



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**FLOTAÇÃO CATIÔNICA REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO USANDO
SOLUÇÕES MICROEMULSIONADAS E NANOEMULSIONADAS.**

PAU DOS FERROS

2018

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**FLOTAÇÃO CATIÔNICA REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO USANDO
SOLUÇÕES MICROEMULSIONADAS E NANOEMULSIONADAS.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Paulo
Fonseca Melo

PAU DOS FERROS

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D299f Dedes, Victor Ezequiel Leite.
Flotação catiônica reversa de minério de ferro
usando soluções microemulsionadas e
nanoemulsionadas. / Victor Ezequiel Leite Dedes. -
2018.
37 f. : il.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca Melo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. tensoativo. 2. nanoemulsão. 3.
microemulsão. 4. flotação mineral. 5. minério de
ferro. I. Melo, Ricardo Paulo Fonseca, orient.
II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**FLOTAÇÃO CATIÔNICA REVERSA DE MINÉRIO DE FERRO USANDO
SOLUÇÕES MICROEMULSIONADAS E NANOEMULSIONADAS.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 05/04/2018

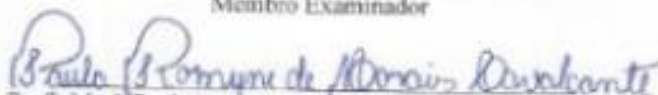
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca Melo (UFERSA)
Presidente



Prof. Dra. Shirlene Kelly Santos Carmo (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Msc. Paula Rochyne de Moraes Cavalcante (UFERSA)
Membro Examinador

A **Claudionor de Souza Dedes**, meu pai, que tanto lutou para proporcionar uma melhor qualidade de vida aos filhos, és um exemplo de pai.

A **Mariza Betânia Leite Furtado**, minha mãe, que tanto dedicou amor e atenção aos filhos, e sempre procurou ajudar no que fosse possível.

A **Ricardo Paulo Fonseca Melo**, meu orientador e amigo, por sua paciência e disponibilidade, que mesmo muito ocupado pelas obrigações do ofício, sempre esteve disposto a me ajudar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concebido a coragem, perseverança e força para concluir este trabalho.

Agradeço a meus familiares especialmente aos meus pais, Claudionor de Souza Dedes e Mariza Betânia Leite Furtado, e avós, Francisca de Souza Dedes, Francisco Clodovaldo Dedes e Francisco das Chagas Furtado pelo incentivo, apoio emocional e financeiro durante esses anos de graduação.

Agradeço a meu querido orientador, professor Ricardo de Melo Fonseca pela prontidão, comprometimento e profissionalismo na confecção deste trabalho, e pela confiança em mim depositada.

Agradeço a minha querida amiga, Paula Romyne de Morais Cavalcante pela dedicação, agilidade e pelo conhecimento transmitido, fatores essenciais para a elaboração dessa monografia, bem como pelo auxílio que sem o qual seria mais difícil a execução deste trabalho.

Agradeço a meus amigos com quem morei por quase 3 anos, Andtalys Lauriano, Mozar Leite, Ravi Linhares, João Carlos Leite, Ávilo Leite, Felipe Lira, Wesley Olegário e Samuel Martins. Irmãos que compartilhei alegrias e tristezas, que aprendi a ser uma pessoa mais paciente e amável com eles. Tenho a certeza que posso contar com qualquer um e em qualquer momento, e levarei todos para sempre no meu coração.

Aos meus amigos e irmãos da faculdade com quem tenho um enorme carinho e apreço, Waleska Benevenuto, Isis Costa, Orlando Gondim, Simone Gameleira, Murillo Alves, Adrielly Pedrosa, Robson Thiago, Dhiogo Samuel, Álvaro Felipe, Cleto Rodrigues, Gabriel Nogueira, Renê Sá, Raito de Né, Carina Maia, Pedro David, Edvar Junior, Bruno Sousa, Gabriel Andrade, Mariana Lopes, Lara Melo, Gustavo Gomes e Cleonice Maia. São amigos para todas as horas, foram fundamentais na minha formação acadêmica e adaptação a cidade.

Ao Grupo Processos e Análises Químicas – GPAQ, por ter me dado a oportunidade de participar de projetos de pesquisa, ajudando a adquirir mais conhecimento na área de química e enriquecendo o curriculum acadêmico.

E por fim, agradeço a Ordem Demolay, por ter ajudado na formação do meu caráter, por ter transmitido conhecimento filosófico, ajudando a ver a vida com bons olhos, e pela oportunidade de conhecer muitos amigos.

MUITO OBRIGADO!!

“A persistência é o menor caminho do
êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias e pesquisas para a separação do minério de ferro da ganga silicática vem sendo impulsionada pela queda do teor de minério de ferro nas jazidas. Em virtude deste fato, faz-se o uso de métodos de separação mais eficientes e avançados, visando obter bons resultados com baixo custo de operação. Esse trabalho tem como objetivo a aplicação de tensoativo Amina Flotigam EDA em um sistema nanoemulsionado, com intuito de testar a flotabilidade de minerais puros (quartzo e hematita) por meio da flotação catiônica reversa. Foi trabalhado uma linha de pesquisa inédita no campo da flotação mineral, onde os reagentes utilizados no processo, como coletores e depressores, foram usados como componentes de uma nanoemulsão, mistura que apresenta fase aquosa, com e sem amido gelatinizado e butanol/tensoativo Flotigam EDA, e uma fase oleosa, constituída por querosene, em uma única fase em equilíbrio. A nanoemulsão foi obtida a partir de uma microemulsão com os mesmos componentes. Realizou-se ensaios de microflotação em um tundo de Hallimond modificado, visando analisar os efeitos causados pela variação de pH e concentração do coletor e depressor, bem como obter um melhor percentual de separação dos minerais em estudo. Os ensaios de microflotação utilizando nanoemulsão mostraram 97% de flotabilidade para o quartzo e 37% para hematita utilizando uma nanoemulsão em pH 10. Os resultados mostraram a viabilidade do uso desses sistemas para flotar quartzo e deprimir hematita.

Palavras-chave: tensoativo, nanoemulsão, microemulsão, flotação mineral, minério de ferro.

ABSTRACT

The development of technologies and research for the separation of iron ore from the silica gangue is being driven by the drop in iron content in the deposits. By virtue of this fact, the use of faster and more advanced trading methods is obtained, receiving more good results with low operation cost. The aim of this work is to apply the Amina Flotigam EDA surfactant in a nanoemulsified system, in order to test the buoyancy of pure minerals (quartz and hematite) by means of reverse cationic flotation. A novel research line was developed in the field of mineral flotation, where the reagents used in the process, as collectors and depressants, were prepared together in a nanoemulsion, aqueous phase mixture, with and without gelatinized starch and butanol / surfactant Flotigam EDA, and an oily phase, consisting of kerosene, in a single equilibrium phase. The nanoemulsion was obtained from a microemulsion with the same components. Microflotation tests were performed on a modified Hallimond's whole, aiming to analyze the effects caused by pH variation and collector and depressant concentration, as well as to obtain a better percentage of separation of the minerals under study. The micro flotation assays used the nanoemulsion 97% of flotation for quartz and 37% for hematite using a nanoemulsion at pH 10. The results showed the feasibility of using these systems to float quartz and depress hematite.

Key words: surfactant, nanoemulsion, microemulsion, mineral flotation, iron ore.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA DAS MICELAS.....	21
FIGURA 2: ESTRUTURA DAS MICROEMULSÕES.	22
FIGURA 3: CLASSIFICAÇÃO DE WINSOR.	23
FIGURA 4: DIAGRAMA TERNÁRIO.	23
FIGURA 5: A - PHMETRO MODELO DM-22; B- AGITADOR MAGNÉTICO MODELO Q261M23; C - CILINDRO CONTENDO AR COMPRIMIDO.	24
FIGURA 6: AMIDO DE MILHO GELATINIZADO.	25
FIGURA 7: MICROEMULSÃO UTILIZADA NO PROCEDIMENTO.	25
FIGURA 8: TUBO DE HALLIMOND MODIFICADO.....	26

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: ESTUDO DA FLOTABILIDADE PARA OS MINERAIS USANDO MICROEMULSÃO..	29
GRÁFICO 2: ESTUDO DA FLOTABILIDADE PARA OS MINERAIS USANDO NANOEMULSÃO –	30
MG/L.	30
GRÁFICO 3: ESTUDO DA FLOTABILIDADE PARA O QUARTZO USANDO SOLUÇÃO DE	
TENSOATIVO SOLUÇÃO DE EDA E A NANOEMULSÃO(PH = 10).	31
GRÁFICO 4: RESULTADOS DO ESTUDO DA FLOTABILIDADE PARA A HEMATITA USANDO A	
SOLUÇÃO DE EDA E A NANOEMULSÃO NAS MESMAS FAIXAS DE CONCENTRAÇÃO E PH	
FIXO.	31
GRÁFICO 5: ESTUDO DA FLOTABILIDADE DA HEMATITA USANDO NANOEMULSÃO COM PH	
FIXO E VARIANDO CONCENTRAÇÃO DE AMIDO.	32
GRÁFICO 6: ESTUDO DA FLOTABILIDADE PARA O QUARTZO USANDO NANOEMULSÃO COM	
DIFERENTE CONCENTRAÇÃO DE AMIDO/TENSOATIVO.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/O	Água em óleo
cm ³	Centímetro cúbico
G	Gramas
mg/L	Miligramas por litro
mL	Mililitros
nm	Nanômetro
O/A	Óleo em água
ppm	Partes por milhão
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
T	Tensoativo
p/v	Partes por volume
μ	Micro
%	Porcentagem

SUMÁRIOS

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos Gerais	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Minério de ferro	16
3.1.1	Hematita	16
3.1.2	Quartzo	16
3.2	Flotação	17
3.2.1	Flotação catiônica reversa do minério de ferro	18
3.3	Reagentes da flotação	18
3.3.1	Coletor	18
3.3.2	Coletor catiônico	19
3.3.3	Depressor	19
3.4	Propriedade de superfície	20
3.4.1	Agentes tensoativos	20
3.4.2	Microemulsão	21
4	METODOLOGIA	24
4.1	Amostras Minerais	24
4.2	Reagentes e equipamentos	24
4.3	Microflotação	26
4.4	Procedimento do ensaio	27
4.5	Efeito do pH da microemulsão e nanoemulsão	27
4.6	Análise da flotabilidade dos minerais com solução de tensoativo nanoemulsão	28
4.7	Depressão da hematita com amido de milho comercial na nanoemulsão	28
4.8	Análise da flotabilidade do quartzo com diferentes concentrações de tensoativo e amido na nanoemulsão	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1	Efeito do pH da microemulsão e nanoemulsão na flotabilidade mineral	29
5.2	Análise da flotabilidade dos minerais com solução de tensoativo e nanoemulsão	30
5.3	Depressão da hematita com amido de milho comercial	32
5.4	Análise da flotabilidade do quartzo com diferentes concentrações de tensoativo e amido	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O Ferro é um dos elementos mais abundantes do mundo, sendo o quarto mais presente na crosta terrestre e o metal mais utilizado na siderurgia, com 95% em peso da produção mundial de metais (GEO - BANCO DE DADOS MUNDIAL, 2014). Devido ao seu baixo custo de aquisição e dureza, o ferro é muito utilizado no mercado de automóveis, na construção civil, ligas metálicas, etc. Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2016), o ferro é uma das mais importantes riquezas naturais do Brasil, contribuindo para o balanço econômico do país, sendo uns dos produtos líderes em exportação e tornando-se umas das bases do superávit comercial.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2016), no ano de 2015, as substâncias da classe dos metais foram responsáveis por 98,5% do valor da produção comercializada, somando 67,5 bilhões de reais, com destaque expressivo para a contribuição do ferro, responsável por 61,7% da produção nacional.

Devido à elevada demanda de minério de ferro, alavancada pela crescente economia mundial nos últimos anos, jazidas ricas em minério de ferro estão tornando-se escassas, obrigando mineradoras a iniciar o processo de exploração em reservas com baixo provimento de ferro e acarretando uma preocupação em desenvolver estratégias de melhoria nas unidades exploratórias (SOUSA, 2016).

Desta forma, estudos fundamentais envolvendo o processo de flotação em escalas laboratoriais têm sido realizados com diferentes tipos de minerais e reagentes, visando promover adequada separação do componente de interesse das impurezas a ele agregadas. O sistema de concentração de minério de ferro utilizado no presente trabalho é a flotação catiônica reversa, na qual se deprime os minerais-minério de ferro e flota-se a ganga silicática. Em termos de reagentes, o amido de milho é utilizado como depressor de óxidos de ferro (hematita – Fe_2O_3) e a amina como espumante e coletor de quartzo (SiO_2).

Assim, neste trabalho serão realizados testes de microflotação com diferentes dosagens de depressor e coletor, utilizando o tubo Hallimond modificado, prevendo a flotabilidade de espécies minerais puras, com objetivo de obter um bom percentual de flotabilidade do quartzo e depressão da hematita.

Para os ensaios, serão empregadas nanoemulsões variando a concentração de tensoativo e de amido em uma única fase no processo objetivando a simplificação e melhoria do método tradicional de flotação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Estudar o processo de separação dos minerais, quartzo e hematita, por meio da flotação catiônica reversa utilizando uma nanoemulsão no processo.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a influência do pH no processo em análise;
- Estudar o efeito das técnicas de micro e nanoemulsões no processo de flotação;
- Estudar o efeito da concentração de depressor e coletor na nanoemulsão.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Minério de ferro

O ferro é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (4,2%), depois do oxigênio, silício e alumínio; e o segundo elemento metálico mais abundante, depois do alumínio. Os principais minerais de ferro são hematita $\alpha(Fe_2O_3)$, magnetita (Fe_3O_4), goethita $\alpha(FeOOH)$, a siderita ($FeCO_3$), a pirita (FeS_2) e a ilmenita ($FeTiO_3$) a principal impureza encontrada no minério de ferro é o quartzo (NASCIMENTO, 2010).

Segundo Nascimento (2010), na natureza o ferro raramente encontra-se isolado, sendo muito comum encontrá-lo acoplado com diversos minerais, principalmente os óxidos. O Brasil é rico em minério de ferro, sendo o segundo maior produtor do mundo com 317 milhões de toneladas que equivale a 18,5% da produção mundial.

3.1.1 Hematita

É o principal constituinte do minério de ferro, sua fórmula química é Óxido de Ferro III (Fe_2O_3), substância essencialmente pura, constituída por 70% de Ferro e 30% de Oxigênio com pequenas quantidades de Titânio (Ti) e Manganês (Mn). Possui sistema cristalino hexagonal de classe trigonal, apresenta dureza entre 5,5 e 6,5 na escala de Mohs, seu brilho metálico é de coloração azul do aço, quando em pó, torna-se avermelhada (SOUSA, 2016).

É geralmente encontrada em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Possui massa específica de 5,26 g/cm³. Para Nascimento (2010) é mais comumente encontrada na forma isolada (mineral), em agregados com partículas distintas, o caso mais clássico é com a partícula do quartzo, ou em associação com a goethita e com limonitas.

3.1.2 Quartzo

É o mineral mais abundante do planeta, representa o principal mineral de ganga para a grande maioria dos minérios. Possui fórmula química SiO_2 , composta aproximadamente por 46,74% de silício e 53,26% de oxigênio. Apresenta traço branco e brilho vítreo, é encontrada com cores variadas, possui ausência de clivagem e fratura conchoidal, sua dureza é 7,0 na escala Mohs, sua massa específica é 2,65 g/cm³, hábito prismático a granular e possui sistema cristalino trigonal. Quanto às propriedades de

superfície, apresenta ponto isoelétrico em pH próximo a 2. (MARQUES, 2013; FUERSTENAU, 1976; LOPES e LIMA, 2009).

3.2 Flotação

Segundo Silva (2004), a flotação é um processo físico de separação de misturas heterogêneas, aplicado a partículas sólidas explorando as diferenças de densidade entre os materiais presente no sistema. Consiste basicamente em adicionar uma vazão de um gás ao sistema, fazendo com que as partículas em suspensão em fase aquosa (menos densas), passem a aderir-se a bolhas provenientes da vazão do gás e da substância líquida, tornando possível a separação das impurezas do material útil. A escolha pelo processo é definida através de estudos dos minerais, visando entender como é a sua estrutura superficial e molecular, possibilitando o aumento das chances de sucesso do método utilizado.

A seletividade do processo de flotação se baseia no fato de que a superfície de diferentes espécies minerais pode apresentar distintos graus de hidrofobicidade. O conceito de hidrofobicidade de uma partícula está associado à sua umectabilidade ou "molhabilidade" pela água. Partículas mais hidrofóbicas são menos ávidas por água. O conceito oposto à hidrofobicidade é designado como hidrofilicidade. Em termos de polaridade os compostos químicos se dividem em polares e apolares. A importância da polaridade reflete-se no fato de que existe afinidade entre substâncias ambas polares ou ambas apolares (ou não-polares), não havendo, geralmente, afinidade entre uma substância polar e outra apolar. (SILVA, 2014, P.22).

Para utilizar o processo de flotação, é preciso alguns cuidados com os minerais, obedecendo três condições básicas: liberabilidade, diferenciabilidade e separabilidade dinâmica. A liberabilidade dos grãos dos diferentes minerais é obtida através de operações de britagem e moagem, intercaladas com etapas de separação por tamanho. A separabilidade dinâmica está diretamente ligada aos equipamentos utilizados. Enquanto as máquinas de flotação se caracterizam por possuírem mecanismos capazes de manter as partículas em suspensão e de possibilitar a aeração do sistema. A diferenciabilidade é a base da seletividade do método (SILVA, 2004).

Devido à presença de impurezas como o quartzo, que é a principal impureza responsável pela perda da qualidade do minério de ferro, mineradoras vem utilizando vários processos de flotação para separar essa ganga silicática, são eles, a flotação catiônica reversa do quartzo, flotação aniônica direta de óxido de ferro e flotação aniônica reversa de quartzo ativo. Apesar de grande variedade de processos

apresentados, para Nascimento (2010), o método de flotação catiônica reversa é a mais amplamente utilizada na indústria de ferro atualmente.

3.2.1 Flotação catiônica reversa do minério de ferro

No presente trabalho, o processo utilizado é o de flotação catiônica reversa de minério de ferro, que segundo Sousa (2016), consiste na utilização de uma eteramina, um tensoativo iônico carregado positivamente e que apresenta função de coletor e espumante, agregando as partículas de quartzo nas bolhas originadas pela força aplicada pela vazão do gás agitando as moléculas do líquido inserido no sistema, facilitando a flotação do mesmo. O termo ‘reversa’ na titulação do procedimento representa a promoção da flotação das impurezas do minério, no caso o quartzo, e depressão do material útil, a hematita, utilizando o amido. O hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl) são utilizados para ajustar o pH alcalino da mistura, que se encontra na faixa entre 10 e 10.5, faixa onde será observada máxima flotabilidade.

3.3 Reagentes da flotação

Na flotação catiônica reversa de minério de ferro, os reagentes utilizados são os coletores e depressores. As aminas são utilizadas como coletores de quartzo e espumantes; o amido é utilizado como depressor de hematita.

3.3.1 Coletor

Segundo Sousa (2016), coletores são substâncias utilizadas para remover a ganga da mistura. Essas substâncias são tensoativos, constituídos por longas cadeias e formados por um grupo hidrofóbico apolar (moléculas que não tem afinidade pela água), e um grupo hidrofílico polar (moléculas que tem afinidade com água) em suas extremidades, moléculas de caráter duplo. Essa propriedade permite aos coletores interagirem tanto com substâncias polares, como a água, quanto com substâncias apolares, neste caso, o quartzo.

Os coletores podem ser divididos em grupos conforme a carga elétrica associada ao grupo polar: os aniônicos, os não-iônicos e os catiônicos. Os coletores não-iônicos geralmente são álcoois adicionados ao sistema com intuito de diminuir a repulsão entre as moléculas do coletor principal durante o desenvolvimento da absorção (SOUSA, 2016).

3.3.2 Coletor catiônico

São utilizados para flotar minerais que tem carga superficial negativa. “[...] A carga superficial influencia a distribuição dos íons no meio polar, de modo que as partículas sólidas ficam rodeadas por uma nuvem de íons [...]” (LOPES, 2009, p. 32). Os principais coletores catiônicos são as aminas, que são derivadas da amônia (NH_3), onde alguns átomos (no máximo três) de hidrogênio são substituídos por um número correspondente de cadeias hidrocarbônicas. As aminas podem ser classificadas pelo comprimento da cadeia hidrocarbônica, como eteraminas, aminas graxas, diaminas graxas, etc.

A eteramina é a classe utilizada neste processo de flotação, são obtidas por meio da adição de álcool com acrilonitrila. “[...] Este tipo de amina contém um átomo de oxigênio na cadeia hidrocarbônica, separado do nitrogênio por três átomos de carbono [...]” (NASCIMENTO, 2010, p. 39), o oxigênio faz com que a eteramina apresente um grupo hidrofílico ao grupo hidrofóbico da ganga, melhorando a solubilidade da molécula, permitindo um maior acesso dos reagentes as conexões entre os materiais envolvidos no sistema de flotação.

A eteramina escolhida para o presente trabalho foi a Flotigam EDA. Segundo Cassola e Bartalini (2010), as principais características do coletor são o grau de neutralização de 50%, possui cadeia média e ramificada e é um dos coletores mais eficientes para silicatos como quartzo, micas e feldspatos.

3.3.3 Depressor

Os depressores, segundo Souza (2016), são utilizados para adsorver, preferencialmente, na superfície dos minerais que não se deseja flotar, impedindo a ação do coletor sobre o mineral, fazendo com que o mesmo seja precipitado, assim proporcionando uma maior seletividade no processo. Na flotação catiônica reversa de minério de ferro, o amido de milho é utilizado como depressor de óxido de ferro. O amido age como um reagente flocculante no processo de aglomeração das partículas de ferro, fazendo com que as mesmas aumentem o seu tamanho e se tornem mais densas, assim, afundam e depositam-se no fundo do recipiente.

Os amidos são encontrados em todos os componentes do reino vegetal de folha verde, é o segundo polímero mais abundante ficando atrás apenas da celulose, seu uso nos procedimentos minerais é muito vantajoso, pois apresentam facilidade na produção e tem baixo custo (SOUSA, 2016).

Os amidos de milho, segundo Silva (2004) apresentam como característica fundamental um elevado peso molecular e elevada hidrofilicidade das macromoléculas devido à presença dos grupos OH em sua unidade principal, unidades de glicose, o tamanho da molécula faz com que a mesma se prolongue na solução e passe a agir como uma “ponte” entre as partículas dos minerais, caracterizando processo de floculação.

Silva (2004) diz que os amidos são constituídos basicamente por dois compostos, o amilose e o amilopectina, polímeros nos quais se unem a cadeia principal, sendo que a amilose é um polímero linear e o amilopectina ramificada. A proporção de amilopectina/amilose apresenta variações até de um mesmo vegetal. O amido de milho apresenta uma relação de 3/1 para o tipo de milho amarelo (o mais comum).

3.4 Propriedade de superfície

As propriedades de superfícies estão relacionadas a fenômenos cujo entendimento requer conhecimentos básicos de propriedades de interfaces. Segundo Aguiar (2014), fase pode ser definida como uma fração homogênea, fisicamente diferente e separável de um sistema. Entre duas fases existe uma região denominada interface.

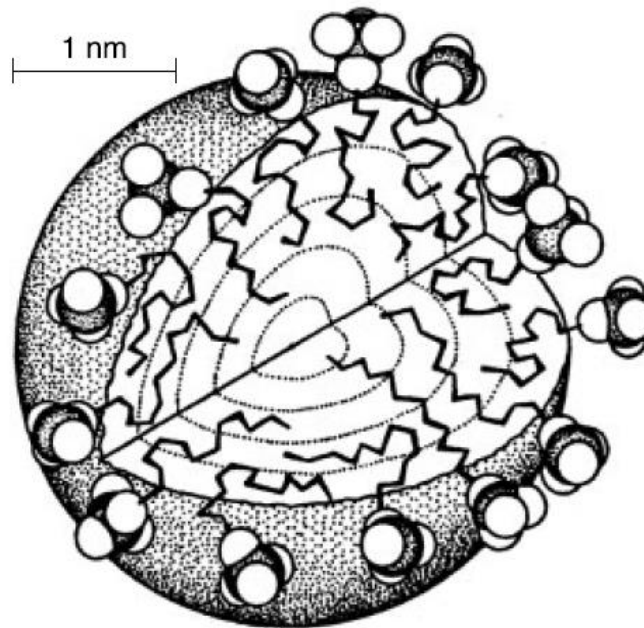
Através dos três estados físicos da matéria, pode se identificar cinco interfaces durante o processo de flotação: líquido/líquido, sólido/sólido, sólido/líquido, sólido/gás e líquido/gás. As interfaces podem ser exemplificadas da seguinte forma: sólido/sólido – uma partícula de mineral recoberta por lamelas de outra espécie; sólido/líquido – uma partícula mineral imersa em um meio aquoso; sólido/gás – uma partícula mineral aderida a uma bolha gasosa; alguns reagentes são imiscíveis em água, caracterizando interface líquido/líquido; para a interface líquido/gás o melhor exemplo é a película líquida que envolve a bolha (AGUIAR, 2014).

3.4.1 Agentes tensoativos

Segundo Tadros (2006), os agentes de superfície, conhecido como agentes tensoativos, são moléculas anfifílicas constituída por uma parcela hidrofóbica apolar, cadeia de hidrocarbonetos linear ou ramificada, e por uma parcela hidrofílica polar ou iônica, a cabeça, geralmente formado pelo oxido de (poli)etileno. A cadeia de hidrocarbonetos interage fracamente com as moléculas de água, enquanto a parcela polar ou iônica interage fortemente com as moléculas de água via ligações dipolo-dipolo ou íon-dipolo.

Os agentes tensoativos agem agregando-se em solução formando micelas, reduzindo a energia de contato das interfaces entre o sólido e a água. Na micela os grupos hidrofóbicos (apolar) tendem a direcionar para o interior do agregado e os grupos hidrofílicos (polar) tendem a direcionar para o solvente (TADROS, Tharwat F, 2006).

Figura 1: Estrutura das micelas.



Fonte: TADROS, Tharwat F, 2006.

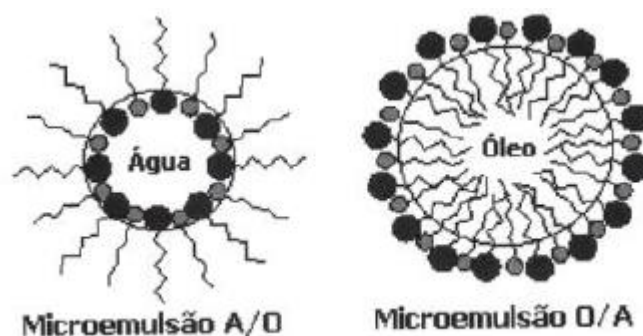
3.4.2 Microemulsão

Uma microemulsão é um sistema que contém água e óleo coexistentes em equilíbrio dinâmico como uma única fase isotrópica, esse equilíbrio é possível devido à presença de uma membrana tensoativa e, suas faces estão dispersas entre 100nm (nanômetros) e 1000 μm (micrômetros). Microemulsões são muito similares visualmente com nanoemulsões, a principal diferença entre os dois sistemas consiste no fato de que as nanoemulsões são instáveis termodinamicamente e apresenta gotículas com diâmetro menor que 100 nm (FORMARIZ, 2005).

Apesar da denominação “micro”, o sistema envolve gotículas com tamanhos suficientemente pequenos para ser opticamente transparente. Sua formação consiste em uma combinação de três a cinco partes, tais como tensoativos, fase aquosa, fase oleosa e, quando necessário, co-tensoativo, sendo que a orientação dos sistemas é O/A ou A/O,

dependendo das propriedades físicas e químicas dos tensoativos, principalmente em suas propriedades hidrofóbicas e equilíbrio lipofílico. A parte mais importante do sistema é a formação rápida da fase interna com homogeneização uniforme dos componentes da fórmula. A estabilidade termostática tem vantagens em relação às dispersões instáveis, como suspensões e emulsões, e podem ser usadas por muito mais tempo (FORMARIZ, 2005).

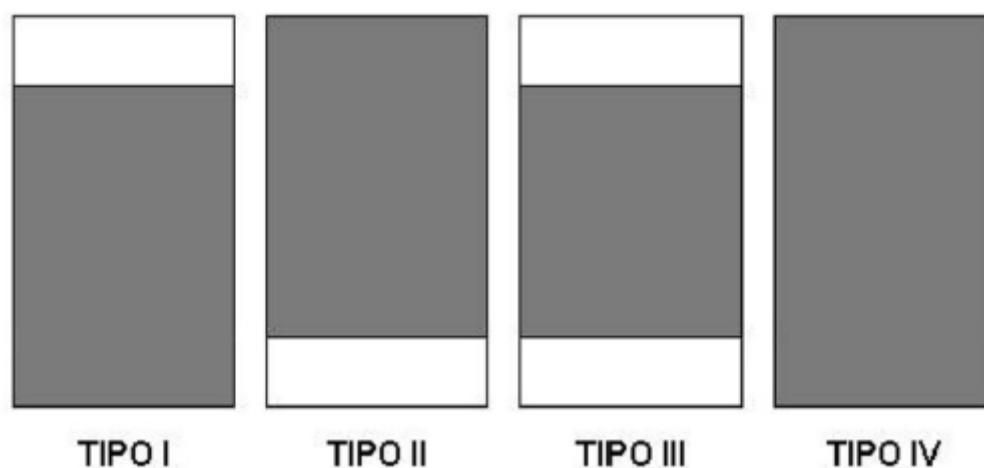
Figura 2: Estrutura das microemulsões.



Fonte: FORMARIZ, Thalita Pedroni et al, 2005.

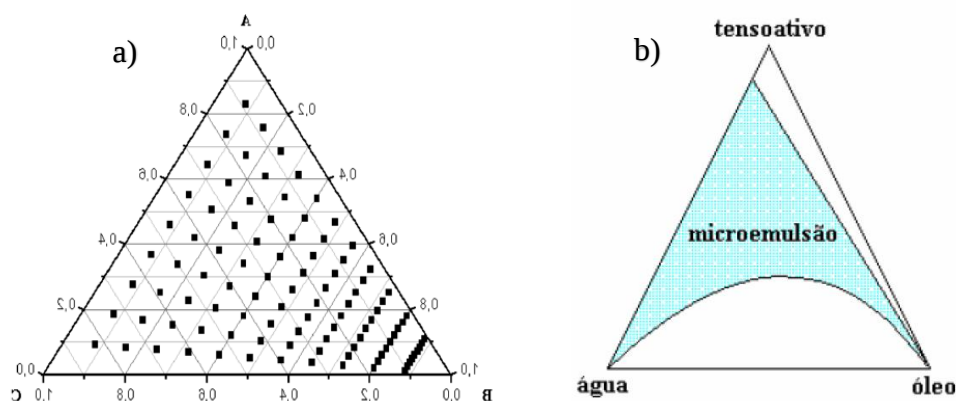
Para mensurar o equilíbrio das microemulsões, Winsor desenvolveu um método baseado nas características de como o tensoativo iria se comportar quando em contato com água e óleo em um sistema composto por essas três partes, esse método foi denominado de Razão de Winsor. O método pode ser dividido em quatro tipos de regiões: Winsor I, II, III e IV. Essas classificações têm como base a quantidade de fases formadas e dispersão visual das mesmas no sistema tensoativo/água/óleo (DAMASCENO et al, 2011).

Um sistema tipo Winsor I ocorre quando apenas uma pequena porção da fase oleosa está em equilíbrio com o sistema microemulsionado, apresentando um excesso de óleo na porção superior do sistema, formando um sistema bifásico. No tipo Winsor II, também bifásico, uma pequena porção da fase aquosa está em equilíbrio com o sistema microemulsionado, apresentando um excesso de água na porção inferior do sistema. No tipo Winsor III, o sistema homogêneo está em equilíbrio com excesso tanto de óleo quanto de água, formando um sistema trifásico. E, finalmente, o tipo Winsor IV ocorre quando não há excesso de fase aquosa ou oleosa, formando um sistema homogêneo e monofásico. (DAMASCENO et al, 2011, p. 13).

Figura 3: Classificação de Winsor.

Fonte: DAMASCENO, Bolivar PGL et al, 2011.

Outro método para ajudar a mensurar o equilíbrio das microemulsões é o diagrama ternário, ferramenta que caracteriza o domínio das regiões da microemulsão. Geralmente são constituídos em duas dimensões, em forma de triângulo equilátero, onde em cada lado deste triângulo apresenta uma escala dividida em dez partes centesimais e representando um dos componentes da microemulsão, FIGURA 4. A vantagem de usar esse método é poder avaliar várias amostras de diferentes composições (DAMASCENO, 2011)

Figura 4: Diagrama ternário.

Fonte: a- DAMASCENO, Bolivar PGL et al, 2011; b- SILVA, J. H, 2007.

4 METODOLOGIA

4.1 Amostras Minerais

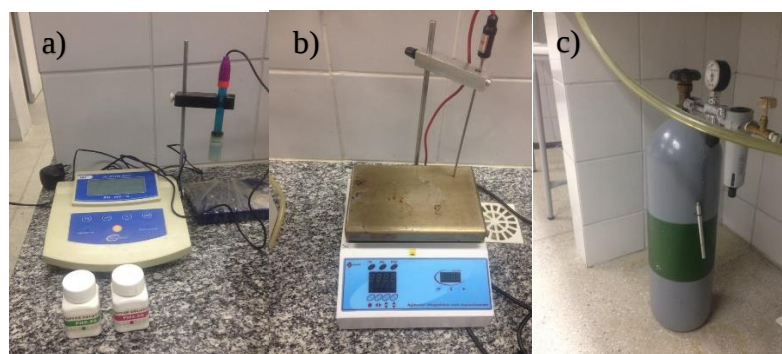
As amostras de hematita e quartzo que foram utilizadas na pesquisa possuem elevado grau de pureza. A amostra de hematita foi extraída da mina de Casa de Pedra em Congonha – MG e a o quartzo foi coletado de Pegmatito em Turmalina – MG.

As amostras de minerais puros obtidas consistiam em cristais bem formados com dimensões em torno de 5 cm. Inicialmente foram fragmentadas com o auxílio de um martelo de mão até granulometria inferior a 0,5 cm. A partir deste tamanho, um gral de ágata foi utilizado para adequar o tamanho das partículas à faixa granulométrica de -150 μm a +75 μm para os ensaios de microflotação.

4.2 Reagentes e equipamentos

Todos os equipamentos utilizados na pesquisa estão disponíveis nos laboratórios de química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, no campus de Pau dos Ferros – RN, são eles: pHmetro modelo DM-22 da Digimed – Para ajustar o pH da nanoemulsão e da água; Tubo de Hallimond modificado – Hialoquímica; Papel filtro quantitativo com diâmetro de 12,5 cm e poros de 25 μm – Para filtrar a solução contendo o material flotado e afundado após os ensaios de microflotação; Cronômetro digital – Para cronometrar o tempo para a realização dos ensaios; Cilindro contendo ar comprimido– Para adicionar vazão de gás ao sistema, ajudando na flotação dos minerais.

Figura 5: a - pHmetro modelo DM-22; b- Agitador magnético modelo Q261M23; c - Cilindro contendo ar comprimido.



Os reagentes utilizados para a realização dos experimentos foram o coletor: microemulsão de água / tensoativo Flotigam EDA – butanol / querosene. O tensoativo utilizado é da classe das aminas, cedido pela Clariant. O óleo (querosene) foi cedido

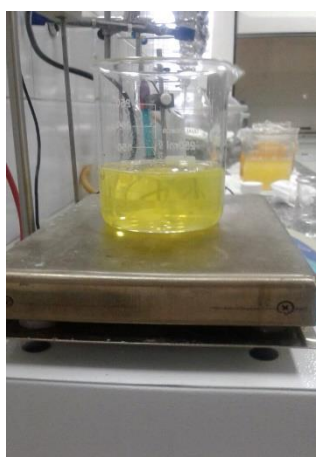
pela Petrobrás. A água destilada foi cedida pela UFERSA – campus Mossoró, onde se encontrava com pH entre 7 e 8. O cotensoativo foi o Álcool n-butílico-Pro-análise a 99%. O depressor utilizado foi o amido de milho comercial (maizena) que foi adicionado a fase aquosa da microemulsão em concentrações específicas variando de 10 a 100 ppm. O amido de milho é utilizado em sua forma gelatinizada pelo método químico (adição de soda cáustica) (AGUIAR, 2014)

Figura 6: Amido de milho gelatinizado.



Para determinar a região da microemulsão num diagrama pseudoternário, seguiu-se a metodologia descrita por Bellocq e Roux (1987). A microemulsão utilizada para realizar as experiências de microflotação de quartzo e hematita teve uma fase aquosa a 79,5% em peso, uma fase oleosa a 0,5% em peso (querosene), 10% em peso de tensoativo (Flotigam EDA) e 10% em peso de cotensoativo (Álcool n-butílico-Pro-análise a 99%), para as nanoemulsões, foram feitas as devidas diluições para cada aplicação com concentração desejada de tensoativo.

Figura 7: Microemulsão utilizada no procedimento.



Para ajustar o pH das microemulsões e nanoemulsões utilizaram-se hidróxido de sódio 98,93% (NaOH), marca CRQ, e ácido clorídrico 37% (HCl), marca VETEC em soluções de concentração 0,5 M e foram adicionados ao sistema antes do processo de microflotação.

4.3 Microflotação

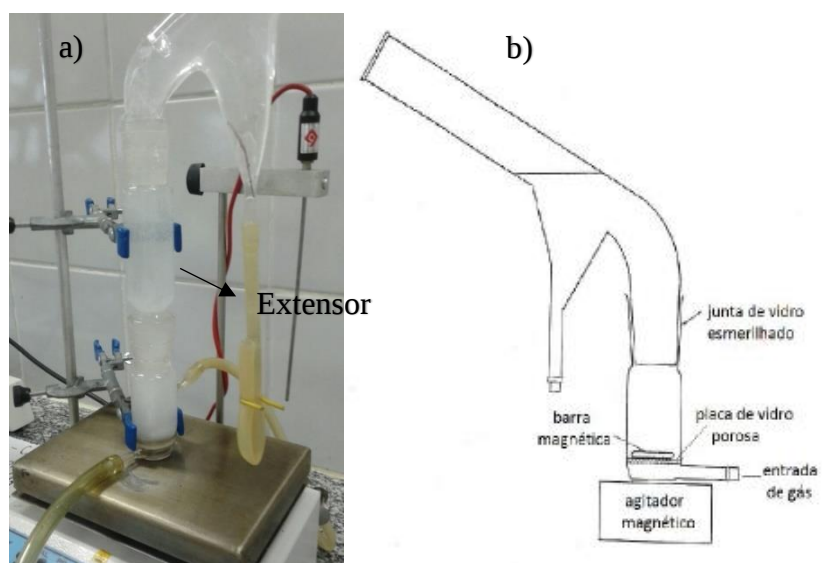
Os ensaios foram realizados no tubo de Hallimond modificado de 320 mL com ajuda de um agitador magnético, a agitação utilizada no processo objetivou desprender as partículas de minerais e promover a dissolução da nanoemulsão inserida no tubo.

O tubo de Hallimond é constituído por três partes: a parte inferior tem um fundo poroso de vidro, que permite o fluxo uniforme de gás no sistema; a parte central do tubo aumenta a distância a ser percorrida pelas partículas hidrofóbicas, dificultando assim o arraste por aeração; a parte superior do tubo de Hallimond tem a função de coletar o material flotado.

Antes de realizar os experimentos, o percentual de arraste dos minerais foi calculado. Esse ensaio diz respeito ao branco do experimento ainda sem os reagentes de flotação. O percentual de arraste é calculado utilizando a formula (1):

$$Arraste(\%) = \left[\frac{Massa\ do\ flotado}{Massa\ do\ flotado + Massa\ do\ afundado} \right] \times 100 \quad (1)$$

Figura 8: Tubo de Hallimond modificado.



Fonte: a- Autor; b- AGUIAR, M.A.M, (2014).

4.4 Procedimento do ensaio

Primeiramente, as amostras de mineral puro foram colocadas separadamente em béqueres e pesadas (1g de amostra com margens de $\pm 0,009\text{g}$), em seguida foram pesados os papeis filtros e identificados com o mesmo número da amostra, seguido da letra “F” para flotado e “A” para afundado, logo após as nanoemulsões foram preparadas, ajustando-se o pH das soluções nanoemulsionadas e da água destilada de modo que ambos estejam na mesma faixa de pH.

Na parte inferior do tubo, o mineral é adicionado juntamente com uma pequena porção de nanoemulsão para remover partículas que venham a ficar aderidas a região esmerilhada do tubo, em seguida, serão adicionados o extensor de tubo e 100mL de nanoemulsão no sistema montado sobre o agitador magnético. A solução é agitada por 2 minutos e meio para desagregar as partículas das amostras em estudo. Após esse tempo, a parte superior do tubo é adicionada seguida dos 220 ml de água destilada, totalizando 320 ml de solução necessária para a realização do ensaio, e deixando agitar por mais 2 minutos e meio para homogeneizar a solução. Após finalizar o tempo total de agitação da mistura (cinco minutos), é ligada a vazão de ar comprimido num caudal de 60 ml/min, com duração de 1 minuto. Por fim, o material flotado e o afundado são retirados do tubo, com auxílio de béqueres.

Após a realização do ensaio de microflotação, o material recolhido (flotado e afundado) é filtrado com auxílio de uma bomba a vácuo, e colocado em uma estufa com temperatura aproximada de 100°C por 4 horas, em seguida os papeis filtros são retirados e colocados para esfriar por aproximadamente 40 minutos e posteriormente a pesagem é realizada. Os cálculos do percentual de flotabilidade foram feitos utilizando a equação (2):

$$\text{Flotabilidade}(\%) = \left[\frac{\text{Massa do flotado}}{\text{Massa do flotado} + \text{Massa do afundado}} \right] \times 100 - \text{arraste} \quad (2)$$

4.5 Efeito do pH da microemulsão e nanoemulsão

Neste presente estudo o pH da microemulsão e nanoemulsão foi avaliado, numa faixa de 5 a 12, mantendo fixa a concentração dos reagentes que compõem as mesmas, sendo 20% co-tensoativo/tensoativo, 0,5% de querosene e 79,5% de água destilada para a microemulsão. Para os estudos com a nanoemulsão, partiu-se da microemulsão de Flotigam EDA-Butanol/Querosene/água e foram feitas diluições de modo a se obter as

concentrações desejadas dos constituintes (Flotigam EDA 30 mg/L) segundo metodologia utilizada por Liang et al. (2015).

4.6 Análise da flotabilidade dos minerais com solução de tensoativo nanoemulsão

O estudo da flotabilidade do quartzo e hematita com solução de tensoativo e nanoemulsão objetivou avaliar o efeito das duas misturas na curva de flotabilidade das substâncias para a mesma faixa de concentração em ambos os casos (5 a 50 mg/L), em pH 10 fixo.

4.7 Depressão da hematita com amido de milho comercial na nanoemulsão

Nesse estudo avaliou-se o comportamento da hematita, quando em contato com a nanoemulsão contendo depressor amido de milho em concentrações variando de 10 a 100 mg/L na mistura, em pH 10 fixo.

4.8 Análise da flotabilidade do quartzo com diferentes concentrações de tensoativo e amido na nanoemulsão

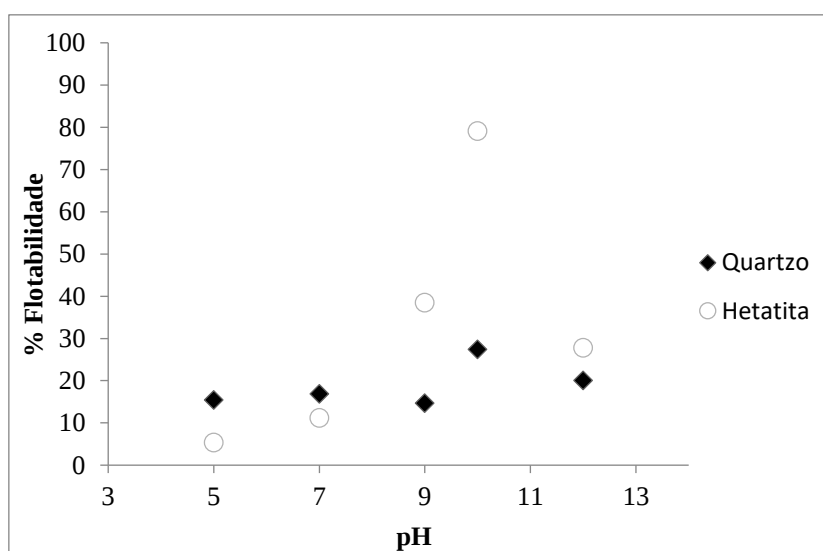
O comportamento da microflotação do quartzo quando submetido à variação da concentração de tensoativo (coletor) eteramina Flotigam EDA e amido de milho (depressor) foi testado com o objetivo de verificar se o processo sofria alguma influência pelo uso combinado das misturas em diferentes concentrações na nanoemulsão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Efeito do pH da microemulsão e nanoemulsão na flotabilidade mineral

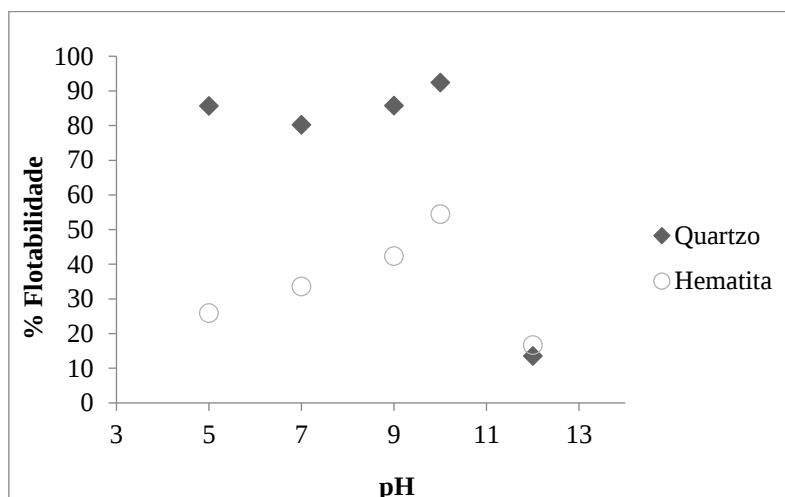
A gráfico 1 apresenta os resultados do estudo da flotabilidade para hematita e quartzo usando uma microemulsão com 10% de tensoativo, 10% de butanol, 0.5% de querosene e 79.5% de água destilada. A faixa de pH escolhida para os ensaios foram de 5 a 12, para tornar possível o estudo do processo em pHs variando da zona ácida a básica de forma a otimizar as variáveis do mesmo.

Gráfico 1: Estudo da flotabilidade para os minerais usando microemulsão.



Com base no gráfico 1 observa-se que, os minerais aderem à superfície da microemulsão, apresentando um maior percentual de flotabilidade em pH 10 (básico). Isso ocorre porque nesse pH a amina apresenta características tanto de espumante como de coletor, coexistindo na forma molecular e iônica. Quando comparado com os resultados obtidos por Aguiar (2014), que observou a máxima flotabilidade do quartzo foi na concentração de 4 mg/L com aproximadamente 95% de quartzo flotado, os resultados obtidos apresentaram menor flotabilidade para a ganga silicática devido a efeito de impedimento causado pela alta concentração de tensoativo existente na microemulsão.

No gráfico 2 apresenta os resultados dos ensaios de microflotação para os minerais usando uma nanoemulsão com concentração de tensoativo de 30 mg/L, variando-se o pH.

Gráfico 2: Estudo da flotabilidade para os minerais usando nanoemulsão – 30 mg/L.

Analisando o gráfico 2 nota-se que na nanoemulsão, em comparação com o gráfico 1, apresentou os melhores resultados para a flotabilidade da ganga silicática e já mostrou menores percentuais de flotabilidade para a hematita mesmo sem a adição de depressor no processo. Observa-se novamente que o melhor resultado de flotabilidade foi obtido no pH com valor 10, devido a eteramina apresentar características de coletor e espumante nesta faixa de pH. Segundo Aguiar (2014), os valores de pH superiores a 10, predomina-se a característica de espumante (molecular). Nos valores de pH inferiores a 10, predomina-se a característica de coletores (iônica).

5.2 Análise da flotabilidade dos minerais com solução de tensoativo e nanoemulsão

Os gráficos 3 e 4 apresentam resultados dos ensaios de microflotação para o quartzo e hematita, respectivamente, comparando o processo convencional com uso de tensoativo com solução de FLOTIGAM EDA e o processo em análise utilizando tensoativo nanoemulsionado, nas mesmas concentrações, com pH fixo.

Gráfico 3: Estudo da flotabilidade para o quartzo usando solução de tensoativo solução de EDA e a nanoemulsão(pH = 10).

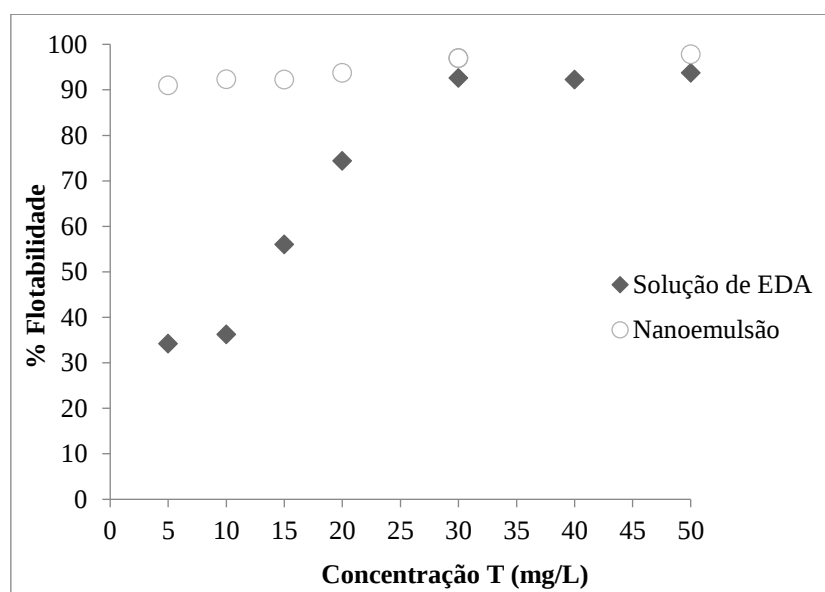
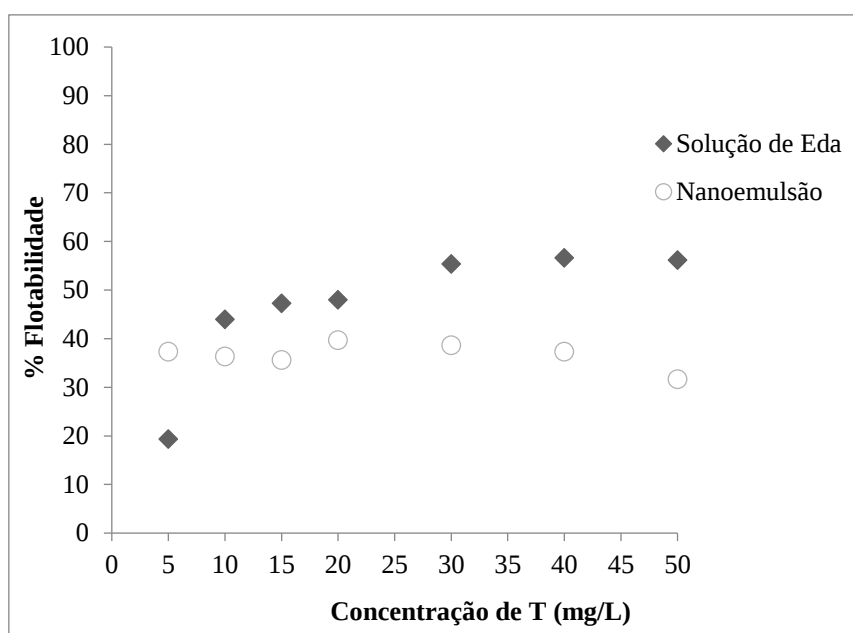


Gráfico 4: Resultados do estudo da flotabilidade para a hematita usando a solução de EDA e a nanoemulsão nas mesmas faixas de concentração e pH fixo.



Analisando o gráfico, o que se observa é que para baixas concentrações de tensoativo na nanoemulsão já se consegue atingir percentuais de flotabilidade elevados, acima de 91%. Para a solução, melhores resultados são observados apenas em concentrações de 30 ppm de tensoativo atingindo percentual de 90% de flotabilidade para quartzo. Acima da concentração de 30 ppm, para o estudo com o quartzo, verifica-se, tanto para a solução quanto para nanoemulsão, resultados semelhantes. Para a hematita o uso da nanoemulsão, sem o depressor, já mostrou apresentar percentuais de

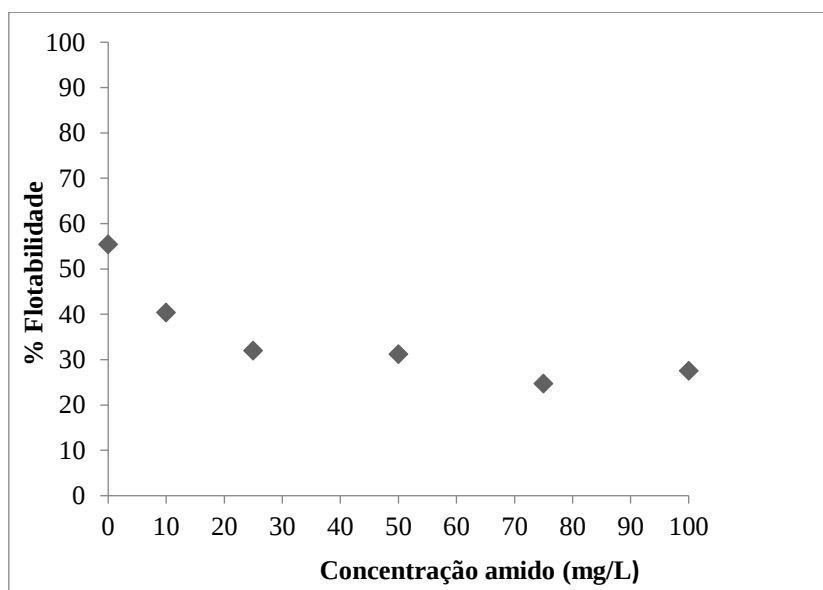
flotabilidade mais baixos, mostrando-se vantajoso para o processo que visa à máxima depressão da hematita. Vale ressaltar que com a presença de depressor em solução, é possível alcançar uma maior ação depressora sobre a hematita, melhorando ainda mais os resultados.

O patamar de máxima flotabilidade (para o quartzo) e depressão (para a hematita) foram atingidos em concentração de 50 mg/L, para ambas soluções utilizadas nos ensaios, sendo o tensoativo nanoemulsionado com os melhores percentuais.

5.3 Depressão da hematita com amido de milho comercial

O gráfico 5 mostra os resultados dos ensaios de microflotação da hematita utilizando tensoativo nanoemulsionado com pH 10 e variando a concentração do depressor amido de milho comercial, de 0 a 100 mg/L.

Gráfico 5: Estudo da flotabilidade da hematita usando nanoemulsão com pH fixo e variando concentração de amido.



Analisando o gráfico 5 é possível verificar que a adição do amido de milho na nanoemulsão deprime a hematita até percentuais entre 25 a 30 % de flotabilidade na faixa de concentração estudada. Os resultados são poucos significativos comparados ao processo sem o depressor, mas condizem com outros resultados encontrados na literatura como o apresentado por Aguiar (2014) que mostra no estudo da depressão da hematita, utilizando a maizena, percentuais de depressão na faixa de 20 e 30%. Pinto et al. (1992) também observou que com a adição de apenas 10 mg/L de amido, foi o suficiente para haver um decréscimo na flotabilidade da hematita de aproximadamente

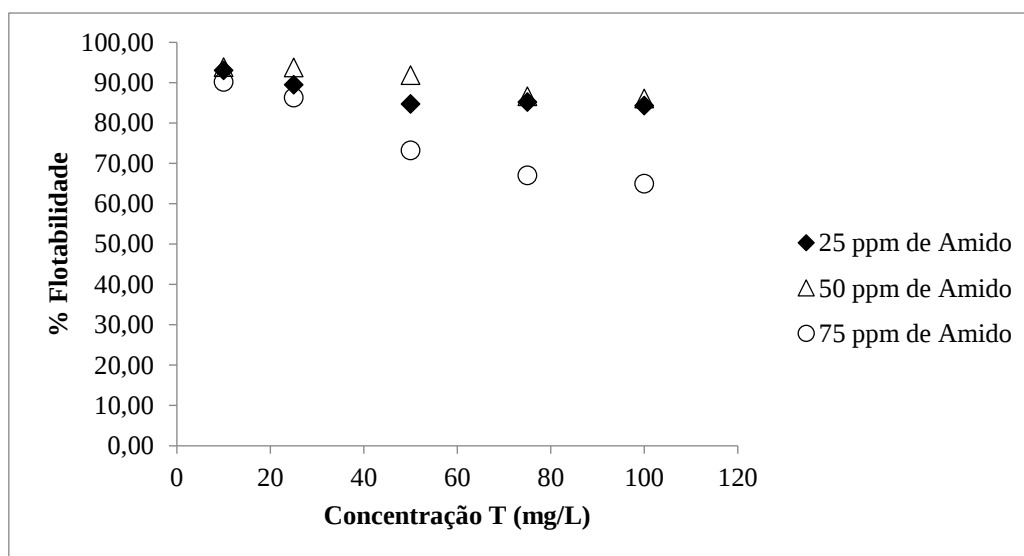
80%, reforçando a importância do papel desempenhado pelo depressor no sistema em análise.

O amido de milho comercial apresenta melhor atuação depressora na faixa de alta concentração, acima de 70 mg/L, sendo o melhor resultado na concentração de 75 mg/L. Também observa-se que a concentração de 25 mg/L é o suficiente para promover uma boa ação depressora sobre a hematita.

5.4 Análise da flotabilidade do quartzo com diferentes concentrações de tensoativo e amido

A gráfico 6 apresenta os resultados dos ensaios de microflotação do quartzo utilizando nanoemulsão com diferentes concentrações de coletor FLOTIGAM EDA e depressor amido de milho.

Gráfico 6: Estudo da flotabilidade para o quartzo usando nanoemulsão com diferente concentração de amido/tensoativo.



Aqui o gráfico faz o estudo da influência da concentração de coletor e depressor no processo de flotação do quartzo objetivando verificar se a adição de depressor na nanoemulsão reduz o percentual de flotabilidade da ganga silicática.

Observa-se que à medida que se aumenta a concentração de depressor no processo, ocorre um decréscimo da flotação do quartzo para concentrações acima de 50 mg/L de tensoativo. Aguiar (2014) observou que o aumento das dosagens de tensoativo, no processo tradicional, a flotabilidade do quartzo chega a cair de 95% a 35% como consequência do aumento da dosagem de amido. No entanto, embora a flotabilidade apresentada no gráfico 5.6 tenha caído 20%, esse valor não foi significativo para

prejudicar o processo de flotação usando nanoemulsão. Assim, o estudo mostrou que o tensoativo nanoemulsionado consegue continuar interagindo mais significativamente com a superfície do quartzo mesmo na presença de altas concentrações de depressor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos assuntos abordados e gráficos analisados, conclui-se que a separação e recuperação do minério de ferro foi mais eficiente quando utilizado o processo de flotação com a solução nanoemulsionada.

De acordo com os ensaios de microflotação realizados, foi comprovado que o parâmetro concentração do tensoativo afeta diretamente na flotação dos minerais em análise, em altas concentração de tensoativo e amido a uma queda de até 20% na flotação do quartzo. Desta forma mostra-se considerável a investigação de novas condições de processos que possam amenizar esses efeitos.

O pH da solução também exerce influência no processo e foi possível verificar que em pH básico (10) os melhores resultados são obtidos. Para o quartzo, apresentou flotabilidade máxima de aproximadamente 97%, onde nesta faixa de pH a amina apresenta características de coletor e espumante simultaneamente.

Tendo em vista a crescente exploração e produção de ferro, as jazidas de minério de ferro estão apresentando altos teores de sílica, sendo necessário a busca por processos eficazes e com baixo custo, sendo assim, fica notável a importância do presente trabalho diante do atual parâmetro em que a mineração se encontra e é uma alternativa para trabalhar com todos os reagentes de flotação em uma única fase e etapa no processo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M.A.M., **Clatratos na flotação catiônica reversa de minérios de ferro**. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- BELLOCQ, A. M.; ROUX, D. **Microemulsions Structure and Dynamics**, S. Friberg, P. Bothorel Eds. 1987.
- CASSOLA, Monica Speck; BARTALINI, Nilson Mar. Comportamento de coletores para o tratamento dos minérios de ferro através da flotação reversa. **Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo**, v. 6, n. 4, p. 215-219, 2010.
- DAMASCENO, Bolivar PGL et al. Microemulsão: um promissor carreador para moléculas insolúveis. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 32, n. 1, p. 9-18, 2011.
- de MESQUITA L. M. S., LINS F. F., TOREM M. L. **Interaction of a hydrophobic bacterium strain in a hematite-quartz flotation system**. International Journal of Mineral Processing, v. 71, n. 1-4. p. 31 – 44. 2003.
- DNPM, Anuário mineral Brasileiro**. Brasília (DF): Departamento Nacional de Produção Mineral, 2016.
- FORMARIZ, Thalita Pedroni et al. Microemulsões e fases líquidas cristalinas como sistemas de liberação de fármacos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, p. 301-313, 2005.
- FUERSTENAU, M. C.; **Flotation, In: Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers (AIME 232)**, A. M. Gaudin Memorial Volume, p. 24- 28, 1976.
- GEO - BANCO DE DADOS MUNDIAL (Ed.). **Mineração: Minério de Ferro**. 2014. Disponível em: <https://geobancodedados.wordpress.com/category/economia/mineracao/>. Acesso em: 21 abr. 2018.
- J. Liang, N. Dub, S. Song, W. Hou. Magnetic demulsification of diluted crude oil-in-water nanoemulsions using oleic acid-coated magnetite nanoparticles. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 466, p.197-202, 2015.
- LOPES, G. M.; LIMA, R. M. F; **Flotação direta de minério de ferro com oleato de sódio**. Ouro Preto: Revista Escola de Minas (REM), v.62(3), p.323-329, 2009;
- LOPES, G.M. **Flotação direta de minério de ferro**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. 175p. (Dissertação de Mestrado).

MARQUES, M. L. S.; **Comportamento de minérios de ferro na concentração por flotação na presença de lamas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

NASCIMENTO, D. R. **Flotação aniônica de minério de ferro**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Mineral. UFOP. Ouro Preto – MG, 115p. 2010.

PINTO, C. L.; ARAUJO, A. C.; PERES, A. E. C.; *The effect of starch, amylose and amylopectin on the depression of oxide-minerals*. In: Minerals Engineering, Great Britain, V.5, n-3-5, p.469-478, 1992;

Silva R. R. R. 2004. **Sistemas de reagentes surfatantes na flotação catiônica reversa de minérios de ferro**. (Dissertação). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 120 p.

SILVA, A.S. **Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central**. 2008. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, J. H. Estudo da captura de óleo em uma coluna de flotação utilizada para o tratamento de água produzida. 63 p. **Monografia (Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: DEQ/PRH.**

SOUSA, N. D. **Depressores alternativos na flotação catiônica reversa de minério de ferro**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Organizacional) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

TADROS, Tharwat F. **Applied surfactants: principles and applications**. John Wiley & Sons, 2006.