes processos vitais, tais como: reprodução, crescimento e fotossíntese (OLIVEIRA, 2007).

Os fosfatos naturais, fonte do elemento fósforo, são originados de rochas que se formam em ambientes geológicos diversos, sendo encontrados em depósitos sedimentares, ígneos e biogénicos. Os principais minerais são os do grupo apatita que apresentam uma mineralogia com um alto grau de complexidade (OLIVEIRA, 2007). Quando os depósitos apresentam quantidades e concentrações significativas desses minerais, estes possuem significativo valor econômico. O fósforo tem como principal aplicação a produção de fertilizantes, produto essencial na atividade agrícola e, conseqüentemente, na disponibilização do fósforo em forma de alimento para a população mundial. Além disso, o fósforo é também componente para a fabricação de produtos de limpeza, ração animal, agentes anticorrosivos, fungicidas, inseticidas, indústria farmacêutica, tratamento de água e outros (SANTANA, 2011).

O Brasil apresenta depósitos de fosfato de origem ígnea e essencialmente apatíticos. Um dos depósitos de maior destaque está localizado no Complexo Mineralógico de Tapira (CMT), pertencente à empresa Vale Fertilizantes. De maneira geral, os minérios extraídos no CMT apresentam um teor de aproximadamente 8% de  $P_2O_5$ , que após as etapas de beneficiamento geram produtos com teores próximos de 35% de  $P_2O_5$  (LITHOLDO, 2013).

Um dos processos de concentração importantes presentes na rota de beneficiamento da usina do CMT é a separação magnética de alta intensidade (SMAI) devido a crescente contaminação de  $Fe_2O_3$  nos minérios fosfáticos extraídos. Os equipamentos utilizados para essa separação são por meio de separadores magnéticos do tipo carrossel, que possuem valor de investimento e custos de operação altos. No entanto, esse tipo de separação é limitada para os concentrados gerados na flotação apenas do minério friável, em razão de possuir maior presença de material magnético em sua composição, granulometria adequada e aos altos custos e capacidade associados aos separadores magnéticos.

Devido à complexidade mineralógica do minério fosfático, associado também com seu baixo teor e recuperação mássica, e o alto custo dos processos de beneficiamento, torna-se essencial a busca de melhores rotas de separação do fosfato dos outros minerais de ganga. Dessa forma, o estudo em questão se propõe a testar e avaliar a utilização de separadores

magnéticos de alta intensidade, em escala piloto, a fim de maximizar o uso destes equipamentos.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a possibilidade de exclusão da aplicação de separação magnética de alta intensidade (SMAI) para parte do concentrado de flotação do minério fosfático friável.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Comparar o benefício da concentração do minério fosfático apenas por flotação e por flotação seguida de separação magnética de alta intensidade (SMAI).
- Comparar o benefício da separação magnética de alta intensidade (SMAI) aplicada a todo o concentrado de flotação e a somente parte do concentrado, apenas o flotado gerado nos instantes finais da flotação.
- Definir o tempo até o qual o material flotado não necessita de separação magnética de alta intensidade.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Importância do Fósforo**

O fósforo é um elemento de origem mineral, abundante na crosta terrestre. Este elemento é um dos principais constituintes da vida animal e vegetal, sendo responsável pelo armazenamento e fornecimento da energia necessária para importantes processos vitais, tais como: reprodução, crescimento e fotossíntese. Dessa forma, torna-se indispensável à prática de utilização de fertilizantes a base de fósforo para a produção agrícola e, conseqüente, disponibilidade do elemento em forma de alimento para a população mundial. Além disso, o fósforo é também componente para a fabricação de produtos de limpeza, ração animal, agentes anticorrosivos, fungicidas, inseticidas, indústria farmacêutica, tratamento de água e outros (SANTANA, 2011).

#### **3.2 Minérios Fosfáticos**

Os minérios fosfáticos são encontrados em rochas naturais formadas em diversos ambientes geológicos. Um dos minerais de fosfato mais comum são os fosfatos de cálcio do grupo apatita. Existem diferentes variantes de apatita, o cálcio pode ser substituído, em parte, por lantanídeo de terras raras, urânio, zinco, magnésio. Da mesma maneira, o fosfato pode ser substituído por diferentes ânions como, por exemplo,  $F^-$ ,  $OH^-$  e  $CO_3^{2-}$  (ABOUZEID, 2008).

Devido essa variação da composição química da apatita, somado ao grau de liberação do mineral, distribuição de tamanho, baixo teor de fósforo e minérios de ganga associados, ocorre a necessidade de utilização de processos de beneficiamento de grande complexidade. Além disso, pode-se afirmar que a obtenção de fósforo a partir de minerais de apatita demanda alto custo de produção e, geralmente, possui valores de recuperação metalúrgica inferiores a 65% (PAIVA, 2011).

##### **3.2.1 Depósitos no Brasil e no Mundo**

Os depósitos de rochas fosfáticas podem ser de origem sedimentar, ígneos e biogénicos. Os depósitos sedimentares e ígneos são de grande importância econômica, com teores de  $P_2O_5$  variando de 10% a 25 % e de 5 % a 20%, respectivamente. Geralmente, eles apresentam minérios fosfáticos essencialmente apatíticos, possuindo alto teor de cloro e flúor. Os depósitos biogénicos são aqueles formados a partir de dejetos de aves, isto é, de origem orgânica e que apresentam pouca representatividade econômica (LITHOLDO, 2013). A Tabela 1 sintetiza os tipos de minérios de fosfatos e as áreas em que são encontrados.

**Tabela 1:** Tipos de minérios de fosfato e suas origens

Minério de fosfato	Origens	Áreas
Minérios de fosfatos marinhos	Sedimentos marinhos	Baixa califórnia, sudeste do México e nordeste dos USA.
	Sedimentos marinhos do grupo equatorial	Marrocos, noroeste do Saara, Oriente Médio
Minérios de fosfatos ígneos	Depósitos ígneos	Phalabora, África do Sul, Khibiny, Rússia, Siilinjarivi, Finlândia e Brasil

Dados: LITHOLDO (2013).

As reservas mundiais de fosfato estão distribuídas quantitativamente da seguinte forma: Marrocos, China e Estados Unidos detêm, aproximadamente, 82% do total, destacando-se o Marrocos que possui mais de 70% das reservas mundiais. Contrariamente, o Brasil possui somente 0,47 % do total das reservas, e estas, na maioria, se encontram localizadas em Minas Gerais, Goiás e São Paulo (DNPM, 2013). A Figura 1 mostra detalhadamente a distribuição das reservas de rocha fosfática no mundo.

Discriminação Países	Reservas ( $10^3$ t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Produção ( $10^3$ t)		
	2013 <sup>(p)(1)</sup>	2012 <sup>(r)</sup>	2013 <sup>(p)</sup>	%
<b>Brasil<sup>(2)</sup></b>	<b>315.000</b>	<b>6.750</b>	<b>6.715</b>	<b>3,0</b>
China	3.700.000	95.300	97.000	43,4
Estados Unidos da América	1.100.000	30.100	32.300	14,4
Marrocos (inclui Saara Ocidental)	50.000.000	28.000	28.000	12,5
Rússia	1.300.000	11.200	12.500	5,6
Jordânia	1.300.000	6.380	7.000	3,1
Egito	100.000	6.240	6.000	2,7
Tunísia	100.000	2.600	4.000	1,8
Peru	820.000	3.210	3.900	1,7
Israel	130.000	3.510	3.600	1,6
Arábia Saudita	211.000	3.000	3.000	1,3
Outros países	7.727.000	20.500	19.570	8,8
<b>TOTAL</b>	<b>66.803.000</b>	<b>216.790</b>	<b>223.585</b>	<b>100,0</b>

**Figura 1:** Reserva e produção mundial de fosfato

Fonte: DNPM (2013)

### 3.2.2 Complexo de Mineração Tapira (CMT)

O Complexo de Mineração Tapira (CMT) possui uma jazida caracterizada por uma chaminé ultramáfica-alcálica, que teve origem a partir de derrames basálticos da bacia do Paraná e estão encaixadas em rochas do grupo canastra. O CMT ocupa uma área de aproximadamente 78.403.00 m<sup>2</sup>, realizando as seguintes atividades de destaque: lavra a céu aberto, beneficiamento de minério e mineroduto (SANTOS et al, 2002).

A jazida de Tapira, de origem ígnea, apresenta acentuada presença de rochas carbonáticas e minerais micáceos com baixos teores de  $P_2O_5$ , da ordem de 8%. A partir da extração dos minérios da jazida, o CMT tem como meta produzir um concentrado fosfático convencional com teor, aproximado, de 35,8% de  $P_2O_5$ , e o concentrado fosfático ultrafino com teor de 33,5% de  $P_2O_5$ , a partir de lamas descartadas no processo de beneficiamento dos minérios de alimentação da usina (SANTOS et al.; 2002).

Resumidamente, o CMT possui as seguintes etapas para produzir o seu concentrado fosfático. Primeiramente, o material é lavrado por meio do método de lavra a céu aberto, com bancadas de 10 metros e feito desmontes, mecânicos e com explosivos. Todo material lavrado é encaminhado para a britagem primária, e o minério é reduzido até quatro polegadas de diâmetro. A diante, ocorre a retomada da pilha de homogeneização e depois rebritagem. Na rebritagem o material retido alimentará o Circuito Granulado e o passante o Circuito Friável na Usina de beneficiamento. Os minérios friável e granulado possuem diferenças de comportamento, porém, basicamente ambos passam por uma rota composta de processos de moagem, separação magnética de baixa intensidade, deslamagem, flotação, espessamento e sendo expedido o minério convencional via mineroduto e o minério ultrafino transporte rodoviário (SANTOS et al.; 2002). A Figura 2 ilustra as rotas simplificadas da Usina de beneficiamento do CMT, destacando-se a existência da etapa de Separação Magnética de Alta Intensidade no circuito friável, escopo do estudo em questão.

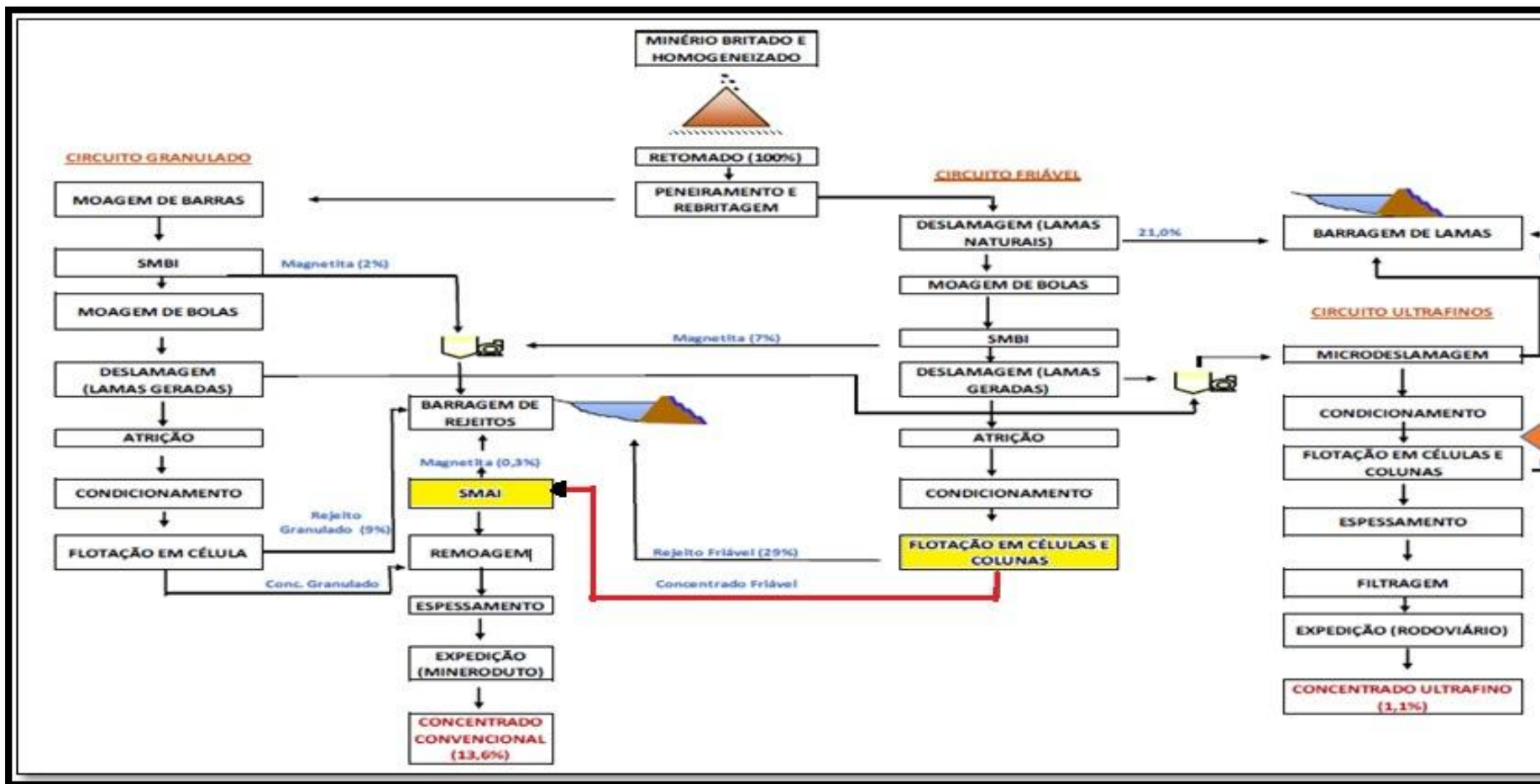


Figura 2- Rotas simplificadas da Usina de beneficiamento do Complexo de Mineração de Tapira

Adaptado de: SANTOS (2012).



### **3.3 Flotação**

#### **3.3.1 Aspectos gerais da flotação**

De maneira geral e no âmbito da mineração, a flotação é o termo designado para se referir ao processo de separação de minerais em meio aquoso e na presença de bolhas de ar. O processo utiliza as características de hidrofobicidade e hidrofiliabilidade para separar a partícula mineral de interesse da ganga (SANTOS, 2010).

Durante a flotação, ar é introduzido na polpa e, concomitantemente, o meio é agitado. A partir disso, formam-se bolhas de ar que possuem o papel de carregar as partículas hidrofóbicas, enquanto as demais continuam em suspensão na fase líquida (SANTANA, 2007).

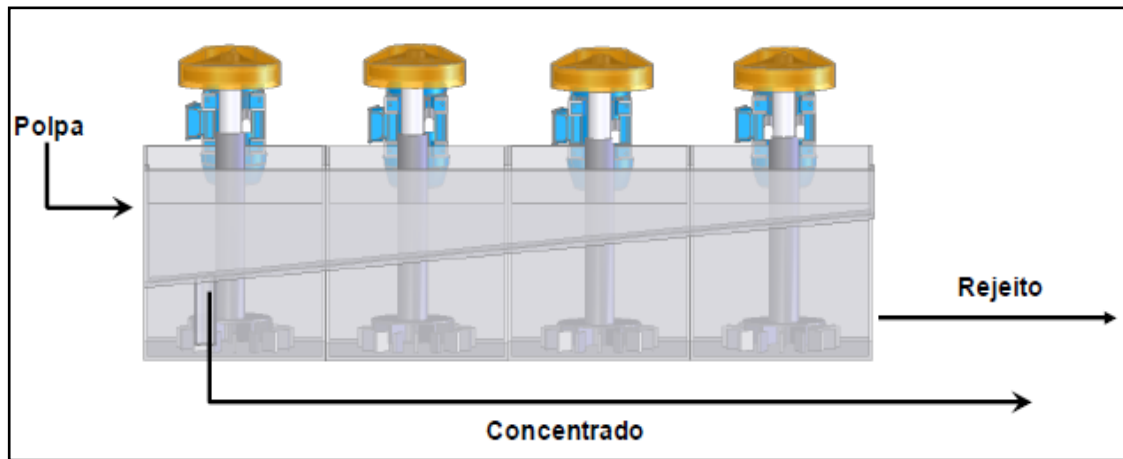
Nesse processo também ocorre adição de alguns reagentes, tais como: coletores, depressores e espumantes. Os coletores são substâncias surfactantes que possuem moléculas heteropolares, uma parte da molécula é inorgânica e a outra orgânica apolar, com capacidade de adsorção na interface do mineral/solução a fim de induzir ou intensificar sua hidrofobicidade. Diferentemente, depressores são dos grupos dos polímeros ou sais que tem a função de adsorver a superfície das partículas que não há interesse de flotar, reforçando a hidrofiliabilidade das mesmas. O último reagente citado, os espumantes, são substâncias utilizadas para diminuir a tensão interfacial ar/solução com o intuito de criar condições favoráveis à geração de espuma. Além disso, os espumantes contribuem na cinética de interação entre bolhas e partícula (PAIVA, 2011). Além desses reagentes, podem ser utilizados ácidos, bases, oxidantes e redutores para ajustar as condições físico-químicas necessárias.

#### **3.3.2 Equipamentos industriais para a flotação**

A escolha do equipamento de flotação é essencial para se atingir resultados satisfatórios no processo. Granulometria, seletividade e recuperação desejadas são exemplos de fatores determinantes para essa decisão (SANTOS, 2010).

Os equipamentos de flotação utilizados na planta de Tapira são células mecânicas e colunas de flotação.

As células mecânicas são equipamentos desenvolvidos para receber a polpa em uma das faces laterais e descarrega-la na outra extremidade (LEAL FILHO; CHAVES, 2004). As células são unidade de tanques dispostos seguidamente conforme a Figura 3.

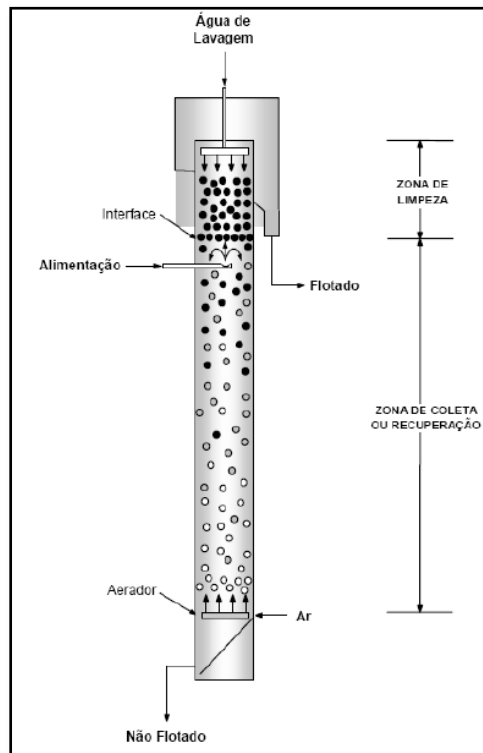


**Figura 3-** Esquema de células mecânicas

Fonte: SANTOS (2010).

Estes equipamentos desempenham sua ação central no seu principal componente, o rotor. Os rotores possuem as funções de suspender partículas sólidas; dispersar o ar introduzido em pequenas bolhas; formar uma camada de espuma no topo da célula; proporcionar a colisão partícula bolha, por meio da agitação turbulenta e transferir a polpa para outra célula, considerando um circuito em série (EK, 1992).

Já as colunas de flotação são equipamentos em que a alimentação da polpa é feita a dois terços da altura da coluna (a partir da base). O equipamento possui duas zonas distintas: coleta e limpeza. A zona de coleta é delimitada pelo sistema de aeração e a interface polpa/espuma. A zona de limpeza (espuma) está localizada entre a interface polpa/espuma e o transbordo (SANTOS, 2010). A Figura 4 identifica os principais aspectos de funcionamento das colunas de flotação.



**Figura 4-** Colunas de Flotação

Fonte: SANTOS (2010).

### 3.3.3 Cinética de Flotação

A cinética de flotação é uma área que se analisa a variação do produto da flotação (*overflow* da espuma) em relação ao tempo do processo, identificando-se quantitativamente todas as variáveis de controle de taxa. Geralmente, os modelos cinéticos para os processos de flotação são utilizados para estimar o tempo de residência do material em circuitos mecânicos (QUEIROZ et al., 2005).

De acordo com Lima (2010), a cinética de flotação usualmente estudada é classificada pela maioria dos autores como uma reação de primeira ordem ( $n=1$ ). Usualmente, a equação (i) de taxa de primeira ordem é expressa como:

i.  $R = 1 - e^{-kt}$

- $R$  é a recuperação acumulada após o tempo  $t$ .
- $k$  é a constante cinética da taxa de primeira ordem ( $\text{tempo}^{-1}$ ).
- $t$  é o tempo acumulado de flotação.

Ao plotar  $\ln(1-R)$  versus  $t$  produz uma função linear, com coeficiente angular equivalente a constante cinética.

A constante cinética por sua vez pode ser descrita a partir da seguinte equação (ii), (RALSTON, 1999):

ii.  $K = 3G \cdot E_c \cdot E_a \cdot E_s \cdot h / 2 \cdot d_b \cdot V_r$ ;

- $G$ = taxa volumétrica do fluxo de gás;
- $V_r$ = volume de referência de altura ( $h$ ), através do qual as bolhas de diâmetro  $d_b$  sobem;
- $E_c$ = eficiência de colisão;
- $E_a$ = eficiência de adesão;
- $E_s$ = eficiência de estabilidade

O produto  $E_c \cdot E_a \cdot E_s$  indica a eficiência da coleta, focando-se nas três zonas de interação partícula-bolha, destacando-se a interação hidrodinâmica, forças interfaciais e a estabilidade de agregado partícula-bolha (VIEIRA, 2005)

#### 3.3.4 Flotação da Apatita

O processo de flotação de apatita é feito usando-se diferentes tipos de reagentes, sendo este escolhido de acordo com a natureza do minério, a rota utilizada (direta ou reversa) e o pH. Geralmente, os fosfatos de gênese sedimentar usam-se, por exemplo, ácidos graxos de cadeia longa como coletores de apatita. Em contrapartida, os fosfatos de origem ígnea, além dos tradicionais ácidos graxos, pode-se utilizar uma variedade de coletores aniônicos, tais como: sulfossuccinamatos de aquila e sarcosinatos (HORTA, 2013).

A Figura 5 destaca as principais rotas de flotação usadas mundialmente. A variação dessas rotas é devida, principalmente, à baixa seletividade dos processos de flotação em relação aos carbonatos e da alta complexidade mineralógica dos depósitos de apatita, contendo muitos contaminantes que alteram o rendimento de fosfato (PAIVA; MONTE; GASPAR, 2011).

Gênese	Origem	Rota de flotação	Agente Coletor	Reagentes Modificadores	pH
Sedimentar	China	Aniônica reversa	Ácidos graxos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	<5
	Brasil (*)				
Ígneo	Moçambique e Brasil	Aniônica direta	Sarcosinatos de alquila (**) Sulfosuccinamato de alquila (+)	Amido NaOH	>10.5
	África do Sul	Aniônica direta	Ácidos graxos	Silicato de sódio	Natural
				Goma arábica Nonilfenol	(8-8,5)
Metamórfico	Brasil	Aniônica reversa	Ácidos graxos (#)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Meio ácido
	Índia	Aniônica direta	Alquil Sarcosinatos	Amido	Meio básico

(\*) Irecê-BA (\*\*) Cajati-SP e Evate-Moçambique (+) Minério granulado de Tapira-MG (#) Santa Quitéria-CE

**Figura 5**-Estratégias de Flotação em diferentes lugares do mundo

Fonte: HORTA (2013).

Segundo Guimarães (2004), os principais fatores que interferem na flotação de apatita relacionam-se com as características do minério, tais como:

- A predominância de silicatos e óxidos como minerais de ganga.
- Complexidade e variedade mineralógica, dificultando a seletividade da apatita nos processos de concentração.
- Em uma mesma frente de lavra, há presença simultânea de material friável e compacto, necessitando-se de diferentes circuitos de beneficiamento.
- Presença significativa de magnetita, mineral de ganga, responsável pelo aumento de teor de ferro no concentrado.
- Presença de materiais finos, possuindo menor eficiência do processo de flotação e acarretando o aumento do uso de reagentes.
- Presença de minerais com cátions de elementos alcalino-terrosos que são flotados juntamente com a apatita, causando a diluição dos concentrados.
- Presença de fosfatos não apatíticos, não passíveis de recuperar o fósforo, reduzindo-se a recuperação global do elemento de interesse.

### 3.4 Separação magnética

A separação magnética é um método frequentemente empregado no processo de beneficiamento de minérios. A partir das diferentes respostas ao campo magnético, propriedade chamada de susceptibilidade magnética, as espécies mineralógicas são separadas uma das outras. Com base nessa propriedade, o mineral é classificado como ferromagnético ou paramagnético ou diamagnético. Os ferromagnéticos e os paramagnéticos são aqueles que se atraem pelo campo magnético, fortemente e fracamente, respectivamente. Diferentemente, os diamagnéticos são aqueles que são repelidos (SILVA, 2012).

Qualitativamente, a susceptibilidade magnética ( $k$ ) é dada a partir da taxa adimensional entre magnetização ( $J$ ) e a intensidade de campo ( $H$ ), como descrita na equação (iii). A magnetização ( $J$ ) é a criação de linhas de indução magnética ou campo, em uma substância ou região e a intensidade de campo ( $H$ ) é a força de magnetização que induz a passagem das linhas de indução através da partícula (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2007).

iii.  $k = J/H$

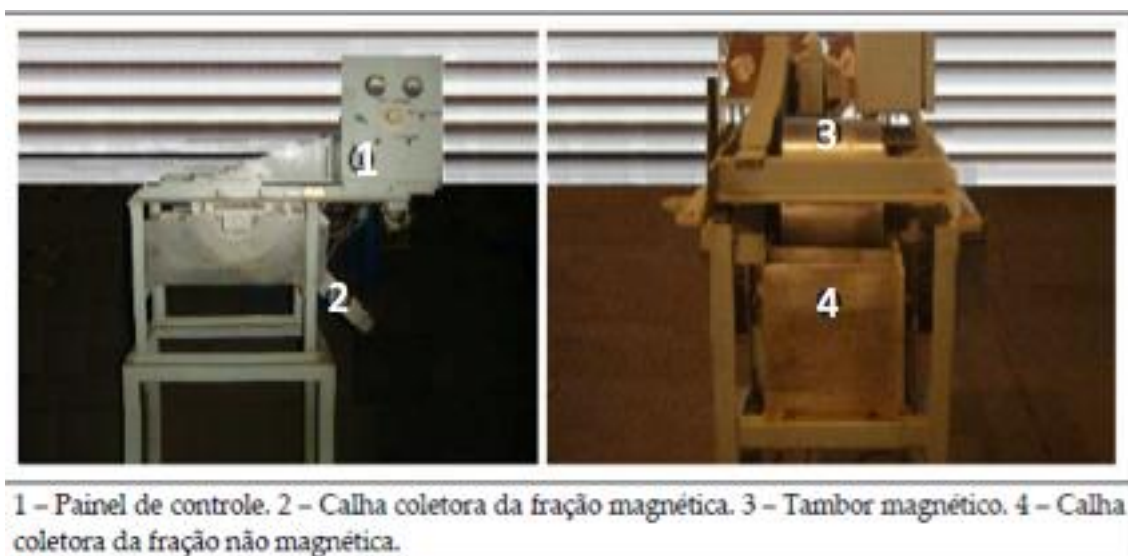
A susceptibilidade magnética ( $k$ ) para materiais paramagnéticos é uma constante positiva e com um valor de no máximo  $10^{-3}$ . Diferentemente, os materiais diamagnéticos apresentam  $k$  negativa e usualmente menor que  $10^{-5}$ . Os materiais ferromagnéticos possui uma susceptibilidade magnética variável, pois depende do campo de magnetização, da natureza e manuseio da amostra (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2007).

Os processos de separação magnéticos podem ser desenvolvidos por via seca ou úmida, variando-se a intensidade do campo do equipamento utilizado. A escolha do processo apropriado depende, principalmente, das propriedades dos minerais, da especificação do produto de interesse, nível de produção e grau de recuperação.

Na usina de beneficiamento do Complexo de Mineração de Tapira (CMT) são utilizados separadores magnéticos de baixo campo do tipo tambor e separadores magnéticos de alta intensidade do tipo carrossel, ambos a úmido.

O separador magnético tipo tambor é utilizado para separar partículas de alta susceptibilidade magnética, tais como magnetita, hematita martítica e agregados de hematita com magnetita ou hematita martítica. Uma das limitações existente é que as partículas devem apresentar uma granulometria na faixa de 3,0 a 0,15 mm (SANTOS, 2009).

Geralmente, a operação dos separadores magnéticos de tambor consiste em introduzir a polpa de minério por meio de um alimentador. Em seguida, as partículas magnéticas (usualmente, as ferromagnéticas) existentes aderem ao tambor rotativo, que possui um ímã permanente ou um eletroímã instalado, sendo posteriormente descartadas do circuito como produto magnético (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2007). A Figura 6 ilustra um exemplo de separador magnético de tambor de baixa intensidade com a identificação de seus principais componentes.

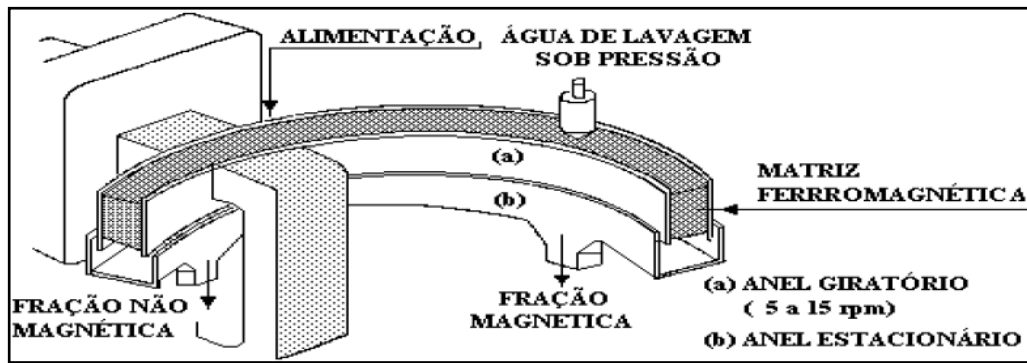


**Figura 6**-Separador magnético de Tambor

Fonte: SAMPAIO; FRANÇA; LUZ (2007).

Diferentemente, os separadores magnéticos de alta intensidade do tipo carrossel são equipamentos compostos por um anel rotativo (carrossel) que possui um campo magnético gerado por matrizes. O modo de alimentação do separador está em conformidade com a região de campo de alta intensidade, fazendo com que a polpa atravessasse tal região (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2007).

O material magnético é atraído para a matriz de maneira a ser carregado pelo movimento do anel rotativo a uma região de baixa intensidade. Nesta região, as partículas magnéticas remanescentes na matriz são descarregadas por meio de um jato d'água e posteriormente coletadas em uma calha (SILVA, 2012). A Figura 7 é um diagrama representativo de um separador magnético tipo Carrossel.



**Figura 7-**Separador magnético tipo Carrossel

Fonte: SAMPAIO; FRANÇA; LUZ (2007).

A separação magnética desse equipamento é alcançada com seletividade, a partir do controle das variáveis operacionais. Exemplos dessas variáveis são: taxa de alimentação, intensidade de campo, porcentagem de sólidos na polpa, velocidade do anel rotativo ou rotor e descarga de partículas magnéticas (SAMPAIO; FRANÇA; LUZ, 2007).

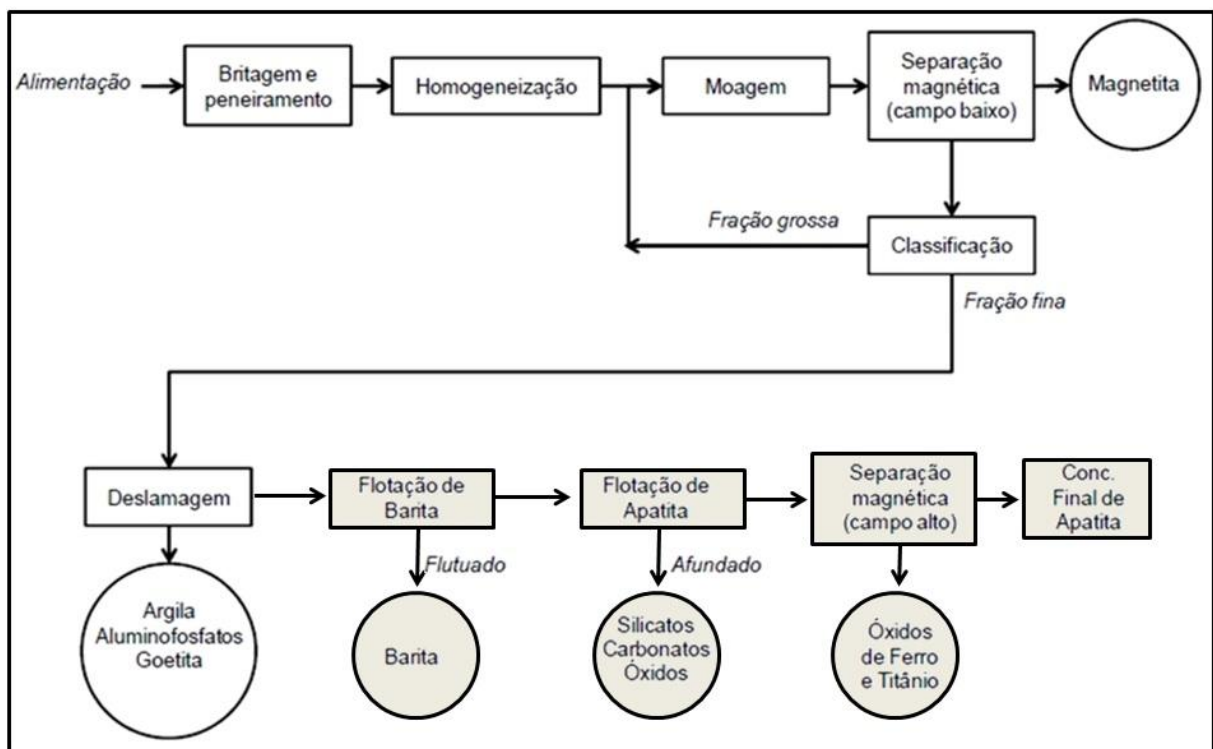
De acordo com Ribeiro e Ribeiro (2010), a utilização de separadores magnéticos de alta intensidade, do tipo Carrossel, tem tipo crescente aplicabilidade nos circuitos de beneficiamento de minério, principalmente, devido a:

- A Facilidade de manutenção.
- A alta capacidade de produção.
- A qualificação como sistema operacional robusto.

### 3.5 Exemplos de Processos de Concentração de fosfato no Brasil

Os minérios fosfáticos de origem ígnea com ganga carbonatada existentes no Brasil, característica comum ao minério utilizado no presente estudo, apresentam características distintas entre si, acarretando uma diferenciação nos seus processos de concentração (GUIMARÃES, 2004). De modo geral, o processo beneficiamento desses minérios fosfatados obedece as operações unitárias presentes na Figura 8, destacando-se as operações de concentração da apatita.





**Figura 8**-Fluxograma geral das operações unitárias envolvidas na concentração de apatita proveniente de rocha ígnea nas indústrias brasileiras.

Fonte: LEAL FILHO; MARTINS; HORTA (2010).

Os processos de concentração do minério fosfatado de Catalão (GO), assim como ocorre em Araxá (MG), são constituídos de flotação reversa de barita e flotação de apatita (NICOLI, 2014; SANTOS, 2010). Nas usinas de Tapira (MG) e Cajati (SP), os minérios são ausentes de barita, necessitando-se somente da flotação direta de apatita (HORTA, 2013).

O processo de concentração do fosfato de Itaitia (CE) é composto por duas etapas: flotação direta e flotação reversa. A primeira etapa tem como objetivo separar os materiais de ganga, exceto o carbonato que é flotado juntamente com a apatita, tornando-se necessária a separação da apatita e carbonato. Para tal finalidade, durante a segunda etapa é feita a flotação reversa em que somente o carbonato é flotado, a partir do uso de coletores a base de ácidos graxos. Na flotação reversa a apatita é deprimida, em meio ácido, com a presença de ácido fosfórico (AQUINO, 1987).

Além da etapa de flotação, outra operação unitária existente no processo de concentração de apatita é a separação magnética de alta intensidade (SMAI) (HORTA, 2013). Alguns concentrados fosfáticos são ricos em ferro, demandando a diminuição do teor para

suprir necessidades dos mercados consumidores (LEAL FILHO; MARTINS; HORTA, 2010). Em Catalão (GO) e Tapira (MG), por exemplo, as usinas utilizam a separação magnética de alta intensidade, após as etapas de flotação de certos circuitos, a fim de diminuir o teor de Fe no concentrado (SANTOS, 2012; BORGES, 2014).

Além disso, as diferenças de textura e mineralização existentes em cada minério apatítico lavrado das regiões citadas promove uma diferenciação nos tipos de reagentes e pH das soluções utilizadas nos processos de flotação. A Figura 9 descreve essas diferenças de acordo com a textura e mineralogia dos respectivos minérios presentes em cada região.

Empresa/ Local	Características do minério		Características da solução de flotação			Reagentes de flotação
	Mineralogia	Textura	pH	pCa	pMg	
Vale Fertilizantes/ Cajati-SP	Apatita 12%, Calcita 70%, Dolomita 13%, Silicatos 4%, Magnetita 1%	Rocha fresca	10,5	3,3	3,8	Amido de milho, Sarcosinato de alquila e NaOH.
Vale Fertilizantes/ Tapira-MG	Apatita 16%, Carbonatos 21%, Silicatos 32%, Óxidos 31%	Rocha fresca + manto de intemperismo	9,5	3,5	3,9	Amido de milho, Sulfossuccinato de alquila, ácido graxo e NaOH
Copebrás S.A./ Catalão-GO	Apatita 24-38%, Carbonatos <5%, Barita 2%, Silicatos <10%, Óxidos 52%	Manto de intemperismo	10,5	3,3	3,7	Amido de milho, ácido graxo, nonilfenol, sulfato de alquila e NaOH
Vale Fertilizantes/ Araxá-MG	Apatita 24-33%, Carbonatos <5%, Barita 7-10%, Silicatos 10-37%, Óxidos 30-51%	Manto de intemperismo	11,5	4,2	4,1	Amido de milho, ácido graxo, sulfato de alquila, Flotanol C14 e NaOH

**Figura 9**-Informações sobre mineralogia e esquema de reagentes das principais operações industriais de concentração de fosfato no Brasil.

Fonte: LEAL FILHO; MARTINS; HORTA (2010).

Observa-se que os principais coletores de apatita utilizados pelas empresas de fosfatos no Brasil nos processos de flotação são os ácidos graxos. O amido de milho está presente em, praticamente, todas as unidades e é utilizado para deprimir os minerais silicatados.

Os ácidos graxos (RCOOH) são surfactantes compostos por ácidos carboxílicos de cadeia longa, de caráter hidrofóbico, e também por grupo funcional polar carboxil, que apresenta característica hidrofílica. As principais fontes de ácidos graxos são óleos vegetais e gorduras, com composição e origem variadas. Para sua utilização é necessário a saponificação a partir de hidróxido de sódio (ALBUQUERQUE, 2010). Sua eficiência está

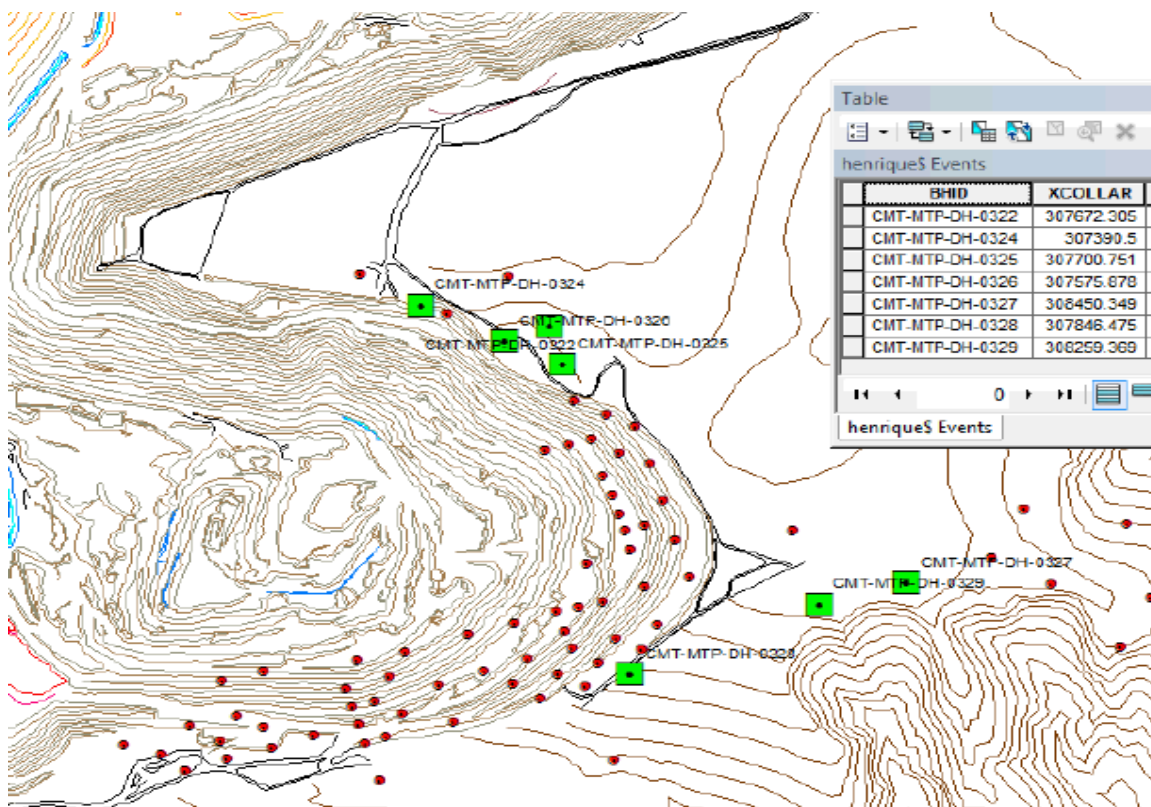
relacionada com a configuração das cadeias longas, tais como: quantidades de átomos de carbono, grau de instauração e configuração estérica (CAIRES, 1995).

O amido de milho é a obtido de várias raízes, cereais e tubérculos, constituído por amilose e amilopectina, que possuem composição química semelhante e cadeia estrutural distinta (BRANDÃO, 2010). Todo amido é formado por unidades de D-glicose, tendo como fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . É uma substância que possui alto peso molecular, tendo sua capacidade hidrofílica devida à presença dos grupos OH, que possui marcante característica polar, conferindo-lhe o papel de depressor na flotação de fosfato (LEJA, 1982 a). Por exemplo, a adsorção de amido na superfície da calcita (materiais de ganga), a partir de ligações de hidrogênio entre as hidroxilas do depressor e os oxigênios das interfaces calcita/solução, promovem a hidrofiliabilidade da calcita, deprimindo esse mineral.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Processo de amostragem para a realização do estudo

Selecionaram-se amostras de furo de sonda da mina do Complexo de Mineração de Tapira de diferentes regiões, em destaque na Figura 10, retirada do programa de planejamento de mina pertencente a Vale Fertilizantes.



**Figura 10**-Localização das amostras de furo de sonda

Fonte: VALE FERTILIZANTES (2016).

### 4.2 Preparação de amostra

As amostras selecionadas foram enviadas para a Planta Piloto do CMT para que estas fossem preparadas. As etapas de preparação das amostras estão descritas a seguir.

#### 4.2.1 Primeira Etapa de preparação

Inicialmente, cada amostra foi britada, homogeneizada, quarteeda e uma alíquota pulverizada. Em seguida, as alíquotas pulverizadas foram enviadas para o Laboratório de Análise química do CMT.

#### 4.2.2 Segunda Etapa de preparação

A partir dos resultados da análise química e utilizando-se os métodos de pilha alongada e cone, compuseram-se 8 amostras que representam a alimentação da usina.

#### 4.2.3 Terceira Etapa de preparação

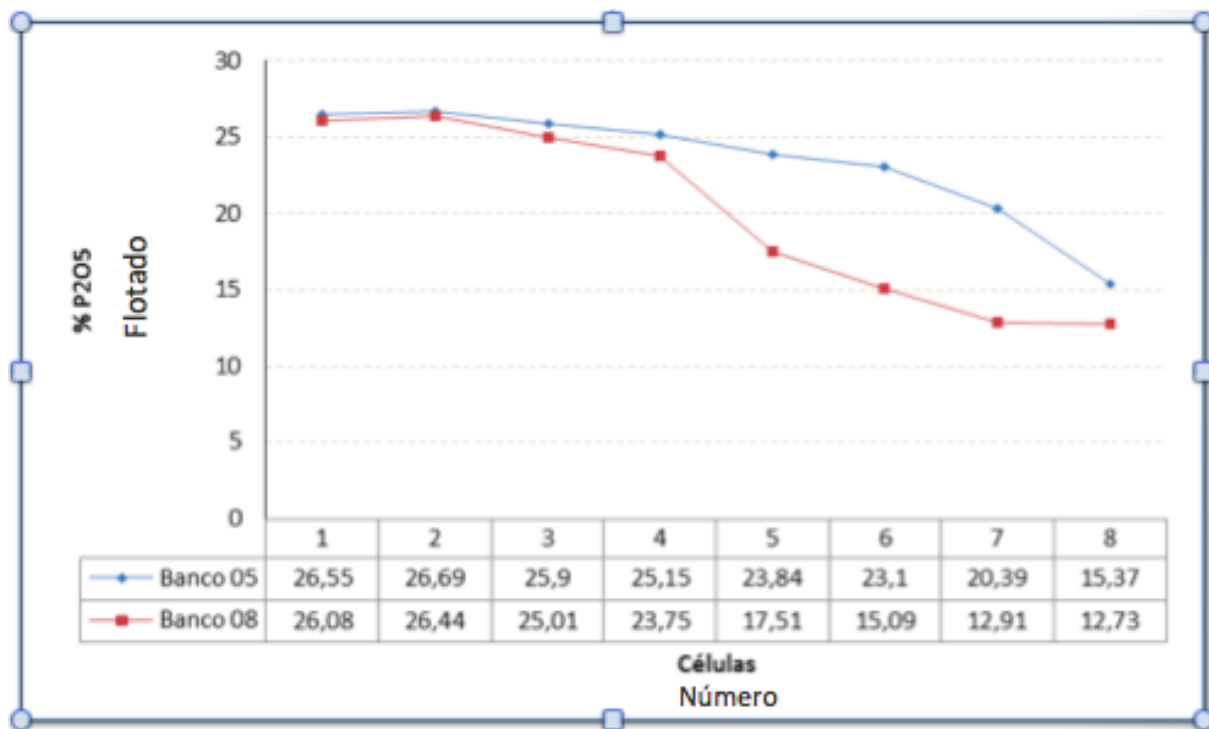
A terceira etapa é aquela em que as amostras passaram pela usina piloto para gerar três alíquotas de 1 kg para alimentar os testes de flotação, totalizando-se em vinte e quatro amostras. De maneira geral, os processos que compuseram essa etapa foram:

- Moagem.
- Separação Magnética de Baixa Intensidade.
- Deslamagem.
- Célula de atrição.
- Secagem.
- Homogeneização.
- Quarteamento.

Ao finalizar todas as etapas de preparação, as amostras de alimentação (AN) dos testes de flotação foram enviadas para o Laboratório de Análise química do CMT para análise de suas composições químicas.

### **4.3 Teste Cinético – Avaliação Preliminar**

Para estimar o tempo de coleta dos flotados de cada amostra durante o ensaio de flotação, foi realizado um teste cinético. Especificamente, o objetivo do teste é encontrar o intervalo de tempo suficiente para o material flotado alcançar o teor padrão de 35,5 % de  $P_2O_5$ . Sabe-se que no processo de flotação, os instantes iniciais são aqueles que a eficiência de coleta do material é maior. Isto é, ao longo do tempo, o teor do material flotado diminui. Tal afirmação pode ser confirmada a partir do gráfico (Figura 11) gerado a partir da análise química dos rejeitos dos bancos *Scavenger* do circuito granulado da Usina do Complexo de Mineração de Tapira (CMT) de 2012.



**Figura 11**-Evolução do teor de apatita em função das células dos bancos de flotação

Adaptado de: CMT (2012).

#### 4.3.1 Amostra

Para a realização do teste cinético foi utilizado uma amostra padrão do minério apatítico (teor de 11,5 % de  $P_2O_5$ ) coletada na alimentação da etapa de condicionamento do circuito de flotação do minério friável da Usina do CMT.

#### 4.3.2 Reagentes

- Coletor: ácido graxo derivado de óleo de soja parcialmente hidrogenado (Agem A), gelatinizado com hidróxido de sódio, a uma dosagem de 250 g/t.
- Depressor: fubá de milho gelatinizado com hidróxido de sódio, a uma dosagem de 500g/t.

#### 4.3.3 Flotação

Na célula de flotação em bancada, adicionou-se o depressor, 500 g/t, e em seguida o coletor à polpa, 250 g/t, condicionados sob agitação em torno de 5 minutos e 1 minuto, respectivamente. Concomitantemente, o pH da polpa foi monitorado e mantido em 9.

Iniciou-se a flotação (etapas *Rougher e Cleaner*) e coletou-se três amostras do material flotado nos primeiros 10, 30 e 70 segundos.

#### 4.3.4 Caracterização Química

Após o teste de flotação, as amostras coletadas foram secadas, pulverizadas e enviadas para o Laboratório de Análise Química do Complexo de Mineração de Tapira. No laboratório, a composição química de cada amostra foi determinada por meio da espectrometria de raios-X.

### 4.4 **Ensaio de Flotação**

#### 4.4.1 Preparação dos reagentes

As três alíquotas representativas de cada amostra preparada foram flotadas com diferentes dosagens de coletores e depressores, com intuito de se estimar dosagens ideais para obtenção do teor padrão de 35,5 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dessa forma, os reagentes foram preparados de acordo com a dosagem pré-estabelecida em g/t. De maneira geral, eles foram pesados (g) utilizando-se as seguintes fórmulas:

- Coletor do tipo Hidrocol à 5% de concentração:

$$\text{Peso (g)} = \frac{0,001 \times \text{dosagem} \left(\frac{\text{g}}{\text{t}}\right)}{5} \times 100$$

- Depressor do tipo Fubá à 2 % de concentração:

$$\text{Peso (g)} = \frac{0,001 \times \text{dosagem} \left(\frac{\text{g}}{\text{t}}\right)}{2} \times 100$$

#### 4.4.2 Execução do Ensaio de Flotação em Bancada

As etapas realizadas durante o ensaio de flotação são descritas, de maneira geral, conforme os regulamentos da Planta Piloto do CMT:

- Coloca-se a amostra na cuba *Rougher* e adiciona-se em torno de 500 ml de água.
- Condiciona-se o depressor por 5 minutos, e posteriormente o coletor por 2 minutos, a uma rotação de 1000 RPM.
- Ajusta-se o pH, e mantém-se em 9 por meio da utilização de soda cáustica.
- Abre-se a aeração e ajusta-se a rotação para 1400 RPM, inicia-se a flotação na etapa *Rougher* e, em seguida na *Cleaner*.

- Durante a etapa *Cleaner*, o material flotado é coletado nos primeiros 20 segundos (determinado à partir do teste cinético- avaliação preliminar) e o restante coletado ao final do processo.

#### **4.5 Ensaios de Separação Magnética de Alta Intensidade**

Os dois flotados coletados no processo de flotação de cada alíquota foram submetidos aos ensaios de separação magnética de alta intensidade (SMAI). Na etapa de separação de magnética utilizou-se um imã de mão de alta intensidade a seco, 16000 Gauss, a fim de separar o material magnético do concentrado da flotação.

Os ensaios de separação magnética consistiram, basicamente, em colocar-se cada flotado em uma bandeja, e passar vagorosamente o imã de mão, dentro de um saco plástico sobre ele, coletando-se o material magnético. Após cada ensaio, direcionou-se o imã para outra bandeja, retirando-o do plástico para que o material magnético fosse despejado na outra bandeja. Uma bandeja alocou o material não magnético e a outra o magnético gerado. Em seguida, os materiais foram pesados e encaminhados para o Laboratório de Análise Química do Complexo de Mineração de Tapira para a composição química de cada um.

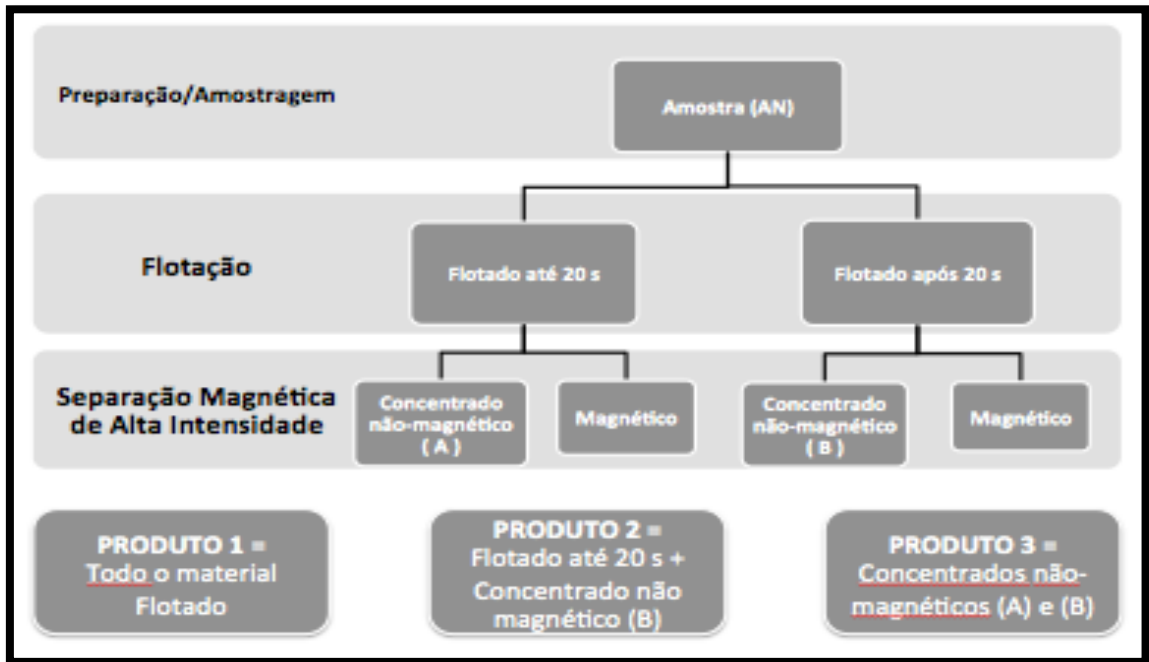
#### **4.6 Análise por Regressão Linear**

As análises de desempenho dos flotados (antes e depois dos 20 segundos) foram feitas a partir do método de Regressão Linear. Após a realização dos ensaios de flotação e separação magnética de alta intensidade, três tipos de produtos para cada alíquota foram formados:

1. Produto sem separação magnética: concentrado gerado apenas por flotação (produto tipo 1).
2. Produto com separação magnética parcial: concentrado formado pelo flotado dos 20 segundos iniciais de flotação + concentrado da separação magnética do material flotado após os 20 segundos (produto tipo 2).
3. Produto com separação magnética total: concentrado gerado por separação magnética de todo o material flotado (antes e após 20 segundos) (produto tipo 3).



O esquema que identifica, resumidamente, os processos e produtos gerados no presente trabalho estão representados na Figura 12.

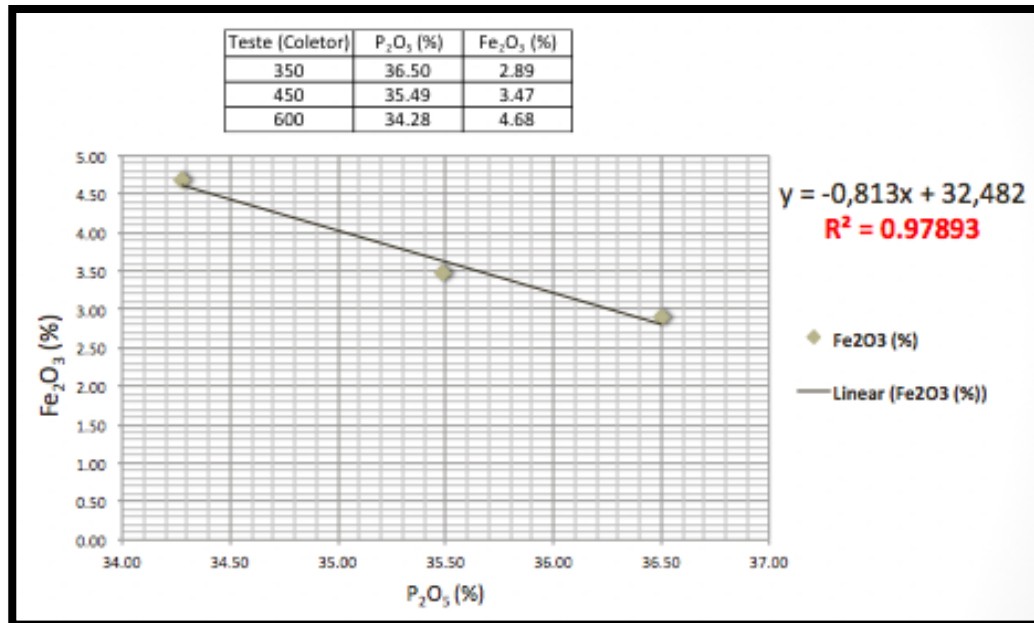


**Figura 12**-Processos e Produtos

Todos os produtos acima foram encaminhados para o Laboratório de Análise Química do Complexo de Mineração de Tapira para a composição química. Para efeito de comparação, os três tipos de produtos de cada amostra foram avaliados considerando-se um teor de concentrado padrão de 35,5 % de  $P_2O_5$ . Os resultados para o teor padrão foi estipulado por meio dos três teores de  $P_2O_5$  dos concentrados das alíquotas de cada amostra submetidas a diferentes dosagens de coletores, a partir de uma previsão pelo método de regressão linear. Porém inicialmente, manipulou-se cada variável calculada a ser avaliada (recuperação em massa de  $P_2O_5$ , recuperação metalúrgica de  $P_2O_5$ , grau de redução de  $Fe_2O_3$  e teores de Fe) a fim de linearizar a relação destes com o teor de  $P_2O_5$ . Identificou-se a melhor mudança das variáveis para atingir tal linearização, a partir do coeficiente de correlação, que quanto mais próximo de 1 mais linear a relação entre as variáveis. O programa *Microsoft Excel* foi utilizado para retornar tanto o coeficiente de correlação entre variáveis quanto à previsão de um valor correspondente por meio do método de Regressão Linear.

Por exemplo, a partir dos valores dos teores de  $P_2O_5$  e de  $Fe_2O_3$  de cada teste com diferentes dosagens de coletores construiu-se um gráfico teor de  $Fe_2O_3$  versus teor de  $P_2O_5$  de forma a encontrar uma relação linear entre eles, isto é, uma reta (Figura X). Essa reta, obtida

por regressão linear, possui uma equação e uma coeficiente de correlação. Ao substituir o valor de 35,5 % de  $P_2O_5$  no X da equação, estimou-se o teor de  $Fe_2O_3$  que é de 3,89 %.



**Figura 13-** Estimativa do teor de  $Fe_2O_3$  a partir dos teores de  $P_2O_5$ , por regressão linear.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

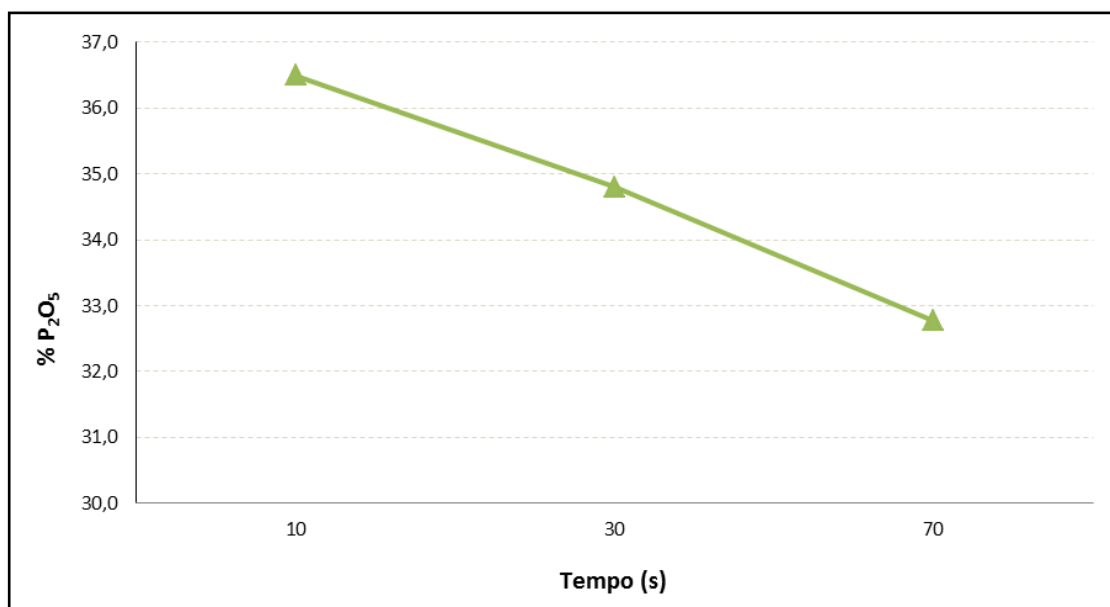
### 5.1 Teste Cinético- Avaliação Preliminar

O resultado apresentado pelo Laboratório de Análise Química do CMT com a composição química de cada amostra coletada durante o teste cinético está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2-** Composição química das amostras do Teste Cinético

Teste Cinético												
Amostra	Tempo	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO	%CaO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%BaO	%SrO	%MnO	%Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
93 g	0-10 s	36,5	1,09	0,33	51,85	0,12	1,41	0,7	0,01	1,21	0,54	0,01
131 g	10-30 s	34,8	1,4	0,52	50,38	0,16	1,9	0,93	0,01	1,19	0,36	0,01
80 g	30-70 s	32,77	2,02	0,74	49,38	0,39	2,89	1,39	0,01	1,17	0,54	0,01

Plotando-se o gráfico de teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus tempo (Figura 13) é possível confirmar que o teor do material flotado diminui significativamente ao longo do tempo de coleta. O alto teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e baixo teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos flotados coletados nos estágios iniciais da flotação sugerem a não necessidade de posteriores processos separação magnética para esses concentrados.



**Figura 14-** Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus Tempo

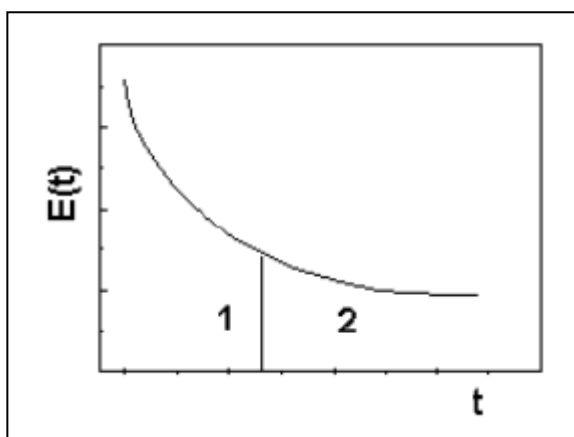
Utilizando-se os dados experimentais, teor P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das amostras coletadas em diferentes tempos, juntamente com o auxílio da função PREVISÃO do Microsoft Excel, é possível

estipular por meio de uma regressão linear o intervalo de tempo em que o material flotado possui um teor igual ou superior à 35,5 % (limite de especificação desejado) . A partir da sintaxe “=PREVISÃO (35,5; tempo; teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)”, o valor retornado foi de 23,54 segundos.

O resultado alcançado não é exato, pois a curva de tempo de residência por teor não é linear, mas exponencial. Um dos modelos cinéticos probabilísticos existentes aborda a distribuição do tempo de residência  $E(t)$  de um fluxo a partir da equação (iv) . (SILVA, 2015):

iv.  $E(t) = \exp(-t/\tau) / \tau$ , sendo  $t$  tempo e  $\tau$  teor.

A Figura 14 representa a curva originada da distribuição do tempo de residência do fluxo de uma mistura perfeita. A primeira região possui alto teor e baixa recuperação. Antagonicamente, na segunda região possui um teor menor da fração flotada, consequência do aumento da probabilidade de coleta de partículas menos hidrofóbicas devido ao maior tempo (SILVA, 2015).



**Figura 15-** Curva de distribuição de tempo de residência num fluxo tipo mistura perfeita

Fonte: (LUZ, et al., 2010).

Apesar de não corresponder a um valor exato, o valor encontrado de 23,54 segundos representa um tempo aproximado para alcançar o teor de 35,5% do material flotado. Portanto, definiu-se que nos primeiros 20 segundos dos ensaios propostos pelo estudo, haveria a coleta da primeira amostra de flotado.

## 5.2 Composição Química das Amostras de Alimentação

A composição química das amostras de alimentação dos ensaios de flotação, geradas a partir do método espectrometria de Raios-X realizadas pelo Laboratório de Análise química do Complexo de Mineração de Tapira, está apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3-** Composição química das amostras da alimentação

Amostras	Teores (%)										
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
CMT-16-GM-2198	20,09	14,81	0,88	26,34	3,31	24,66	1,01	0,22	0,59	1,22	0,29
CMT-16-GM-2202	17,67	18,79	4,6	23,25	7,64	13,71	3,99	0,37	0,66	0,97	0,09
CMT-16-GM-2208	15,43	15,54	4,31	19,22	9,37	19,82	5,32	1,1	0,44	0,98	0,26
CMT-16-GM-2212	16,14	10,73	3,37	20,2	5,08	24,88	8,14	0,22	0,46	0,7	0,12
CMT-16-GM-2216	10,6	12,81	7,24	16,97	5,68	34,04	4,21	0,12	0,3	0,7	0,08
CMT-16-GM-2220	14,77	14,61	4,86	19,51	13,01	20,72	2,95	0,29	0,36	1,03	0,2
CMT-16-GM-2225	14,38	16,21	6,88	18,98	7,8	21,2	4,15	0,39	0,34	0,93	0,17
CMT-16-GM-2228	9,89	21,41	5,38	12,53	11,99	24,17	4,49	0,4	0,21	0,76	0,21
<b>Desvio Médio</b>	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,4</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>

Observou-se que as amostras da alimentação possuem características distintas entre si, apresentando valores consideráveis de desvio médio de teor para a maioria das espécies químicas presentes. Por exemplo, o desvio médio de teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é de 2,5 e apresenta valores máximo e mínimo de 20,09 % e 9,89%, respectivamente.

### 5.3 Ensaios de Flotação e Separação Magnética de Alta Intensidade

Os resultados das composições químicas dos respectivos produtos originados dos ensaios de flotação e separação magnética de alta intensidade (SMAI), a partir do método espectrometria de Raios-X realizadas pelo Laboratório de Análise química do Complexo de Mineração de Tapira, estão apresentados nos Anexos 8.1 a 8.8.

Para a análise de desempenho das diferentes rotas aplicadas (SMAI total e parcial) e considerando um teor Padrão de 35,5 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foram calculadas para cada produto gerado: a recuperação em massa de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, recuperação metalúrgica de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e grau de redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 5.3.1 Recuperação Mássica de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

A recuperação mássica de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> calculada para os diferentes produtos (descritos na seção 4.6) de cada amostra selecionada, assumindo-se um teor padrão de 35,5 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (a partir do método de regressão linear), está representada na Tabela 4.

**Tabela 4-** Recuperação Mássica de  $P_2O_5$ 

AMOSTRA	Recuperação em Massa Total (ROM-Concentrado) de $P_2O_5$			
	Sem Separação Magnética (PRODUTO 1) (%)	Com Separação Magnética Parcial (PRODUTO 2) (%)	Com Separação Magnética Total (PRODUTO 3) (%)	Diferença entre PRODUTO 3 e PRODUTO 2
CMT-16-GM-2198	29,2	29,3	29,3	0,0
CMT-16-GM-2202	13,5	13,6	13,6	0,0
CMT-16-GM-2208	13,8	14,3	14,3	0,0
CMT-16-GM-2212	19,7	19,8	19,8	0,0
CMT-16-GM-2216	9,2	10,2	10,3	0,1
CMT-16-GM-2220	18,3	18,9	18,9	0,0
CMT-16-GM-2225	11,3	11,5	12,1	0,5
CMT-16-GM-2228	10,3	10,7	10,6	0,1

Observou-se que para maioria das amostras, os produtos gerados sem o processo de separação magnética de alta intensidade (produto tipo 1) são aqueles que possuem menores valores de recuperação mássica de  $P_2O_5$ . Esses resultados são esperados, pois estes produtos são aqueles que não foram submetidos a dois processos de concentração de fosfato como nos demais. Comparando-se os produtos formados por meio da separação magnética parcial e total (produtos tipo 2 e 3, respectivamente), pode-se afirmar que estes possuem valores muito próximos de recuperação em massa de  $P_2O_5$ , indicando eficiência de concentração de  $P_2O_5$  semelhantes. Somente a amostra CMT-16-GM-2225 que destoou dos demais resultados, possuindo uma recuperação mássica de  $P_2O_5$  para o produto de separação magnética total (produto tipo 3) significativamente superior aos outros produtos.

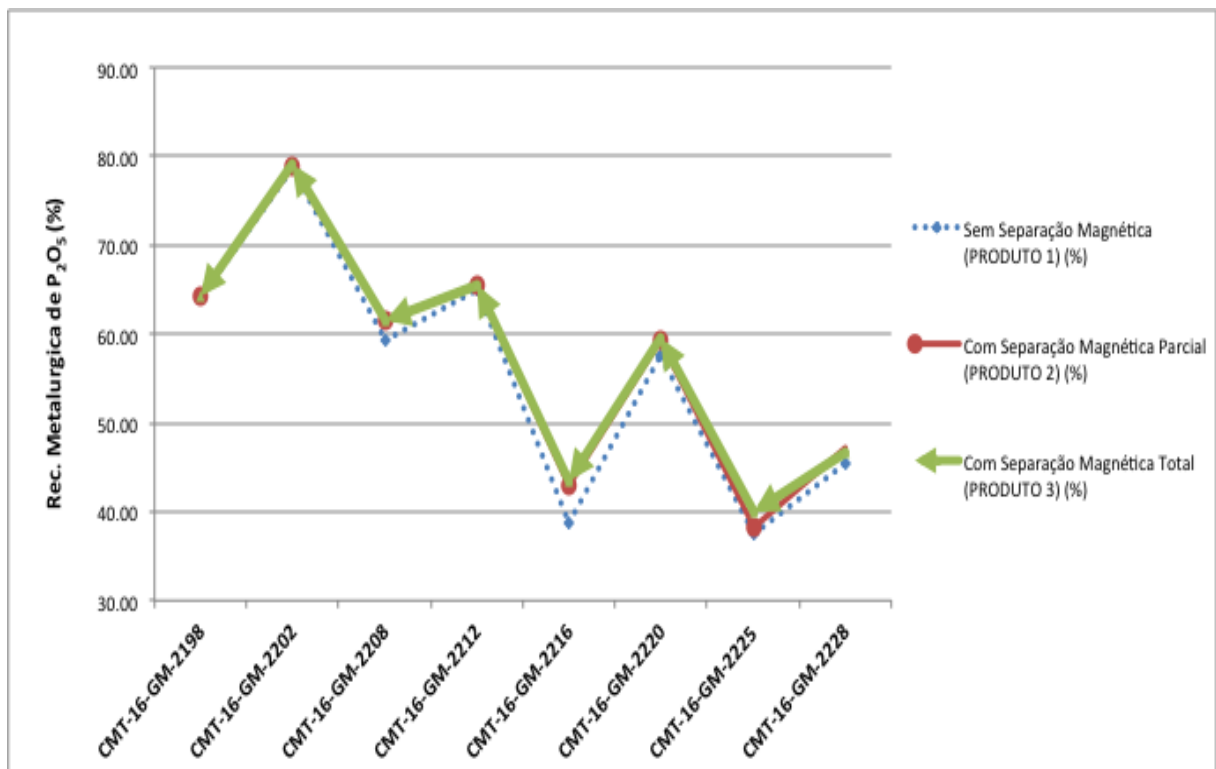
### 5.3.2 Recuperação Metalúrgica de $P_2O_5$

A recuperação metalúrgica de  $P_2O_5$  calculada para os respectivos produtos de cada amostra selecionada, assumindo-se um teor padrão de 35,5 de  $P_2O_5$  (a partir do método de regressão linear), está representada na Tabela 5.

**Tabela 5-** Recuperação Metalúrgica de  $P_2O_5$ 

AMOSTRA	Recuperação Metalúrgica Total (ROM-Concentrado) para um Teor Padrão de 35,5 % de $P_2O_5$			
	Sem Separação Magnética (PRODUTO 1) (%)	Com Separação Magnética Parcial (PRODUTO 2) (%)	Com Separação Magnética Total (PRODUTO 3) (%)	Diferença entre PRODUTO 3 e PRODUTO 2
CMT-16-GM-2198	63,9	64,1	64,1	0,0
CMT-16-GM-2202	78,6	78,9	79,1	0,2
CMT-16-GM-2208	59,3	61,6	61,6	0,0
CMT-16-GM-2212	65,0	65,5	65,5	0,0
CMT-16-GM-2216	38,9	43,1	43,4	0,3
CMT-16-GM-2220	57,5	59,3	59,6	0,3
CMT-16-GM-2225	37,5	38,2	40,0	1,8
CMT-16-GM-2228	45,5	47,1	46,6	-0,5

Em geral, pode-se deduzir que a recuperação metalúrgica de  $P_2O_5$  para os produtos oriundos da separação magnética parcial e total (produtos tipo 2 e 3, respectivamente) possuem valores aproximados, com uma média de desvio padrão em torno de 0,2. A partir da Figura 15 pode-se perceber como as linhas de recuperação dos produtos tipo 2 e 3 se sobrepõem, em sua maioria. Tal comparação indica novamente semelhante eficiência de concentração de  $P_2O_5$  entre as rotas de separação magnética de alta intensidade parcial e total. Além disso, os valores de recuperação metalúrgica de  $P_2O_5$  para os produtos gerados sem aplicação da separação magnética de alta intensidade (produto tipo 1) são significativamente menores ao se comparar com os originados de SMAI total ou parcial, mostrando-se o real benefício de se usar a separação magnética de alta intensidade na concentração do minério fosfático.



**Figura 16-** Gráfico de Recuperação Metalúrgica de  $P_2O_5$  x Amostras

### 5.3.3 Teor e Redução de $Fe_2O_3$

O teor de  $Fe_2O_3$ , em porcentagem, previsto para cada tipo de produto das amostras, considerando um teor de padrão de 35,5 de  $P_2O_5$  (a partir do método de regressão linear), está descrito na Tabela 6.

**Tabela 6-** Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos produtos obtidos nas diferentes condições

AMOSTRA	Teor médio de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
	Sem Separação Magnética (PRODUTO 1)	Com Separação Magnética Parcial (PRODUTO 2)	Com Separação Magnética Total (PRODUTO 3)	Diferença entre PRODUTO 2 e PRODUTO 3
CMT-16-GM-2198	3,9	3,5	3,5	0,0
CMT-16-GM-2202	3,9	3,7	3,5	0,2
CMT-16-GM-2208	2,8	2,8	2,8	0,0
CMT-16-GM-2212	3,0	2,9	2,9	0,0
CMT-16-GM-2216	1,5	1,7	1,7	0,0
CMT-16-GM-2220	2,2	2,1	2,1	0,0
CMT-16-GM-2225	2,3	2,1	2,0	0,1
CMT-16-GM-2228	3,2	3,0	2,9	0,1

Observou-se que nas amostras preparadas o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é maior para os produtos originados sem separação magnética de alta intensidade (produto tipo 1), com exceção da amostra CMT-16-GM-2216. O valor do teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do produto sem aplicação da separação magnética (produto tipo 1) dessa amostra é menor em relação aos outros produtos com SMAI, o que indica um erro de análise de composição química. Espera-se que ocorra a diminuição do teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a partir da adição de um processo de separação magnética de alta intensidade. Além disso, comparando-se os teores médios de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos produtos originados por SMAI parcial e total (produtos tipo 2 e 3, respectivamente), é possível afirmar que esses produtos possuem teores próximos.

A fim de contrapor o efeito da utilização das diferentes rotas, separação magnética de alta intensidade total e parcial, calculou-se o grau de redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos produtos gerados por estas, conforme reportado na Tabela 7.

**Tabela 7-** Grau de Redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para amostras submetidas à separação magnética parcial e total.

AMOSTRA	Grau de Redução de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	Com Separação Magnética Parcial (PRODUTO 2)	Com Separação Magnética Total (PRODUTO 3)
CMT-16-GM-2198	76%	76%
CMT-16-GM-2202	80%	81%
CMT-16-GM-2208	82%	82%
CMT-16-GM-2212	73%	73%
CMT-16-GM-2216	87%	87%
CMT-16-GM-2220	85%	85%
CMT-16-GM-2225	87%	87%
CMT-16-GM-2228	86%	87%



Observou-se que os graus de redução para a separação magnética total e parcial são significativamente próximos. Esses resultados semelhantes de grau de redução de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dos produtos de cada amostra é outro um indício de que ambas as rotas, separação magnética parcial e total, possuem semelhantes eficiências na redução de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### 5.4 Utilização Parcial dos Separadores Magnéticos de Alta Intensidade (SMAI)

Calculou-se a taxa de redução em massa da alimentação dos separadores magnéticos de alta intensidade (SMAI) para o circuito do minério friável, considerando a aplicação da separação magnética somente para o flotado após 20 s (SMAI parcial), ao invés da utilização da separação magnética de todo o material flotado (SMAI total). A taxa de redução da alimentação, considerando cada amostra, está representada na Tabela 8.

**Tabela 8**-Taxa de redução da alimentação dos SMAI com a utilização da separação magnética parcial.

AMOSTRA	Redução em Massa
CMT-16-GM-2198	56,59%
CMT-16-GM-2202	48,10%
CMT-16-GM-2208	54,94%
CMT-16-GM-2212	54,92%
CMT-16-GM-2216	74,26%
CMT-16-GM-2220	56,77%
CMT-16-GM-2225	57,95%
CMT-16-GM-2228	72,02%
<b>Média</b>	<b>59,44 %</b>

Observou-se que para as amostras analisadas, a média da taxa de redução em massa da alimentação dos separadores magnéticos de alta intensidade (SMAI) utilizando-se o processo de separação magnética parcial, ou seja, apenas do flotado após 20 s (produtos tipo 2) é de aproximadamente 60 %. Esses valores de taxa de redução indicam que a partir do uso da separação magnética parcial, mais da metade dos equipamentos disponíveis não serão utilizados, possibilitando o uso destes em outros circuitos presentes na usina do CMT, tais como o circuito granulado ou ultrafino. Essa possibilidade é de extrema importância já que os minérios fosfáticos, atualmente extraídos, tem apresentado uma maior contaminação por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Além disso, é importante destacar que para todas as amostras analisadas os flotados até 20 s apresentaram teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  significativamente superiores e teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  inferiores aos coletados ao final da flotação (flotado após 20 s), como previsto no teste

cinético preliminar (resultados representados no Anexo 9.9). Tal fato corrobora com a possibilidade de desviar parcialmente os flotados da flotação na Usina do CMT, isto é, a extinção da passagem dos flotados das primeiras células de flotação dos bancos do circuito friável para os SMAI, direcionando-os diretamente para a alocação do concentrado final.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 Principais Conclusões

- Confirmada a possibilidade de exclusão da aplicação de separação magnética de alta intensidade (SMAI) para apenas os flotados das células iniciais dos bancos *cleaner* de flotação do circuito friável para a Usina do Complexo de Mineração de Tapira.
- O tempo de coleta do material flotado que não necessita de separação magnética de alta intensidade (SMAI) é de, aproximadamente, 23 segundos.
- A partir do uso parcial da SMAI, há em média uma redução de 60% da massa da alimentação dos separadores magnéticos de alta intensidade, não necessitando a utilização de mais da metade dos equipamentos disponíveis. Tal constatação, possibilita o uso desses equipamentos para os outros circuitos da usina do CMT, tais como o circuito ultrafino e o granulado.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar amostragem das células de flotação que compõem os bancos do circuito friável (*Recleaner*) que alimenta os equipamentos de separação magnética de alta intensidade (SMAI) da Usina do CMT, a fim de identificar quais células poderão ser excluídas dessa rota.
- Verificar se é possível alterar a alimentação dos SMAI, excluindo os concentrados produzidos pelas células identificadas acima e projetar e orçar tal mudança (canos, bombas, caixas de coleta e etc).
- Verificar a efetividade da utilização da separação magnética de alta intensidade nos outros circuitos dos minérios granulados e ultrafinos.

## 8 BIBLIOGRAFIA

1. ABOUZEID, A. M. Physical and Thermal Treatment of Phosphate Ores – an overview. *International Journal of Mineral Processing*, v. 85, p. 59-84, 2008.
2. ALBUQUERQUE, R. O de. **Alternativas de processo para concentração do minério fósforo-uranífero de Itataia**. 2010. 200 p. Tese (Doutorado) – Área de Concentração: Tratamento de minério. Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e Minas. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
3. AQUINO, J. A. **A influência de alguns íons sobre a flotação de apatita do minério de Itataia**. In: II Encontro do hemisfério sul sobre tecnologia mineral, XII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Rio de Janeiro. Anais, p. 538-552, 1987.
4. BRANDÃO, P. R. G. **A seletividade na flotação reversa de minério de ferro: adsorção de reagentes**. IN: XII Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Hidrometalurgia Natal, p. 22-23, 2010.
5. BORGES, J. P. **Caracterização tecnológica do minério de fosfato ultrafino de Catalão**. 2014. 37 p. Monografia (Pós Graduação)- Tratamento de Minério, Universidade Federal de Goiás-UFG, Catalão.
6. CAIRES, L. G. **Óleos vegetais como matérias-primas para coletores**. 1995. 251 p. Tese (Doutorado) – Área de concentração: Tratamento de Minério. Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
7. COMPLEXO DE MINERAÇÃO DE TAPIRA (CMT). **Desempenho Industrial 2012**, Vale Fertilizantes, dez. 2012.
8. DNPM. Sumário Mineral. 2013. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Brasília. Acesso disponível em: <[www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/](http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/)>.
9. EK, C. Flotation Kinetics. IN: MAVROS, P.; MATIS, K. A (Ed.). **Innovations in flotation technology: proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Innovations in Flotation Technology**, Kallithea, Greece, 1992, p. 183-209.
10. GUIMARÃES, G. **Flotação de diferentes tipologias de minério fosfático de Tapira/MG**. 2004. 261 f. Tese (Mestrado)- Área de Concentração: Tratamento de Minério, Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
11. HORTA, D. G. **Efeito da cristalinidade e da cinética de dissolução no desempenho da flotação de apatitas e calcitas**. 2013. 203 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
12. LEAL FILHO, L.S; CHAVES, A.P. Flotação. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J.A.; Salvador Luiz M. de ALMEIDA, S. L. M. de (Org.). **Tratamento de Minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM-MTC, 2004. p. 411-455.

13. LEAL FILHO, L.S.; MARTINS, M; HORTA, D.G. **Concentration of igneous phosphate ores via froth flotation: Challenges and Development.** In: International Mineral Processing Progress, Brisbane, p. 3-13, 2010.
14. LEJA, J. **Flotation Surfactants.** IN.: Surface Chemistry of Froth Floation , New York, Cap. 10, p. 205-333, 1982a.
15. LITHOLDO, T. **Fluxo anual de cátions e ânions no Complexo alcalino-carbonatítico de Tapira, Minas Gerais.** 2013. Tese (Mestrado)-Área de Concentração: Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.
16. LIMA, N. P. **Avaliação do Processo de Flotação para Diferentes Frações Granulométricas.** 2010. 160 f. Tese (Doutorado) - Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
17. LIMA, O. A.de. **Suspensão de partículas grossas em células mecânicas de Flotação.** 2003. 230 p. Tese (Doutorado)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
18. LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios.** 5. ed. São Paulo: CETEM-MCT, 2010. p.932.
19. NICOLI, T. A. **Proposição de uma nova sistemática de disposição dos rejeitos magnéticos provenientes do beneficiamento da rocha fosfática na mina de Chapadão, Catalão-GO.** 2014. 99 p. Tese (Mestrado)- Mestrado profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP, Ouro Preto.
20. OLIVEIRA, M. dos S. **Minério Fosfático Sílico-Carbonatado: Estudo Fundamental.** 2007. 223 f. Tese (Doutorado) - Área de concentração: Tecnologia Mineral, Escola de Engenharia da UFMG, Belo horizonte.
21. PAIVA, P. R. P. de; MONTE, M. B. de ; GASPAR, J. C. Concentração por flotação da apatita proveniente de rochas de filiação carbonatítica. **Rem: Revista Escola de Minas,** Ouro Preto, v. 64, n. 1, p. 111-116, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 16 dez. 2016.
22. PAIVA, P. R. P. de. **Propriedades de superfície de apatita proveniente de rochas de filiação carbonatítica e sua concentração por flotação.** 2011. 160 f. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília.
23. QUEIROZ, L.A.; FERREIRA. A.D.; SOUZA, E.S.; PADOVEZI, A. **Estimativa do tempo de residência em circuitos de flotação de minério de ferro com células mecânicas, a partir do emprego de modelo cinético.** VI Simpósio de Minério de Ferro, ABM, Florianópolis – SC, Brasil, Setembro, 2005.
24. RALSTON, J.; DUKHIN, S.S.; MISHCHUK, N.A. Inertial hydrodynamic particle bubble interaction in flotation. *International Journal of Mineral Processing*, v. 56, p. 207 - 256, 1999.

25. RIBEIRO, J.P; RIBEIRO, C.H.T. GX-3600: o maior separador magnético do mundo - até 800 t/h. **Rem: Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, p. 691-694, out. dez. 2010.
26. SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A; LUZ, A. B. Ensaio de Separação Magnética e Eletrostática. In: SAMPAIO, J.; FRANÇA,S.; BRAGA, P.; **Tratamento de minérios: Práticas Laboratoriais**. 3. Ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2007. p. 321-335.
27. SANTANA, R. C. **Análise da Influência do Tamanho da Partícula na Flotação da Apatita em Coluna**. 2007.166 f. Dissertação (Mestrado)- Área de Concentração e Desenvolvimento de Processos Químicos. Faculdade de Engenharia Química da UFU, Uberlândia.
28. SANTANA, R. C. **Efeito da Altura da Coluna na Flotação de Minério Fosfático em Diferentes Granulometrias**, 2011. 169 f. Tese (Doutorado)- Concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos, Faculdade de Engenharia Química da UFU, Uberlândia.
29. SANTOS, L. H. **Avaliação dos efeitos da dosagem de depressor e do pH da polpa na flotação de minério fosfático: Um estudo experimental de caso**, 2012. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Engenharia de Minas, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
30. SANTOS, M. A dos. **Estudo da influência de íons contaminantes na flotação de apatita em coluna**. 2010. 149 f. Tese (Mestrado) - Área de Concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos. Faculdade de Engenharia Química da UFU, Uberlândia.
31. SANTOS, R. L. C, SOBRAL, L.G. S, ARAÚJO, R. V. V, Equipe Técnica Fosfertil/CMT. **Produção de fosfato no Brasil: Complexo de Mineração de Tapira/Fosfertil**. ENTMME, CETEM, 2002. Disponível em: <[www.cetem.gov](http://www.cetem.gov)>. Acesso: 10 de Jan. 2017.
32. SANTOS, W. K. Dos. **Rotas de processo para concentração de minérios itabiríticos e hematíticos da Mina de Fábrica**. 2009. 155p. Tese (Mestrado) - Área de concentração: Tecnologia Mineral, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
33. SILVA, A. **Concentração física de minerais: Separação magnética**. 2012. Aula (Curso de especialização em Tratamento de Minérios), Campus Catalão: Universidade Federal de Goiás.
34. SILVA, A. Q. N. **Modelagem de relação teor-recuperação da célula de flotação pneumática**. 2015. 134 f. Tese (Mestrado)- Área de concentração: Tecnologia Mineral, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
35. VALE FERTILIZANTES. **Planejamento de Mina: Furos de sonda** . dez. 2016.
36. VIEIRA, A.N. **Efeito da Granulometria na Flotação de Quartzo**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado) - Área de concentração: Tecnologia Mineral, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.

## 9 ANEXO

### 9.1 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2198

#### 9.1.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15020,00	100,00	16,21	23,63	1,32	19,99	2,98	23,92	1,87	0,33	0,40	1,83	0,57
Magnetita	548,00	3,65	0,40	79,75	6,15	0,65	5,94	1,12	0,39	0,01	0,01	0,92	0,08
Lama	5946,45	39,59	12,10	31,10	1,51	12,67	2,23	24,96	3,24	0,52	0,16	2,79	1,02
Alimentação (AN)	8525,55	56,76	20,09	14,81	0,88	26,34	3,31	24,66	1,01	0,22	0,59	1,22	0,29

#### 9.1.2 Ensaio de Flotação em Bancada -SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
350,00	495,00	36,14	3,19	0,12	46,70	0,73	4,47	0,41	0,04	1,09	0,67	0,01
450,00	530,00	35,25	4,19	0,11	46,22	1,02	4,89	0,37	0,05	1,07	0,59	0,13
650,00	544,00	34,05	5,37	0,18	43,66	1,43	5,53	0,34	0,07	1,02	0,79	0,15

9.1.3 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
350,00	489,81	36,50	2,89	0,16	47,41	0,39	4,66	0,71	0,03	1,11	0,67	0,11
450,00	525,54	35,49	3,47	0,06	46,43	0,34	4,95	0,87	0,05	1,09	0,54	0,12
650,00	541,72	34,28	4,68	0,20	44,25	0,37	5,63	1,35	0,07	1,03	0,68	0,15

9.1.4 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
350,00	488,21	36,53	2,79	0,21	47,71	0,39	4,56	0,71	0,03	1,13	0,73	0,11
450,00	525,54	35,49	3,47	0,06	46,43	0,34	4,95	0,87	0,05	1,09	0,54	0,12
650,00	541,72	34,28	4,68	0,20	44,25	0,37	5,63	1,35	0,07	1,03	0,68	0,15



## 9.2 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2202

### 9.2.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15000,00	100,00	11,67	28,01	4,47	14,61	7,46	16,39	5,55	0,34	0,46	0,88	0,10
Magnetita	466,00	3,11	0,66	73,58	5,39	1,50	9,17	2,13	0,45	0,01	0,01	1,36	0,01
Lama	9345,00	62,30	8,89	30,86	4,35	10,47	7,27	18,59	6,67	0,34	0,37	0,81	0,11
Alimentação (AN)	5189,00	34,59	17,67	18,79	4,60	23,25	7,64	13,71	3,99	0,37	0,66	0,97	0,09

### 9.2.2 Ensaio de Flotação em Bancada -SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
150,00	367,00	36,16	3,49	0,28	48,52	1,82	2,51	0,62	0,01	1,10	0,64	0,01
200,00	444,00	33,68	5,08	0,40	45,43	2,90	3,36	1,13	0,08	1,11	0,50	0,03
350,00	512,00	30,01	8,16	0,57	40,08	5,07	4,24	1,49	0,20	1,05	0,79	0,07

9.2.3 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
150,00	365,77	36,18	3,24	0,31	48,69	0,58	2,49	1,77	0,02	1,10	0,68	0,01
200,00	444,00	33,68	5,08	0,40	45,43	2,90	3,36	1,13	0,08	1,11	0,50	0,03
350,00	512,00	30,01	8,16	0,57	40,08	5,07	4,24	1,49	0,20	1,05	0,79	0,07

9.2.4 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
150,00	365,77	36,18	3,24	0,31	48,69	0,58	2,49	1,77	0,02	1,10	0,68	0,01
200,00	439,38	34,22	4,15	0,43	45,51	1,07	3,08	2,68	0,07	1,13	0,59	0,02
350,00	506,65	31,69	6,62	0,58	42,73	1,44	4,13	4,82	0,20	1,13	0,78	0,07

### 9.3 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2208

#### 9.3.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15040,00	100,00	13,95	19,93	3,27	16,69	7,72	19,03	6,27	0,94	0,33	1,14	0,30
Magnetita	425,00	2,83	0,38	78,33	6,40	0,63	9,51	1,26	0,43	0,01	0,01	1,36	0,01
Lama	6575,43	43,72	13,02	21,52	1,80	14,63	5,59	19,21	7,81	0,80	0,22	1,32	0,37
Alimentação (AN)	8039,58	53,45	15,43	15,54	4,31	19,22	9,37	19,82	5,32	1,10	0,44	0,98	0,26

#### 9.3.2 Ensaio de Flotação em Bancada- SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	229,00	36,04	2,50	0,31	49,58	0,94	1,79	0,92	0,07	0,93	0,68	0,06
200,00	302,00	34,69	3,38	0,36	47,64	1,39	1,99	0,75	0,16	0,85	0,67	0,08
350,00	356,00	33,78	4,22	0,60	45,66	1,87	2,55	1,40	0,40	0,82	0,66	0,11

### 9.3.3 Ensaio de Flotação em Bancada - SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	228,20	36,13	2,42	0,31	49,71	0,80	1,68	0,92	0,07	0,93	0,65	0,06
200,00	300,80	34,86	3,25	0,38	47,73	0,85	2,06	1,34	0,16	0,86	0,61	0,08
350,00	354,16	33,83	4,06	0,58	45,94	1,25	2,46	1,83	0,41	0,83	0,58	0,11

### 9.3.4 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	228,20	36,13	2,42	0,31	49,71	0,80	1,68	0,92	0,07	0,93	0,65	0,06
200,00	300,33	34,88	3,17	0,45	47,41	0,85	2,00	1,30	0,16	0,86	0,54	0,08
350,00	354,16	33,83	4,06	0,58	45,94	1,25	2,46	1,83	0,41	0,83	0,58	0,11

## 9.4 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2212

### 9.4.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	12660,00	100,00	10,74	15,63	3,04	13,55	3,65	27,60	11,49	0,13	0,29	0,88	0,16
Magnetita	531,00	4,19	0,56	77,25	7,12	0,71	6,91	1,23	0,51	0,01	0,01	0,99	0,01
Lama	6212,00	49,07	6,47	15,03	2,38	8,31	2,01	32,44	15,62	0,05	0,15	1,04	0,21
Alimentação (AN)	5917,00	46,74	16,14	10,73	3,37	20,20	5,08	24,88	8,14	0,22	0,46	0,70	0,12

### 9.4.2 Ensaio de Flotação em Bancada -SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
500,00	386,00	37,38	2,19	0,13	48,69	1,29	1,74	0,75	0,01	1,06	0,68	0,02
800,00	405,00	36,44	2,53	0,21	47,54	1,65	2,00	0,86	0,02	1,04	0,39	0,03
1300,00	430,00	34,97	3,33	0,34	46,16	2,36	3,04	1,17	0,05	1,01	0,73	0,05

9.4.3 Ensaio de Flotação em Bancada- SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores (%)										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
500,00	384,36	37,39	1,99	0,14	48,47	0,77	1,70	1,18	0,01	1,06	0,57	0,02
800,00	403,28	36,99	2,28	0,19	47,77	0,87	1,96	1,46	0,02	1,05	0,58	0,03
1300,00	428,79	35,18	3,08	0,35	46,20	1,16	3,01	2,19	0,05	1,01	0,53	0,05

9.4.4 Ensaio de Flotação em Bancada SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores (%)										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
500,00	384,36	37,39	1,99	0,14	48,47	0,77	1,70	1,18	0,01	1,06	0,57	0,02
800,00	403,28	36,99	2,28	0,19	47,77	0,87	1,96	1,46	0,02	1,05	0,58	0,03
1300,00	428,79	35,18	3,08	0,35	46,20	1,16	3,01	2,19	0,05	1,01	0,53	0,05

## 9.5 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2216

### 9.5.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15220,00	100,00	8,39	16,76	7,48	13,56	4,79	31,83	4,30	0,09	0,21	0,91	0,09
Magnetita	601,00	3,95	0,83	70,09	6,22	1,20	9,57	5,99	0,24	0,01	0,01	1,20	0,01
Lama	5263,51	34,58	5,33	17,69	8,05	8,91	2,66	30,85	4,92	0,05	0,07	1,25	0,12
Alimentação (AN)	9355,49	61,47	10,60	12,81	7,24	16,97	5,68	34,04	4,21	0,12	0,30	0,70	0,08

### 9.5.2 Ensaio de Flotação em Bancada -SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	174,00	34,82	1,70	0,43	48,03	0,82	0,37	0,27	0,01	0,97	0,51	0,01
150,00	230,00	32,97	2,38	0,51	47,49	1,28	5,15	0,26	0,01	0,93	0,73	0,01
250,00	278,00	31,07	3,26	0,97	45,36	1,81	7,30	0,53	0,01	0,87	0,63	0,01

9.5.3 Ensaio de Flotação em Bancada SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores ( % )										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	173,58	35,15	1,83	0,39	47,94	0,39	3,46	0,93	0,01	0,98	0,55	0,01
150,00	229,39	32,97	2,28	0,54	47,38	0,24	5,01	1,23	0,01	0,93	0,77	0,01
250,00	276,52	31,15	3,19	0,94	45,69	0,51	7,30	1,79	0,01	0,88	0,67	0,01

9.5.4 Ensaio de Flotação em Bancada SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores ( % )										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	173,58	35,15	1,83	0,39	47,94	0,39	3,46	0,93	0,01	0,98	0,55	0,01
150,00	229,39	32,97	2,28	0,54	47,38	0,24	5,01	1,23	0,01	0,93	0,77	0,01
250,00	273,88	31,28	3,09	0,89	45,73	0,48	6,95	1,78	0,01	0,89	0,71	0,01



## 9.6 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2220

### 9.6.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15040,00	100,00	11,30	22,81	4,83	15,67	11,89	21,13	3,90	0,33	0,28	0,99	0,19
Magnetita	980,00	6,52	0,55	70,78	5,90	0,99	10,28	3,69	0,09	0,01	0,01	1,54	0,01
Lama	5498,03	36,56	7,81	27,03	4,59	12,31	10,43	24,88	6,06	0,45	0,20	0,83	0,21
Alimentação (AN)	8561,97	56,93	14,77	14,61	4,86	19,51	13,01	20,72	2,95	0,29	0,36	1,03	0,20

### 9.6.2 Ensaio de Flotação em Bancada SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
175,00	292,00	36,47	1,87	0,21	48,34	2,17	2,56	0,14	0,01	1,03	0,60	0,01
250,00	327,00	35,31	2,25	0,23	47,09	2,82	3,10	0,18	0,02	0,99	0,56	0,02
350,00	364,00	34,22	2,80	0,35	45,29	3,78	3,86	0,30	0,04	0,94	0,55	0,03

9.6.3 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
175,00	290,61	36,99	1,80	0,20	49,01	0,20	2,59	2,17	0,01	1,04	0,47	0,01
250,00	325,76	35,49	2,04	0,21	47,59	0,26	3,09	2,67	0,03	1,00	0,47	0,02
350,00	362,81	34,65	2,68	0,35	46,04	0,29	3,89	3,87	0,05	0,96	0,62	0,04

9.6.4 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
175,00	287,67	37,41	1,77	0,25	49,47	0,25	2,57	2,22	0,01	1,04	0,59	0,01
250,00	325,76	35,49	2,04	0,21	47,59	0,26	3,09	2,67	0,03	1,00	0,47	0,02
350,00	362,81	34,65	2,68	0,35	46,04	0,29	3,89	3,87	0,05	0,96	0,62	0,04

## 9.7 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2225

### 9.7.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15100,00	100,00	10,73	24,45	5,23	14,66	7,38	20,49	4,11	0,45	0,25	1,04	0,11
Magnetita	1521,00	10,07	1,28	74,06	6,29	1,90	9,77	3,41	0,37	0,01	0,01	1,47	0,01
Lama	5671,40	37,56	8,18	22,63	2,65	12,06	6,15	24,08	5,06	0,65	0,19	1,08	0,05
Alimentação (AN)	7907,61	52,37	14,38	16,21	6,88	18,98	7,80	21,20	4,15	0,39	0,34	0,93	0,17

### 9.7.2 Ensaio de Flotação em Bancada SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	205,00	35,76	2,16	0,23	48,97	1,82	2,21	0,26	0,03	0,98	0,63	0,01
200,00	274,00	34,25	3,17	0,37	46,56	2,66	3,16	0,41	0,08	0,89	0,64	0,01
300,00	335,00	33,02	3,90	0,58	44,20	3,39	3,24	0,49	0,17	0,85	0,70	0,04

9.7.3 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa(g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	202,13	35,85	1,94	0,22	48,96	0,26	2,18	1,77	0,03	0,99	0,61	0,01
200,00	271,21	34,42	2,67	0,36	46,69	0,42	3,08	2,56	0,07	0,92	0,61	0,01
300,00	332,57	33,68	3,41	0,52	45,80	0,48	3,25	3,45	0,17	0,88	0,61	0,04

9.7.4 Ensaio de Flotação em Bancada SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores ( % )										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
125,00	202,13	35,85	1,94	0,22	48,96	0,26	2,18	1,77	0,03	0,99	0,61	0,01
200,00	264,95	35,01	2,12	0,35	47,45	0,33	2,48	2,43	0,08	0,94	0,78	0,01
300,00	324,09	34,01	3,00	0,47	46,52	0,51	3,14	3,41	0,17	0,90	0,53	0,05

## 9.8 Resultados da Amostra CMT-16-GM-2228

### 9.8.1 Balanço de Massa

Itens	Massa (g)	Massa (%)	Teores (%)										
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ROM	15220,00	100,00	8,05	26,87	4,83	10,25	10,29	24,61	5,53	0,46	0,17	1,24	0,19
Magnetita	648,00	4,26	0,43	71,79	5,79	0,56	11,80	2,61	0,17	0,01	0,01	1,50	0,01
Lama	6723,59	44,18	6,64	28,91	4,10	8,52	8,16	27,24	7,26	0,57	0,14	1,78	0,18
Alimentação (AN)	7848,41	51,57	9,89	21,41	5,38	12,53	11,99	24,17	4,49	0,40	0,21	0,76	0,21

### 9.8.2 Ensaio de Flotação em Bancada -SEM SEPARAÇÃO MAGNÉTICA (Produto tipo 1)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado Massa (g)	Teores (%)										
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	163,00	37,51	1,99	0,02	49,78	1,72	1,86	0,31	0,01	0,99	0,67	0,01
150,00	203,00	35,30	3,14	0,09	46,50	3,02	2,66	0,41	0,06	0,89	0,68	0,03
300,00	248,00	32,65	5,15	0,31	42,61	5,19	3,40	0,73	0,18	0,80	0,53	0,09

9.8.3 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA PARCIAL (Produto tipo 2)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores ( % )										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	160,95	37,70	1,91	0,03	49,84	0,30	1,84	1,70	0,01	0,99	0,67	0,01
150,00	200,79	35,75	2,93	0,10	47,09	0,45	2,68	2,96	0,05	0,91	0,64	0,03
300,00	246,44	33,35	4,04	0,32	43,98	0,52	3,60	4,52	0,11	0,86	0,55	0,06

9.8.4 Ensaio de Flotação em Bancada -SEPARAÇÃO MAGNÉTICA TOTAL (Produto tipo 3)

- Coletor: Hidrocol.
- Depressor: Fubá (500 g/t AN).
- Alimentação (AN): 1000 g.

Consumo de Coletor (g/t AN)	Concentrado	Teores ( % )										
	Massa (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	SrO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
100,00	160,95	37,70	1,91	0,03	49,84	0,30	1,84	1,70	0,01	0,99	0,67	0,01
150,00	200,79	35,75	2,93	0,10	47,09	0,45	2,68	2,96	0,05	0,91	0,64	0,03
300,00	235,54	33,74	3,51	0,33	44,51	0,54	3,46	4,39	0,11	0,87	0,71	0,06

### 9.9 Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para os flotados até 20 s e após 20s.

AMOSTRA	Consumo de Coletor (g/t AN)	Tipo de Concentrado	Massa (g)	Teor de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Teor de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
CMT-16-GM-2198	350.00	Flotado até 20 s	295	37.96	2.07
		Flotado após 20 s	200	33.46	4.83
	450.00	Flotado até 20 s	276	37.4	2.4
		Flotado após 20 s	254	32.92	6.14
	650.00	Flotado até 20 s	316	36.64	3.22
		Flotado após 20 s	228	30.46	8.35
CMT-16-GM-2202	150.00	Flotado até 20 s	210	36.83	3.05
		Flotado após 20 s	157	35.27	4.17
	200.00	Flotado até 20 s	208	35.56	3.8
		Flotado após 20 s	236	32.03	6.21
	350.00	Flotado até 20 s	206	33.42	5.4
		Flotado após 20 s	306	27.72	10.01
CMT-16-GM-2208	125.00	Flotado até 20 s	147	36.29	2.3
		Flotado após 20 s	82	35.59	2.87
	200.00	Flotado até 20 s	158	35.32	3.03
		Flotado após 20 s	144	34	3.77
	350.00	Flotado até 20 s	172	34.08	3.64
		Flotado após 20 s	184	33.49	4.77
CMT-16-GM-2212	500.00	Flotado até 20 s	222	38.45	1.52
		Flotado após 20 s	164	35.94	3.1
	800.00	Flotado até 20 s	181	37.93	1.6
		Flotado após 20 s	224	35.23	3.29
	1300.00	Flotado até 20 s	269	37.15	2.13
		Flotado após 20 s	161	31.34	5.33
CMT-16-GM-2216	100.00	Flotado até 20 s	147	35.01	1.68
		Flotado após 20 s	27	33.78	1.81
	150.00	Flotado até 20 s	165	33.59	2.17
		Flotado após 20 s	65	31.38	2.91
	250.00	Flotado até 20 s	185	32.29	2.86
		Flotado após 20 s	93	28.65	4.05
CMT-16-GM-2220	175.00	Flotado até 20 s	175	36.99	1.66
		Flotado após 20 s	117	35.7	2.19
	250.00	Flotado até 20 s	184	36.3	1.76
		Flotado após 20 s	143	34.04	2.89
	350.00	Flotado até 20 s	197	36.83	2.1
		Flotado após 20 s	167	31.15	3.62
CMT-16-GM-2225	125.00	Flotado até 20 s	139	35.75	2.12
		Flotado após 20 s	66	35.78	2.24
	200.00	Flotado até 20 s	154	34.65	3
		Flotado após 20 s	120	33.73	3.38
	300.00	Flotado até 20 s	167	34.24	3.28
		Flotado após 20 s	168	31.81	4.51
CMT-16-GM-2228	100.00	Flotado até 20 s	120	37.67	1.88
		Flotado após 20 s	43	37.07	2.31
	300.00	Flotado até 20 s	150	36.02	2.82
		Flotado após 20 s	53	33.26	4.03
	150.00	Flotado até 20 s	170	33.92	4.35
		Flotado após 20 s	78	29.87	6.89

