

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SELETIVIDADE NA FLOTAÇÃO DE
MINÉRIOS FERRÍFEROS DOLOMÍTICOS**

Autor: Jesrael Luciano Costa

Orientador: José Aurélio Medeiros da Luz

Ouro Preto – MG

Agosto de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

SELETIVIDADE NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIOS FERRÍFEROS DOLOMÍTICOS

Autor: Jesrael Luciano Costa

Orientador: José Aurélio Medeiros da Luz

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral. Área de Concentração: Tratamento de Minérios.

Agosto de 2009

Aos meus pais Carlos e Maria Helena

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus;

Aos meus pais pelo exemplo;

Aos amigos pela motivação;

A Rosângela pela compreensão;

Ao professor e amigo José Aurélio Medeiros da Luz pela orientação, confiança e consideração;

Ao acadêmico Gabriel Lourenço Teixeira, pela ajuda no desenvolvimento do trabalho experimental;

Aos funcionários do laboratório de tratamento do DEMIN/UFOP pela atenção;

Aos professores do programa de pós Graduação em Engenharia Mineral da UFOP pelos ensinamentos;

A todos que de alguma maneira contribuíram para o meu crescimento profissional e principalmente pessoal.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. Geologia.....	3
3.2. Processamento do Minério de Ferro	5
4. METODOLOGIA.....	43
4.1. Reagentes e Aparelhagem Utilizados	44
4.2. Minerais: Obtenção e Preparo.....	49
4.3. Caracterização Química.....	54
4.4. Procedimentos Experimentais Utilizados na Microflotação.....	55
4.5. Planejamento dos Testes de Microflotação	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1. Microflotação de Quartzo sem Depressor.....	60
5.2. Microflotação de Hematita sem Depressor.....	64
5.3. Microflotação de Dolomita sem Depressor	69
5.4. Microflotação de Magnetita sem Depressor	73
5.5. Microflotação de Quartzo com Depressor	74
5.6. Microflotação de Hematita com Depressor	81
5.7. Microflotação de Dolomita com Depressor.....	87
5.8. Microflotação de Magnetita com Depressor.....	94
5.9. Microflotação de Quartzo em Sobrenadante de Íons de Dolomita	96
5.10. Microflotação de Hematita em Sobrenadante de Íons de Dolomita	99
6. CONCLUSÃO	103
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
9. ADENDO.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Curva de partição típica de um hidrociclone (Luz, 2009).....	9
Figura 3.2 – Lascas (destacadas por atrição manual) de specularita proveniente da mina da Gerda em Miguel Bournier (MG). Os traços da escala referem-se a milímetros.	14
Figura 3.3 - Amostra típica de minério magnetítico friável proveniente da região de Sabinópolis, MG. Os traços da escala referem-se a milímetros.	15
Figura 3.4 - Jigue Remer-WEMCO (Fonte: Flsmidth, s.d.)	17
Figura 3.5 - Jigue centrífugo Kelsey (globalmakina, s.d).....	18
Figura 3.6 – Concentrador helicoidal Humphreys , ilustrando a segregação por espécie e por tamanho de partículas liberadas de itabirito; montagem do laboratório de tratamento de minérios do Demin/Ufop.	19
Figura 3.7 - Esquema do zoneamento da polpa em concentrador helicoidal Humphrey (Hearn, 2003.).....	19
Figura 3.8 - Mesa oscilatória concentradora (Pavez, s.d).....	20
Figura 3.9 - Influência do comprimento da cadeia de álcool na flotação (Silva, 2004).	24
Figura 3.10 –Diagrama de distribuição de espécies em função do pH. A concentração total de oleato é $3 \cdot 10^{-5}$ M (1976).....	30
Figura 3.11 – Potencial zeta de calcita (1), apatita (3) e dolomita (2). (Luz, 1986).	32
Figura 3.12–Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com sulfonato em água destilada (Campos e Luz, 2007).....	34
Figura 3.13 - Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com sulfonato (Campos e Luz, 2007).....	34
Figura 3.14 – Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com oleato de sódio (Campos e Luz, 2007).	35

Figura 3.15 – Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com amina (Campos e Luz, 2007).....	35
Figura 3.16 - Flotabilidade da hematita em função do pH e da concentração de acetato de eteramina (Lima, 1997; Lima e Brandão, 1999).....	36
Figura 3.17 - Estrutura dos coletores aniônicos utilizados na flotação de minerais oxidados (Pearse, 2004).....	37
Figura 3.18 - Estrutura do tanino utilizada na flotação de minerais oxidados ((extraído de http://www.chinaphar.com/1671-4083/25/figs/5091f1.jpg)).	38
Figura 3.19 - Estrutura da dextrina utilizada na flotação de minerais oxidados (extraído de http://pt.wikipedia.org/wiki/Dextrina)	39
Figura 3.20 - Estrutura do silicato de sódio utilizado na flotação de minerais oxidados (extraído de http://pt.wikipedia.org/wiki/Silicato_de_s%C3%B3dio)	40
Figura 4.1 – Fluxograma do planejamento dos ensaios de microflotação.....	43
Figura 4.2 - Esquema em perspectiva e dimensional da célula de Fuerstenau. (Fonte: Luz, 1996).	47
Figura 4.3 - Célula de Fuerstenau em fase de condicionamento na microflotação de hematita.....	48
Figura 4.4 - Célula de Fuerstenau em fase de aeração na microflotação de magnetita. 48	
Figura 4.5 – Amostra típica de minério magnetítico friável mostrando o aspecto sacaroidal dos grânulos de magnetita (região de Sabinópolis, MG).....	49
Figura 4.6 – Planejamento de ensaios de suplementação usando magnetita	59
Figura 5.1 - Flotabilidade do quartzo por oleato de sódio em função do pH.	61
Figura 5.2 - Flotabilidade do quartzo por amina em função do pH.....	62
Figura 5.3 - Flotabilidade do quartzo por óleo de babaçu em função do pH.....	63
Figura 5.4 - Flotabilidade do quartzo por oleato e amina em função do pH.	64
Figura 5.5 - Flotabilidade da hematita por oleato de sódio em função do pH.....	65

Figura 5.6 - Flotabilidade da hematita por amina em função do pH.	66
Figura 5.7 - Flotabilidade da hematita por óleo de babaçu em função do pH.	67
Figura 5.8 - Flotabilidade da hematita por oleato e amina em função do pH.	68
Figura 5.9 - Flotabilidade da dolomita por oleato em função do pH.	70
Figura 5.10 - Flotabilidade da dolomita por amina em função do pH.	71
Figura 5.11 - Flotabilidade da dolomita por óleo de babaçu em função do pH.	72
Figura 5.12 - Flotabilidade da dolomita por oleato e amina em função do pH.	73
Figura 5.13 - Flotabilidade da magnetita por oleato em função do pH.	74
Figura 5.14 - Flotabilidade do quartzo por oleato e dextrina em função do pH.	75
Figura 5.15 - Flotabilidade do quartzo por dextrina e amina em função do pH.	76
Figura 5.16 - Flotabilidade do quartzo por oleato e silicato em função do pH.	77
Figura 5.17 - Flotabilidade do quartzo por silicato e amina em função do pH.	78
Figura 5.18 - Flotabilidade do quartzo por tanino e amina em função do pH.	79
Figura 5.19 - Flotabilidade do quartzo por oleato e tanino em função do pH.	80
Figura 5.20 - Flotabilidade da hematita por oleato e dextrina em função do pH. .	82
Figura 5.21 - Flotabilidade da hematita por dextrina e amina em função do pH. .	83
Figura 5.22 - Flotabilidade da hematita por oleato e silicato em função do pH.	84
Figura 5.23 - Flotabilidade da hematita por silicato e amina em função do pH.	85
Figura 5.24 - Flotabilidade da hematita por tanino e amina em função do pH.	86
Figura 5.25 - Flotabilidade da hematita por tanino e oleato em função do pH.	87
Figura 5.26 - Flotabilidade da dolomita por oleato e dextrina em função do pH. .	88
Figura 5.27 - Flotabilidade da dolomita por dextrina e amina em função do pH. .	89
Figura 5.28 - Flotabilidade da dolomita por oleato e silicato em função do pH. ..	90
Figura 5.29 - Flotabilidade da dolomita por silicato e amina em função do pH.	91

Figura 5.30 - Flotabilidade da dolomita por tanino e amina em função do pH.	92
Figura 5.31 - Flotabilidade da dolomita por tanino e oleato em função do pH.	93
Figura 5.32 - Flotabilidade da magnetita por oleato e dextrina em função do pH.	94
Figura 5.33 - Flotabilidade da magnetita por oleato e tanino em função do pH. ..	95
Figura 5.34 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com oleato.	97
Figura 5.35 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com amina.	98
Figura 5.36 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com óleo de babaçu.	99
Figura 5.37 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com oleato.	100
Figura 5.38 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com amina.	101
Figura 5.39 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com óleo de babaçu.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Dorr, 1969).	5
Tabela 3.2: Significado do critério de concentração(CC).....	12
Tabela 3.3 - Reações complementares de equilíbrio para o sistema dolomita/água/ CO ₂	31
Tabela 4.1 – Concentração de elementos traço do quartzo e da dolomita.....	54
Tabela 4.2 – Concentração de elementos traço da magnetita e da hematita.....	54
Tabela 4.3 – Concentração de elementos majoritários da magnetita e hematita ...	54
Tabela 4.4 – Planejamento dos ensaios preliminares.....	58
Tabela 4.5 – Planejamento da fase de detalhamento	59
Figura 4.6 – Planejamento de ensaios de suplementação usando magnetita	59

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar as melhores condições de flotação seletiva na separação entre minerais portadores de ferro e silicato em presença de carbonatos, em especial de dolomita. Para tanto foram feitos ensaios de microflotação em célula de Fuerstenau, usando para isso amostras de hematita, quartzo e dolomita. Os seguintes coletores foram estudados: oleato de sódio, éter-monoamina e óleo de babaçu saponificado. Tanino, dextrina e silicato de sódio foram usados como depressores. Estudou-se o comportamento das amostras minerais em interação com os devidos reagentes e com íons oriundos da dissolução prévia de carbonatos. A justificativa para este trabalho, insere-se no contexto atual da forte demanda por minérios de ferro, sendo que alguns dos jazimentos conhecidos não são lavrados, até o presente, por serem contaminados por minerais carbonáticos. Espera-se, com este estudo, subsidiar o desenvolvimento de rotas de processo para minérios ferríferos carbonatados, respeitados os requisitos técnicos e econômicos para a implementação de empreendimento industrial, visando o seu aproveitamento.

ABSTRACT

This work studied the best conditions for selective flotation in the iron-bearing minerals, quartz and dolomite system. Samples of hematite, quartz and dolomite were studied using a Fuerstenau's microflotation cell. The following collectors have been studied: sodium oleate, ether-monoamine and saponified babassu seed oil. Tannin, dextrin and sodium silicate had been used as depressors. The minerals interaction with the reactants and ions from previous carbonate dissolution was studied. The justification for this work was the present strong demand for iron ores. Some of known big orebody are not mined nowadays because being contaminated by carbonatic gangue. One expects, with this study, to contribute to the development of future processing routes for carbonatic iron ores

1. INTRODUÇÃO

Flotação vem sendo um dos processos de concentração de minérios mais utilizados na indústria mineral e tem tornado possível o aproveitamento de minérios complexos e/ou com baixo teor, de forma econômica e com rendimentos satisfatórios.

Tem-se observado grande aumento na demanda por minérios de ferro como itabirito. O grande problema é que em alguns dos jazimentos existentes os minerais de ferro estão associados a carbonatos, em especial a dolomita, o que acaba gerando um problema de contaminação.

Dessa forma o presente estudo vem sugerir condições mais promissoras para o desenvolvimento de rotas de processo para minérios ferríferos carbonatados, com a intenção básica de aperfeiçoar os processos industriais no tratamento e beneficiamento mineral, respeitados os requisitos técnicos e econômicos para a implementação de empreendimento industrial visando a seu aproveitamento.

2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Este trabalho pretende estabelecer as condições mais promissoras para flotação seletiva entre minerais portadores de ferro e silicatos em presença de carbonatos, em especial de dolomita.

Para tanto, foram feitos ensaios de microflotação em célula de Fuerstenau, usando para isso amostras de hematita, quartzo e dolomita e como reagentes foram utilizados: oleato de sódio, éter-monoamina, óleo de babaçu saponificado, tanino, dextrina e silicato de sódio. Buscou-se desta forma estudar o comportamento das amostras minerais em interação com os devidos reagentes e até mesmo com íons oriundos da dissolução de carbonatos.

A justificativa para este trabalho, insere-se no contexto atual da forte demanda por minérios de ferro, sendo que alguns dos jazimentos conhecidos (ou parte deles) não são lavrados, até o presente, por serem contaminados por minerais carbonáticos.

O trabalho será de importância acadêmica, pois apresenta a caracterização tecnológica das amostras minerais. Além de possuir aplicabilidade prática, uma vez que todos os procedimentos operacionais e os esquemas de reagentes utilizados no decorrer dos trabalhos são baseados em dados reais de um circuito de concentração em operação.

Espera-se, com este estudo, subsidiar o desenvolvimento de rotas de processo para minérios ferríferos carbonatados, respeitados os requisitos técnicos e econômicos para a implementação de empreendimento industrial visando a seu aproveitamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão da geologia dos minérios utilizados nos ensaios em questão, além da apresentação das etapas de processamento dos minérios envolvidos ao longo do trabalho.

3.1. Geologia

Segundo Marshak & Alkmim (1989), o Supergrupo Minas é uma sequência de rochas metassedimentares com pequena contribuição vulcânica, composto de quartzito, quartzomica-xistos, metaconglomerados, filitos, formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior e rochas carbonáticas.

Dorr (1969) subdividiu o Supergrupo Minas nos seguintes grupos: Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba e Itacolomi.

Segundo Silva e colaboradores (1995), o Grupo Itabira compreende metassedimentos representados por formações ferríferas do tipo itabirito e por dolomititos, intercalados às vezes por filitos, podendo atingir uma espessura de 1000 metros, mas geralmente não ultrapassando 200 metros.

O Grupo Itabira é dividido em duas formações:

Formação Cauê: representada em grande parte por uma formação ferrífera do tipo lago superior e subordinadamente por itabiritos dolomíticos e anfíbolíticos com pequenas lentes de filitos e margas e alguns horizontes manganésíferos (Dorr, 1969). Segundo Inda (1984), o itabirito é composto por leitos estratificados de quartzo sacaroide e hematita.

Formação Gandarela: constituída por camadas de rochas carbonáticas representadas principalmente por dolomitos e subordinadamente por itabiritos, filitos dolomíticos e filitos (Dorr, 1969).

3.1.1. Itabirito dolomítico

Segundo Spier (2005), no itabirito dolomítico alternam-se bandas ricas em hematita com bandas ricas em dolomita. Dolomita, quartzo e hematita são os principais constituintes mineralógicos, ocorrendo clorita, sericita, talco e apatita como minerais acessórios. A composição química dos itabiritos é muito simples. Fe_2O_3 , CaO, MgO e PF são os principais componentes do itabirito dolomítico e Fe_2O_3 e SiO_2 do quartzo itabirito.

O grupo Cauê é considerado economicamente o mais importante, por possuir grandes depósitos de ferro e por oferecer ampla distribuição no Quadrilátero Ferrífero. Caracteriza-se pelos seguintes litotipos: itabirito, itabirito dolomítico e itabirito anfibolítico.

A tabela 3.1 apresenta a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Dorr, 1969) com suas devidas litologias, destacando a formação cauê composta por itabiritos e itabiritos dolomíticos.

Tabela 3.1 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de Dorr, 1969).

SUPER GRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
	Itacolomi		Quartzito, conglomerado, filito
		Sabará	Clorita-xisto, filito, quartzito, conglomerado
		Barreiro	Filito grafitoso
	Piracicaba	Taboões	Quartzito
		Fecho do Funil	Filito, quartzito e dolomito
Minas		Cercadinho	Quartzito e filito ferruginoso, conglomerado
	Itabira	Gandarela	Dolomitos, itabirito dolomítico
		Cauê	Itabirito (formação ferrífera), itabirito dolomítico
	Caraça	Batatal	Filito, filito prateado, filito grafitoso.
		Moeda	Quartzito, conglomerado, filito
Rio das Velhas	Maquiné		Quartzito, conglomerado, filito, grauvaca
	Nova Lima		Filito clorítico, formação ferrífera, quartzito, rochas carbonáticas

3.2. Processamento do Minério de Ferro

A forma como deve ser processado um minério de ferro dependerá de suas características físico-químicas, das especificações do produto e de fatores econômicos. Para se conhecerem as características dos minérios faz-se necessário, primeiramente, submeter os mesmos a análise da distribuição granulométrica tal-qual e após operações de cominuição (quando se deseja usualmente atingir grau de liberação adequado e adequação a processos subsequentes)

O processamento de minérios com alto teor de ferro ocorre tipicamente usando-se circuitos simplificados, em geral restritos às seguintes operações unitárias: fragmentação com britadores estagiados, classificação granulométrica por peneiramento e/ou classificadores, associados ao desaguamento em hidrociclones, o qual tem o intuito de remover as lamazas argilosas. Já para minérios com teores baixos usualmente faz-se necessárias operações de concentração para atender às especificações de qualidade impostas pelo processo ou pelo mercado. Essas operações de concentração comumente são: separação densitária, magnética e flotação.

Partindo de Luz e colaboradores (2004), pode-se dizer que as operações unitárias usuais de beneficiamento de minérios são assim classificadas: cominuição: britagem e moagem; peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (hidrociclonação, e classificação em classificadores hidráulicos ou mecânicos); concentração: gravítica ou densitária, magnética, eletrostática, concentração por flotação; Desaguamento: hidrociclonação, espessamento, filtração; secagem: em geral com secador rotativo, secador de borrifos, secador de pás revolventes, ou secador de leito fluidizado; e finalmente as operações auxiliares de disposição final de rejeito e de adequação para despacho dos concentrados.

Classicamente, além da recuperação metalúrgica e da razão de enriquecimento, tem sido usado o índice de seletividade de Gaudin (1957), com o intuito de avaliar o desempenho de operações de concentração. Este índice é expresso por:

Onde:

$$I.S. = \sqrt{\left(\frac{R_{util}}{R_{ganga}} \times \frac{(1 - R_{ganga})}{(1 - R_{util})} \right)}$$

- R_{util} – recuperação de útil no concentrado [-];
- R_{ganga} – recuperação de ganga no concentrado [-];

3.2.1 Concentração de minério de ferro por métodos físicos

O beneficiamento de minérios de ferro brasileiros que contêm sílica, como os itabiritos e (em menor monta) jaspelitos e magnetitos, vem sendo realizado usualmente com a utilização do processo de separação física, como jigagem, separação em concentradores helicoidais (as impropriamente ditas “espirais”), separação magnética de alta intensidade (e de alto gradiente de campo), e flotação.

Segundo Tovar e colaboradores (1988) e Iwasaki (1989), a opção pela utilização de um determinado processo de concentração de minério de ferro está intimamente ligada a alguns fatores como teor da alimentação, malha de liberação, mineralogia, controle do teor do concentrado e fatores econômicos.

3.2.1.1. Classificação

Segundo Chaves e colaboradores (1996), classificação corresponde à separação de uma população de partículas em duas sendo uma com grande proporção de partículas maiores e a outra de partículas proporcionalmente menores. Durante muito tempo a classificação foi realizada por intermédio de classificadores, posteriormente sendo substituídos por hidrociclones ou simplesmente ciclones (Masini et al, 1980). Os hidrociclones como equipamentos que apresentam como função fundamental a classificação de partículas, são influenciados pelo tamanho, da densidade e do formato das partículas (Svarovsky, 1984).

A distribuição de tamanho de partículas é uma das variáveis mais importantes no tratamento de minérios, uma vez que liberação dos minerais de interesse econômico de sua ganga é função do tamanho, além deste papel fundamentalmente importante, a classificação de minérios de ferros pode apresentar efeito de concentração, decorrência das acentuadas diferenças usualmente ocorridas entre o mineral-minério e a ganga, seja em termos de

granulação, seja em termos de massa específica, influenciando positivamente a eficiência da maioria dos processos de concentração.

Tipicamente a aplicação para o hidrociclone nesta fase do processo está relacionada à deslamagem, onde as partículas mais finas são eliminadas, sendo normalmente necessárias para os processos de separação magnética a úmido, sobretudo na faixa granulométrica entre 0,850 e 0,002 mm (Trawinski, 1976; Chaves, 1996).

O dimensionamento do ciclone influencia fortemente no desempenho dos circuitos de cominuição, determinando as cargas re-circulantes, capacidade do circuito e eventualmente, o tamanho final do produto (Napier-Munn e colaboradores, 1996).

A classificação e, naturalmente, a deslamagem são sempre feitas a úmido e para esta operação, o equipamento usualmente utilizado é o ciclone. A polpa formada é injetada sob pressão no equipamento, através da injeção localizada na parte superior da câmara cilíndrica onde a polpa é agitada por um movimento de rotação que através da aceleração centrífuga lança as partículas mais grossas em direção às paredes do ciclone que são descarregadas na abertura inferior do ápex, formando o *underflow* (Svarovsky, 1984). Já as partículas menores (principalmente as de menor densidade) e grande parte da água são conduzidas para o centro e são arrastadas para o tubo ligado ao orifício superior denominado captor de vórtex (*vortex finder*) formando o *overflow*.

Uma visão diagnóstica do processo de classificação pode ser obtida pela chamada curva de partição. Convencionalmente tem sido adotada a partição para o *underflow*. A partição global de sólidos para o *underflow* é a vazão mássica de sólidos do *underflow* dividida pela vazão mássica de sólidos na alimentação. A partição por classe é o conceito análogo, considerando-se cada classe granulometricamente individualmente.

Assim a curva de partição (figura 3.1) mostra, classe a classe, qual a fração da alimentação que se reporta ao *underflow*. O eixo abscissas registra o tamanho médio da classe granulométrica e o das ordenadas registra a partição referente àquele tamanho.

Pelo fato de o fluxo do *underflow* ter quantidade apreciável de fluido, parcela das partículas alimentadas reporta-se a esse fluxo, carregada fluidodinamicamente pelo líquido e não pelos mecanismos efetivos de fracionamento granulométrico do classificador. Esse fenômeno é chamado de perpasso, curto-circuito ou *bypass*.

Na realidade, uma proporção bem menor do material pode se direcionar erroneamente para o fluxo de finos (*overflow*), por apreensão mecânica ou arraste. Esse fenômeno é chamado de curto-circuito de grosso, mas em geral é negligível.

Assim, a curva de partição real não atinge a ordenada zero para tamanho zero. O diâmetro de equipartição, ou seja: o diâmetro de partícula para o qual 50 % dessa classe se reportam ao *underflow*, é referido como d_{50} .

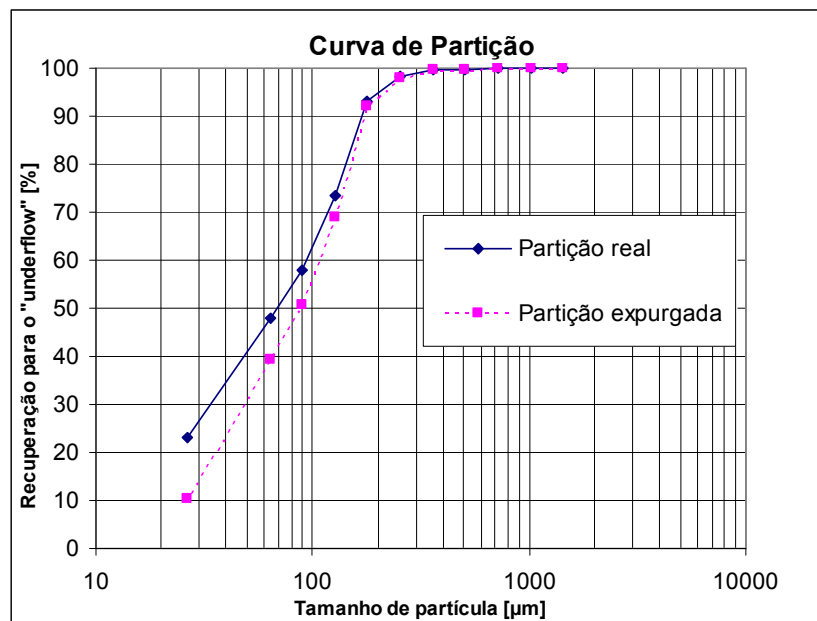


Figura 3.1 – Curva de partição típica de um hidrociclone (Luz, 2009).

As famílias clássicas dos hidrociclones são a Rietema, Bradley, Mosley, Warman, Hi-Klone, RW 2515 e Demco (Svarovsky, 1984).

Souza (1999) mostrou que a inclusão de um meio filtrante na região cônica de um hidrociclone de Bradley, deriva em vantagens no método de separação sólido-líquido, destacando o surgimento de uma corrente de *underflow* mais concentrada, maiores vazões de alimentação a uma mesma queda de pressão e principalmente menores números de Euler, o que ocasiona menor consumo de energia.

Barrozo e colaboradores (1998) já haviam apontado que um hidrociclone filtrante pertencente à família Bradley oferecia, em condições similares à operação do equipamento convencional, acréscimos na vazão de alimentação e decréscimos nos números de Euler.

Kawatra e colaboradores (2002) fizeram uma modelagem em hidrociclone em circuito de moagem para o estudo de otimização da distribuição granulométrica do produto, de modo que o material excessivamente fino produzido fosse reduzido melhorando, desta forma, a eficiência energética das operações de britagem e moagem (cominuição).

Donskoi e colaboradores (2008) desenvolveram uma nova técnica de modelagem simulando o desempenho do hidrociclone, em que cada fração de tamanho do minério alimentado é classificada com base no tipo de textura do minério. Esta nova abordagem permite a previsão da recuperação de cada mineral e o tipo de textura dos produtos, o cálculo do teor de ferro e de recuperação, bem como a otimização do desempenho de um hidrociclone para um dado minério.

Em que pese ser operação de fracionamento granulométrico, a classificação de minérios de ferro (já com o adequado grau de liberação) pode apresentar efeito de concentração, decorrência das acentuadas diferenças usualmente ocorrentes entre o mineral-minério e a ganga, seja em termos de granulação, seja em termos de massa específica. Por exemplo, um emprego do separador hidráulico (Floatex) foi relatado por Hearn (2003), sendo este

equipamento utilizado para concentração de minério indiano de ferro abaixo de 1 mm, produzindo um "underflow" com teor de sílica abaixo de 1%. Estudo similar foi realizado por Lima e colaboradores (2006) permitindo a verificação da concentração de minério itabirito usando o classificador hidráulico de fluxo transversal *crossflow*, onde ficou demonstrada a sua eficiência para a concentração da fração granulométrica compreendida entre 0,15 e 1 mm.

3.2.1.2. Concentração densitária ou gravítica

No Quadrilátero Ferrífero, a concentração densitária é usualmente feita com a utilização do jigge e do concentrador helicoidal.

Segundo Luz e colaboradores (2008), uma forma de avaliar a aplicabilidade de métodos densitários ou gravíticos leva em conta o valor favorável do chamado critério de concentração (CC), o qual – em primeira aproximação – fornece uma idéia da facilidade de se obter separação entre minerais, desconsiderando o fator de forma das partículas minerais. O critério de concentração – originalmente sugerido por Taggart, e modificado por Burton, com base na experiência industrial, é definido como se segue (Sampaio e Tavares, 2005):

$$CC = \frac{(\rho_{(+)} - \rho_f)}{(\rho_{(-)} - \rho_f)} \times \frac{f_{(+)}(\psi)}{f_{(-)}(\psi)}$$

Onde:

- $\rho_{(+)}$ – massa específica do material mais denso (“pesado”) [kg/m³];
- $\rho_{(-)}$ – massa específica do material menos denso (“leve”) [kg/m³];
- ρ_f – massa específica do fluido de trabalho [kg/m³];
- $f_{(+)}$ – correção morfológica da velocidade terminal do “pesado” [-];
- $f_{(-)}$ – correção morfológica da velocidade terminal do “leve” [-].

A tabela a seguir mostra a relação entre o critério de concentração e a facilidade de se fazer à separação gravítica em escala industrial.

Tabela 3.2: Significado do critério de concentração (CC)

CC	SIGNIFICADO
> 2,5	Separação eficiente até 0,074 mm.
2,5 – 1,75	Separação eficiente até 0,15 mm.
1,75 – 1,50	Separação possível até 1,7 mm, porém difícil.
1,50 – 1,20	Separação possível até 6,35 mm, porém difícil.

Recentemente Luz (2009) sistematizou as equações de correção de velocidade de sedimentação em função da morfologia das partículas e de sua concentração volumétrica. Os parágrafos que se seguem resumem o formalismo estudado.

As equações para determinação das velocidades terminais para partículas não esféricas devem ser afetadas de coeficiente de correção morfológica (também multiplicativo), o qual não foi quantificado com rigor até o presente. As mais correções usualmente empregadas são os coeficientes ($f(\psi)$) baseados na esfericidade, como aqueles devidos a Pettyjohn e Christiansen (Almendra, 1979; Geldart, 1990).

- No regime de Stokes:

$$f(\psi)_S = 0,843 \times \log\left(\frac{\psi}{0,065}\right)$$

- No regime de Newton:

$$f(\psi)_N = \sqrt{\frac{0,43}{5,31 - 4,88 \times \psi}}$$

- No regime transicional:

$$f(\psi)_{tran} = [f(\psi)_S - f(\psi)_N] \times \frac{1000 - Re}{1000 - 0,2} + f(\psi)_N$$

Note-se, que para o regime transicional ou intermediário, adotou-se a interpolação linear proposta por Geldart (Arsenijevic e colaboradores, 1999).

A esfericidade, ψ , é a razão entre a área superficial de uma esfera de volume equivalente ao da partícula e a área superficial da partícula. Isto é: a esfericidade da partícula é dada por:

$$\psi = \frac{\text{área da esfera de mesmo volume}}{\text{área superficial da partícula}} = \frac{\sqrt[3]{\pi} \times (6 \times V_p)^{2/3}}{A_p}$$

Para efeito de ilustração, uma esfera tem esfericidade igual a 1,00 e um cubo, a esfericidade de 0,806.

A título de exemplificação, considere-se o cálculo do critério de concentração em sistema hematita/quartzo, adotando duas instâncias em que haja diferentes morfologias para o mineral-minério. No primeiro caso, te-se-ia minério com quartzo e especularita. Uma amostra típica de especularita (figura 3.2) possui hábito placoidal (se apresenta em finas placas) e massa específica de 5.100 kg/m³. Já no segundo caso hipotético, o mineral-minério seria martita (hematita pseudomórfica de magnetita). A figura 3.3 apresenta outra amostra típica de martita, exibindo hábito granular (sacaroidal). Genericamente, o critério de concentração de Taggart para o sistema quartzo/hematita é igual a CC = 2,485, sugerindo uma separação eficiente até 0,15 mm.

Adotando, no caso de minério especularítico, partículas de especularita com área média de 6 mm² e espessura: 0,5 mm (compatível com a figura correspondente), resulta critério de

concentração de Burton (levando em conta a morfologia) menor, igual a 1,415, sugerindo possibilidade de separação (porém difícil) para partículas iguais ou superiores a 6,35 mm.

Ao passo que para o minério martítico, com partículas de martita cuja área total compreende $12,56 \text{ mm}^2$ (adotado a partir da análise de imagem da figura 3.3) e seguindo o mesmo procedimento, obtêm-se $CC = 1,729$ significando uma possibilidade de separação (porém difícil) para partículas iguais ou superiores a 1,7 mm.

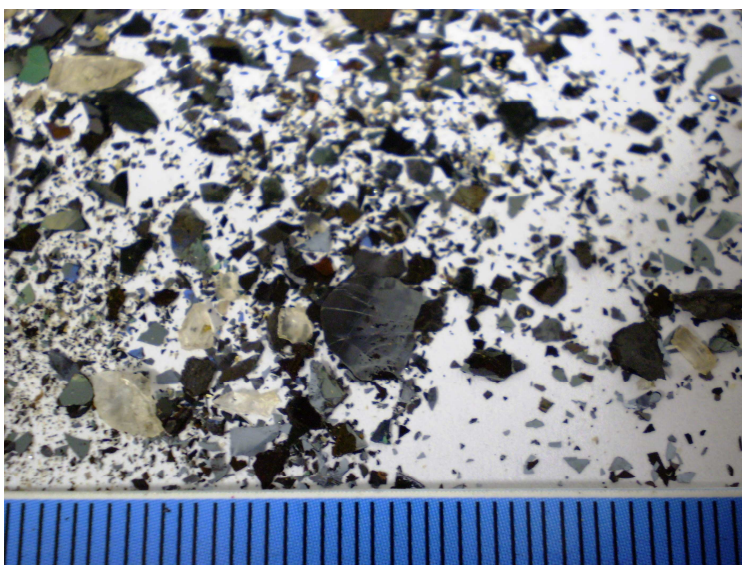


Figura 3.2 – Lascas (destacadas por atrição manual) de especularita proveniente da mina da Gerdau em Miguel Bournier (MG). Os traços da escala referem-se a milímetros.

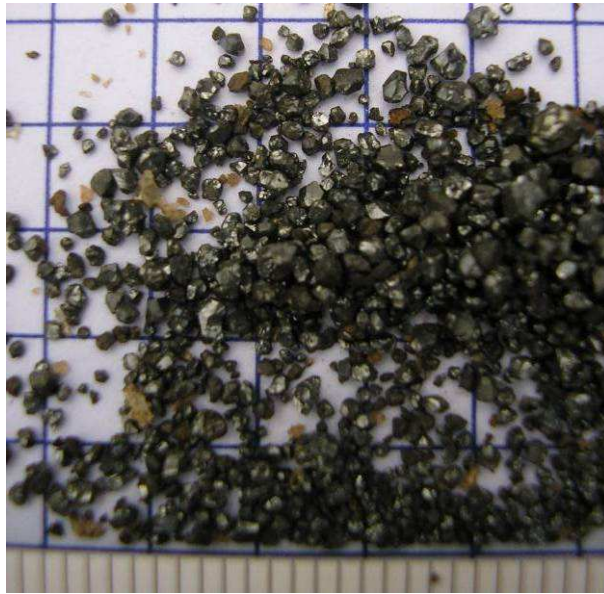


Figura 3.3 - Amostra típica de minério magnetítico friável proveniente da região de Sabinópolis, MG. Os traços da escala referem-se a milímetros.

A concentração de minérios por jigagem é conduzida pelas forças de separação produzidas por correntes verticais geradas pelo movimento de pulsação da massa líquida quando esta é estimulada alternativamente em sentido ascendente e descendente. Depois de certo número de ciclos observa-se a estratificação das partículas segundo as diferentes espécies minerais (Sampaio e Tavares, 2005; Lins, 1998). Segundo Gaudin, a estratificação é originada por três causas principais: queda retardada, aceleração diferencial no início da queda e consolidação intersticial no fim da queda.

O jigue é um aparelho que obtém melhores resultados quando trata minério de estreita faixa granulométrica. Ele é geralmente utilizado para minérios entre 8 e 1 mm, com melhor desempenho em frações grossas.

Para Luz (2008), a abertura da tela do jigue comumente deve ser entre duas a três vezes a dimensão máxima das partículas do minério, para jigues sem mecanismo de extração de denso retido (como, por exemplo, a assim chamada campânula de Moresnet). Como dimensão média das partículas da camada de fundo (*ragging*), do próprio mineral denso

sendo concentrado ou de leito artificial, deve-se tomar aquela igual ao dobro da abertura da tela. As condições do ciclo de jigagem devem ser ajustadas para cada caso, sempre seguindo a diretriz de se adotar pulsos de amplitude pequena e com maior frequência para materiais de granulação fina sendo o contrário válido para grossos.

Uma variável importante é a água de processo que é introduzida na arca do jig, sob a tela. Não deve haver alteração do fluxo dessa água, pois perturba as condições de concentração no leito do jig. É recomendável que as tubulações de água de arca para cada jig, sejam alimentadas por gravidade separadamente a partir de um reservatório, com altura manométrica típica de 5 m.

A partir de dados industriais disponíveis na literatura (Kizevalter, citado por Steiner, 1996), pode-se estimar (Luz, 2008), uma amplitude de jigagem esperada em função do período:

$$A = 0,06075 \times T^{1,618}$$

Onde: A – amplitude de pulsação na câmara de pulsação [m];

T – período de pulsação do jig [s].

De posse dessa equação e da equação de velocidade média ótima do pistão, podem-se estabelecer os valores de frequência e amplitude mais promissores para uma aplicação específica de jigagem convencional. Em geral, a purificação de lama grossa de aciaria pode ser obtida com uso de jiges tipo Pan-american, mais adequados à granulação fina. Outra aplicação de jigagem na recuperação de resíduos é o seu uso com retomada de rejeitos de bauxitos lavados, para retirada da sílica, como atualmente o faz a Mineração Rio Pomba (Grupo Cataguases).

Segundo Viana (2004), o equipamento de jigagem mais utilizado na concentração de minérios de ferro é o jig Remmer-Wemco que é mostrada na figura a seguir:

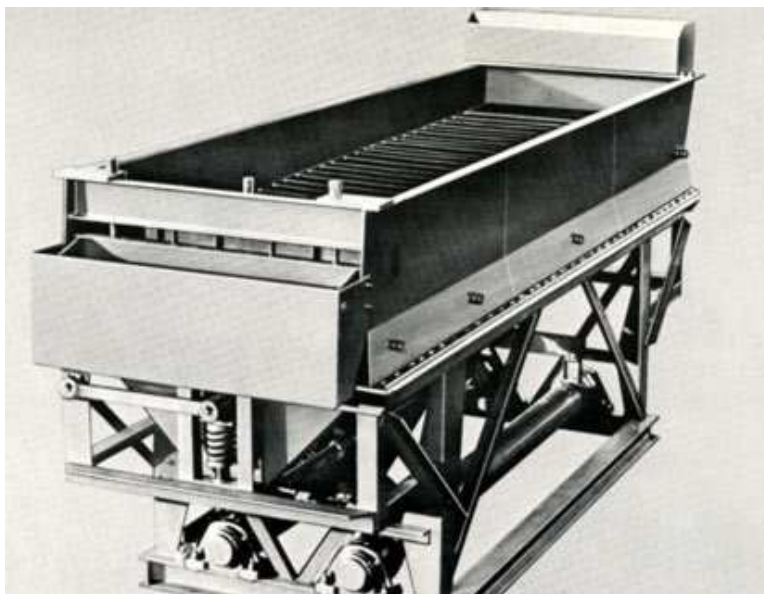


Figura 3.4 - Jigue Remer-WEMCO (Fonte: Flsmidth, s.d.)

Das e colaboradores (2007) apresentaram estudo onde demonstra a eficácia da operação de jigagem no beneficiamento de minério de ferro de baixo teor nos depósitos da região de Orissa (Índia). Para tanto as amostras foram concentradas em laboratório nos jiges Denver e Harz. As variáveis operacionais utilizadas para determinar a eficácia do jigagem incluem tamanho de partícula, velocidade da água e amplitude. Recuperação de ferro e eficiência de separação foi avaliada pela determinação da mineralogia e porcentagens de Fe no concentrado e rejeitos utilizando a técnica de fluorescência de raios-X (FRX). O concentrado foi obtido quando o jigue operava a médio esforço e tamanho de partículas inferiores a 5 mm, tendo recuperação de 78,6 % de minério de ferro e com 63,7 % de ferro metálico no concentrado sendo considerados ótimos.

Um equipamento apresentado pela Roche Mining (2007) foi o Kelsey, cujo princípio de funcionamento consiste, essencialmente, na combinação do mecanismo de pulsação dos jiges com a aplicação da força inercial (centrífuga), de forma parecida à das centrífugas convencionais (Geraghty, 2001). A ação centrífuga permite a recuperação de partículas abaixo de 40 μm (Silva, 1998). A figura a seguir apresenta o Jigue centrífugo Kelsey modelo J200

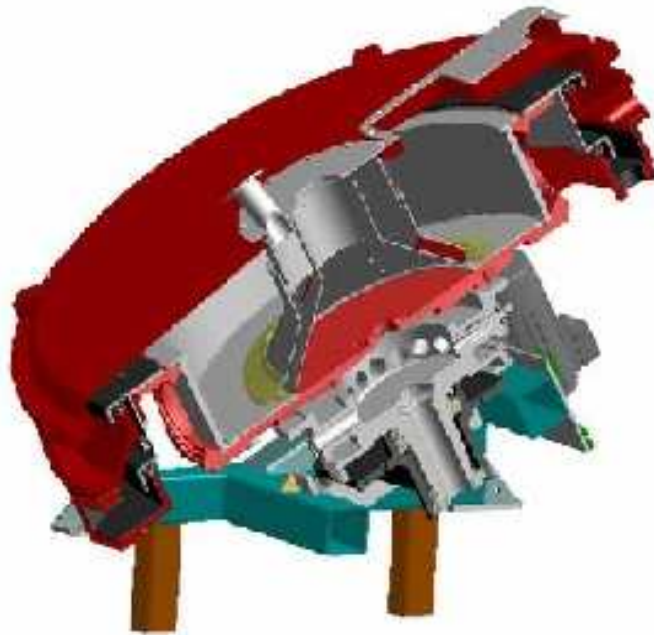


Figura 3.5 - Jigue centrífugo Kelsey (globalmakina, s.d)

Segundo Viana (2004), os equipamentos mais utilizados na concentração de minérios são os concentradores espirais Akaflex, Carpcó, MD, Humphrey, Mark 7 e AKW.

O concentrador helicoidal (erroneamente referida como *espiral*) é constituído de um canal helicoidal de seção transversal semi-circular (figura 3.6). A espiral ao ser alimentada, tem a velocidade da polpa variando de zero na superfície do canal até um valor máximo em sua interface com o ar, devido ao escoamento laminar. Ocorre também uma estratificação no plano vertical. Como resultado os minerais mais densos estratificam-se na superfície do canal, com baixa velocidade, e os minerais menos densos estratifiquem na parte superior do fluxo, nas regiões de maiores velocidades (figura 3.7).



Figura 3.6 – Concentrador helicoidal Humphreys , ilustrando a segregação por espécie e por tamanho de partículas liberadas de itabirito; montagem do laboratório de tratamento de minérios do Demin/Ufop.



Figura 3.7 - Esquema do zoneamento da polpa em concentrador helicoidal Humphrey (Hearn, 2003.)

O concentrador helicoidal Humphrey é produzido basicamente em dois modelos, sendo um com 5 voltas e o outro com 3 voltas. O Mark 7, desenvolvido recentemente na Austrália, apresenta as seguintes diferenças em relação aos de Humphrey: separação de concentrado no final da última espira, ausência de água de lavagem e diferença de perfil.

As mesas vibratórias são equipamento de concentração agindo através película fluente com movimento acelerado assimétrico (com o chamado mecanismo de volta rápida), muitas vezes combinado com o princípio de escoamento laminar. A mesa Wilfley (figura 3.8) foi lançada em 1895 é o principal modelo de mesa vibradora.



Figura 3.8 - Mesa oscilatória concentradora (Pavez, s.d)

Embora a mesa oscilatória (cujo paradigma é a mesa de Wilfley) tenha como desvantagem seus requisitos de *layout* e a baixa capacidade unitária, é o equipamento de concentração densitária que, classicamente, é tido como aquele com o melhor desempenho metalúrgico

com finos. Como regra geral, o processamento conjunto de partículas finas e grossas não deve ser implementado na concentração gravítica, pois, nesse caso, ter-se-á sacrifício da seletividade.

A capacidade (em tonelada de sólidos por hora) de uma mesa oscilatória (tipo Wilfley), trabalhando em operação de desbaste, pode estimar-se pela equação Razumov (1985), a qual é:

$$Q_s = 0,1 \times d_{\min} \times \left[A \times d_p \times \left(\frac{d_+ - 1}{d_- - 1} \right) \right]^{0,6}$$

Onde: d_{\min} é a densidade média do minério [-];

d_+ é a densidade do mineral mais denso [-];

d_- – densidade do mineral menos denso [-];

A é a área efetiva da mesa [m^2];

d_p é o diâmetro médio do minério [mm].

Para mesas limpadoras a capacidade, segundo Razumov (1985), fica de 70 % a 80 % daquela obtida pela equação anterior (para mesas de desbaste).

3.2.1.3. Separação magnética

Com base na propriedade de susceptibilidade magnética os minerais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. Desta forma podem-se destacar as seguintes classes:

- Minerais ferromagnéticos: abrangem aqueles que apresentam uma alta susceptibilidade às forças magnéticas e por reter o magnetismo quando afastados de um campo magnético.
- Minerais paramagnéticos: são aqueles que, sob a ação de um campo magnético, tendem a se alinhar com as linhas de força sendo atraídas para os pontos de maior intensidade deste campo.
- Minerais somente diamagnéticos: são aqueles que são repelidos ao longo das linhas de força magnética para o ponto onde a intensidade deste campo é menor.

A título de completude de análise, cumpre ressaltar que a terceira classe foi rotulada como “somente diamagnéticos” porque toda a matéria é, na verdade, diamagnética, já que o diamagnetismo é a decorrência natural da lei de Lenz, no campo da eletrodinâmica. O fato de haver desemparelhamento de *spins* eletrônicos em orbitais atômicos associados a estruturas adequadas (como por exemplo, nos espinélios – como é o caso da magnetita) é que leva ao surgimento do paramagnetismo (e em caso extremo, do ferromagnetismo). A intensidade do paramagnetismo (e com mais razão a do ferromagnetismo) é muito maior que o efeito puramente diamagnético (proporcionalmente muito débil), o que leva ao mascaramento do diamagnetismo nas substâncias paramagnéticas e ferromagnéticas. Veja-se, a esse respeito, Barrow (1996).

Separação magnética de alta intensidade tem sido aplicada na concentração de minérios de ferro, devido à diferença de susceptibilidade magnética entre os minerais em estudo (hematita, quartzo e dolomita), possibilitando a separação destas fases minerais. Partículas de hematita ou partículas com grandes quantidades de hematita na sua composição podem ser atraídas pela presença de um campo magnético, enquanto as partículas de quartzo liberadas são direcionadas para o rejeito.

O valor da susceptibilidade magnética de um mineral pode variar bastante. Segundo Hunt e colaboradores. (1995), a susceptibilidade magnética da hematita varia entre 500×10^{-6} e 40.000×10^{-6} , ao passo que o quartzo possui susceptibilidade magnética variando entre -3×10^{-6} e -17×10^{-6} .

Separação magnética de baixa intensidade também se baseia na diferença de susceptibilidade magnética entre a magnetita e outros minerais de ganga, possibilitando a separação destas fases minerais.

No Brasil os separadores magnéticos empregados na concentração de minérios de ferro no são os separadores de alta intensidade e alto gradiente de campo, como o separador Jones e o Gaustec e separadores magnéticos de tambor com imã de terras-raras.

3.2.1. Histórico da flotação de minério de Ferro

Boutin e Tremblay (1962) patentearam uma técnica de flotação em coluna. A partir deste momento, foram feitos diversos esforços com o intuito de possibilitar a implementação desse processo de flotação em escala industrial podendo-se destacar as aplicações realizadas pelo Dr. D. A. Wheeler (1966).

A primeira implantação industrial do processo de flotação no Brasil foi feita na Samarco Mineração S/A em 1991. Em 1994, as Minerações Brasileiras Reunidas implantaram o processo de flotação em colunas na usina de tratamento de minérios, sendo esta construída na Mina do Pico.

3.2.2. Concentração de minério de ferro por flotação

Para Guimarães (1995), o emprego da flotação é praticamente extensivo a todos os minerais, estando sujeito apenas ao incremento de novos reagentes e melhoria das condições operacionais apropriadas para cada tipo de minério.

Para Silva (2004), a forma de beneficiamento mais empregada no Brasil para a concentração de minérios de ferro de baixo teor, destacando os itabiritos, é a flotação catiônica reversa na qual o quartzo considerado mineral de ganga é o *overflow* e a hematita é o *underflow*.

Um estudo feito por Silva (2004) mostrou que os melhores resultados de recuperação de quartzo na flotação reversa de minério de ferro com amina e com diferentes tipos de álcoois estavam associados a comprimentos e formas de cadeias de amina e álcool semelhantes, como apresentado na figura 3.9.

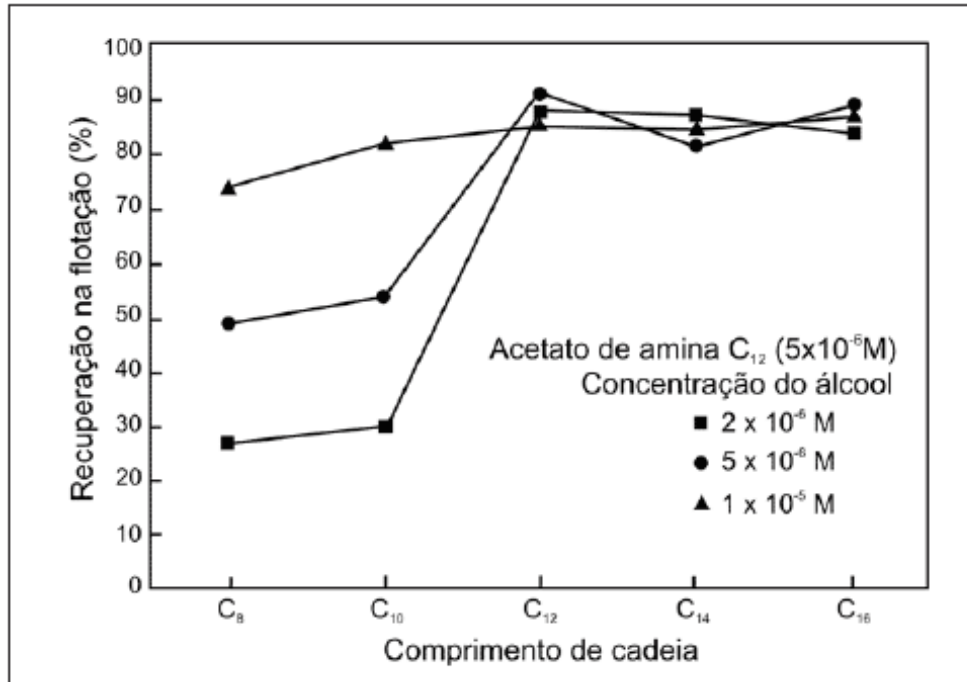


Figura 3.9 - Influência do comprimento da cadeia de álcool na flotação (Silva, 2004).

A grande aceitação da flotação como método de concentração de minério tem causado o aparecimento de vários equipamentos de flotação, sendo estes classificados em três tipos: células mecânicas, células pneumáticas e colunas de flotação (Luz e colaboradores, 1998).

O progresso considerável conseguido na qualidade dos concentrados nas colunas em diversas unidades industriais, atuando com distintos tipos de minérios, aliada aos ganhos na performance metalúrgica e somados à economia nos custos de capital e de operação, comprovaram a importância desse equipamento para a indústria mineral.

Segundo Iwasaki (1960), os fatores fundamentais que favorecem a utilização da flotação são:

- I. principal processo de concentração de minérios oxidados de baixos teores;
- II. possibilita a redução dos teores em sílica de concentrados magnetíticos, obtidos em separação magnética;
- III. é o processo mais indicado para a produção de super-concentrados, utilizados em processos metalúrgicos da redução direta.

O processo consiste basicamente na adesão seletiva de partículas minerais dispersas em um meio aquoso às bolhas de ar. A teoria de flotação é complexa e baseia-se nas diferenças das propriedades físico-química das superfícies das partículas minerais. Estas diferenças estão relacionadas ao conceito de hidrofobicidade.

A hidrofobicidade corresponde à dificuldade das partículas em se interagir com a água. A maioria dos casos a hidrofobicidade é induzida pela adsorção de coletores seletivos. Assim sendo, uma partícula hidrofóbica tem aversão a água e é, então, pouco molhável. Já, uma partícula hidrofílica é ávida por água sendo mais molhável (Peres, 1999).

Deve-se ressaltar que os compostos químicos são divididos em polares e apolares, a polaridade dos compostos químicos deriva da presença de dipolos permanentes em sua molécula. No caso de dipolos permanentes são chamados polares e os que não apresentam são chamados apolares.

No sistema de flotação, a água é uma espécie polar e o ar é uma fase apolar. Uma substância hidrofóbica é aquela que tem superfície não polar e que possui mais afinidade com o ar e uma substância hidrofílica é aquela que tem superfície polar e que possui mais afinidade com a água

Segundo Luz (1987), o efeito conjugado das seguintes interações responde pela estabilidade de um sistema particulado disperso em um meio:

- partícula/partícula: interações específicas ou não, colisões devidas a velocidades diferenciais, geradas por forças gravitacionais e/ou de arraste hidrodinâmico;
- partícula /solvente: interações específicas (e mesmo não específicas). Tais interações determinam a liofilicidade ou a liofobicidade do sistema;
- solvente/solvente: a viscosidade do meio dispersante, em última análise, resume essas interações;
- partícula/partícula/solvente: por exemplo, o movimento browniano das partículas e moléculas, do qual decorre, por um lado, a difusão das partículas, que age no sentido de diminuir a segregação dos constituintes do sistema e, por outro lado, as colisões promovidas por essa agitação térmica criam ocasiões propícias para a superação de barreiras repulsivas das duplas camadas elétricas das partículas, aumentando a cinética de agregação.

O conceito dos fenômenos interfaciais é fundamentado na realização de medidas experimentais de três grandezas: adsorção, tensão superficial e potencial zeta.

Adsorção é o termo utilizado para descrever o fenômeno no qual moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gasoso, concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida ou líquida. Geralmente, a adsorção parece ocorrer como um resultado de forças não balanceadas na superfície do sólido e que atraem as moléculas de um fluido em contato por um tempo finito.

A adsorção química, ou quimissorção, é assim denominada porque neste processo ocorre efetiva troca de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida, ocasionando as seguintes características: formação de uma única camada sobre a superfície sólida, irreversibilidade e liberação de uma quantidade de energia considerável (da ordem de uma reação química).

A adsorção física é um fenômeno reversível onde se observa normalmente a deposição de mais de uma camada de adsorvato sobre a superfície adsorvente. As forças atuantes na adsorção física são idênticas às forças de coesão, as forças de van der Waals, que operam em estados líquido, sólido e gasoso. As energias liberadas são relativamente baixas e atinge rapidamente o equilíbrio.

Outra grandeza interfacial mensurável em sistemas de flotação manifesta-se na interface líquido/gás, é a tensão superficial. A tensão superficial pode ser definida como a força por unidade de comprimento exercida por uma superfície do líquido. Ela geralmente é afetada pela concentração do soluto. Como exemplo, sais e bases elevam a tensão superficial da água, já a maioria dos surfactantes diminui a tensão superficial.

A última grandeza interfacial mensurável é uma propriedade elétrica definida como potencial zeta. Para tanto, se deve entender a teoria da dupla camada elétrica que trata da distribuição de íons, e, portanto da intensidade dos potenciais elétricos que ocorrem na superfície carregada. A maior parte das partículas adquire uma carga elétrica superficial quando postas em contato com uma fase aquosa (meio polar).

Essa carga superficial influencia a distribuição no meio polar dos íons próximos a ela, gerando uma dupla estrutura de cargas: uma “ancorada” à superfície e outra, uma atmosfera difusa de contra-íons e co-íons (Duncan, 1975). Por isso esse sistema de contrabalanceamento de cargas é chamado de dupla camada elétrica (DCE).

Todas as partículas adquirem uma carga elétrica superficial quando estão em contato com um líquido. O potencial zeta é um indicador do potencial de uma partícula em movimento livre em um líquido e é o potencial elétrico no plano de cisalhamento da dupla camada elétrica quando a partícula se movimenta.

Segundo Parks (1975), os conceitos de grande importância no estudo da dupla camada elétrica incluem:

- íon determinante de potencial (IDP) de 1ª ordem: responsáveis pelo controle da carga superficial;
- íon determinante de potencial (IDP) de 2ª ordem: reagem com os IDP de 1ª ordem;
- ponto de carga zero (PCZ): logaritmo negativo da atividade de um dos IDP correspondente à carga de superfície nula;
- ponto isoelétrico (PIE): logaritmo negativo de um dos IDP correspondente à carga líquida nula no plano de cisalhamento ($\zeta=0$);
- concentração de reversão de carga (CRC): correspondente ao potencial nulo na carga determinada por IDP de segunda ordem; e
- ponto de reversão de carga (PRC): logaritmo negativo da CRC.

A rota de flotação de minério de ferro consagrada no Brasil é a flotação catiônica reversa, onde se deprimem os minerais-minérios e se flota a ganga silicática. Aminas são coletores efetivos na flotação de quartzo e silicatos. Essa rota está ligada não só à relativamente boa seletividade alcançada, como também ao fato de que as fases de interesse (hematita, martita, magnetita, goethita e - em menor grau - limonita) acham-se em maior proporção (minérios ricos), e o quartzo em menor, o que leva a menores consumos de coletor.

Oliveira Jr. (2006) utilizou o índice de seletividade de Gaudin, com o intuito de estudar a influência de aspectos texturais na seletividade de flotação reversa de diversos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero,

O desempenho de reagentes típicos em flotação catiônica reversa de minérios de ferro tem sido alvo de vasta produção bibliográfica. Recentemente, Araújo e colaboradores (2005) fizeram uma síntese do assunto.

São feitas a seguir considerações conceituais que envolvem a dolomita em sistemas de flotação (Luz, 1987). Como fase inicial de desenvolvimento de processo deve ser o mais ampla possível, considerações de processo de flotação com ácidos graxos e seus sais também são feitas como modo a compreender outras alternativas de processo hoje não aplicadas.

O magnésio e o cálcio, provenientes da dolomita, hidrolisam-se em soluções aquosas formando complexos que podem readsorver-se, resultando cargas líquidas de superfície, além de levar a mudança no estado elétrico da superfície do mineral.

A figura 3.10 mostra o diagrama de estabilidade para as espécies aquosas de oleato em concentração total de 3×10^{-5} M, extraída de Somasundaran e Ananthapadmanabhan (1976).

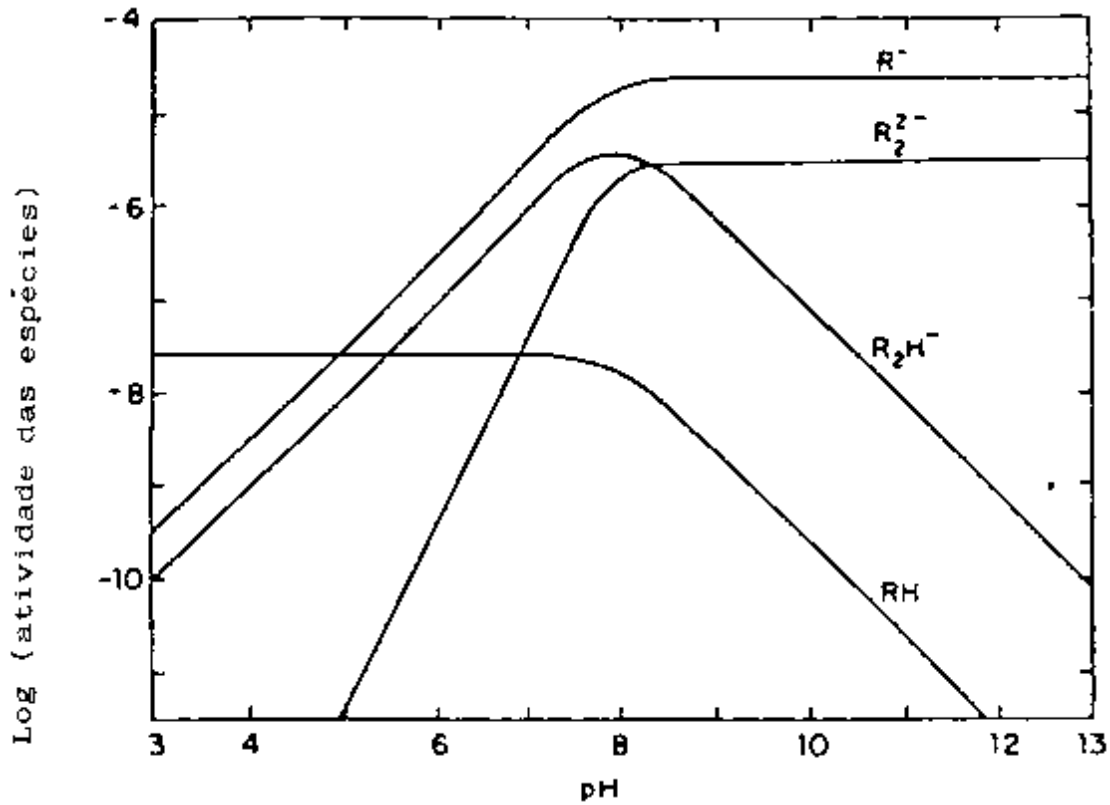


Figura 3.10 - Diagrama de distribuição de espécies em função do pH. A concentração total de oleato é $3 \cdot 10^{-5}$ M (1976).

Além dessas, as reações importantes do sistema $Mg^{+2}/CO_2/H_2O$ são mostradas na tabela 3.3, extraídas de Prédali e Cases, Stum e Morgan e Garrels e Christ.

Tabela 3.3 - Reações complementares de equilíbrio para o sistema dolomita/água/ CO₂ .

(a– Stum & Morgan, 1981; b – Prédali & Cases, 1973; c – Garrels & Christ,1965).

	pK	Fonte
1) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_{(s)} \rightleftharpoons \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + 2.\text{CO}_3^{-2}$	16,7	(a)
2) $\text{Mg}^{+2} + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{MgHCO}_3^+$	-1,16	(b)
3) $\text{MgHCO}_3^+ \rightleftharpoons \text{MgCO}_3_{(aq)} + \text{H}^+$	8,09	(b)
4) $\text{Mg}^{+2} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{MgOH}^+$	-2,57	(b)
5) $\text{MgOH}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_{2(aq)}$	-5,81	(c)
6) $\text{Mg}(\text{OH})_{2(aq)} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_{(s)}$	-2,67	(c)
7) $\text{MgCO}_3_{(s)} \rightleftharpoons \text{MgCO}_3_{(aq)}$	4,51 (*)	(c)
8) $\text{MgCO}_3_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Mg}^{+2} + \text{CO}_3^{-2}$	3,40 (*)	(c)

Segundo Luz (1987), a geração de carga na superfície de dolomita, também é afetada por fatores cinéticos, morfológicos e de constituição química, como no caso da calcita. A literatura também não é unânime a respeito do PCZ e PIE da dolomita pela mesma variabilidade de fatores. A determinação de PIE e PCZ é dificultada pela alta solubilidade em regiões de pH ácido, assim como para a calcita. Por extrapolação, Prédali e colaboradores (1973) estimaram pH 3 para o IEP de dolomita.

Estudos anteriores mostraram que para a dolomita, medidas confiáveis abaixo do pH 7 ficam virtualmente impossíveis. Em geral valores de PIE em redor do pH 8,2 têm sido citados na literatura.

A figura 3.11 apresenta o Potencial zeta de calcita (1), apatita e dolomita.

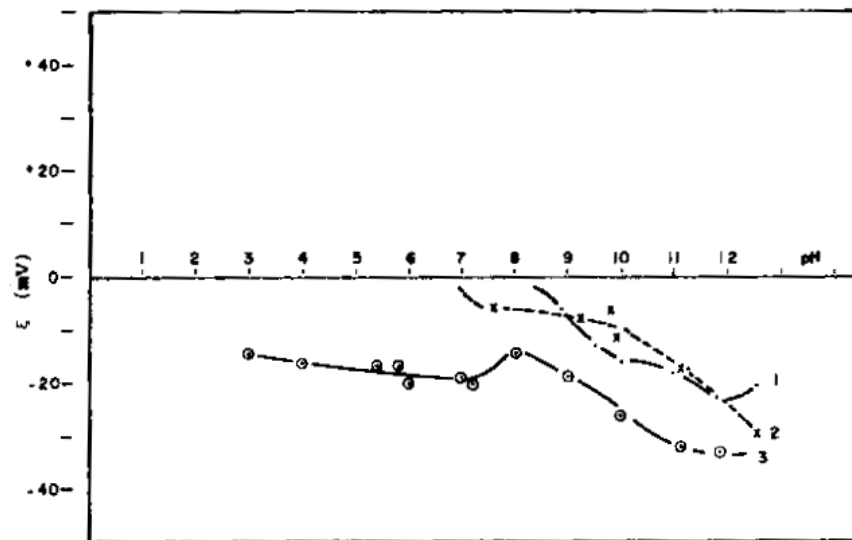


Figura 3.11 – Potencial zeta de calcita (1), apatita (3) e dolomita (2). (Luz, 1986).

Estudos envolvendo a adsorção de coletores sobre dolomita e suas respectivas propriedades interfaciais em meio aquoso em presença ou não, de reagentes, são insuficientes. Prédali (1967, 1969) estudou a flotação de dolomita com sais de ácidos graxos, encontrando curvas de dois máximos: um na região ácida (máximo em pH 3) e outro na região básica próximo do pH 9, para oleato, miristato e palmitato de sódio. Como a dolomita tem carga negativa em pH básico, a adsorção de ânions carboxilatos é específica nessa condição.

Baltar e Villas Boas (1980) avaliaram a flotação inversa da dolomita com ácidos graxos e, na última linha, flotação catiônica antecedida de sulfetização, onde foram conseguidos os melhores resultados.

Um estudo de relevância sobre vários óleos vegetais foi realizado por Brandão e colaboradores (1994) visando à utilização dos mesmos, sob a forma de sabões, como

coletores na concentração de oximinerais, constatando o potencial de diferentes óleos como matérias-primas para coletores, com base nos seus ácidos graxos constituintes.

Em face do seu potencial de aplicação foram estudados por Campos e Luz (2007) oleato de sódio e sulfonato de sódio no sistema quartzo/hematita. Em geral a região de máxima flotação da hematita com oleato de sódio coincide com a concentração máxima do complexo ionomolecular ácido/sabão.

Campos e Luz (2007) também estudaram recentemente o sistema sulfonato/quartzo/hematita sulfonato de sódio. Esse reagente mostrou maior potencial de seletividade na flotação entre o quartzo e a hematita em torno do pH 4. Demonstra também um efeito da dosagem (a dosagem de 10 mg/l com um diferencial de flotabilidade entre o quartzo e a hematita da ordem de 29 pontos percentuais, e em torno de 79 pontos percentuais com 20mg/l), conforme se vê nas figuras 3.12 e 3.13. Os resultados indicam ser perfeitamente possível a flotação direta de minério de ferro, mostrando a possibilidade de aproveitamento de rejeitos e minérios com baixos teores.

Segundo Campos e Luz (2007), oleato de sódio acarretou boa flotabilidade da hematita em torno do pH 8 (veja-se figura 3.14), enquanto nos valores de pH inferiores e superiores a 8 a flotabilidade se mostrou incipiente e bem próxima dos valores para o quartzo, ou seja, existe diferença apreciável de valores de flotabilidade apenas em torno do pH 8.

O sistema amina apresentou boa flotabilidade da hematita em torno do pH 8 tanto para dosagem de 5 mg/l quanto para 20 mg/l (conforme mostrado na figura 3.15), enquanto nos valores de pH inferiores e superiores a 6 a flotabilidade se mostrou discreta.

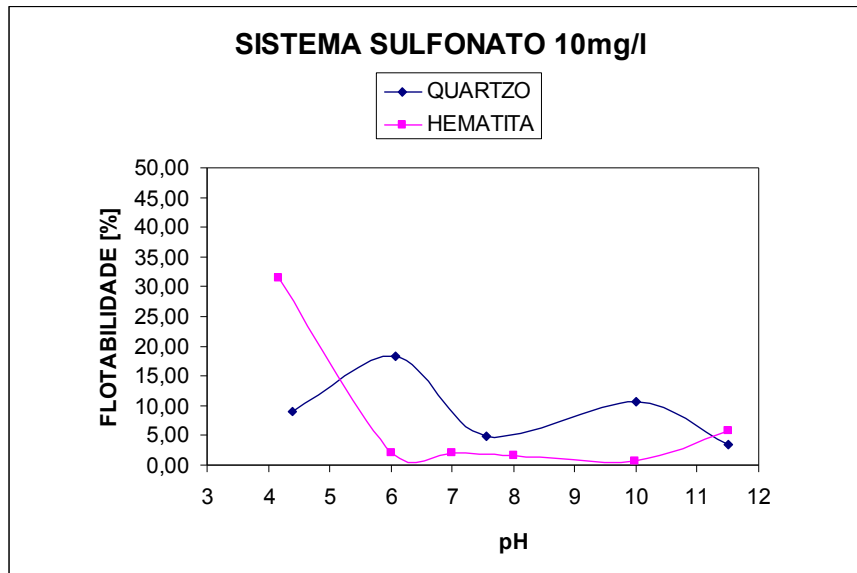


Figura 3.12–Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com sulfonato em água destilada (Campos e Luz, 2007).

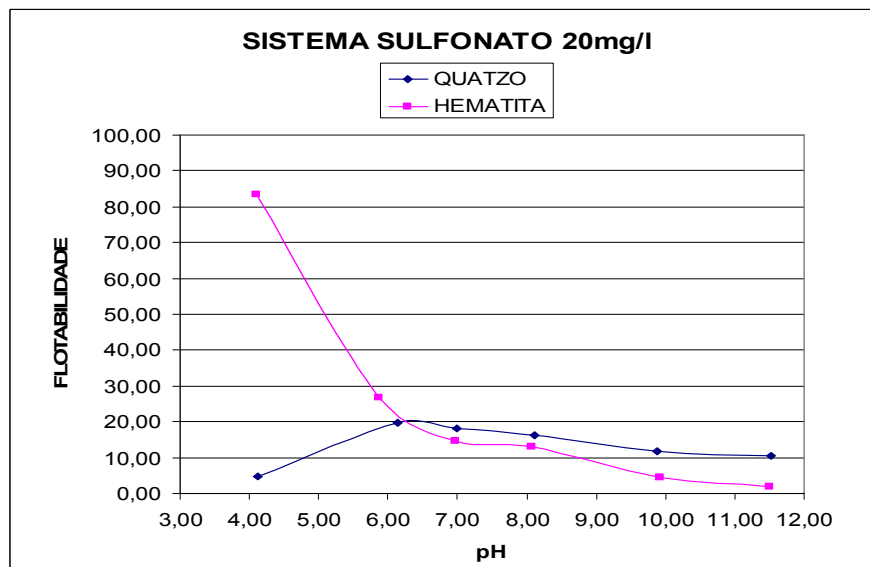


Figura 3.13 - Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com sulfonato (Campos e Luz, 2007).

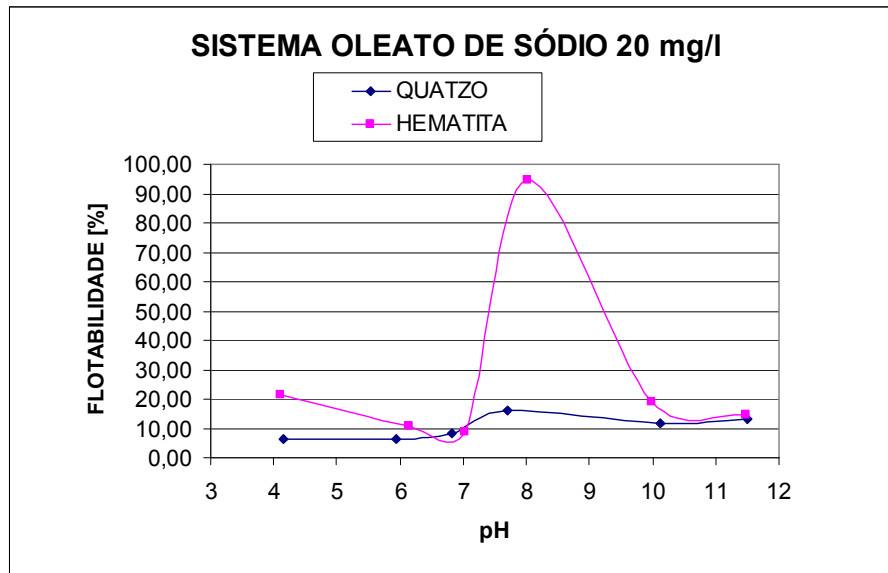


Figura 3.14 – Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com oleato de sódio (Campos e Luz, 2007).

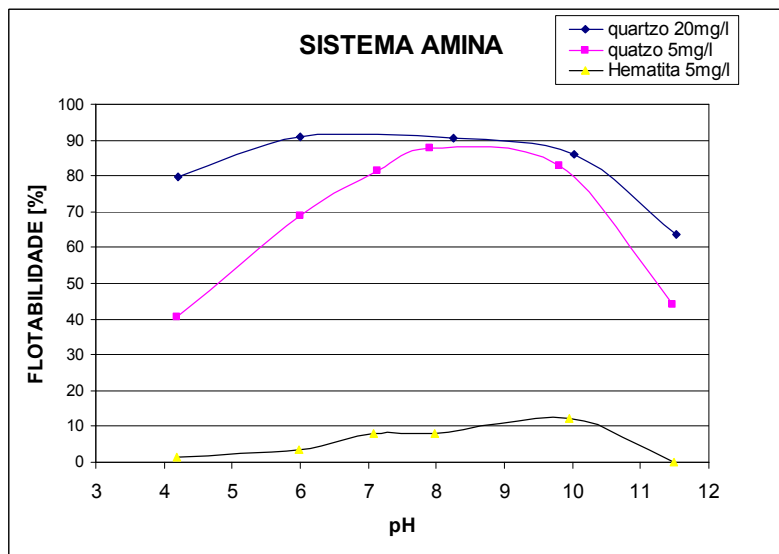


Figura 3.15 – Influência do pH na flotabilidade do quartzo e hematita com amina (Campos e Luz, 2007).

Quast (2000), que realizou um trabalho de revisão de flotação de hematitas, usando vários coletores como ácido láurico, hidroxamato, sulfato, dodecil-benzenossulfonato de sódio e um acetato de dodecilamina, e afirmou que a precipitação de amina sobre a hematita tem papel importante na flotação desse mineral.

Na figura 3.16, está apresentado estudo de flotabilidade da hematita, realizado por Lima (1997), usando um acetato de eteramina com 10 a 12 átomos de carbono na cadeia e grau de neutralização igual a 50 % (50 % da amina utilizada encontravam-se na forma de sal - acetato de eteramina - e 50 % na forma molecular).

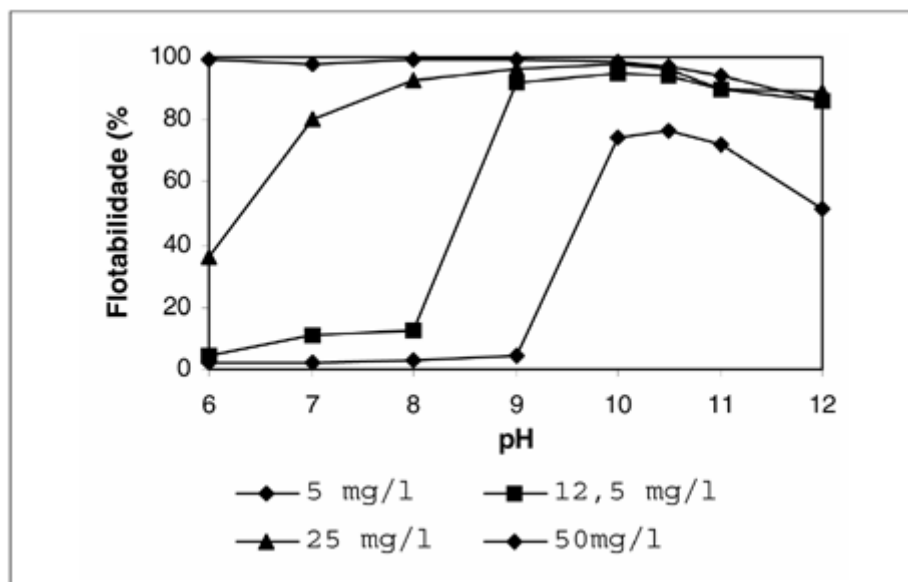


Figura 3.16 - Flotabilidade da hematita em função do pH e da concentração de acetato de eteramina (Lima, 1997; Lima e Brandão, 1999).

Na figura a seguir, extraída de Pearse (2004), apresenta-se a estrutura dos coletores aniônicos mais usualmente utilizados na flotação de minerais oxidados.

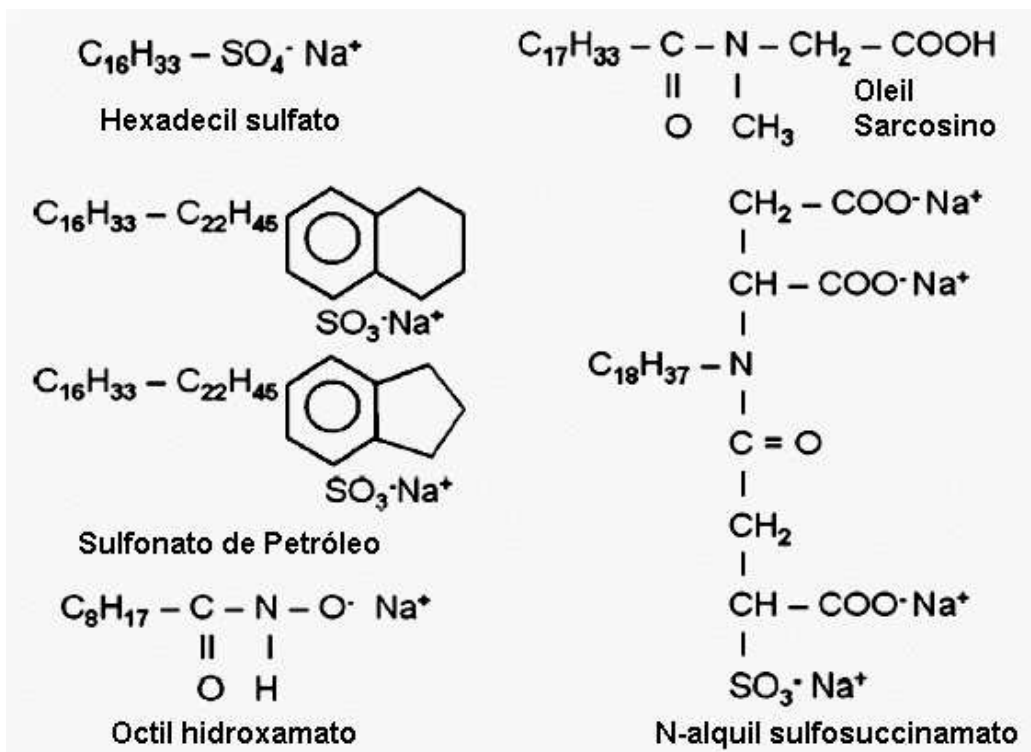


Figura 3.17 - Estrutura dos coletores aniônicos utilizados na flotação de minerais oxidados (Pearse, 2004).

Como um dos principais reagentes de flotação, tanino corresponde a um grupo de compostos fenólicos que tem como principal propriedade a afinidade em se ligar às cadeias de proteínas e precipitá-las.

Segundo HANNA e colaboradores (1976), o tanino (figura 3.18) que naturalmente hidrolisa-se em solução alcalina vem sendo utilizado por décadas para deprimir os minerais carbonatados.

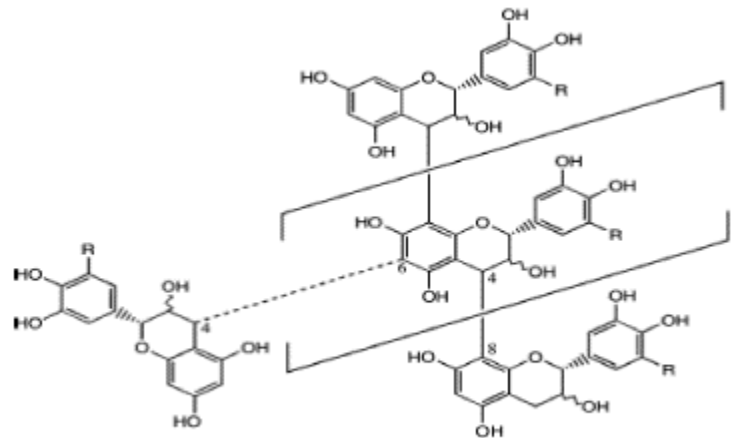


Figura 3.18 - Estrutura do tanino utilizada na flotação de minerais oxidados (VITAL, 2004).

Segundo Huout (1983) a amina vem sendo utilizada como coletor de sílica na flotação inversa de minério de ferro desde anos 60.

A dextrina é considerada uma classe de polissacarídeos de baixo peso molecular. As dextrinas são combinações de polímeros de D-glucose (α -1,4). Industrialmente, é alcançado através do processo de hidrólise ácida de amido. As dextrinas são solúveis em ambiente aquoso, tendo tonalidades brancas ligeiramente amareladas. Na figura 3.19 está apresentada uma estrutura da dextrina que usualmente utilizada como depressor na flotação.

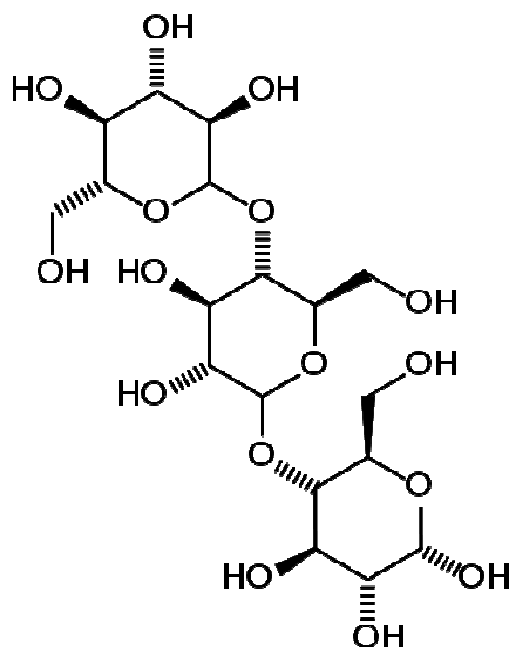


Figura 3.19 - Estrutura da dextrina utilizada na flotação de minerais oxidados (extraído de <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dextrina>)

Silicato de sódio, também conhecido como vidro líquido e água de vidro, com fórmula Na_2SiO_3 é empregado em processos de flotação para separação de minérios como hematita e magnetita. Opera por adsorção seletiva à superfície do minério e por hidrofília, reduzindo a quantidade de materiais indesejáveis, como quartzo. Na figura 3.20 esta apresentada a estrutura do silicato de sódio.

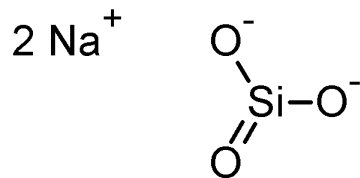


Figura 3.20 - Estrutura do silicato de sódio utilizado na flotação de minerais oxidados
(extraído de http://pt.wikipedia.org/wiki/Silicato_de_s%C3%B3dio)

Estudando óleo de babaçu refinado, Oliveira e colaboradores (2006) detectaram composição característica para esse óleo, sendo constituído principalmente por 44 % de ácido láurico, 17,6 % de ácido mirístico, 15,8 % de ácido oléico e 10,5 % de ácido palmítico. Já Rossell (1998) acusa os seguintes valores de ácidos contidos no óleo de babaçu: de 2,6 a 7,3 % de ácido octanoico (caprílico), 1,2 a 7,6 % de ácido decanoico (cáprico), 40,0 a 55,0 % de ácido dodecanoico (láurico), 11,0 a 27,0 % de ácido tetradecanoico (mirístico). 5,2 a 11,0 % de ácido hexadecanoico (palmítico), 1,8 a 7,4 % de ácido octadecanoico (esteárico), 9,0 a 20,0 % de ácido octadecenoico (oleico; 18 carbonos e insaturado com uma dupla ligação em isomeria cis no nono carbono) e de 1,4 a 6,6 % de ácido octadecadienoico (linolênico; 18 carbonos e com duas duplas ligações). Alerta-se para o fato de que, na realidade, a composição é unicamente hipotética, pois na realidade os óleos vegetais não são mistura de ácidos graxos mais, sim, tri-acil-gliceróis. Ou seja, somente após a saponificação, ter-se-ão os sais alcalinos dos ácidos citados convencionalmente como componentes do óleo.

3.2.2.1. Microflotação

A microflotação compreende a flotação com pequenas alíquotas amostrais purificadas, utilizando-se equipamento específico e delicado, capaz de viabilizar campanhas rápidas e de baixo custo.

Tem como grande vantagem a realização de ensaios bem controlados e reprodutíveis, os quais permitem o estudo do mecanismo de interação entre reagentes e as superfícies minerais e o levantamento das melhores condições físico-químicas da suspensão ou polpa, pH, etc.

Por se tratarem de sistemas simplificados, usualmente com minerais isolados, água destilada e reagentes purificados, o escalonamento para as condições de flotação convencional de bancada ou industrial deve ser considerado com extrema reserva. Mesmo assim, os resultados obtidos em célula de microflotação podem servir como um guia durante a seleção das condições operacionais em célula de bancada, levando à economia de recursos humanos e materiais.

Segundo Leja (1982), o tubo de Hallimond é a célula de microflotação mais utilizada, usando amostras purificadas de 1,0 a 2,0 gramas e o mecanismo de agitação é a barra magnética.

Araújo (1982), em estudos de microflotação com os minerais quartzo e hematita, usando uma amina graxa primária com cadeia de 10 a 12 átomos de carbono, observou que a região de máxima flotabilidade para ambos minerais estava compreendida entre os valores de pH de 9 a 10,5.

Outros aparatos de microflotação reportados na literatura são: a célula de Fuerstenau (Luz, 1996) e a célula de Smith-Partridge (Peres e colaboradores, 1980).

Em seus estudos de microflotação em célula de Fuerstenau, Luz (1996) estudou a flotação direta de minérios de ferro utilizando coletores aniônicos, como o óleo de rícino e de arroz saponificados em meio aquoso e em meio alcoólico. Utilizando sabão de óleo de arroz obtido por saponificação em meio alcoólico, percebeu que houve ganho do poder do coletor, tanto em relação a hematita, quanto em relação ao quartzo.

A célula de Fuerstenau é de vidro e consta em sua parte inferior de um fundo poroso de vidro sinterizado cuja função é produzir borbulhamento uniforme da fase gasosa injetada; a parte superior da célula tem um área de coleta do material flutuado.

A célula apresenta como vantagens, comparadas ao tubo de Hallimond:

- Maior controle das variáveis de operação no ensaio de microflotação;
- Maior número de ensaios realizados (6 ensaios por hora);

4. METODOLOGIA

Para melhor entendimento da metodologia dos ensaios, veja-se a figura 4.1, a qual ilustra fluxograma mostrando todas as etapas realizadas inerentes ao processo de microflotação.

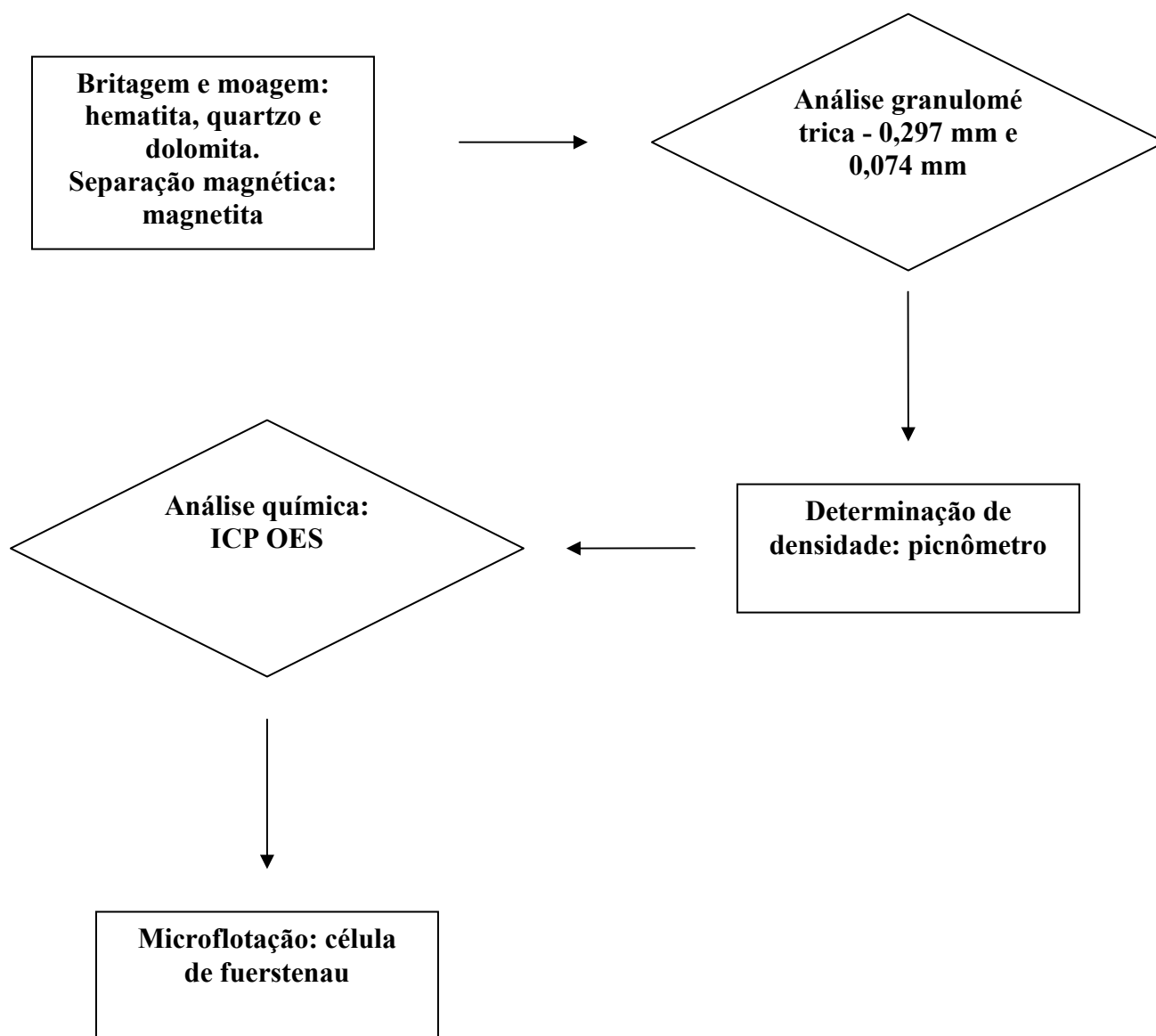


Figura 4.1 – Fluxograma do planejamento dos ensaios de microflotação.

4.1. Reagentes e Aparelhagem Utilizados

4.1.1. Reagentes

Para a realização dos ensaios de flotação reversa e direta, foram utilizados os seguintes reagentes:

Amina - compostos químicos orgânicos nitrogenados derivados do amoníaco (NH_3) e que resultam da substituição parcial ou total dos hidrogênios da molécula por grupos hidrocarbônicos.

Ácido oleico ($\text{H}_3\text{C} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$). Fabricante: Indústria Química Anastácio S/A - Utilizou-se saponificado por NaOH em excesso, resultando em oleato de sódio.

Óleo de babaçu. Fabricante: All Chemistry Brasil Ltda. - Utilizou-se saponificado por NaOH em excesso.

Silicato de sódio - Na_2SiO_3 - depressor usual de quartzo, silicatos, minerais tipo-sal.

Tanino. Fabricante: Sulfal Química Ltda. - depressores de minerais oxidados.

Dextrina. Nome comercial: Argo DT 7482 (embalagem de 25 kg). Fabricante: Corn Products Brasil – depressor de minerais oxidados

Mibcol. Metil-isobutilcarbinol ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$) - Fabricante: Merck S.A. Indústrias Químicas. Espumante clássico para sistemas de flotação.

NaOH/HCL - Fabricante Merck S.A. Indústrias Químicas, usado como regulador de pH.

Outros

Água – água destilada será usada em todos os experimentos.

Ar comprimido – usado nos ensaios de microflotação.

4.1.2. Aparelhagem

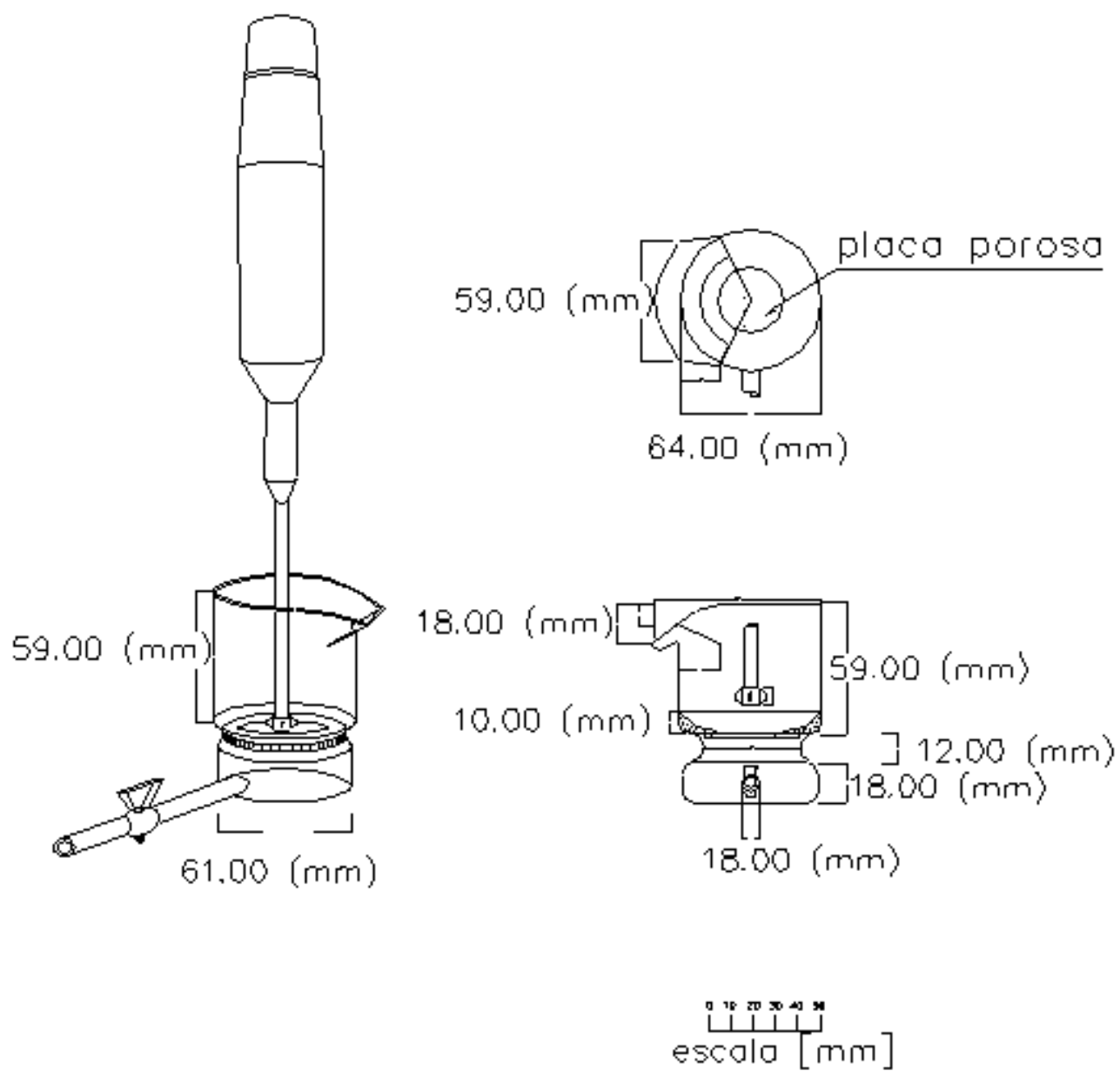
Discriminam-se abaixo os principais equipamentos usados neste trabalho:

- Peneiras da serie Manupen/ABNT – para bitolamento das amostras para microflotação;
- Moinho de porcelana 62 rpm marca: Renard - para adequação granulométrica para os testes de microflotação;
- Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) Spectro / Modelo: Ciros CCD
- Picnômetro de 100 ml – para determinação da densidade dos minerais;
- Peagômetros Digimed DM-22 com eletrodos de vidro combinado – para as medidas de pH;
- Balança Digimed KN 1000C - Utilizada para pesagem com precisão;
- Béquer;
- Termômetro;
- Cronômetro – Utilizado para medir o tempo padrão do teste;

- Estufa Fanem mod: 320-SE - Utilizada para secagem de amostras;
- Filtro de papel;
- Funil de vidro;
- Agitador magnético com aquecedor Fisatom;
- Agitador magnético Fanem mod 257 110 V;
- Separador magnético marca: Equimag modelo L.8 serie 01450.
- Célula de Fuerstenau.

Os ensaios de microflotação foram realizados em célula de Fuerstenau, como descrito por Luz (1996).

A seguir são mostradas as figuras 4.2, 4.3 e 4.4 onde se pode observar a célula de Fuerstenau utilizada na microflotação de hematita.



CELULA DE FUERSTENAU

Figura 4.2 - Esquema em perspectiva e dimensional da célula de Fuerstenau. (Fonte: Luz, 1996).



Figura 4.3 - Célula de Fuerstenau em fase de condicionamento na microflotação de hematita.

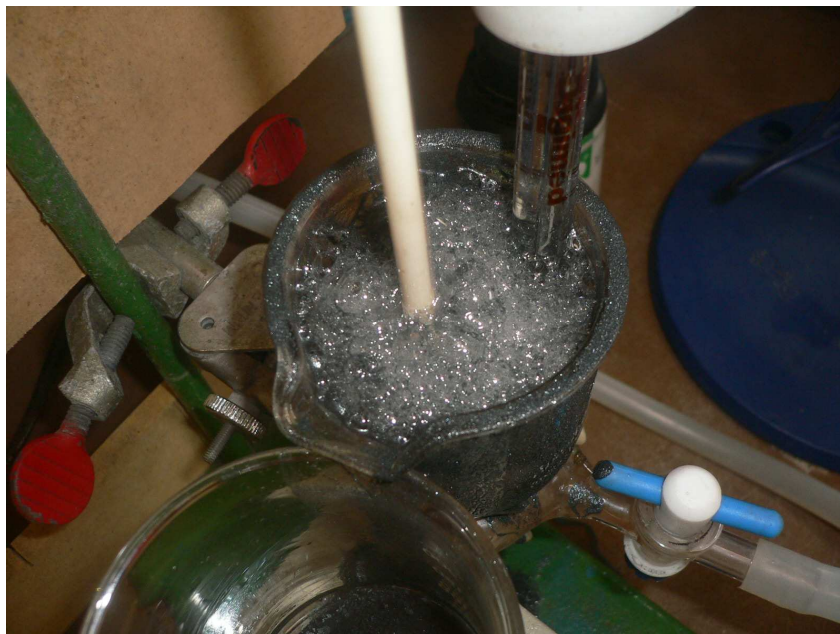


Figura 4.4 - Célula de Fuerstenau em fase de aeração na microflotação de magnetita.

4.2. Minerais: Obtenção e Preparo

Devido à dificuldade de obtenção de amostras purificadas oriundas da área de interesse (em especial de usina de Andrade em João Molevade), essas amostras, assim obtidas só foram utilizadas no coroamento dos trabalhos (fase final).

Assim, durante o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados minerais puros oriundos do Quadrilátero Ferrífero, de região dentro da folha geológica de Ouro Preto. A dolomita foi obtida da cava da Bemil. Sua pureza foi atestada por avaliação de picnometria, e análise química. O quartzo utilizado em grande parte do trabalho foi de amostra de veio de quartzo hialino de elevada pureza, ao passo que a hematita foi obtida de amostras de hematita compacta. A magnetita (figura 4.5) utilizada no desenvolvimento do ensaio de microflotação em bancada foi obtida da região de Sabinópolis (MG).

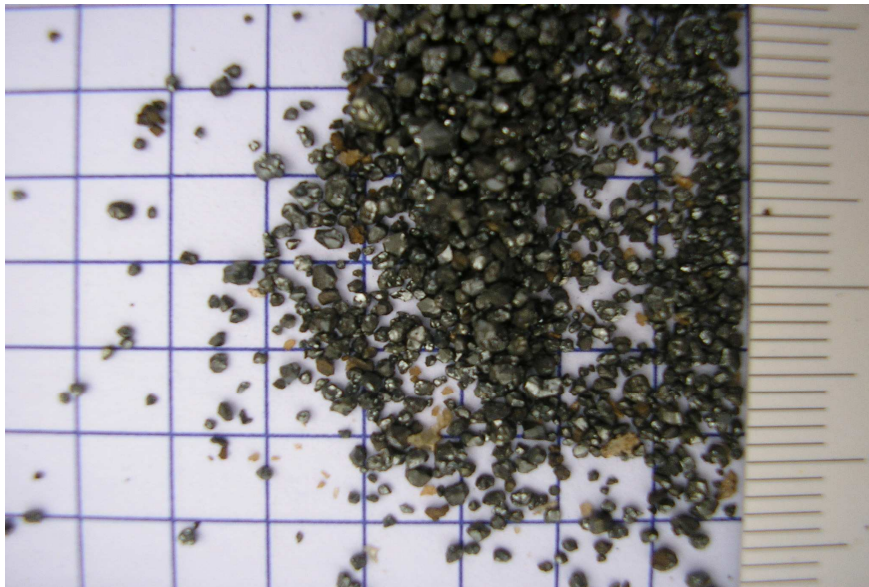


Figura 4.5 – Amostra típica de minério magnetítico friável mostrando o aspecto sacaroidal dos grânulos de magnetita (região de Sabinópolis, MG)

O trabalho foi desenvolvido junto ao departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade federal de Ouro Preto.

A preparação e a caracterização das amostras são descritas a seguir.

4.2.1. Quartzo

A) Preparação

A amostra de quartzo foi preparada por simples cominuição em moinho de porcelana com carga moedora de bolas, a partir de espécimes coletados manualmente.

Para os testes de microflotação as amostras foram bitoladas por peneiramento dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm

Cerca de 3,56 kg dessa amostra foi submetido a peneiramento a úmido, gerando uma amostra de 3,145 kg. Esse peneiramento visou preparar amostras adequadamente finas para os testes de microflotação.

Esta amostra de quartzo foi homogeneizada e quarteada seguidamente até se atingirem as quantidades necessárias para os ensaios posteriores de flotação, mais precisamente 20 g.

B) Caracterização:

- **Densidade:** a determinação (em duplicata) da densidade com picnômetro indicou valor médio de 2,682.

- **Granulometria:** As amostras para os testes de microflotação foram bitoladas (em peneiras de teste) dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm.

4.2.2. Hematita

A) Preparação:

A preparação das amostras de hematita foi similar à das amostras de quartzo. Consistiu de cominuição em moinho de porcelana com carga de bolas a partir de espécimes coletados manualmente.

Para os testes de microflotação as amostras foram bitoladas por peneiramento dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm

Cerca de 6,44 kg dessa amostra foi submetido a peneiramento a úmido, gerando uma amostra de 3,03 kg. Esse peneiramento visou preparar amostras adequadamente finas para os testes de microflotação.

Esta amostra de hematita também foi homogeneizada e quarteada seguidamente até atingirem as quantidades de 20 g necessárias para os ensaios de flotação.

B) Caracterização:

- **Densidade:** a determinação (em duplicata) da densidade com picnômetro indicou valor médio de 4,670.
- **Granulometria:** As amostras para os testes de microflotação foram bitoladas (em peneiras de teste) dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm.

4.2.3. Dolomita

A) Preparação:

A preparação das amostras de dolomita foi similar à das amostras de quartzo e hematita. Consistiu de cominuição em moinho de porcelana com carga de bolas a partir de espécimes coletados manualmente.

Para os testes de microflotação as amostras foram bitoladas por peneiramento dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm

Cerca de 6,12 kg dessa amostra foi submetido a peneiramento a úmido, gerando uma amostra de 3,340 kg. Esse peneiramento visou preparar amostras adequadamente finas para os testes de microflotação.

Esta amostra de dolomita também foi homogeneizada e quarteada seguidamente até atingirem as quantidades necessárias para os ensaios posteriores de flotação, mais precisamente 20 g.

B) Caracterização:

- **Densidade:** a determinação (em duplicata) da densidade com picnômetro indicou valor médio de 2,796.
- **Granulometria:** As amostras para os testes de microflotação foram bitoladas (em peneiras de teste) dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm

4.2.4. Magnetita

A) Preparação:

A preparação das amostras de magnetita foi similar à das amostras de quartzo, hematita e dolomita. Consistiu de cominuição em moinho de porcelana com carga de bolas a partir de espécimes coletados manualmente.

Para os testes de microflotação as amostras foram bitoladas por peneiramento dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm

Cerca de 2,32 kg dessa amostra foi submetido a peneiramento a úmido, gerando uma amostra de 1,35 kg. Esse peneiramento visou preparar amostras adequadamente finas para os testes de microflotação. Posteriormente a amostra foi conduzida para um separador magnético de baixa intensidade com intuito de purificar a amostra gerando um produto de 213 g.

Esta amostra de magnetita também foi homogeneizada e quarteada seguidamente até atingirem as quantidades necessárias para os ensaios posteriores de flotação, mais precisamente 20 g.

B) Caracterização:

- **Densidade:** a determinação (em duplicata) da densidade com picnômetro indicou valor médio de 5,025.

Granulometria: As amostras para os testes de microflotação foram bitoladas (em peneiras de teste) dentro da faixa entre 0,297 mm e 0,074 mm.

4.3. Caracterização Química

A caracterização foi feita por espectrofotometria de emissão atômica com fonte plasma e os resultados principais estão apresentados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3. As tabelas completas estão apresentadas no anexo A.

Tabela 4.1 – Concentração de elementos traço do quartzo e da dolomita

Amostra	Be	Li	Sc	Zr	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Quartzo	0,356	0,331	0,387	2,84	5,37
Dolomita	0,376	2,27	0,475	2,01	6,82

Tabela 4.2 – Concentração de elementos traço da magnetita e da hematita

Amostra	Li	Sr	Th	Y	Co
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Magnetita	8,74	8,12	4,00	3,64	147
Hematita	1,39	20,2	3,55	7,14	25,1

Tabela 4.3 – Concentração de elementos majoritários da magnetita e hematita

Amostra	Si	SiO ₂	MgO	Fe	Outros
	%	%	%	%	%
Magnetita	2,54	5,43	1,655	68,5	21,88
Hematita	1,09	2,327	0,0136	71,0	25,57

4.4. Procedimentos Experimentais Utilizados na Microflotação

4.4.1. Saponificação do coletor

O procedimento experimental padrão, adotado para a saponificação dos coletores está descrito a seguir:

Óleo de babaçu

Inicialmente, 10,08 gramas de óleo de babaçu (aquecido a 60° C) foram pesados e transferidos para béquer contendo 100 ml de água destilada. Posteriormente, mediu-se 50 ml de água destilada numa proveta e transferiu-se para um béquer de 500 ml. Posteriormente, sob constante agitação utilizando agitador magnético, adicionou-se lentamente solução de NaOH (sob concentração em massa de 13,9 %) sobre a água com o óleo de babaçu até a solução ficar saponificada, controlando a alcalinidade para que ficasse acima de pH 12. O material saponificado foi transferido para um balão, acrescentando água até completar 500 ml gerando uma concentração de dosagem de 1 %.

Ácido oleico

Inicialmente, pesaram-se 10 gramas de ácido oleico (aquecido à 60° C) que foram transferidos para um béquer contendo 20ml de água destilada. Posteriormente mediram-se 3 ml de água destilada numa proveta e transferiu-se essa água para béquer de 50 ml. Posteriormente, sob constante agitação utilizando agitador magnético, adicionou-se lentamente a solução de NaOH (sob concentração de 50 % em massa) sobre o oleato até a solução ficar saponificada. O material saponificado foi transferido para um balão, acrescentando água até completar 500 ml gerando concentração de dosagem de 1 %.

Os óleos saponificados eram mantidos em lugar escuro e refrigerados para evitar alteração em suas propriedades devido à luz e ao calor.

4.4.2. Ensaio de flotação utilizando coletor

O procedimento experimental padrão, adotado para os ensaios de microflotação está descrito a seguir.

Inicialmente, ajustou-se o pH da solução de acordo com o programado. Despejava-se 20 gramas de amostra no fundo seco, adicionavam-se 100 ml de solução coletora, iniciando imediatamente a agitação e o disparo do cronômetro, num período de condicionamento de 120 s. Gotejou-se, com seringa fina, 0,005 ml de espumante, 15 segundos antes do término do condicionamento. Posteriormente injetava-se nitrogênio, via abertura das válvulas, mantendo-se a vazão constante durante o processo de flotação, por 180 s. Paralelamente adicionava-se água com espumante (com mesmo pH e com a mesma proporção inicial) para se manter a cota de interface polpa/espuma durante o desenvolvimento da flotação. Após este período, interrompia-se o fluxo de nitrogênio e a agitação, separando, a seguir, o material flotado e o material não flotado. Filtravam-se as frações em papel de filtro, as quais eram enviadas para secagem a 80 °C. As frações secas eram pesadas, finalmente, em balança analítica de precisão. Os ensaios eram realizados em duplicata, e em triplicata, no caso de haver discrepância maior que 3 % entre os valores de flotabilidade para as mesmas condições experimentais.

Inicialmente alguns ensaios foram feitos em branco (somente com espumante, sem coletor) com o quartzo para se quantificar o arraste hidrodinâmico (relacionado ao eventual poder coletor do espumante e ao arraste de finos nas linhas de fluxo).

A fase aquosa usada nos ensaios era comumente água destilada, ajustada para o pH do ensaio, Entretanto, fizeram-se alguns ensaios para se averiguar o efeito de dissolução de íons de dolomita na flotação com óleo de babaçu saponificado. Nessa modalidade de ensaio, deixava-se por, no mínimo 24 horas, dolomita cominuída imersa em béquer contendo água destilada. O sobrenadante era então coletado e usado como fase líquida para a execução dos ensaios de microflotação

4.4.3. Ensaio de flotação utilizando coletor e depressor

O procedimento experimental padrão, adotado para os ensaios de microflotação está descrito a seguir.

Inicialmente, ajustou-se o pH da solução de acordo com o programado. Despejava-se 20 gramas de amostra no fundo seco, adicionavam-se 100 ml de solução formada por água e depressor, iniciando imediatamente a agitação e o disparo do cronômetro, num período de condicionamento de 240 s. Acrescentou-se coletor 2 minutos (120 s) após o início do período de condicionamento. Posteriormente gotejou-se, com seringa fina, 0,005 ml de espumante, 15 segundos antes do término do condicionamento. Posteriormente injetava-se nitrogênio, via abertura das válvulas, mantendo-se a vazão constante durante o processo de flotação, por 180 s. Paralelamente adicionava-se água com espumante (com mesmo pH e com a mesma proporção inicial) para se manter a cota de interface polpa/espuma durante o desenvolvimento da flotação. Após este período, interrompia-se o fluxo de nitrogênio e a agitação, separando, a seguir, o material flotado e o material não flotado. Filtravam-se as frações em papel de filtro, as quais eram enviadas para secagem a 80 °C. As frações secas eram pesadas, finalmente, em balança analítica de precisão. Os ensaios eram realizados em duplicata, e em triplicata, no caso de haver discrepância maior que 3 % entre os valores de flotabilidade para as mesmas condições experimentais.

4.5. Planejamento dos Testes de Microflotação

No que tange ao desenvolvimento dos ensaios, ficou estabelecido que os primeiros ensaios fossem realizados como mostra a tabela 4.4:

1ª fase (fase preliminar)

Tabela 4.4 – Planejamento dos ensaios preliminares

Flotação	Coletor	Reguladores de pH:
Quartzo	Amina Óleo de babaçu Oleato de sódio	HCl/NaOH;
Hematita	Amina Óleo de babaçu Oleato de sódio	HCl/NaOH;
Dolomita	Amina Óleo de babaçu Oleato de sódio	HCl/NaOH;
Quartzo em sobrenadante de dolomita	Amina Óleo de babaçu Oleato de sódio	HCl/NaOH;
Hematita em sobrenadante de dolomita	Amina Óleo de babaçu Oleato de sódio	HCl/NaOH;

2ª fase (fase de detalhamento)

A partir dos resultados obtidos na fase preliminar de microflotação, ficou constatado o baixo rendimento do óleo de babaçu como potencial coletor. Esta constatação aliada ao restrito número de amostras definiu uma segunda rodada de ensaios onde ficou decidido que seriam usadas amina e oleato de sódio como coletores, como mostra a tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Planejamento da fase de detalhamento

Flotação	Coletor	Depressor	Reguladores de pH:
Quartzo	Amina Oleato de sódio	Dextrina Silicato de sódio Tanino	HCl/NaOH;
Hematita	Amina Oleato de sódio	Dextrina Silicato de sódio Tanino	HCl/NaOH;
Dolomita	Amina Oleato de sódio	Dextrina Silicato de sódio Tanino	HCl/NaOH;

3ª fase (suplementação de ensaios usando magnetita)

Para a parte final dos experimentos ficou estabelecido que os ensaios ficassem centrados em cima da magnetita, e devido à escassez de amostras foi definido poucos ensaios com coletor e depressor, como mostra a tabela 4.6:

Figura 4.6 – Planejamento de ensaios de suplementação usando magnetita

Flotação	Coletor	Depressor	Reguladores de pH:
Magnetita	Oleato de sódio	Dextrina Tanino	HCl/NaOH;

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Microflotação de Quartzo sem Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades do quartzo influenciadas pelo efeito do pH e pela dosagem do coletor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.1.1. Oleato de sódio

O comportamento do quartzo na flotação em presença de oleato de sódio é indicado no gráfico da figura 5.1. Nele pode-se verificar uma discreta flotabilidade com o quartzo com uma dosagem de 150 g/t, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 1500 g/t percebe-se um aumento da flotabilidade do quartzo principalmente nas faixas ácidas de pH 4,5 a 6,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

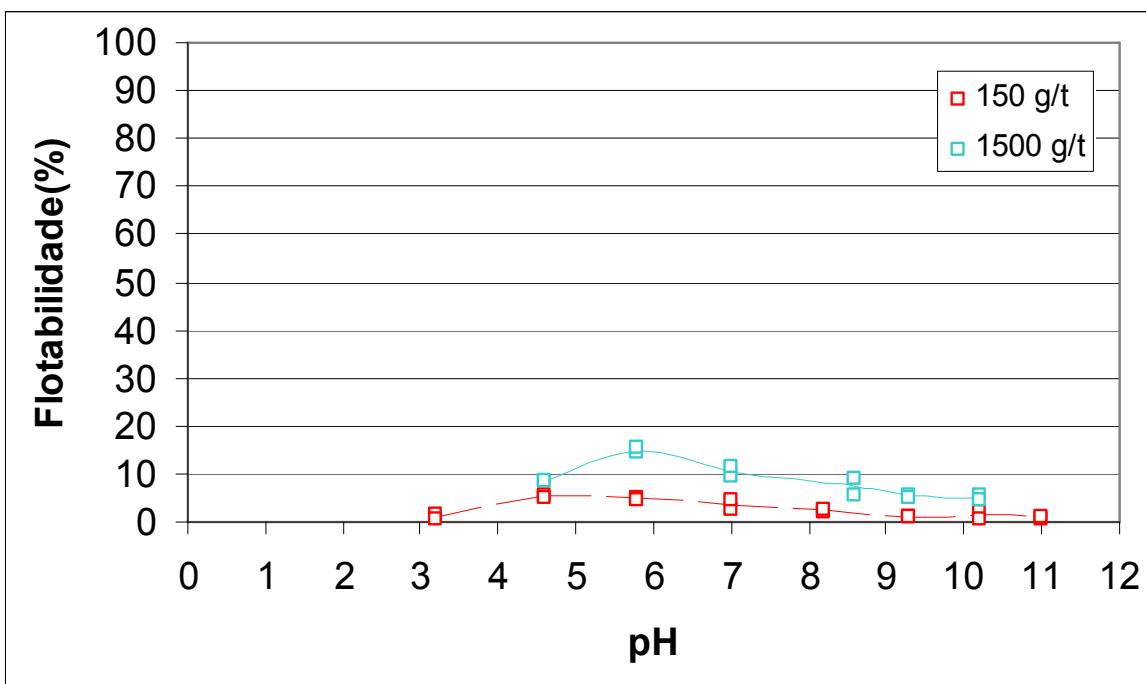


Figura 5.1 - Flotabilidade do quartzo por oleato de sódio em função do pH.

5.1.2. Amina

O comportamento do quartzo na flotação em presença de amina é indicado no gráfico da figura 5.2. Nele pode-se verificar uma excelente flotabilidade do quartzo com uma dosagem de 150 g/t, principalmente nas faixas de pH 4,5 a 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

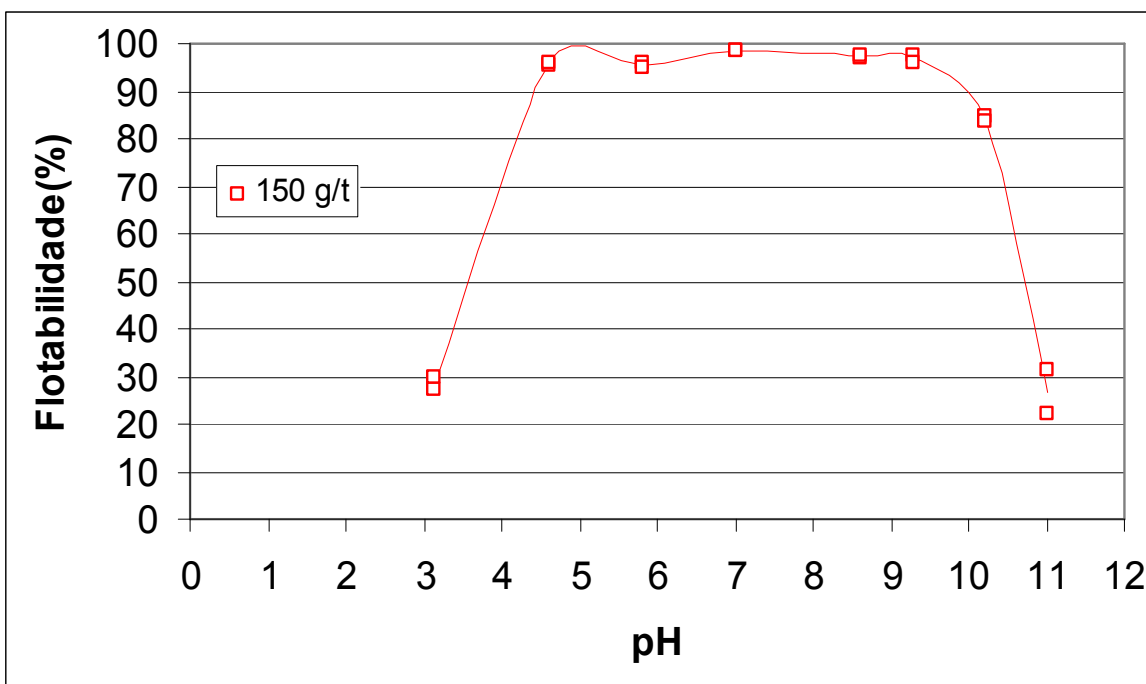


Figura 5.2 - Flotabilidade do quartzo por amina em função do pH.

5.1.3. Óleo de babaçu saponificado

O comportamento do quartzo na flotação em presença de óleo de babaçu é indicado no gráfico da figura 5.3. Nele pode-se verificar uma discreta flotabilidade com o quartzo com uma dosagem de 150 g/t, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 1500 g/t percebe-se um sutil aumento da flotabilidade do quartzo principalmente nas faixas básicas de pH 8,5 a 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

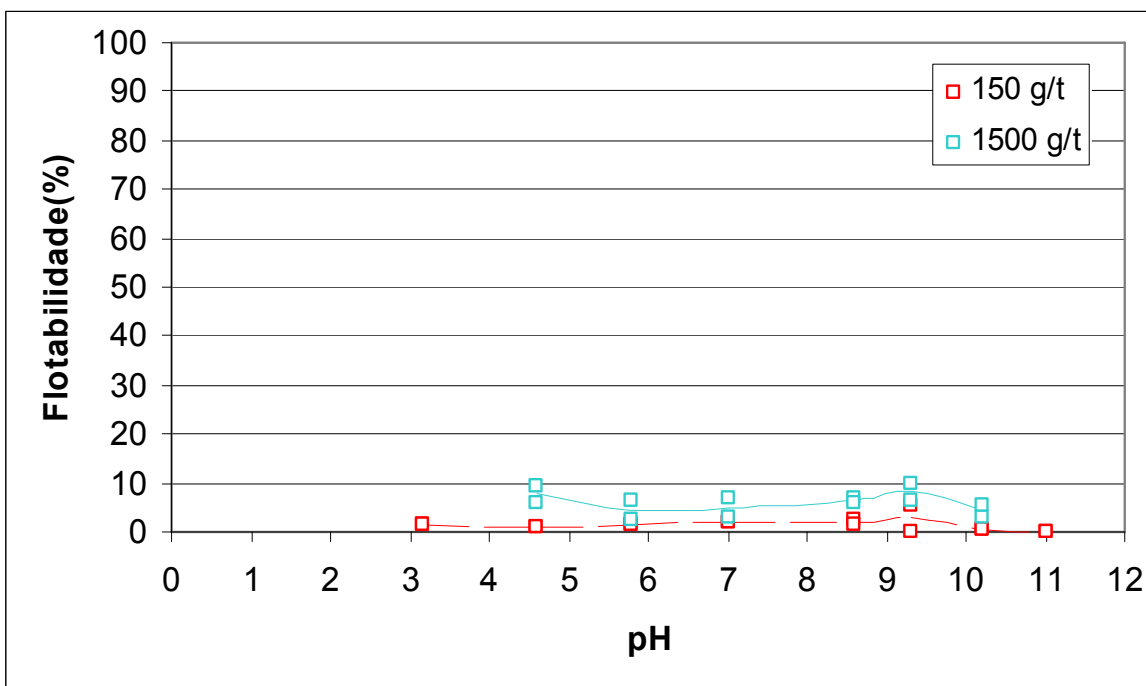


Figura 5.3 - Flotabilidade do quartzo por óleo de babaçu em função do pH.

5.1.4. Consórcio Amina/oleato

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo amina e oleato nas proporções de 35% e 65% respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.4. Nele pode-se verificar uma excelente flotabilidade com uma dosagem de 1500 g/t.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

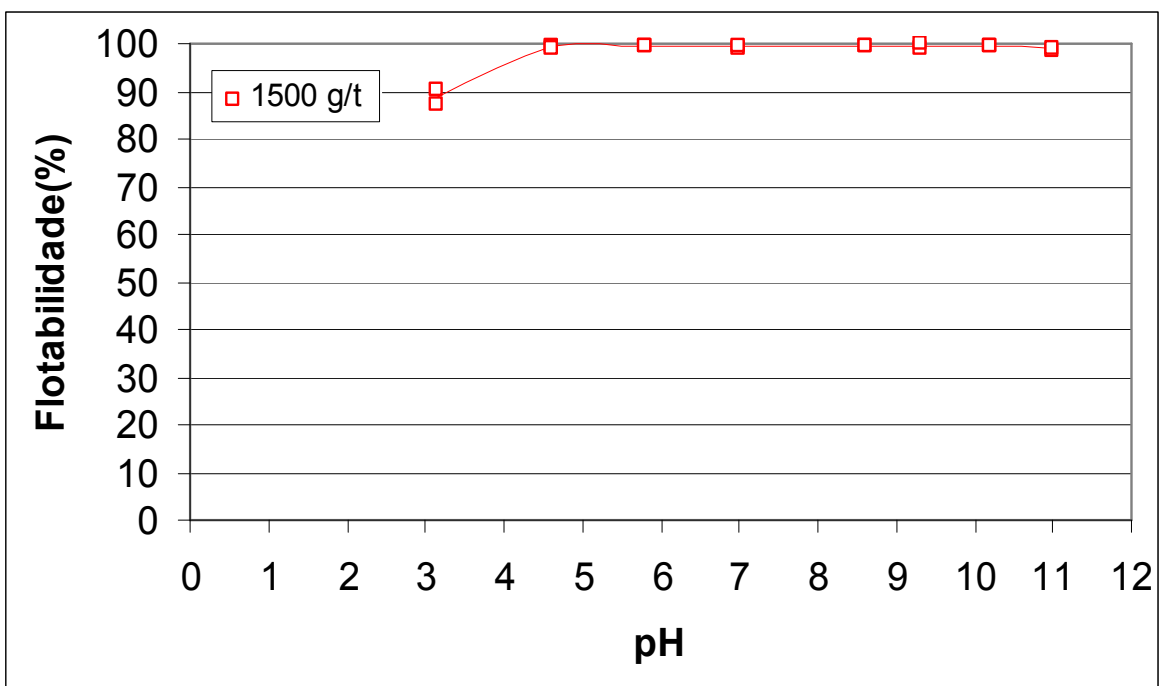


Figura 5.4 - Flotabilidade do quartzo por oleato e amina em função do pH.

5.2. Microflotação de Hematita sem Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades da hematita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.2.1. Oleato de sódio

O comportamento da hematita na flotação em presença de oleato de sódio é indicado no gráfico da figura 5.5. Nele pode-se verificar uma flotabilidade da hematita entre 40 % e

53% com uma dosagem de 150 g/t, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 300 g/t percebe-se um aumento da flotabilidade da hematita para valores acima de 80 % principalmente nas faixas ácidas de pH 5,5 a 6,5, tal comportamento já havia sido descrito por Campos e Luz (2007).

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

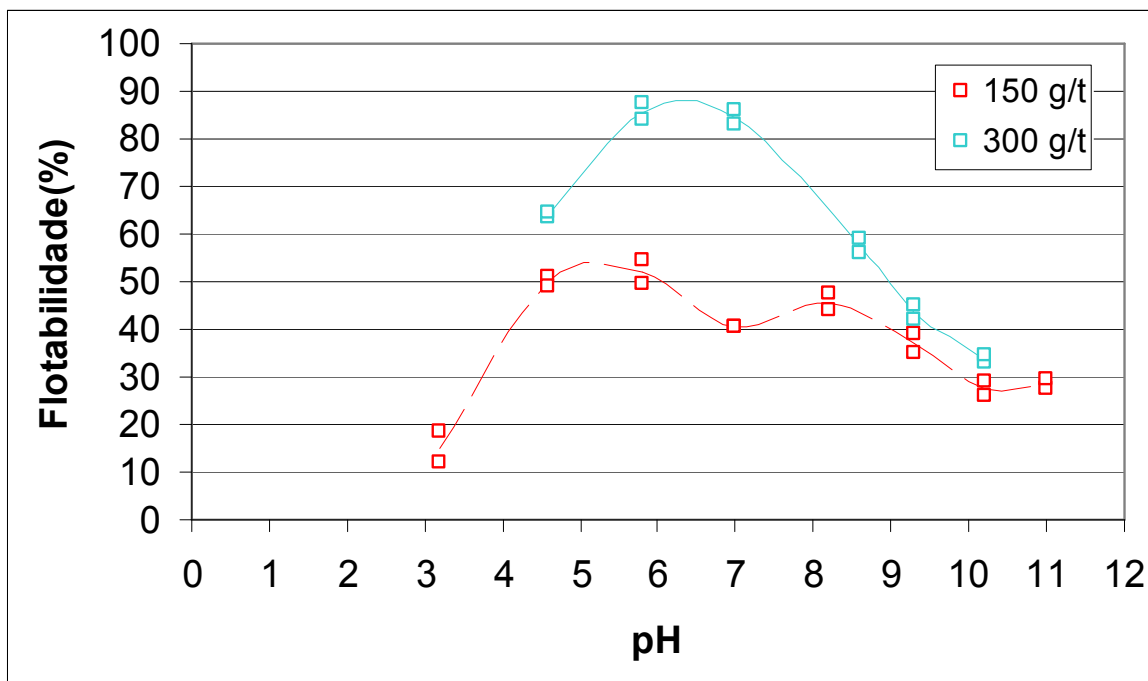


Figura 5.5 - Flotabilidade da hematita por oleato de sódio em função do pH.

5.2.2. Amina

O comportamento da hematita na flotação em presença de amina é indicado no gráfico da figura 5.6. Nele pode-se verificar uma boa flotabilidade com a hematita com uma dosagem de 150 g/t principalmente nas faixas ácidas, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 1500 g/t percebe-se um aumento da flotabilidade da hematita nesta faixa comentada e uma diminuição da flotabilidade nas faixas básicas de pH 8,0 a 10,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

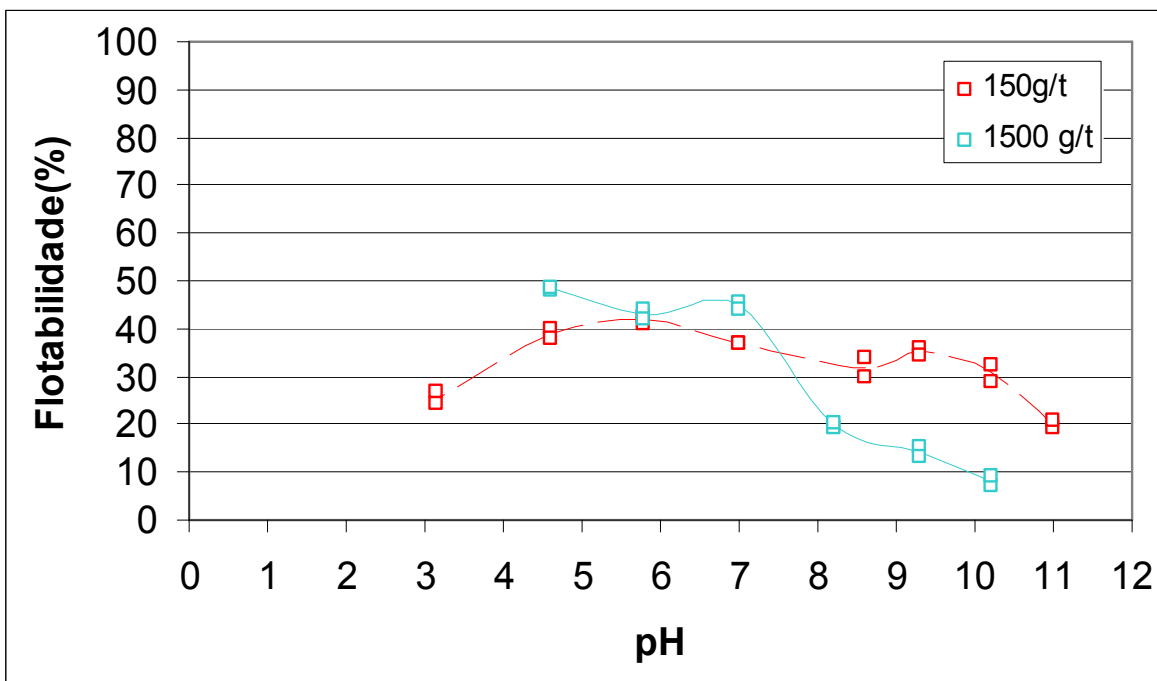


Figura 5.6 - Flotabilidade da hematita por amina em função do pH.

5.2.3. Óleo de babaçu saponificado

O comportamento da hematita na flotação em presença de óleo de babaçu é indicado no gráfico da figura 5.7. Nele pode-se verificar uma baixa flotabilidade com a hematita com uma dosagem de 150 g/t principalmente nas faixas acidas, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 1500 g/t percebe-se um discreto aumento da flotabilidade da hematita.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

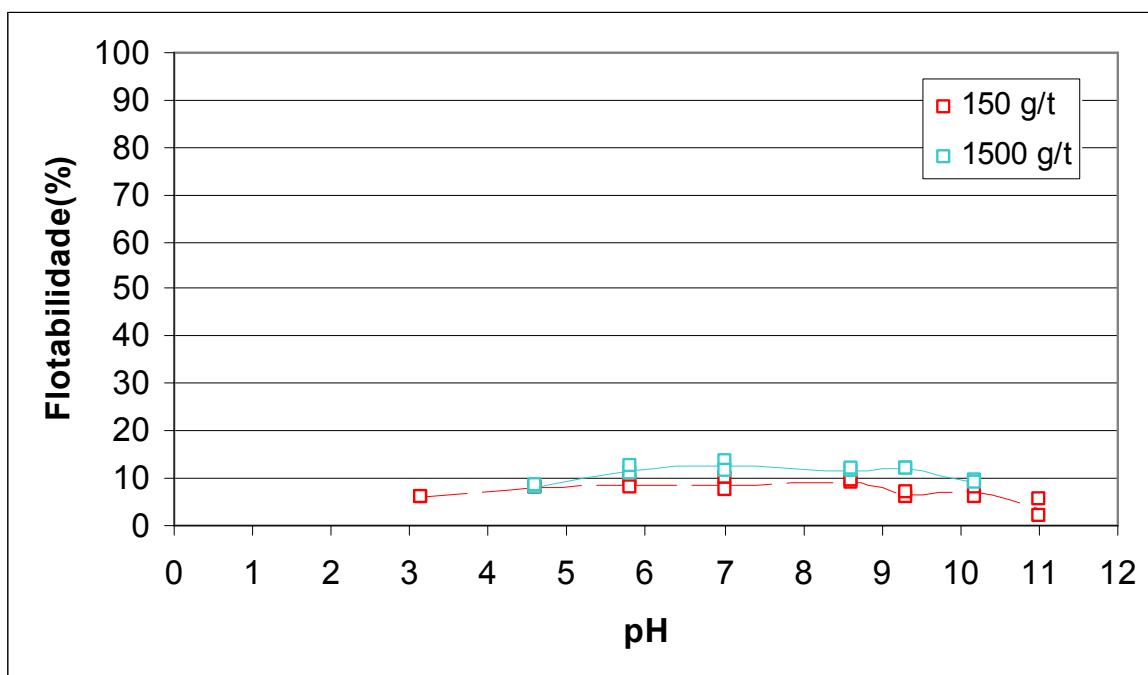


Figura 5.7 - Flotabilidade da hematita por óleo de babaçu em função do pH.

5.2.4. Consórcio Amina/oleato

O comportamento da hematita na flotação envolvendo amina e oleato nas proporções de 35% e 65% respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.8. Nele pode-se verificar uma flotabilidade de 70 % em medida entre o pH 5 e 10 para uma dosagem de 1500 g/t.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

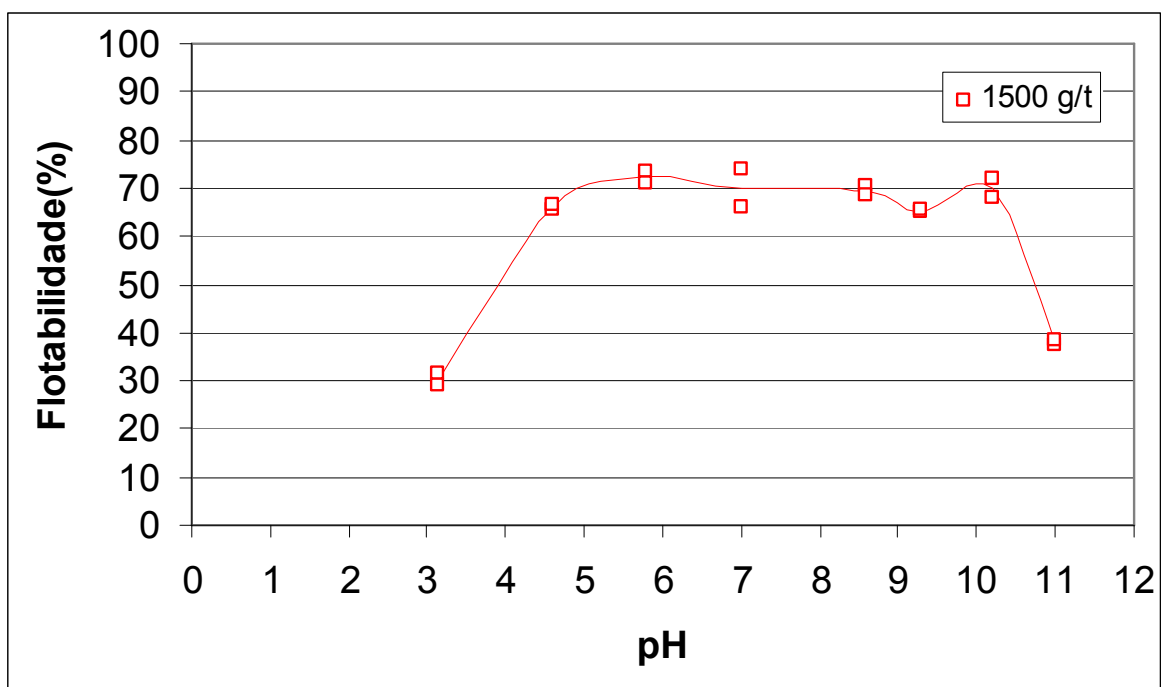


Figura 5.8 - Flotabilidade da hematita por oleato e amina em função do pH.

5.3. Microflotação de Dolomita sem Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades da dolomita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.3.1. Oleato de sódio

O comportamento da dolomita na flotação em presença de oleato é indicado no gráfico da figura 5.9. Nele pode-se verificar uma flotabilidade de 20 % da dolomita com uma dosagem de 150 g/t principalmente nas faixas básicas entre o pH 8,5 e 9,5, à medida que ocorre um aumento da dosagem para 300 g/t percebe-se um aumento da flotabilidade da dolomita para percentuais próximos a 50 % na faixa entre pH 7 e 9, tal comportamento já havia sido descrito por Prédali (1967, 1969).

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

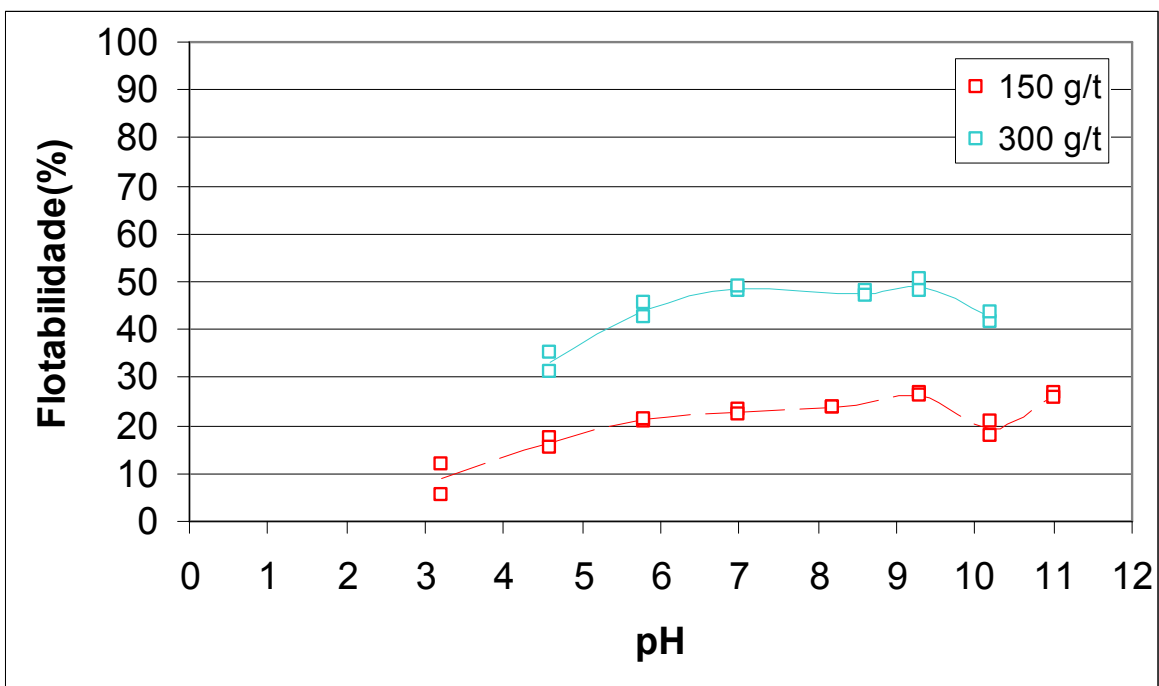


Figura 5.9 - Flotabilidade da dolomita por oleato em função do pH.

5.3.2. Amina

O comportamento da dolomita na flotação em presença de amina é indicado no gráfico da figura 5.10. Nele pode-se verificar uma flotabilidade média de 10 % da dolomita com uma dosagem de 150 g/t principalmente nas faixas ácidas entre o pH 3,0 e 6,0, aumentando a dosagem para 1500 g/t percebe-se um aumento da flotabilidade da dolomita para percentuais acima de 40 % no pH 9,2.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

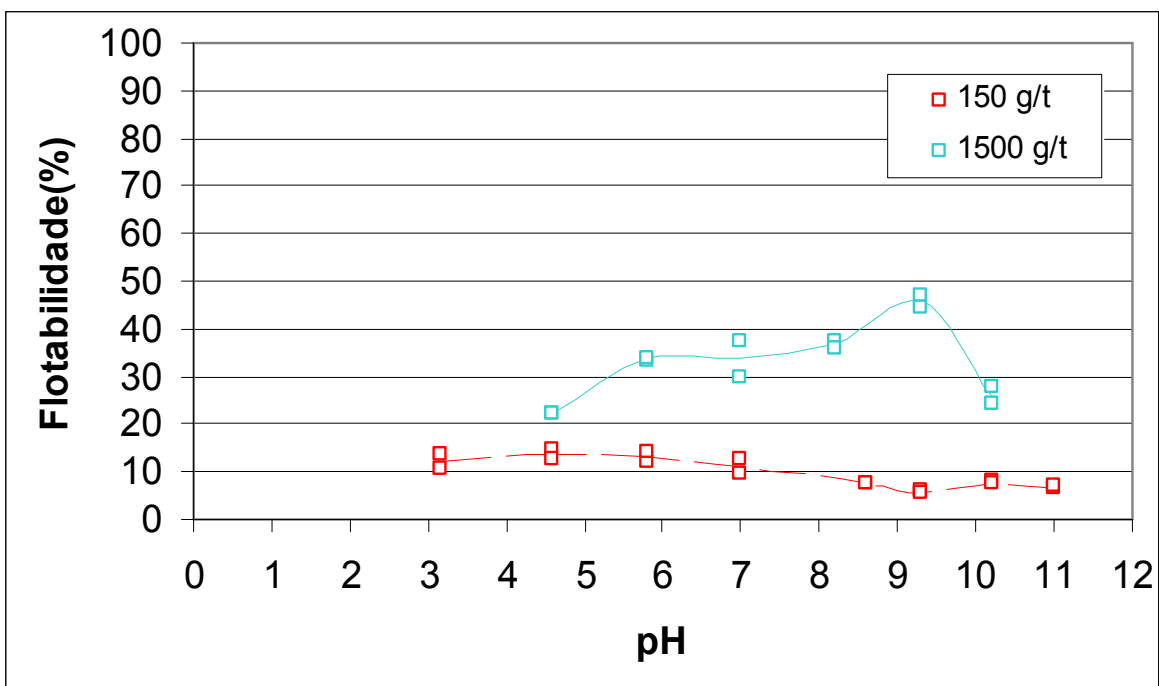


Figura 5.10 - Flotabilidade da dolomita por amina em função do pH.

5.3.3. Óleo de babaçu saponificado

O comportamento da dolomita na flotação em presença de óleo de babaçu é indicado no gráfico da figura 5.11. Nele pode-se verificar uma flotabilidade média de 5 % da dolomita com uma dosagem de 150 g/t principalmente nas faixas ácidas entre o pH 4,0 e 7,0 com picos no pH 10, aumentando a dosagem para 1500 g/t percebem-se um aumento da flotabilidade da dolomita para percentuais próximos a 30 %.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

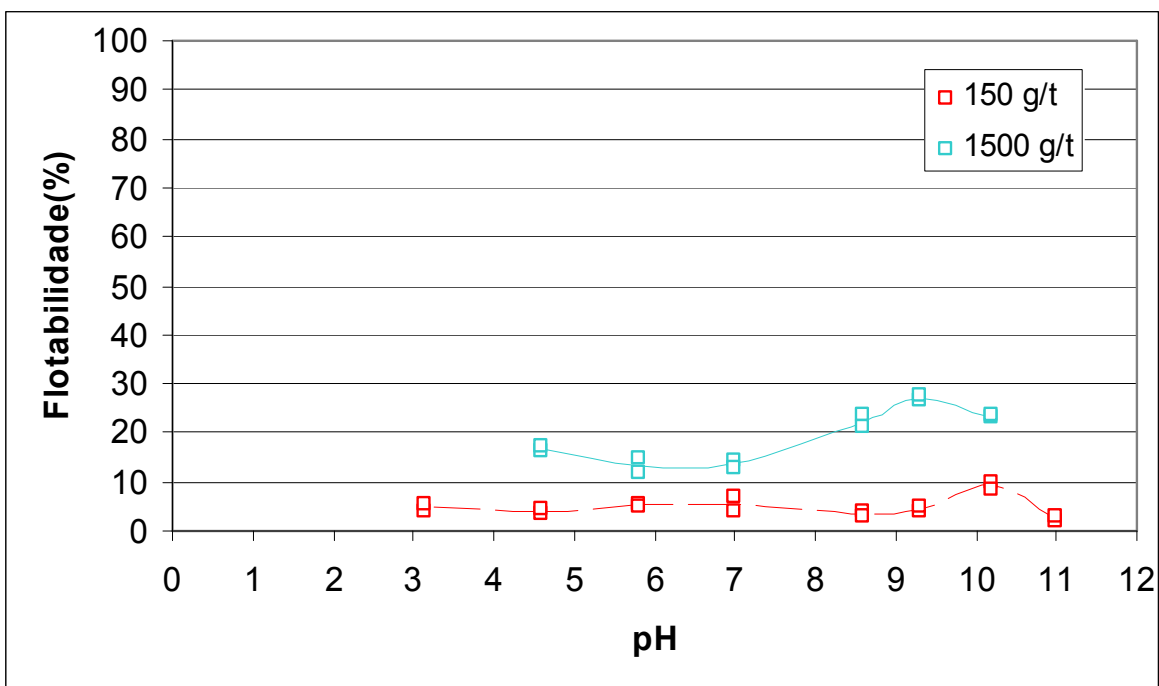


Figura 5.11 - Flotabilidade da dolomita por óleo de babaçu em função do pH.

5.3.4. Consórcio Amina/oleato

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo amina e oleato nas proporções de 35% e 65% respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.12. Nele pode-se verificar uma flotabilidade média de 55 % da dolomita com uma dosagem de 1500 g/t.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

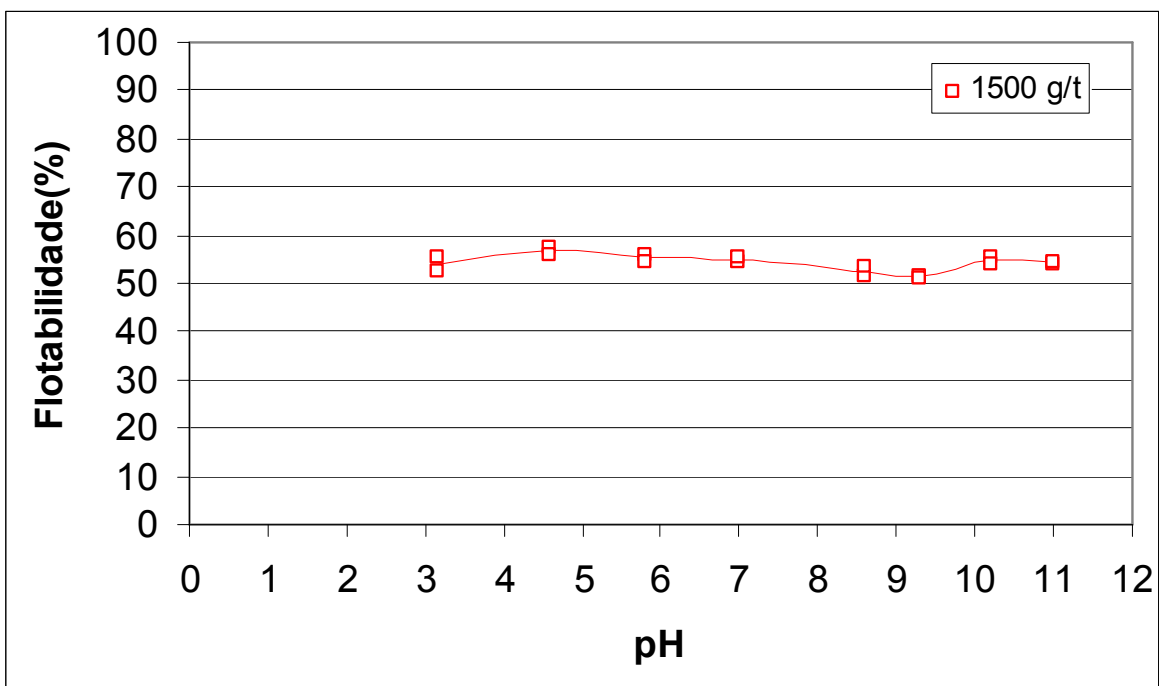


Figura 5.12 - Flotabilidade da dolomita por oleato e amina em função do pH.

5.4. Microflotação de Magnetita sem Depressor

O comportamento da magnetita na flotação envolvendo oleato é indicado no gráfico da figura 5.13. Nele pode-se verificar uma baixa flotabilidade com valores abaixo de 10 % da magnetita com uma dosagem de 300 g/t.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

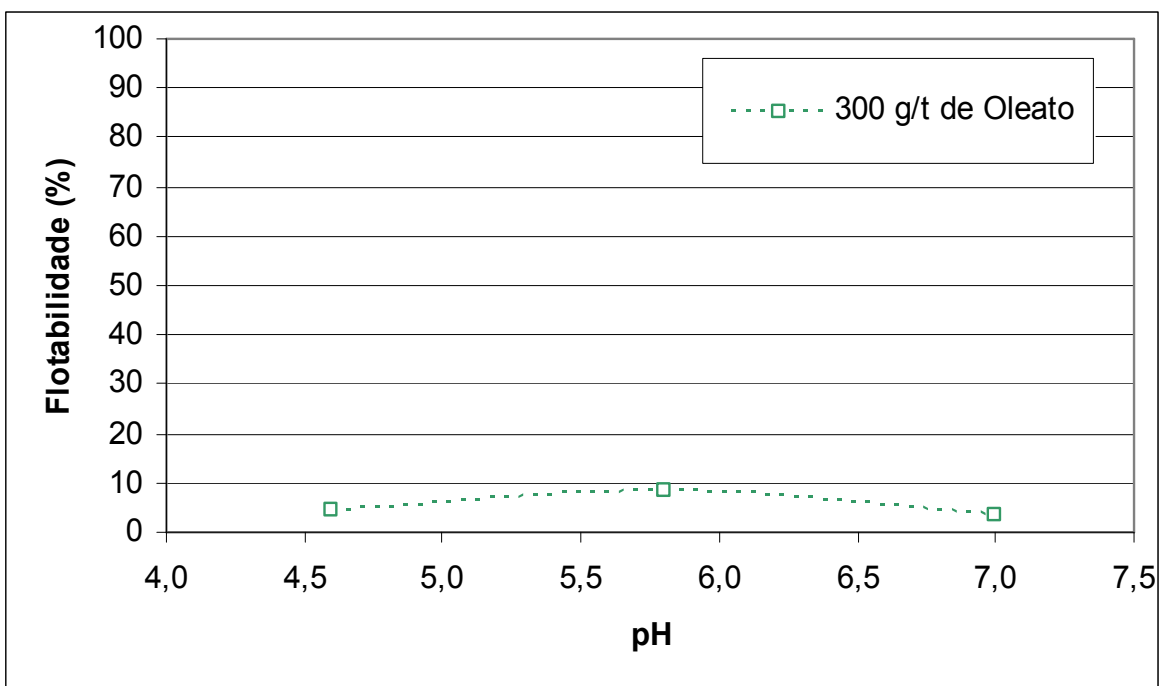


Figura 5.13 - Flotabilidade da magnetita por oleato em função do pH.

5.5. Microflotação de Quartzo com Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades do quartzo influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor e depressor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.5.1. Oleato e dextrina

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo oleato e dextrina nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.14. Nele pode-se verificar uma baixa flotabilidade com valores próximos a 10 % nos pH entre 5,5 e 6,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

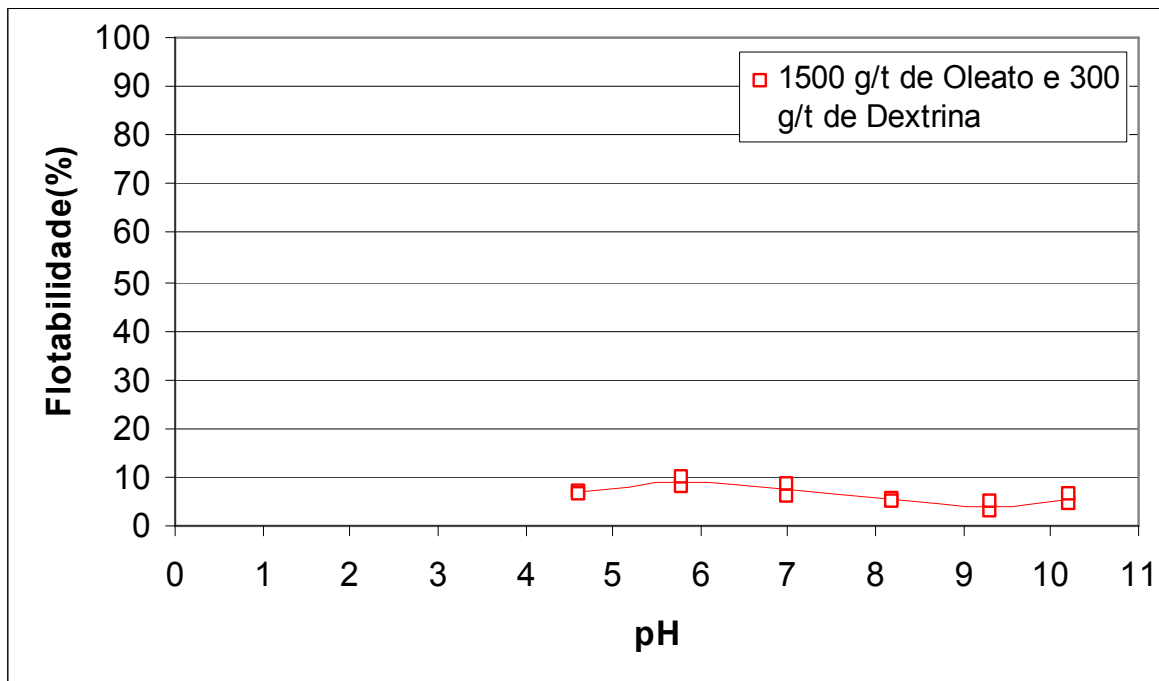


Figura 5.14 - Flotabilidade do quartzo por oleato e dextrina em função do pH.

5.5.2. Amina e dextrina

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo amina e dextrina nas dosagens de 150 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.15. Nele pode-se verificar uma excelente flotabilidade com valores acima a 90 % nos pH entre 6,0 e 8,5 com picos de no pH.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

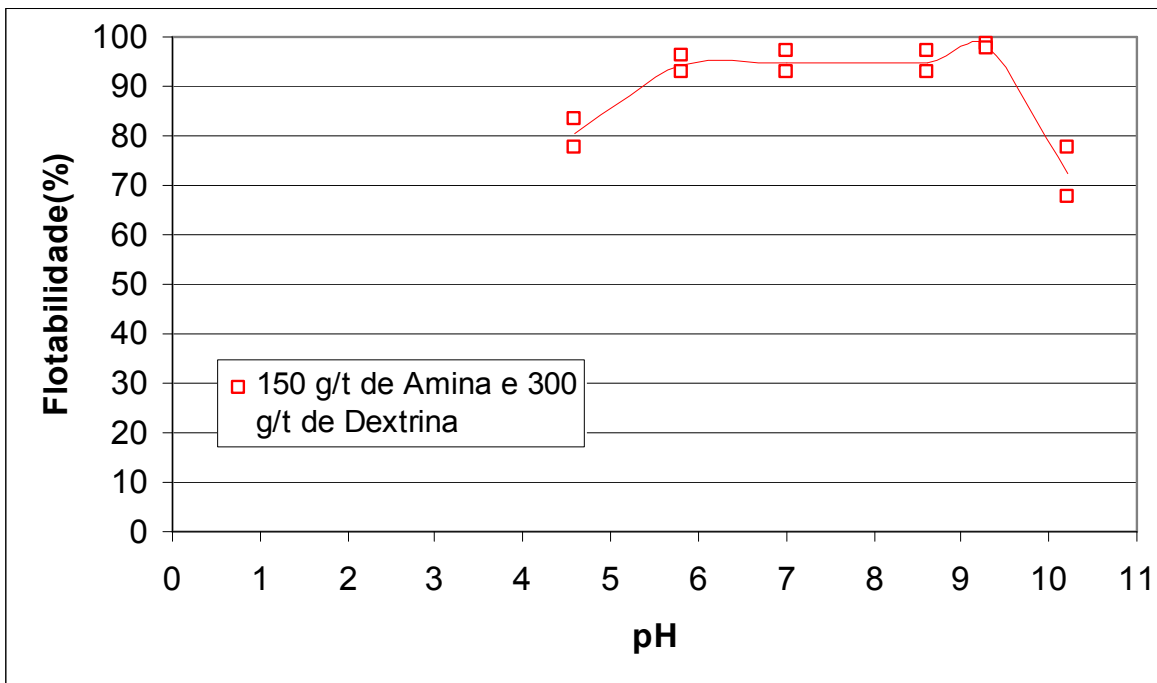


Figura 5.15 - Flotabilidade do quartzos por dextrina e amina em função do pH.

5.5.3. Oleato e silicato

O comportamento do quartzos na flotação envolvendo oleato e silicato nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.16. Nele pode-se constatar uma flotabilidade com valores próximos a 20 % nos pH entre 6,5 e 8,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

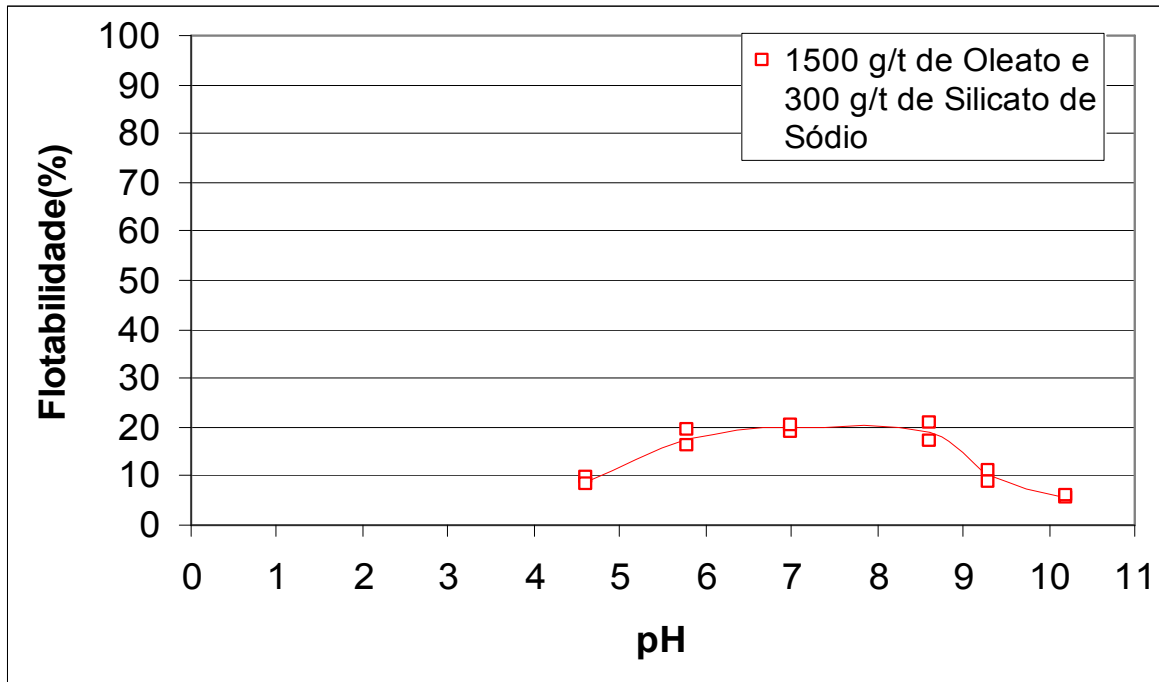


Figura 5.16 - Flotabilidade do quartzo por oleato e silicato em função do pH.

5.5.4. Amina e silicato

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo amina e silicato nas dosagens de 150 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.17. Nele pode-se verificar uma quase total flotabilidade do quartzo com valores acima a 99 % nos pH entre 6,5 e 9,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

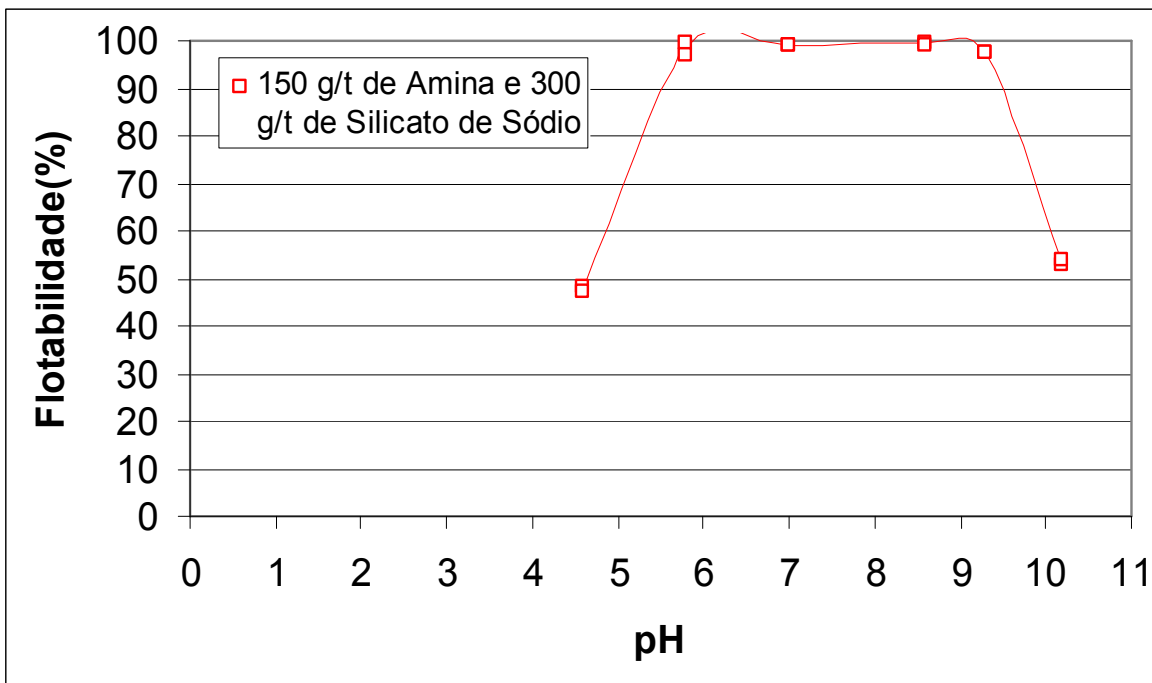


Figura 5.17 - Flotabilidade do quartzo por silicato e amina em função do pH.

5.5.5. Amina e tanino

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo amina e tanino nas dosagens de 150 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.18. Nele pode-se verificar uma flotabilidade do quartzo com valores acima a 30 % nos pH entre 6,5 e 8,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

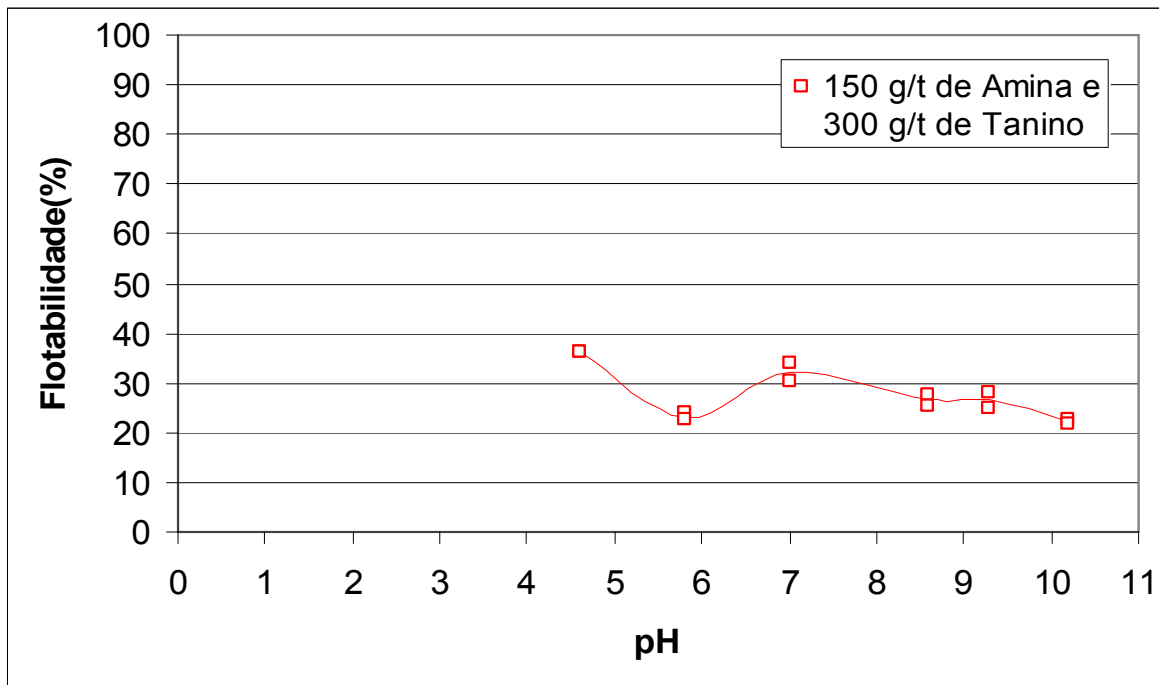


Figura 5.18 - Flotabilidade do quartzo por tanino e amina em função do pH.

5.5.6. Oleato e tanino

O comportamento do quartzo na flotação envolvendo oleato e tanino nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.19. Nele pode-se verificar uma flotabilidade do quartzo com valores em torno de 10 % sem grandes variações.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

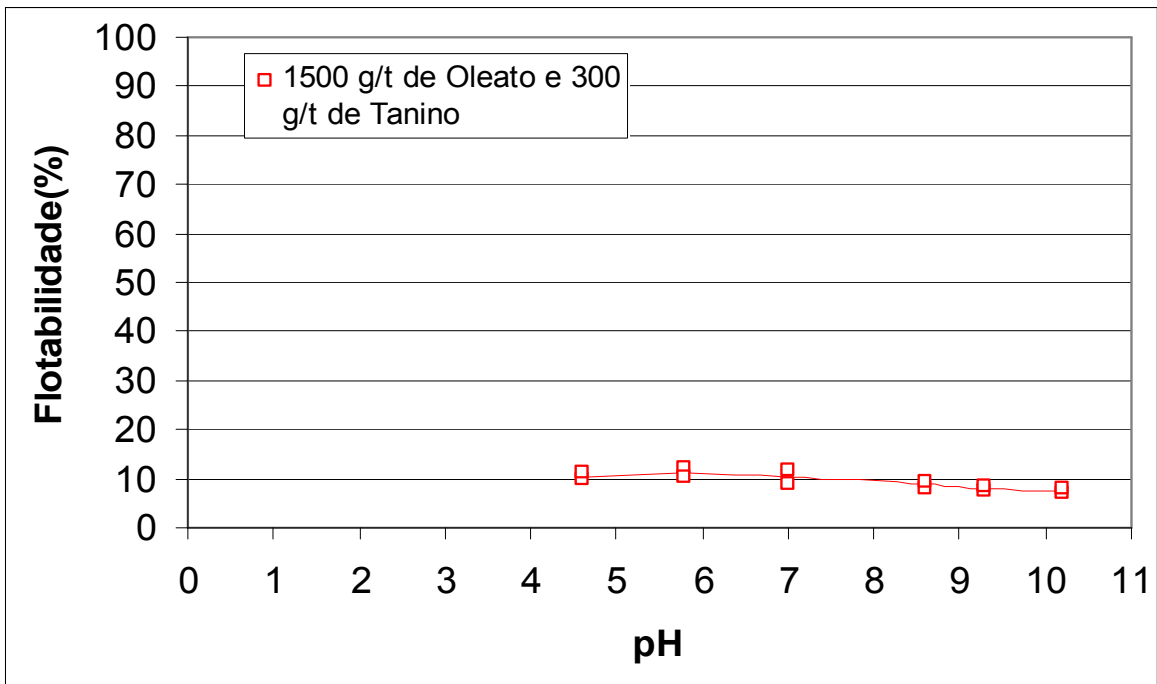


Figura 5.19 - Flotabilidade do quartzo por oleato e tanino em função do pH.

5.6. Microflotação de Hematita com Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades da hematita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor e depressor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.6.1. Oleato e dextrina

O comportamento da hematita na flotação envolvendo oleato e dextrina nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.20. Nele pode-se constatar uma boa flotabilidade da hematita com valores acima a 60 % nas faixas acida entre 5,5 e 6,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

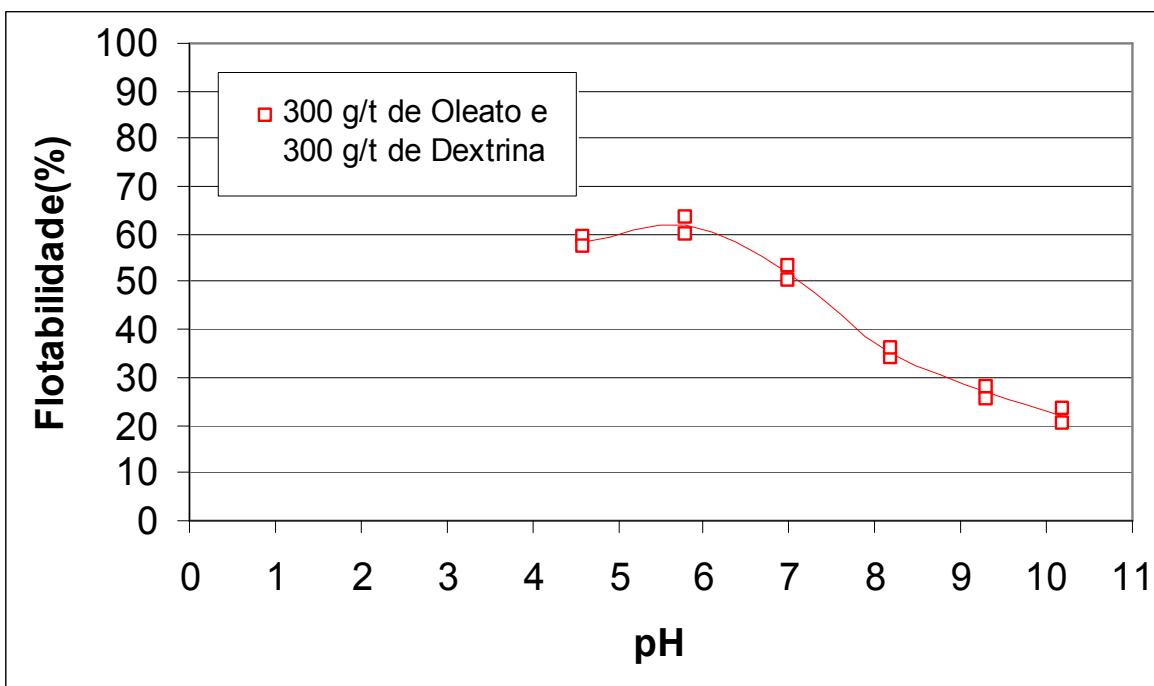


Figura 5.20 - Flotabilidade da hematita por oleato e dextrina em função do pH.

5.6.2. Amina e dextrina

O comportamento da hematita na flotação envolvendo amina e dextrina nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.21. Nele pode-se averiguar uma baixa flotabilidade da hematita com valores próximos a 20 % nos pH entre 9,0 e 10,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

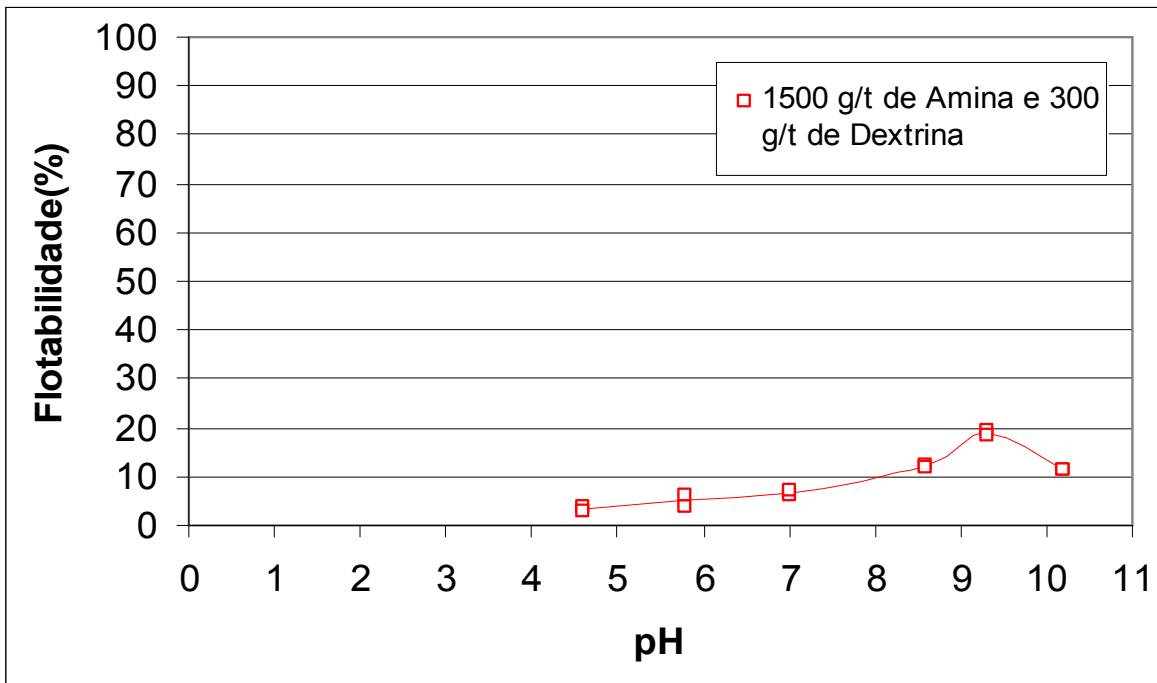


Figura 5.21 - Flotabilidade da hematita por dextrina e amina em função do pH.

5.6.3. Oleato e silicato

O comportamento da hematita na flotação envolvendo oleato e silicato nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.22. Nele pode-se averiguar uma ótima flotabilidade da hematita com valores acima de 70 % nos pH entre 4,5 e 9,0, com picos de 90 % no pH 6,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

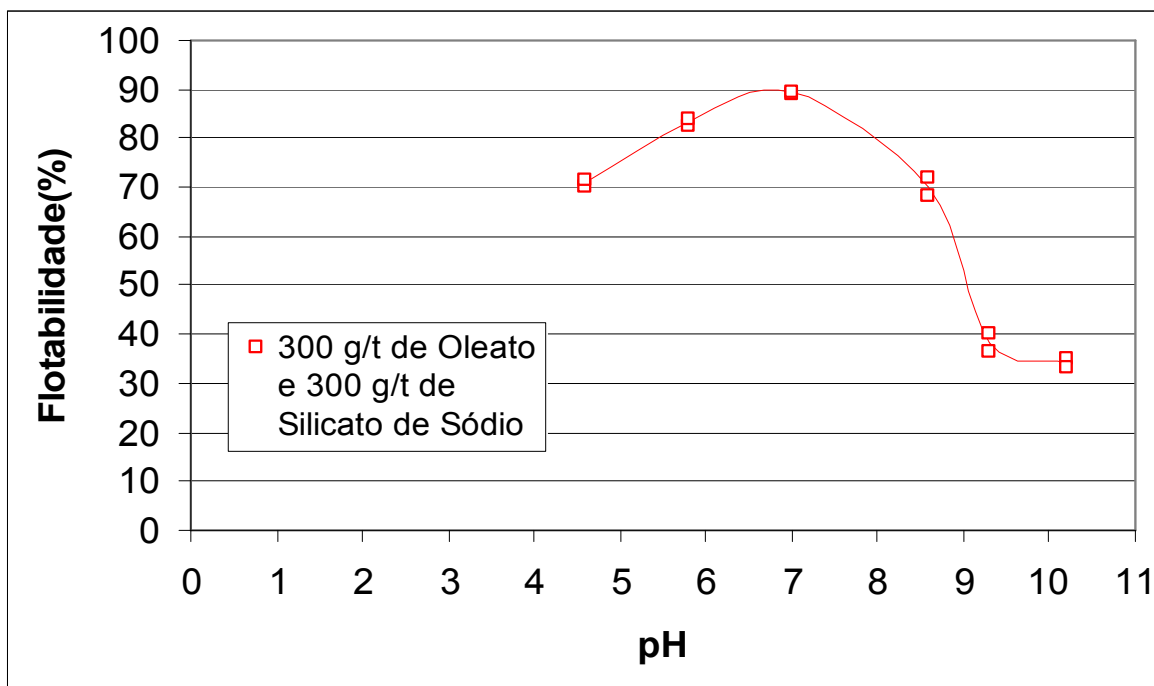


Figura 5.22 - Flotabilidade da hematita por oleato e silicato em função do pH.

5.6.4. Amina e silicato

O comportamento da hematita na flotação envolvendo amina e silicato nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.23. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da hematita com valores na faixa básica com valores acima de 40 % nos pH entre 8,5 e 10,5, com picos de 55% no pH 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

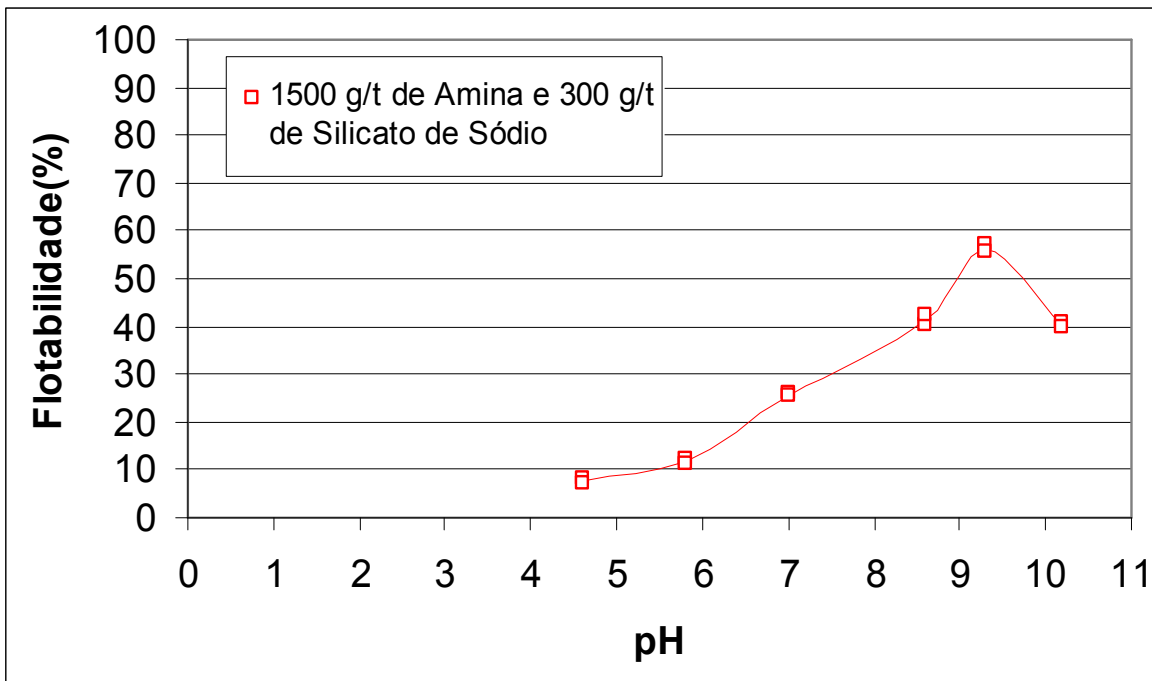


Figura 5.23 - Flotabilidade da hematita por silicato e amina em função do pH.

5.6.5. Amina e tanino

O comportamento da hematita na flotação envolvendo amina e tanino nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.24. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da hematita com valores na faixa acida com valores acima de 45 % nos pH entre 4,5 e 6,0..

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

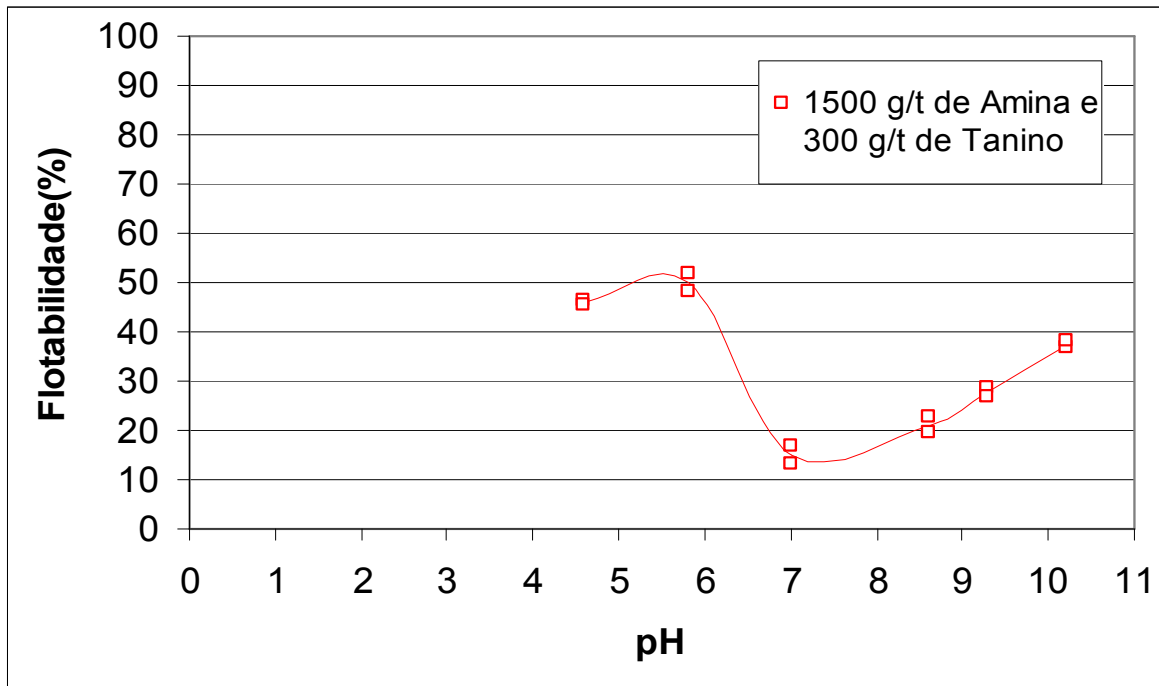


Figura 5.24 - Flotabilidade da hematita por tanino e amina em função do pH.

5.6.6. Oleato e tanino

O comportamento da hematita na flotação envolvendo oleato e tanino nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.25. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da hematita na faixa acida com valores acima de 50 % nos pH entre 4,5 e 7,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;

- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

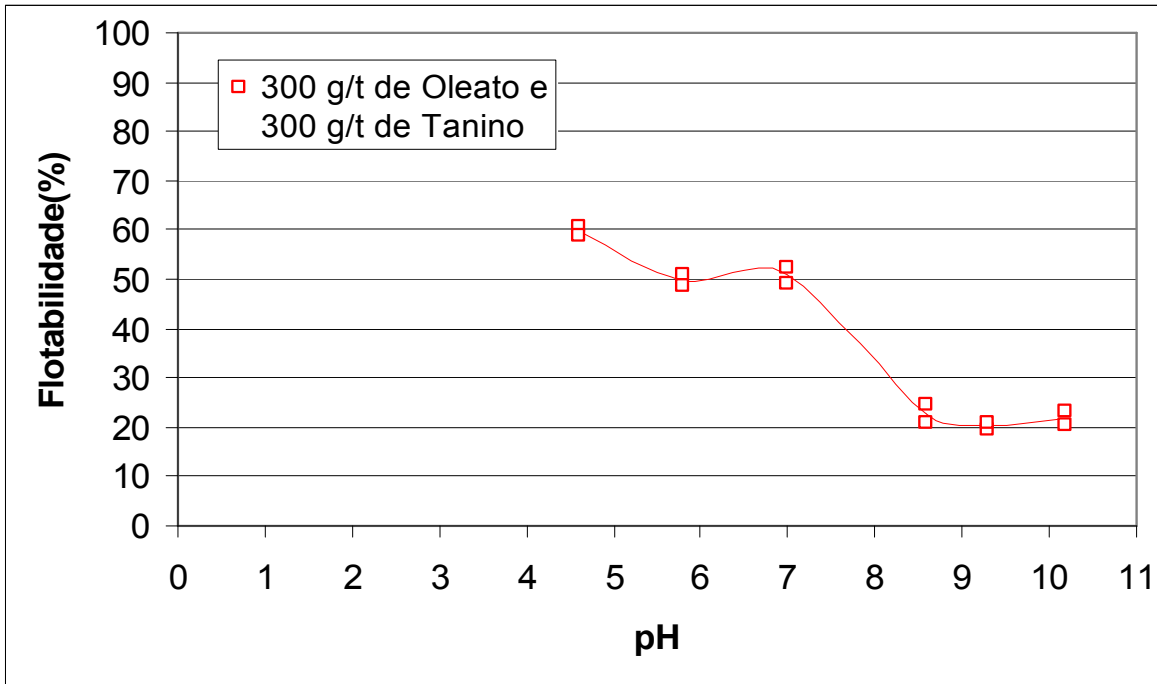


Figura 5.25 - Flotabilidade da hematita por tanino e oleato em função do pH.

5.7. Microflotação de Dolomita com Depressor

Nas figuras a seguir estão apresentadas as flotabilidades da dolomita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor e depressor. Para melhor clareza em cada gráfico, os resultados estão representados por linhas sólidas que se referem às médias dos ensaios, cada linha representa uma dosagem diferente. Os pontos experimentais em duplicata estão representados com os mesmos símbolos.

5.7.1. Oleato e dextrina

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo oleato e dextrina nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.26. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da dolomita com valores na faixa básica com percentuais acima de 40 % nos pH entre 7,5 e 8,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

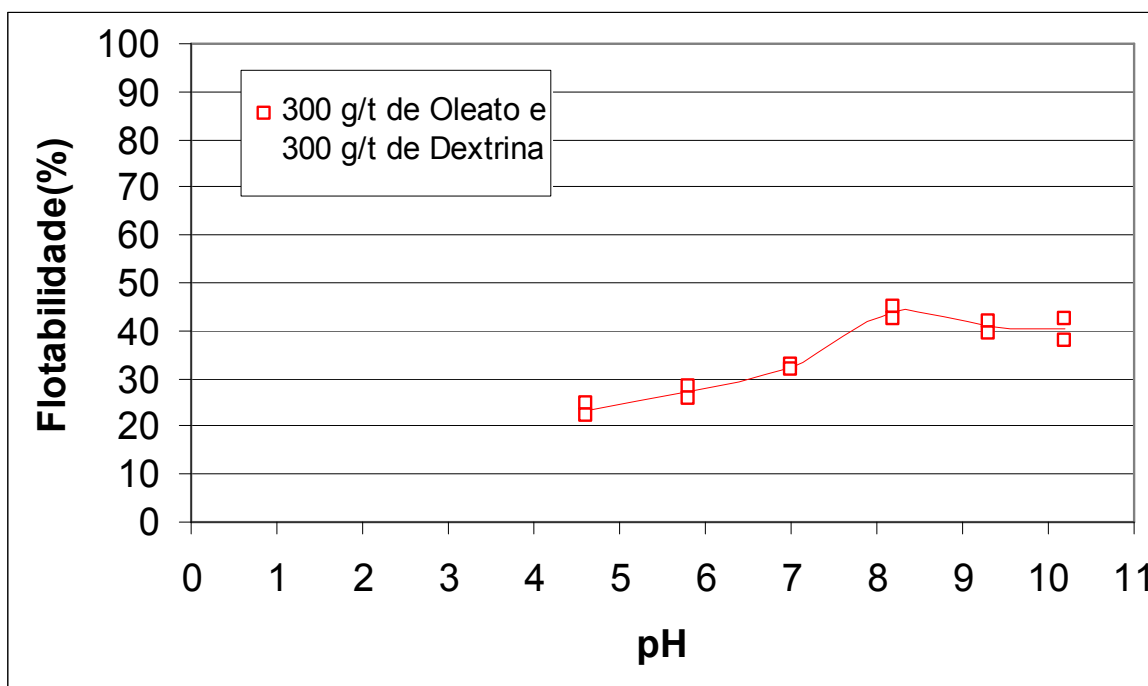


Figura 5.26 - Flotabilidade da dolomita por oleato e dextrina em função do pH.

5.7.2. Amina e dextrina

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo amina e dextrina nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.27. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da dolomita com valores na faixa básica com percentuais acima de 20 % nos pH entre 7,0 e 10,0 com picos de 30 % no pH 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

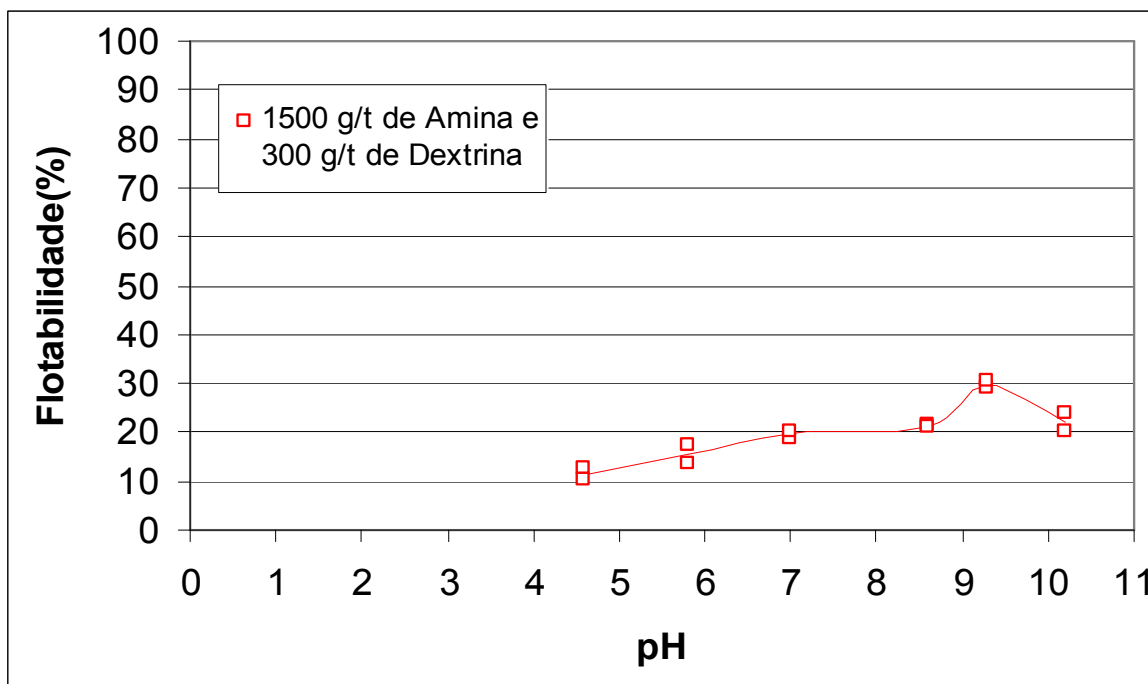


Figura 5.27 - Flotabilidade da dolomita por dextrina e amina em função do pH.

5.7.3. Oleato e silicato

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo oleato e silicato nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.28. Nele pode-se averiguar uma excelente flotabilidade da dolomita com valores próximos a 90 % na faixa de pH entre 7,0 e 9,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

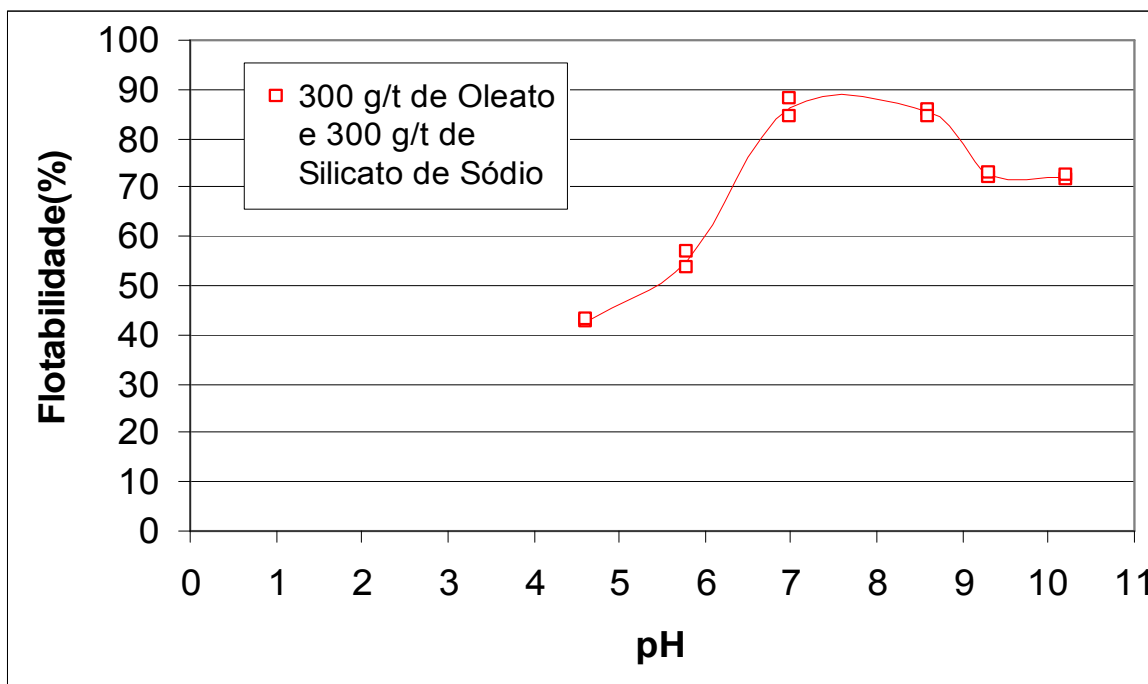


Figura 5.28 - Flotabilidade da dolomita por oleato e silicato em função do pH.

5.7.4. Amina e silicato

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo amina e silicato nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.29. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da dolomita com valores acima de 30 % na faixa de pH entre 7,5 e 10,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

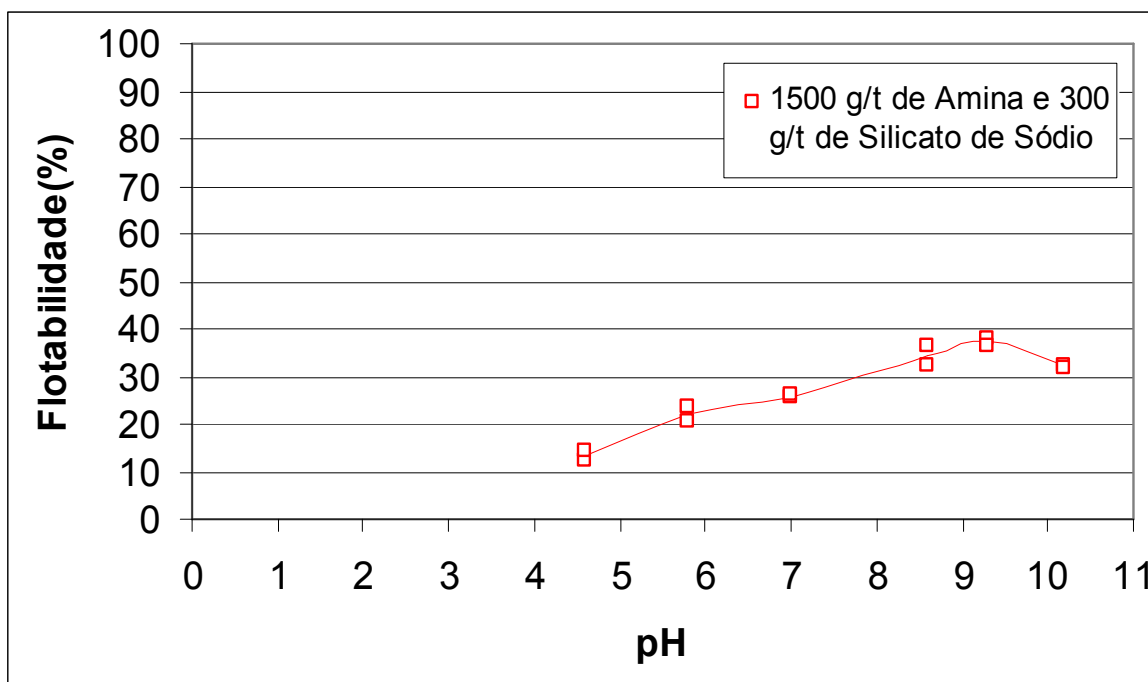


Figura 5.29 - Flotabilidade da dolomita por silicato e amina em função do pH.

5.7.5. Amina e tanino

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo amina e tanino nas dosagens de 1500 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.30. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da dolomita com valores próximos a 36% na faixa de pH entre 8,0 e 10,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 + 3 ml/s

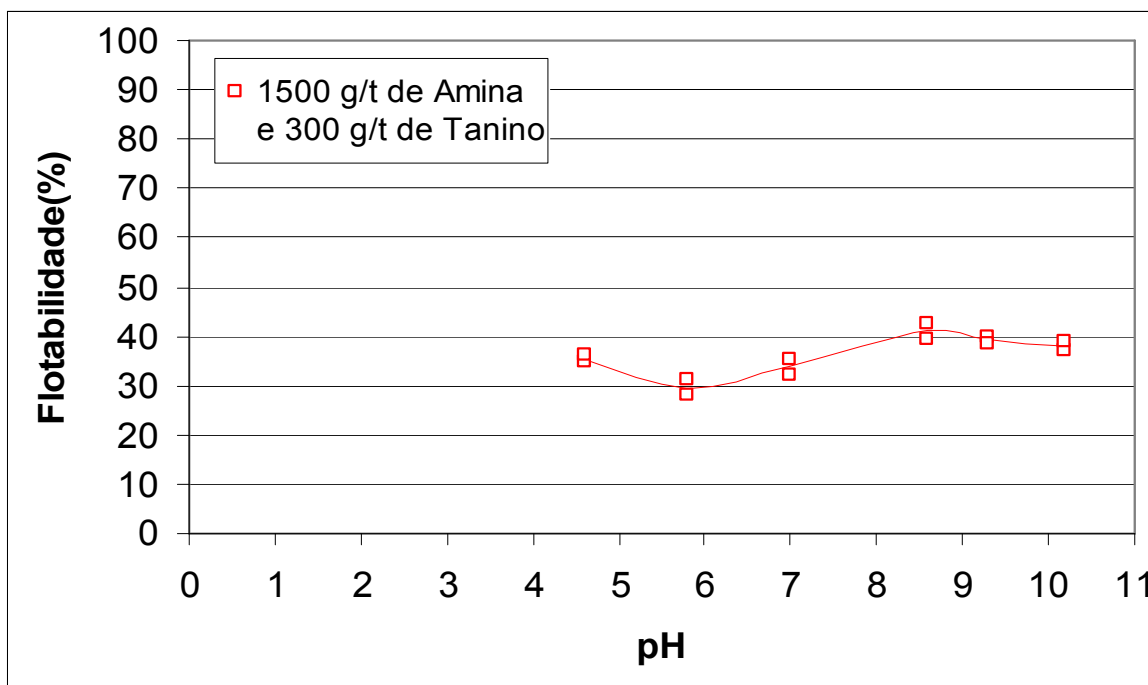


Figura 5.30 - Flotabilidade da dolomita por tanino e amina em função do pH.

5.7.6. Oleato e tanino

O comportamento da dolomita na flotação envolvendo oleato e tanino nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.31. Nele pode-se averiguar uma boa flotabilidade da dolomita com valores acima a 40% na faixa de pH entre 7,5 e 9,0.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 + 3 ml/s

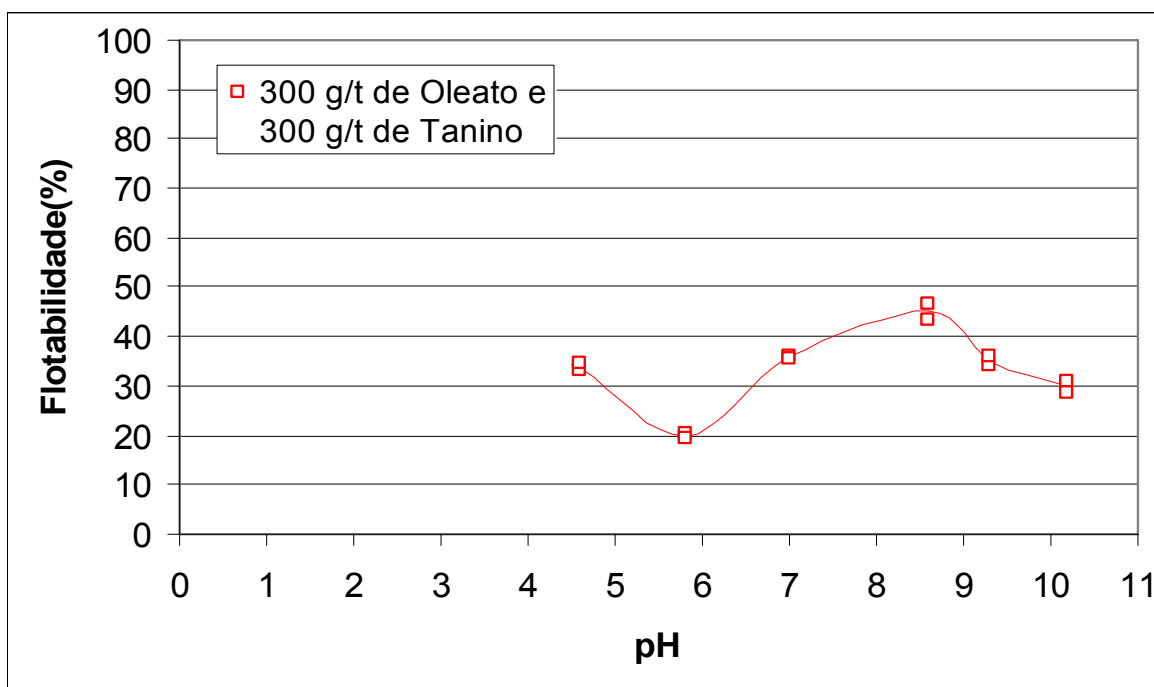


Figura 5.31 - Flotabilidade da dolomita por tanino e oleato em função do pH.

5.8. Microflotação de Magnetita com Depressor

5.8.1. Oleato e dextrina

O comportamento da magnetita na flotação envolvendo oleato e dextrina nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.32. Nele pode-se averiguar uma flotabilidade da magnetita com valores próximos a 10 %.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

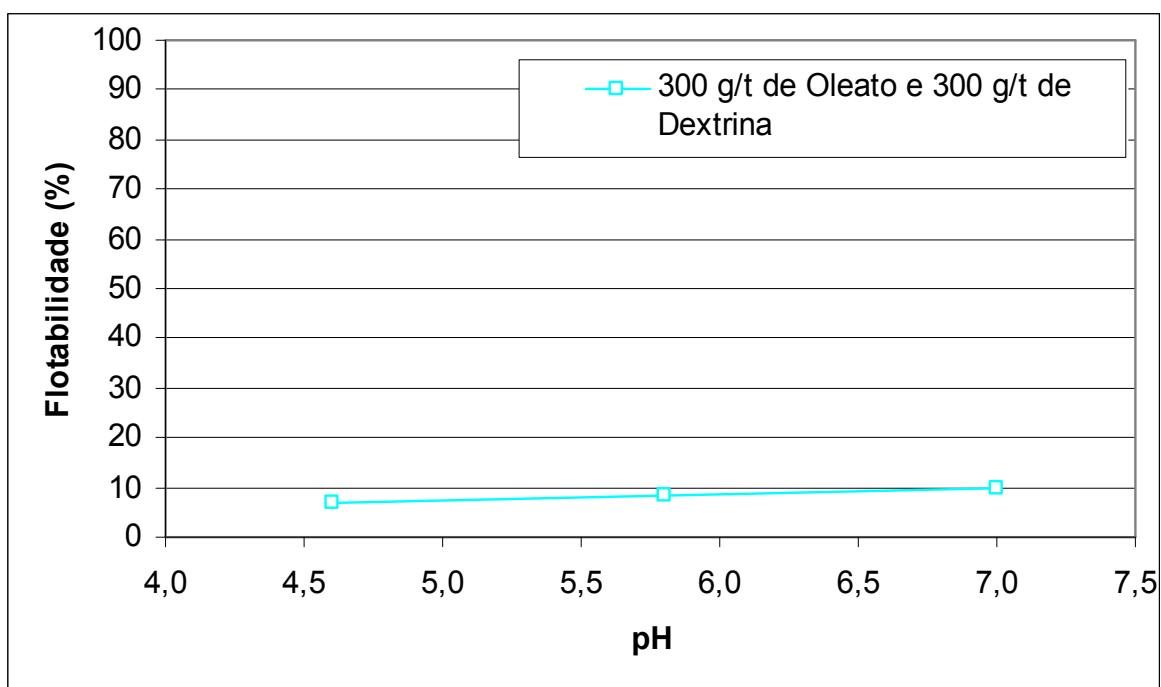


Figura 5.32 - Flotabilidade da magnetita por oleato e dextrina em função do pH.

5.8.1. Oleato e tanino

O comportamento da magnetita na flotação envolvendo oleato e tanino nas dosagens de 300 g/t e 300 g/t respectivamente, é indicado no gráfico da figura 5.33. Nele pode-se averiguar uma flotabilidade da magnetita com valores próximos a 10 % tendo um melhor desempenho para pH abaixo de 6.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 240 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

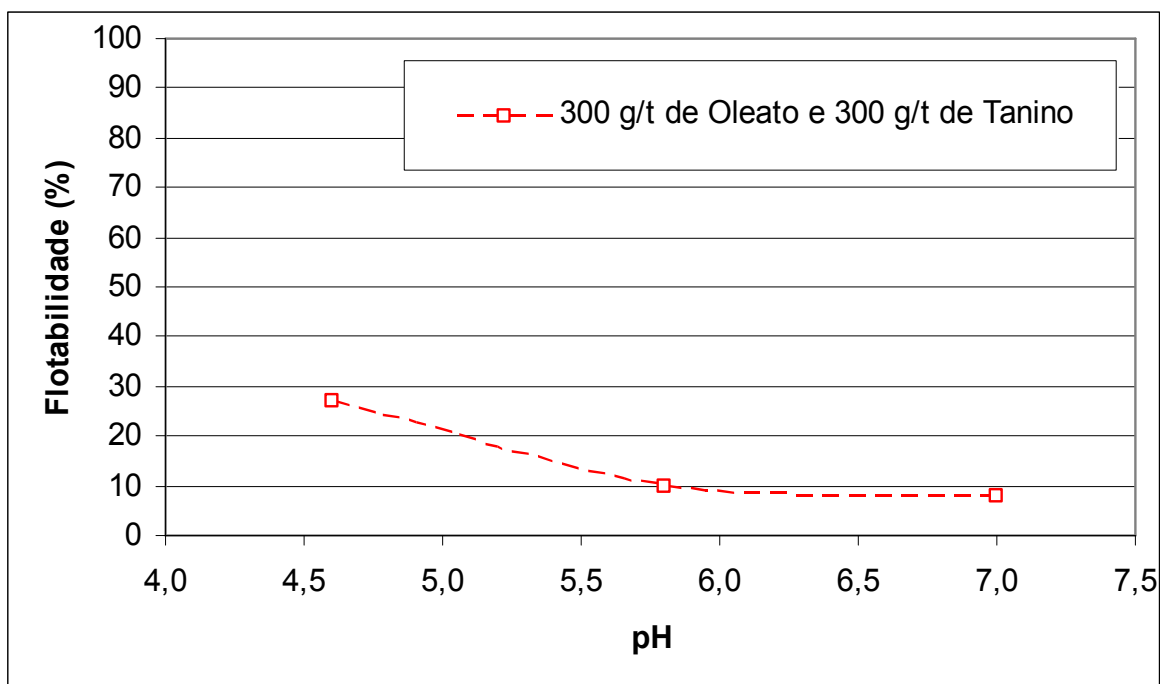


Figura 5.33 - Flotabilidade da magnetita por oleato e tanino em função do pH.

5.9. Microflotação de Quartzo em Sobrenadante de Íons de Dolomita

As figuras a seguir mostram o comportamento do quartzo na flotação em sobrenadante de dolomita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor.

5.9.1. Oleato de sódio

O comportamento do quartzo na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo oleato na dosagem de 1500 g/t é indicado no gráfico da figura 5.34. Nele pode-se verificar uma flotabilidade com o quartzo com valores acima de 10 % entre os pH 4,5 e 7 com percentual máximo próximo a 20 % no pH 5,8, comparado a condição de flotabilidade em água destilada verifica-se um sutil aumento da flotabilidade no pH ácido.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

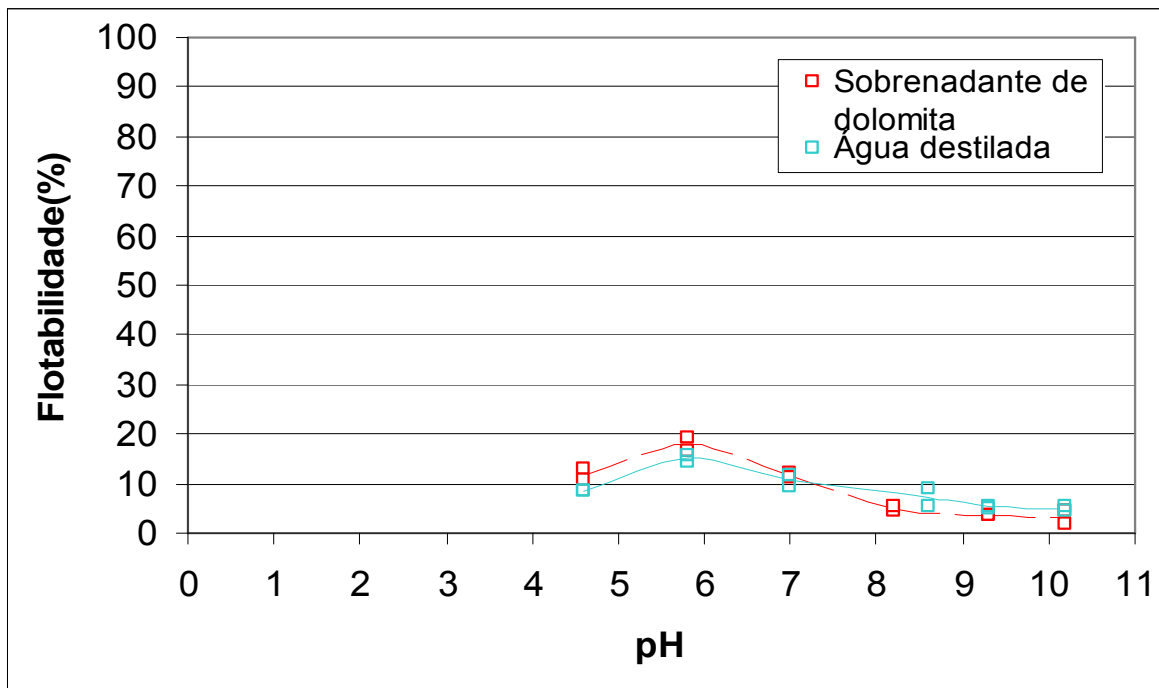


Figura 5.34 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com oleato.

5.9.2. Amina

O comportamento do quartzo na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo amina na dosagem de 150 g/t é indicado no gráfico da figura 5.35. Nele pode-se verificar uma excelente flotabilidade com o quartzo com valores acima de 90 % entre os pH 7,0 e 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

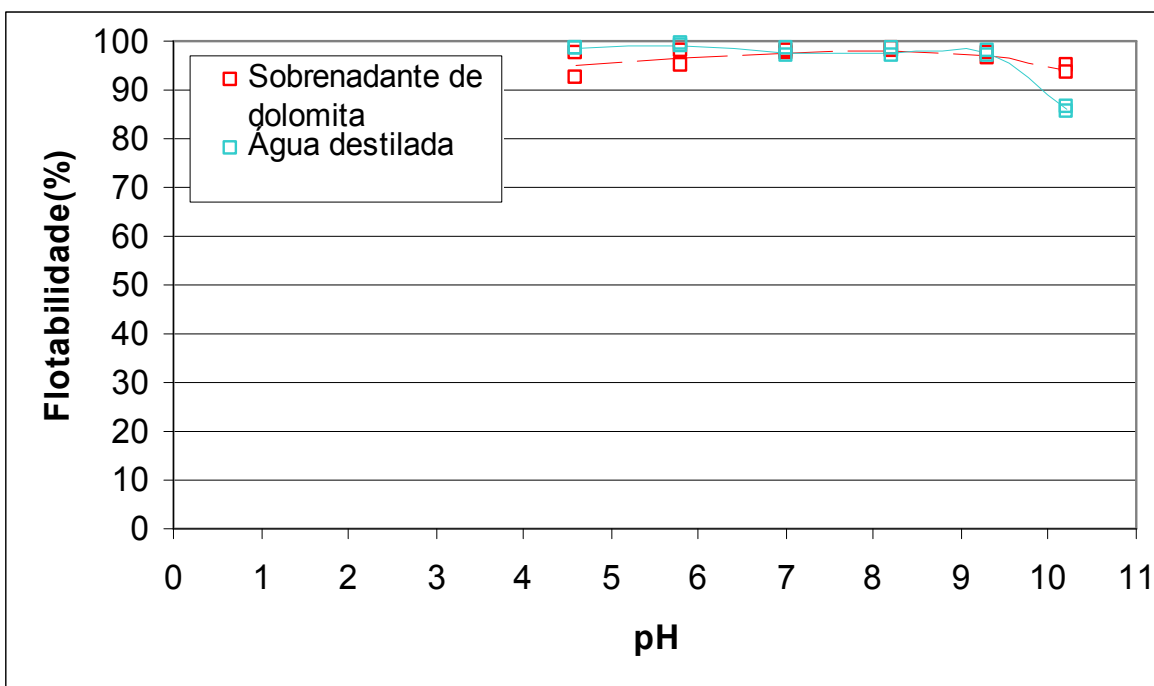


Figura 5.35 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com amina.

5.9.3. Óleo de babaçu

O comportamento do quartzo na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo óleo de babaçu na dosagem de 1500 g/t é indicado no gráfico da figura 5.36. Nele pode-se verificar uma flotabilidade com o quartzo com valores acima de 10 % entre os pH 6,5 e 7,5 com percentual máximo próximo a 15% no pH 7, comparado a condição de flotabilidade em apenas água destilada verifica-se um sutil aumento da flotabilidade no pH ácido.

Podem-se destacar a seguir, as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

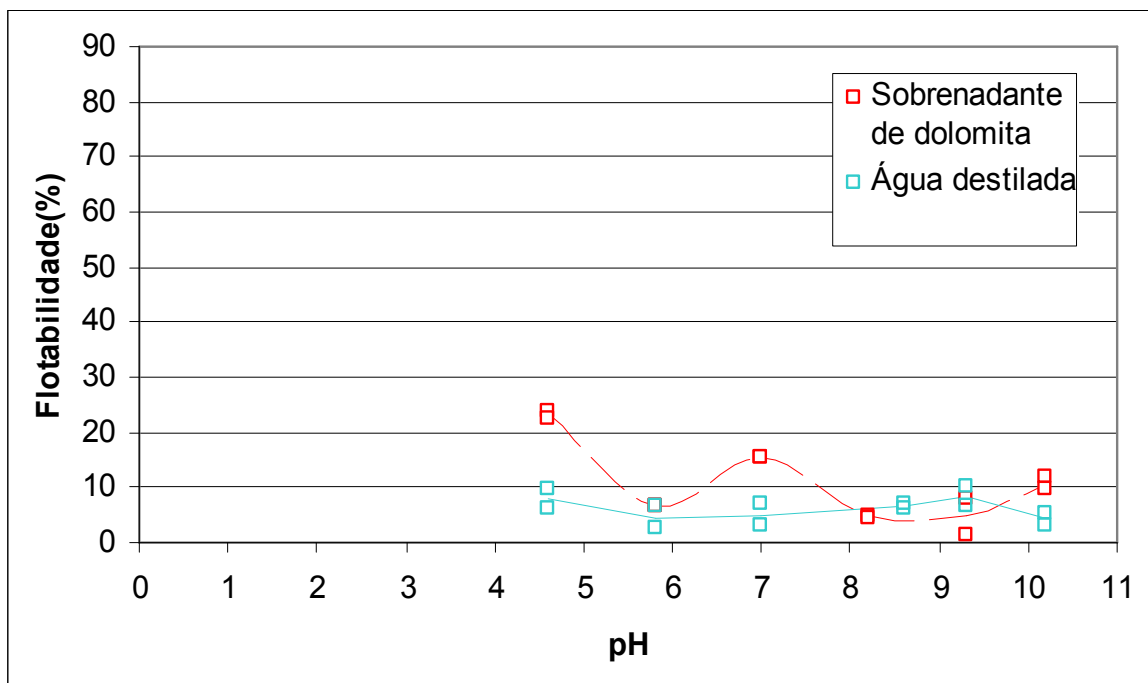


Figura 5.36 - Flotabilidade do quartzo em água e em sobrenadante de íons de dolomita com óleo de babaçu.

5.10. Microflotação de Hematita em Sobrenadante de Íons de Dolomita

As figuras a seguir mostram o comportamento da hematita na flotação em sobrenadante de dolomita influenciadas pelo efeito do pH e da dosagem do coletor.

5.10.1. Flotação com oleato

O comportamento da hematita na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo oleato na dosagem de 300 g/t é indicado no gráfico da figura 5.37. Nele pode-se verificar uma queda da flotabilidade com a hematita com valores abaixo de 60 % entre os pH 4,5 e 9,0, comparado a condição de flotabilidade em água destilada onde observa-se flotabilidade de valores próximos a 90 %.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

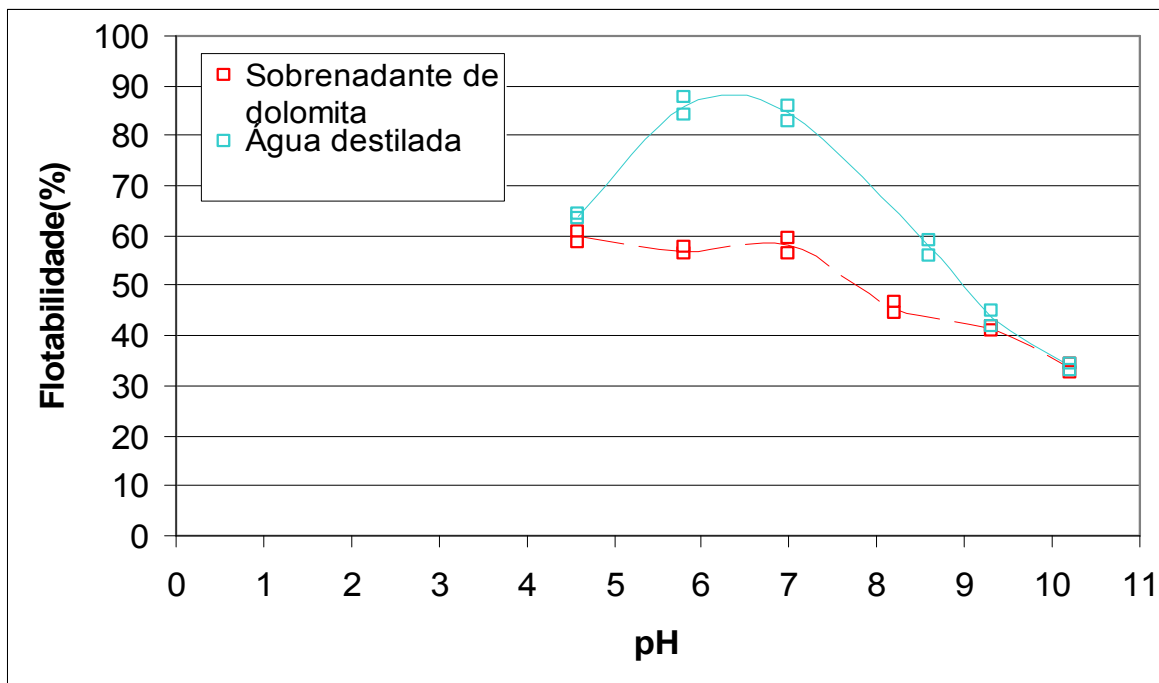


Figura 5.37 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com oleato.

5.10.2. Flotação com Amina

O comportamento da hematita na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo amina na dosagem de 1500 g/t é indicado no gráfico da figura 5.38. Nele pode-se verificar aumento da flotabilidade com a hematita com valores acima de 60 % entre os pH 7,0 e 10,0 com pico máximo próximo a 70 % no pH 9,5.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

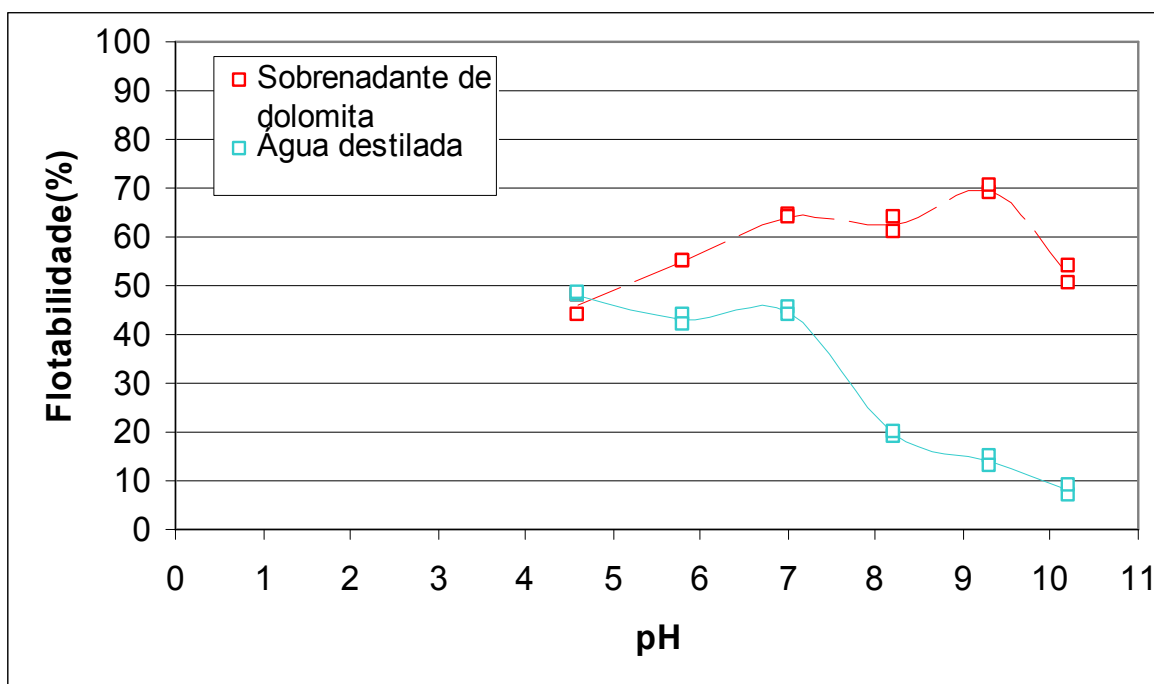


Figura 5.38 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com amina.

5.10.3. Flotação com Óleo de babaçu

O comportamento da hematita na flotação em sobrenadante de dolomita envolvendo óleo de babaçu na dosagem de 1500 g/t é indicado no gráfico da figura 5.39. Nele pode-se verificar uma flotabilidade com a hematita com valores próximos de 40 % na fase acida comparado a condição de flotabilidade em água destilada onde observa-se flotabilidade de valores acima de 10 %.

Podem-se destacar abaixo as condições para o ensaio de flotação:

- Reguladores de pH: HCl/NaOH;
- Tempo de condicionamento: 120 s;
- Tempo de flotação: 180 s;
- Vazão de gás: 27 ± 3 ml/s

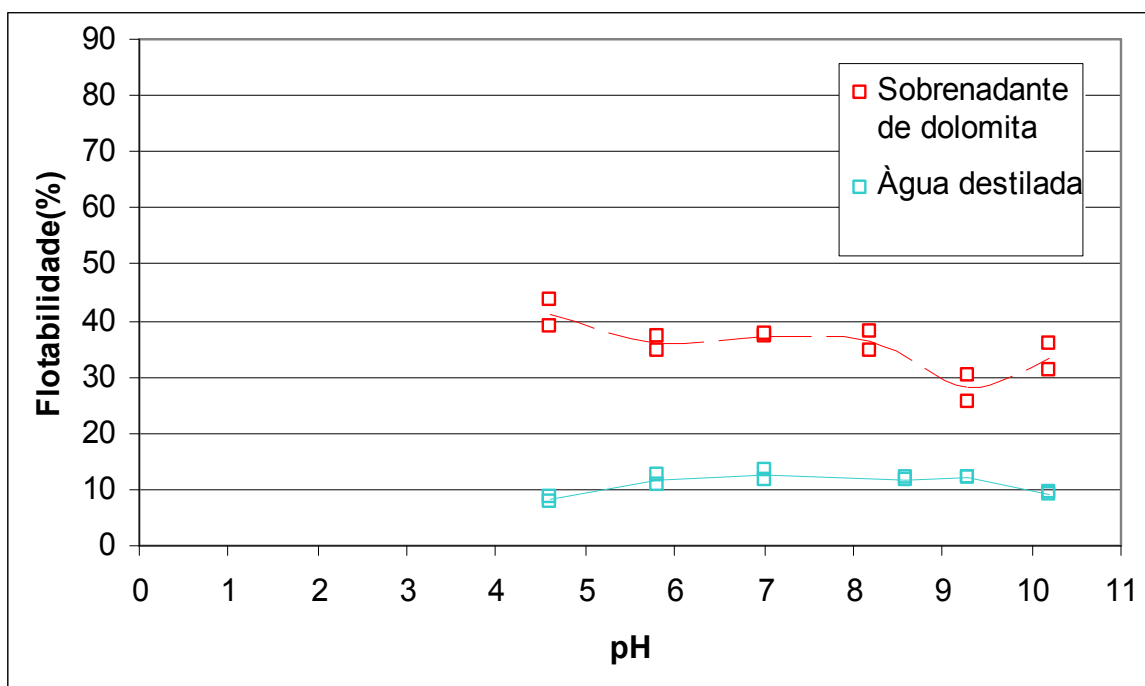


Figura 5.39 - Flotabilidade da hematita em água e em sobrenadante de íons de dolomita com óleo de babaçu..

6. CONCLUSÃO

- A recuperação de hematita utilizando oleato de sódio na dosagem de 300 g/t se mostrou bastante promissora na faixa de pH moderadamente ácida.
- A recuperação de hematita utilizando amina na dosagem de 150 g/t se mostrou bastante promissora em todas as faixas de pH.
- A recuperação de hematita na faixa básica de pH utilizando oleato e dextrina se mostrou bastante promissora como rota de processo de flotação direta.
- A recuperação de dolomita na faixa de pH básica utilizando amina e tanino se mostrou bastante promissora como rota de processo de flotação reversa.
- Na flotação da hematita utilizando oleato de sódio, pode-se perceber que os íons de dolomita influenciam na recuperação da hematita entre pH 5 e 9, comprovando o efeito deletério da dolomita na concentração de minério de ferro.
- Já na flotação da hematita utilizando amina, pode-se perceber que os íons de dolomita favorecem na recuperação da hematita no pH básico, apontando uma alternativa de flotabilidade interessante.
- O óleo de babaçu, ao menos com saponificação aquosa, tem baixo potencial como coletor no sistema dolomita/hematita, quando comparado como o oleato de sódio e amina.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realizar estudo de flotação em bancada e desenvolver métodos alternativos mais eficientes, que possa viabilizar, futuramente, a exploração de jazimentos, hoje inviáveis, de areia monazítica.

- ✓ Dar continuidade aos estudos do comportamento da magnetita em presença de carbonatos, utilizando para isso coletores e depressoires para se definir assim uma melhor flotabilidade.

- ✓ Dar continuidade aos estudos do comportamento do óleo de babaçu com saponificação em meio alcoólico, a qual é mais eficiente que a realizada em meio aquoso (Azevedo, 1994).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENDRA, E. R. *Velocidade de sedimentação de sistemas particulados*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1979. (Dissertação de Mestrado).

ARAUJO, A. C.; Viana, P. R. M.; Peres, A. E. C. Reagents in iron ores flotation, *Minerals Engineering*, v. 18, 2005. pp. 219-224.

ARAUJO, Armando C. *Influência de íons de alumínio e caolinita na flotação catiônica de quartzo e hematita* (dissertação de mestrado). Belo Horizonte: UFMG, 1982. 121p.

ARSENIJEVIC, Z, Lj et alii. Determination of non-spherical particle terminal velocity using particulate expansion data. *Powder Technology*. Vol. 103, 1999. pp. 265–273.

AZEVEDO, Júlio C. S. *Estudo dos processos de saponificação do óleo de arroz e do óleo de rícino* (relatório de iniciação científica). Belo Horizonte: EEUFMG, 1994. 121p.

BALTAR, C. A. M.; Villas Boas, R. C. Flotação de minério oxidado de zinco de baixo teor. Série Tecnologia Mineral, *Seção Beneficiamento*, DNPM, 1980. 13p.

BARROW, Gordon M. *Physical Chemistry* (6th. Ed.). New York: McGraw-Hill. 1996. 426 p.

BARROZO, M. A. S. et alii. *Análise do Desempenho do Hidrociclone*. Relatório de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq/UFU, Uberlândia. 1998.

BOUTIN, P. and Tremblay, R., *Canadian Patents* N° 680576 and 680654. 1962.

BRANDÃO, P. R. G.; Caires, L. G.; Queiroz, D. S. B. Vegetable lipid oil-based collectors in the flotation of apatite ores. *Minerals Engineering*, v. 7, n. 7, 1994. p. 917-925.

CAMPOS, A. S.; Luz, J. A. M. *Microflotação de minerais de Formações Ferríferas - PIBIC*. Ouro Preto: UFOP (relatório de iniciação científica) 2007.

CHAVES, A.P. et alii, *Teoria e prática do tratamento de minério*, volume 1, Signus, São Paulo. 1996.

CHAVES, A.P. et alii, *Teoria e prática do tratamento de minério*, volume 2, Signus, São Paulo. 1996.

DAS, B.; Prakash, S.; Das, S.K.; Reddy, P.S.R., Effective Beneficiation of Low Grade Iron Ore Through Jigging Operation *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 7, N^o.1, 2007. pp 27-37.

DONSKOI, E. et alii. Modelling and optimization of hydrocyclone for iron ore fines beneficiation — using optical image analysis and iron ore texture classification. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 87, Issues 3-4, 2 July, 2008. Pages 106-119.

DORR, J.V.N. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero*, Minas Gerais, Brazil. USGS. 110 p. 1969. (Professional Paper 641A).

DUNCAN, Shaw. J. *Introdução a química dos colóides e de superfícies*. São Paulo: Edgard Blucher. 1975. 185 p. il.

FLSMIDTH. *Dorr-oliver Eimco Wemco Remmer Jig*. Flsmidth Group, 2007. Disponível em: <[http://www.flsmidthminerals.com/Company/Press+Room/Product +Brochures/Remer +Jig.htm](http://www.flsmidthminerals.com/Company/Press+Room/Product+Brochures/Remer+Jig.htm)>. Acesso em: 10 agosto 2009, 16:40:30.

GARRELS, R. M.; CHRIST, C. L. *Solutions, Minerals and Equilibria*. San Francisco. Freeman. 1965.

GELDART, D. Estimation of Basic Particle Properties for Use in Fluid-Particle Process Calculations. *Powder Technology*. Volume 60, n. 1, January, 1990, p.1-13.

GERAGHTY, D. *Highly efficient gravity separation the kelsey centrifugal jig*. Lonsdale South Australia. Disponível em: < <http://mineraltechnologies.com.au/038.pdf> > .Acesso em: 30 jul. 2009.

GAUDIN, A. M. *Principles of mineral dressing*. New Delhi: McGraw Hill. 1957.

Global Makina Elektrik Sanayi Ve Ticaret Ltd. Sti, Disponível em: < <http://www.globalmakina.com.tr/> >. Acesso em: 10 agosto 2009, 16:33:30.

GUIMARÃES, R. C. *separação de barita em minério fosfático através de flotação em coluna* (dissertação de mestrado). São Paulo, USP. 1995.

HANNA, H.S., Somasundaran, P. (1976), "Flotation of Salt-type Minerals" In: Fuerstenau, M.C., Flotation A. M. *Gaudin Memorial Volume*, cap. 8, New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.

HEARN, S. *The use of hindered settlers to improve iron ore gravity concentration circuits*. Flórida, USA: 2003. p.936-943.

HOUOT, R. Beneficiation of iron ore by flotation - review of industrial and potencial applications. *International Journal of Mineral Processing*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 10, 1983. p. 183-204.

HUNT C. P.; Moskowitz B. M.; Banejee S. K. Magnetic Properties of Rocks and Minerals, Rock Physics and Phase Relations, *A Handbook of Physical Constants*, American Geophysical Union, Reference Shelf 3. 1995.

INDA, H.A.V. et alii. Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. 1984. In: C. Schobbenhaus. et alii. *Geologia do Brasil*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, p. 196-303.

IWASAKI, I.; Cooke, S. R. B.; Colombo, A F. Flotation characteristics of goethite. Washington, United States of Interior, Bureau of Mines, *Report of Investigations 5593*, 1960. 25p.

IWASAKI, I. Briding theory and practice in iron ore flotation. In: CNANDER, S., KLIMPEL, R. R. eds. *Advances in coal and mineral processing using flotation*. Inc, Chapter 20. 1989. p. 177-190.

KAWATRA, S. K.; Eisele, T. C.; Walqui, H.J., *Quarterly Technical Process Report*, Optimization of Comminution Circuit Throughput and Product Size Distribution by Simulation and Control 2002.

LEJA, J. *Surface chemistry of froth flotation*. New York: Plenum, 1982. p.758.

LIMA, R. M. F. *Adsorção de amido e de amina na superfície da hematita e do quartzo e sua influência na flotação*. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 1997. 238p. (Tese de Pós- Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Tecnologia Mineral).

LIMA, R. M. F.; OLIVEIRA, M. L. G.; GURGEL, H. S. Concentração de itabirito silicoso da Mina do Sapecado/Complexo Pico - MBR, empregando o classificador hidráulico de fluxo transversal "crossflow". *Rem: Revista Escola de Minas*, 2006.

LINS, F.F. Concentração gravítica, In: *Tratamento de minérios*, ed. por A.B.Luz, M.V.Possa e S.L. Almeida, 2ª edição, CETEM, Rio de Janeiro. 1998.

LUZ, A. B.; Costa, L.; Possa, M.; Almeida, S. *Tratamento de minérios*, Maio Gráfica Editora e Com. Ltda. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 1998.

LUZ, J. A. M., Almeida, S. L. M. *Tratamento de minérios*. Centro Tecnológico Mineral, Rio de Janeiro. 2004. P. 4-5.

LUZ, J. A. M. *Efeito do Estado de Agregação na Separação entre Calcita, Dolomita e Apatita Por Floração*, UFMG. 1987.

LUZ, J. A. M, *Flotação Aniônica de Rejeito Itabirítico: Estudo de Reagentes Alternativos e Modelamento Polifásico do processo*. UFMG. 1996.

LUZ, J. A. M. Reaproveitamento de Resíduos Metalúrgicos por Métodos Densitários. *Revista Fis - Fornecedores Industriais* - julho/agosto de 2008, Ipatinga, v. 1, 2008, 01 set. p. 32 - 35.

MARSHAK, S.; Alkmim, F.F. *Proterozoic contraction/extension tectonics of the Southern São Francisco Region*, Minas Gerais, Brazil. *Tectonics*, v. 8, n. 3, 1989. p.555-571.

MASINI, et al, Caracterização, cominuição e classificação de minérios, In: *tratamento de minérios e hidrometalurgia*, ITEP, Recife 1980.

NAPIER-MUNN, T.J.; Morrel, S.; Morrison, R.D.; Kojovic, T. *Mineral Comminution Circuits, Their Operation and Optimization*. JKMRC *Monograph Series in Mining and Mineral Processing 2*. Austrália. 1996.

OLIVEIRA, J. A.; LUZ, J. A. M.; Ferreira, E. E. Grau de Saponificação de Óleos Vegetais na Flotação de Apatita. *Revista Escola de Minas*, V 59 n°. 4 – outubro/dezembro. 2006.

OLIVEIRA JR. V. T. (2006), *Texturas e Propriedades Reológicas dos Minérios de Ferro do Quadrilátero Ferrífero (MG) e sua Utilização em Beneficiamento*. Unesp. 2006. (tese de doutoramento).

PARKS, G. Chapter 4: Adsorption in the marine environment. In: Riley, J.P., Skirrow, G. *Chemical Oceanography*. 2. ed. London, New York, San Francisco: Academic press. v. I., 1975. p. 241-308.

PAVEZ, O., *Concentración gravimétrica*, Universidad de Atacama. S.D. Disponível em: <www.ex-alumnos.uda.cl/metallurgia/402/concentracion.minerales.2/01.-.Concentracion.Gravimetrica.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2009, 19:20:30.

PEARSE, M. J. An overview of the use of chemical reagents in mineral processing. *Minerals Engineering*. 2004.

PERES, A. E. C. et alii. Capítulo 3: Flotação, Espessamento, Filtragem, Deslamagem e Flocculação Seletiva. In: ITEP –FUNDAÇÃO INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. *Tratamento de Minérios de Hidrometalurgia*. Recife: ITEP, 1980. 400 p.

PERES, A.E.C. (1999-I), *Flotação. Notas de Aula*. Universidade Federal de Ouro Preto.

PERES, A.E.C. (1999-II), *Propriedades das Interfaces. Notas de Aula*. Universidade Federal de Ouro Preto.

PRÉDALI, J. J.; CASES, J. M. Zeta Potential of Magnesian Carbonates in Inorganic Electrolytes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 45 (3): 1973. pp. 449-58, Dec.

PRÉDALI, J. J. (1967), Étude de L'équilibre Dolomie-Solution Aqueuse d'Oleate de Sodium. *Compter Rendue-Academie des Science de Paris (série D)*. 7. aut. 1967. pp. 477-80.

PRÉDALI, J. J. , Flotation of Carbonates with Salts of Fatty Acids: role of pH and the Alkyl chain. *Transaction of Institution of Mining and Metallurgy*. C-140-7.1969. pp.

QUAST, K. B. A review of hematite flotation using 12-Carbon chain collectores. *Minerals Engeneering*. v.13, n.13, 2000. p. 1361-1376.

RAZUMOV, K. A. & PEROV, V. A. *Proyectos de Fábricas de Preparación de Minerales*. Moscú: Editorial Mir, 1985. 544 p.

ROSSELL, J. B. Development of purity criteria for edible vegetable oils. In: Hamilton, R. J. (ed.). *Lipid Analysis in Oils and Fats*. London: Chapman & Hall/Springer. 1998. 385 pp.

SAMPAIO, C. H. & TAVARES, L. M. *Beneficiamento Gravimétrico*. Porto Alegre: UFGS, 2005. 603 p.

SILVA, A. B. *et alii*. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte* (Relatório Técnico inédito). Belo Horizonte: UFMG-IGC-FUNDEP-PBH. 1995. 426 p.

SILVA, E. C.; Torres, V. M.; Santos, N. A. Concentradores centrífugos – uma nova era na concentração gravítica. In: *XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Águas de São Pedro, v. 1. 1998. p. 533 - 51.

SILVA, R. R. R. (2004), *Sistemas de reagentes surfatantes na flotação catiônica reversa de minérios de ferro*. Escola de Engenharia da UFMG. 257 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica).

SOUZA, F.J. *Influência do meio filtrante no desempenho de hidrociclones Filtrantes. Uberlândia*. Dissertação de Mestrado em sistemas particulados, Universidade Federal de Uberlândia. 1999.

SOMASUNDARAN, P.; Ananthapadmabhan, K. P. Solution-Chemistry of Flotation. In: SOMASUNDARAN, P. ed. *Advances in Mineral Processing*. Littleton, SME. 1976. p.137-53.

SPIER, C. A. *Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2005.

STEINER, H. J. A contribution to the theory of jigging, Part I: Similarity criteria of the motion of jig layers, *Minerals Engineering*, ScienceDirect .Volume 9, Issue 6, June 1996, Pages 675-686.

STUMM, W. & Morgan, J. J. *Aquatic Chemistry*. An Introduction Emphasising Chemical Equilibria in Natural Waters. New York. John Wiley. 1981.

SVAROVSKY, L. Hydrocyclones. *Holt Saunders*, East -Bourn. 1984.

TAGGART, A.F. *Handbook of Mineral Dressing*. New York: John Wiley 1945.

TOVAR, P. E.; Navarro, J.; Pastrana, J. M. Flotation of low-grade iron ore. In: Flores, S. H. C.; Moisan, J. A. (Ed.) *2nd Latin-American Congress on Froth Flotation*, 1975, Concepcion, Chile. Froth Flotation. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: 1988. p.215-231.

TRAWINSKI, H. Theory, applications, and practical operation of hydrocyclones. *Engineering and Mining Journal*, Sept 1976.

WHEELER, D.A. Big flotation column mill tested, *Eng. & Mining Journal*, Vol.167, Nº11, 1966. pp.98-100.

WIKIPEDIA, Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dextrina> >. Acesso em: 8 agosto 2009, 12:43:20.

WIKIPEDIA, Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Silicato_de_s%C3%B3dio >. Acesso em: 8 agosto 2009, 12:44:22.

VIANA, P.R.M. Prática Industrial no Beneficiamento de Minérios de Ferro. *Tratamento de Minérios*. Escola de Engenharia da UFMG. Departamento de Engenharia de Minas. 2004. pp. 243.

VITAL, B. R. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. *Rev. Árvore* vol.28 no.4 Viçosa July/Aug. 2004.

9. ADENDO

Adendo - A: Tabela com as análises químicas das amostras.

Amostras de Quartzo e Dolomita

Amostra	Identificação	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Quartzo	PQ09 1293 (Quartzo)	394	<LQ	7,15	0,356	9,67	337	<LQ	83,9	5,98
Dolomita	PQ09 1296	773	<LQ	31,0	0,376	<LQ	224385	<LQ	54,1	29,1
	LQ	28,8	11,0	0,0320	0,304	6,32	29,4	0,680	1,95	0,790

LQ= Limite de Quantificação

(*)SiO2 Determinado por via úmida

Amostras de Quartzo e Dolomita

Amostra	Identificação	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Quartzo	PQ09 1293 (Quartzo)	5,37	444	123	0,331	105	3,95	<LQ	3,49	10,2
Dolomita	PQ09 1296	6,82	15442	49,1	2,27	129820	3386	142	25,7	<LQ
	LQ	0,670	27,0	6,55	0,0600	0,230	0,210	125	1,97	8,34

LQ= Limite de Quantificação

(*)SiO2 Determinado por via úmida

Amostras de Quartzo e Dolomita

Amostra	Identificação	Pb	S	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Zn	Zr	SiO2
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Quartzo	PQ09 1293 (Quartzo)	<LQ	23,7	0,387	1,78	<LQ	19,5	<LQ	<LQ	15,5	2,84	99,28 (*)
Dolomita	PQ09 1296	17,1	1061	0,475	22,1	<LQ	24,0	<LQ	3,34	23,3	2,01	-
	LQ	6,23	5,35	0,0460	0,0120	1,21	1,16	11,0	1,73	0,620	0,100	-

LQ= Limite de Quantificação

(*)SiO2 Determinado por via úmida

Amostras de Magnetita e Hematita

Elementos Traços

Amostra	Identificação	Al	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	K	Li	Na
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Magnetita	PQ09 1294	3933	<LQ	102	<LQ	29,49	<LQ	147	57,3	5,81	<LQ	8,74	171
Hematita	PQ09 1295	5667	<LQ	50,8	1,27	35,74	<LQ	25,1	19,0	<LQ	46,6	1,39	191
	LQ	28,8	11,0	0,0320	0,304	6,32	0,680	1,95	0,790	0,670	6,55	0,0600	125

LQ= Limite de Quantificação

Amostra	Identificação	Ni	Pb	S	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr
	Interna	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Magnetita	PQ09 1294	119	85,1	<LQ	0,207	8,12	4,00	63,7	3,64	126	<LQ
Hematita	PQ09 1295	<LQ	84,3	<LQ	<LQ	20,2	3,55	16,0	7,14	73,3	<LQ
	LQ	1,97	6,23	5,35	0,0460	0,0120	1,21	11,0	1,73	0,620	0,100

Elementos Maiores

Amostra	Identificação	Si	SiO2	Al	Al2O3	P	Mn	Ca	CaO	Ti	TiO2	Mg	MgO	Fe	PPC
	Interna	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Magnetita	PQ09 1294	2,54	5,43	0,383	0,723	0,0128	0,619	0,0491	0,0687	0,172	0,287	0,998	1,655	68,5	-1,13
Hematita	PQ09 1295	1,09	2,327	0,515	0,972	0,0151	0,023	0,0182	0,0254	0,0158	0,0264	0,0082	0,0136	71,0	0,52
	LQ	0,0100	0,0214	0,0115	0,0217	0,0127	0,00041	0,0121	0,0169	0,00226	0,00377	0,0028	0,0046	0,0095	-

LQ= Limite de Quantificação

Adendo - B: Tabelas com os resultados dos ensaios de microflotação na célula de Fuerstenau.

Coletor: Oleato de sódio

Quartzo: 150 g/t; Hematita: 150 g/t; Dolomita: 150 g/t.

	quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
3,2	1,5	0,5	1	12	18,5	15,3	5,5	12	8,8
4,6	5,5	5	5,3	51	49	50,0	17,5	15,5	16,5
5,8	5,0	4,5	4,8	49,5	54,5	52,0	21	21,5	21,3
7,0	2,5	4,5	3,5	40,5	40,5	40,5	23,5	22,5	23,0
8,2	2,0	2,5	2,3	44	47,5	45,8	24	24	24,0
9,3	1,0	1	1,0	35	39	37,0	26,5	26	26,3
10,2	2,0	0,5	1,3	29	26	27,5	21	18	19,5
11,0	0,5	1	0,8	27,5	29,5	28,5	26,5	25,5	26,0

Coletor: Oleato de sódio

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 300 g/t; Dolomita: 300 g/t.

	quartzo			hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	5,5	4,5	5,0	33	34,5	33,8	41,5	43,5	42,5
9,3	5,5	5	5,3	42	45,0	43,5	48	50,5	49,3
8,6	9,0	5,5	7,3	59	56,0	57,5	48	47,0	47,5
7,0	9,5	11,5	10,5	86	83,0	84,5	48	49,0	48,5
5,8	14,5	15,5	15,0	84	87,5	85,8	42,5	45,5	44,0
4,6	8,5	8,5	8,5	63,5	64,5	64,0	31	35,0	33,0

Coletor: Amina

Quartzo: 150 g/t; Hematita: 150 g/t; Dolomita: 150 g/t

	Quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
11,0	22,0	31,5	26,8	19	20,5	19,8	6,5	7	6,8
10,2	84,5	83,5	84,0	29	32,5	30,8	8	7,5	7,8
9,3	97,5	96	96,8	36	34,5	35,3	6	5,5	5,8
8,6	97,0	97,5	97,3	30	34	32,0	7,5	7,5	7,5
7,0	98,5	98,5	98,5	37	37	37,0	9,5	12,5	11,0
5,8	96,0	95	95,5	41	42,5	41,8	12	14	13,0
4,6	95,5	96	95,8	40	38	39,0	14,5	12,5	13,5
3,2	27,0	29,5	28,3	24	27	25,5	13,5	10,5	12,0

Coletor: Amina

Hematita: 1500 g/t; Dolomita: 1500 g/t

	hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	48	48,5	48,3	22	22,0	22,0
5,8	44	42,0	43,0	33,5	34,0	33,8
7,0	45,5	44,0	44,8	30	37,5	33,8
8,2	19	20,0	19,5	37,5	36,0	36,8
9,3	15	13,0	14,0	47	44,5	45,8
10,2	7	9,0	8,0	28	24,0	26,0

Coletor: Óleo de babaçu

Quartzo: 150 g/t; Hematita: 150 g/t; Dolomita: 150 g/t

	Quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
11,0	0,0	0	0,0	2	5,5	3,8	2	3	2,5
10,2	0,5	0,5	0,5	6	8	7,0	10	8,5	9,3
9,3	5,5	0	2,8	6	7	6,5	4	5	4,5
8,6	2,5	1,5	2,0	9	9,5	9,3	4	3	3,5
7,0	2,0	2	2,0	10	7,5	8,8	4	7	5,5
5,8	1,5	1,5	1,5	9,5	8	8,8	5,5	5	5,3
4,6	1,0	1	1,0	8	8	8,0	3,5	4,5	4,0
3,2	1,5	1,5	1,5	6	6	6,0	4	5,5	4,8

Coletor: Óleo de babaçu

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 1500 g/t; Dolomita: 1500 g/t

	Quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	3,0	5,5	4,3	9,5	9	9,3	23	23,5	23,3
9,3	10,0	6,5	8,3	12	12	12,0	26,5	27,5	27,0
8,6	7,0	6,0	6,5	11,5	12	11,8	23,5	21	22,3
7	3,0	7,0	5,0	13,5	11,5	12,5	14,5	13	13,8
5,8	2,5	6,5	4,5	11	12,5	11,8	15	12	13,5
4,6	9,5	6,0	7,8	8	8,5	8,3	16,5	17	16,8

Coletor: Consórcio Amina/oleato

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 1500 g/t; Dolomita: 1500 g/t

	quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
3,2	90,5	87	88,8	29	31,5	30,3	55,5	52,5	54,0
4,6	99,5	99	99,3	65,5	66,5	66,0	57,5	56	56,8
5,8	99,5	99,5	99,5	73,5	71	72,3	56,0	54,5	55,3
7,0	99	99,5	99,3	74	66	70,0	54,5	55,5	55,0
8,6	99,5	99,5	99,5	70,5	68,5	69,5	51,5	53,5	52,5
9,3	99	100	99,5	65	65,5	65,3	51,5	51	51,3
10,2	99,5	99,5	99,5	72	68	70,0	55,5	54	54,8
11,0	98,5	99	98,8	37,5	38,5	38,0	54,0	54,5	54,3

Coletor: Oleato

Depressor: Dextrina

Quartzo: 1500 g/t de oleato e 300 g/t de dextrina; Hematita: 300 g/t de oleato e 300 g/t de dextrina; Dolomita: 300 g/t de oleato e 300 g/t de dextrina

	quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	7,0	6,5	6,8	59,5	57,5	58,5	24,5	22	23,3
5,8	8,0	10	9,0	63,5	60	61,8	28,5	26	27,3
7,0	6,0	8,5	7,3	50,5	53,5	52,0	33	32	32,5
8,2	5,5	5	5,3	34	36	35,0	45	42,5	43,8
9,3	3,0	5	4,0	25,5	28	26,8	39,5	42	40,8
10,2	4,5	6,5	5,5	23,5	20,5	22,0	42,5	38	40,3

Coletor: Amina

Depressor: Dextrina

Quartzo: 150 g/t de amina e 300 g/t de dextrina; Hematita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de dextrina; Dolomita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de dextrina

	quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	77,5	83,5	80,5	4	3,0	3,5	12,5	10,5	11,5
5,8	93,0	96,0	94,5	4	6,0	5,0	17,5	13,5	15,5
7	93,0	97,0	95,0	6	7,0	6,5	19	20,0	19,5
8,6	97,0	93,0	95,0	12,5	12,0	12,3	21,5	21,0	21,3
9,3	98,5	97,5	98,0	19,5	18,5	19,0	29	30,5	29,8
10,2	77,5	67,5	72,5	11,5	11,5	11,5	24	20,0	22,0

Coletor: Oleato de sódio
Depressor: Silicato de sódio

Quartzo: 150 g/t de oleato e 300 g/t de silicato; Hematita: 300 g/t de oleato e 300 g/t de silicato; Dolomita: 300 g/t de oleato e 300 g/t de silicato.

	quartzo			hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	5,5	6	5,8	35	33,0	34,0	71,5	72,5	72,0
9,3	9,0	11	10,0	36,5	40,0	38,3	72	73,0	72,5
8,6	17,0	21	19,0	72	68,0	70,0	86	84,5	85,3
7,0	19,0	20,5	19,8	89	89,5	89,3	84,5	88,0	86,3
5,8	19,5	16	17,8	82,5	84,0	83,3	53,5	57,0	55,3
4,6	9,5	8,5	9,0	70	71,5	70,8	42,5	43,0	42,8

Coletor: Amina
Depressor: Silicato de sódio

Quartzo: 150 g/t de amina e 300 g/t de silicato; Hematita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de silicato; Dolomita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de silicato

	quartzo			hematita			dolomita		
pH	teste 1	tese 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	53,0	54,0	53,5	41	40	40,5	32,5	32	32,3
9,3	97,5	97,5	97,5	57	55,5	56,3	38	36,5	37,3
8,6	99,5	99,0	99,3	40,5	42,5	41,5	32,5	36,5	34,5
7	99,0	99,0	99,0	26	25,5	25,8	25,5	26	25,8
5,8	99,5	97,0	98,3	12,5	11	11,8	20,5	23,5	22,0
4,6	48,0	47,0	47,5	8	7	7,5	12,5	14,5	13,5

Coletor: Amina
Depressor: Tanino

Quartzo: 150 g/t de amina e 300 g/t de tanino; Hematita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de tanino; Dolomita: 1500 g/t de amina e 300 g/t de tanino.

	Quartzo			Hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	22,5	21,5	22,0	37	38,0	37,5	37	39,0	38,0
9,3	25,0	28,0	26,5	28,5	27,0	27,8	40	38,5	39,3
8,6	27,5	25,5	26,5	22,5	19,5	21,0	39,5	42,5	41,0
7	30,5	34,0	32,3	17	13,0	15,0	32	35,5	33,8
5,8	24,0	22,5	23,3	48	52,0	50,0	31	28,0	29,5
4,6	36,0	36,0	36,0	46,5	45,5	46,0	35	36,0	35,5

Coletor: Oleato
Depressor: Tanino

Quartzo: 150 g/t de oleato e 300 g/t de tanino; Hematita: 1500 g/t de oleato e 300 g/t de tanino; Dolomita: 1500 g/t de oleato e 300 g/t de tanino

	quartzo			hematita			Dolomita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
10,2	7,0	8	7,5	20,5	23,0	21,8	28,5	31,0	29,8
9,3	7,5	8,5	8,0	19,5	21,0	20,3	34	36,0	35,0
8,6	8,0	9,5	8,8	24,5	21,0	22,8	46,5	43,5	45,0
7,0	9,0	11,5	10,3	52,5	49,0	50,8	36	35,5	35,8
5,8	12,0	10,5	11,3	51	48,5	49,8	20,5	19,5	20,0
4,6	10,0	11	10,5	60,5	59,0	59,8	33	34,5	33,8

Coletor: Oleato de sódio

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 300 g/t

Quartzo e hematita em Sobrenadante de Íons de Dolomita

	quartzo			hematita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	10,5	13	11,8	58,5	61,0	59,8
5,8	16,5	19	17,8	56,5	57,5	57,0
7,0	12,0	11	11,5	56,5	59,5	58,0
8,2	4,5	5,5	5,0	44,5	46,5	45,5
9,3	3,5	3,5	3,5	42	41,0	41,5
10,2	2,0	4,5	3,3	34,5	32,5	33,5

Coletor: Oleato de sódio

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 300 g/t

Quartzo e hematita em água destilada

pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	8,5	8,5	8,5	63,5	64,5	64,0
5,8	14,5	15,5	15,0	84	87,5	85,8
7,0	9,5	11,5	10,5	86	83,0	84,5
8,6	9,0	5,5	7,3	59	56,0	57,5
9,3	5,5	5	5,3	42	45,0	43,5
10,2	5,5	4,5	5,0	33	34,5	33,8

Coletor: Amina

Quartzo: 150 g/t; Hematita: 1500 g/t

Quartzo e hematita em Sobrenadante de Íons de Dolomita

	quartzo			Hematita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	97,5	92,5	95,0	44	48	46,0
5,8	95,0	98	96,5	55	55	55,0
7,0	97,5	98	97,8	64,5	64	64,3
8,2	98,0	98,5	98,3	61	64	62,5
9,3	96,5	97,5	97,0	69	70,5	69,8
10,2	95,0	93,5	94,3	54	50,5	52,3

Coletor: Amina

Quartzo: 150 g/t; Hematita: 1500 g/t

Quartzo e hematita em água destilada

	quartzo			Hematita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	98,5	98,5	98,5	48	48,5	48,3
5,8	99,0	99,5	99,3	44	42,0	43,0
7,0	97,0	98,5	97,8	45,5	44,0	44,8
8,2	97,0	98,5	97,8	19	20,0	19,5
9,3	97,0	98	97,5	15	13,0	14,0
10,2	85,5	86,5	86,0	7	9,0	8,0

Coletor: Óleo de babaçu

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 300 g/t

Quartzo e hematita em água destilada

	quartzo			Hematita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	24,0	22,5	23,3	39	43,5	41,3
5,8	6,5	6,5	6,5	37	34,5	35,8
7,0	15,5	15,5	15,5	37	37,5	37,3
8,2	5,0	4,5	4,8	34,5	38	36,3
9,3	8,0	1,5	4,8	30,5	25,5	28,0
10,2	12,0	9,5	10,8	31	36	33,5

Coletor: Óleo de babaçu

Quartzo: 1500 g/t; Hematita: 1500 g/t

Quartzo e hematita em água destilada

	Quartzo			hematita		
pH	teste 1	teste 2	media	teste 1	teste 2	media
4,6	9,5	6,0	7,8	8	8,5	8,3
5,8	2,5	6,5	4,5	11	12,5	11,8
7	3,0	7,0	5,0	13,5	11,5	12,5
8,6	7,0	6,0	6,5	11,5	12	11,8
9,3	10,0	6,5	8,3	12	12	12,0
10,2	3,0	5,5	4,3	9,5	9	9,3

Magnetita					
Oleato: 30g/ton					
Amina: 150g/ton					
Silicato de Sodio, Tanino e Dextrina: 30g/ton					
					% de Flotabilidade
PH Pretendido	PH Inicial 1	PH Final 1	Reagente	Amostra 1	Amostra 1
4,6	4,57	5,55	Oleato	0,9	4,5
5,8	5,72	6,33		1,7	8,5
7,0	7,10	7,06		0,7	3,5
5,8	5,83	6,62	Amina +Sil.	2,1	10,5
4,6	4,65	5,50	Oleato + Tanino	5,4	27
5,8	5,73	6,65		2,0	10
7,0	7,00	7,04		1,6	8
4,6	4,70	5,68	Oleato + Dextrina	1,4	7
5,8	5,77	6,65		1,7	8,5
7,0	6,91	6,96		2,0	10

Adendo - C: Fluxograma de beneficiamento de minério de ferro da usina de Germano (Samarco)

