



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



FABIOLLA GOMES VIANA

**IMPACTO DA PRESENÇA DOS ÍONS Ca^{2+} e Mg^{2+} NA MICROFLOTAÇÃO DO
QUARTZO**

OURO PRETO

2021

FABIOLLA GOMES VIANA

IMPACTO DA PRESENÇA DOS ÍONS Ca^{2+} e Mg^{2+} NA MICROFLOTAÇÃO DO
QUARTZO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Tratamento de minérios

Orientadora: Dra. Francielle Câmara Nogueira

Coorientadora: Dra. Marina de Medeiros Machado

OURO PRETO

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V614i Viana, Fabiolla Gomes.
Impacto da presença dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} na microflotação do
quartzo. [manuscrito] / Fabiolla Gomes Viana. - 2021.
53 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Francielle Câmara Nogueira.
Coorientadora: Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Beneficiamento de minério. 2. Flotação. 3. Quartzo. 4. Plasma
(Gases ionizados). I. Nogueira, Francielle Câmara. II. Machado, Marina de
Medeiros. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.765

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de agosto de 2021, às 10h:00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da discente **Fabiolla Gomes Viana**, intitulado: "**IMPACTO DA PRESENÇA DOS ÍONS Ca²⁺ e Mg²⁺ NA MICROFLOTAÇÃO DO QUARTZO**", perante comissão avaliadora constituída pela orientadora do trabalho, Prof.^a Dr.^a Francielle Câmara Nogueira, da Coorientadora Dr.^a Marina de Medeiros Machado, da Ma. Stephânia da Consolação Silva Nogueira e do Eng.^o de Minas Frederico Vilela Carvalho. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, a presidente da comissão examinadora concedeu à discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, a presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 15 (quinze) minutos para perguntas e respostas à candidata sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro a Ma. Stephânia da Consolação Silva Nogueira, segundo, o Eng.^o de Minas Frederico Vilela Carvalho, terceiro a Dr.^a Marina de Medeiros Machado e em último, a Prof.^a Dr.^a Francielle Câmara Nogueira. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, a presidente solicitou à discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão da discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que a discente foi aprovada por unanimidade, com a nota 10 (dez), sob a condição de que a versão definitiva do trabalho incorpore todas as exigências da comissão, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 15 (quinze) dias. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pela presidente da comissão. A discente, por sua vez, encaminhará para o Repositório Institucional da UFOP uma versão final, contemplando todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Ouro Preto, 20 de agosto de 2021.

Presidente: Prof.^a Dr.^a Francielle Câmara Nogueira

Co-orientador: Dr.^a Marina de Medeiros Machado

Membro: Ma. Stephânia da Consolação Silva Nogueira

Membro: Eng.^o de Minas Frederico Vilela Carvalho

Discente: Fabiolla Gomes Viana

A minha amada mãe

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e perseverança durante os anos da graduação;

A minha amada mãe Meire e minha irmã Francielly, vocês foram meu combustível, esse diploma é para vocês;

Aos meus avós Maternos Lia e Geraldo, obrigada pela criação que me deram e por nunca terem desistido de mim;

Aos meus avós paternos Marlene (in memoriam) e José Manuel (in memoriam), vocês pra mim são inspiração de um amor autêntico. Vovô espero que o convite chegue aí no céu;

A Marcos Luiz, obrigada por sempre me incentivar e por não me deixar desistir do meu sonho;

Ao meu quarteto inseparável (Luis Henrique, Luiz Fernando e Larissa), vocês tornaram meus dias de luta mais suaves, obrigada por todos os momentos compartilhados;

Aos meus pequenos (João Lucas, Alicia, Enzo, Luisa e Inácio), a inocência de vocês me fez acreditar em dias melhores;

A minha Tia Margareth, por todo carinho maternal comigo;

Ao meu tio Jorge, obrigada por cada eu te amo e por cada gesto de carinho;

A Polyana Andrade, obrigada por me aturar e sempre cuidar de mim miga, amo você;

Aos meus tios, vocês sempre me apoiaram e cuidaram de mim de modo especial;

Aos friends (Carol, Dudu, Melyna, Aurora, Dimas, Polyana, Miriam, Vitor), vocês são um presente da UFOP que quero levar para o resto da minha vida;

A minha amada Professora Francielle, você reflete o espelho da mulher que almejo me tornar;

Ao professor Carlos Pereira, você é um exemplo mestre;

A Marina Medeiros por todos os ensinamentos e experiências compartilhadas;

A Alexandra e Maycon, obrigada por não desistirem de mim e por me motivar;

A Daniela e Thiago Rafael, vocês me arrancaram sorrisos quando eu mais precisei;

A Tatiana Rezende, Ronan Mendes e amigos da UNIPAC obrigada por toda amizade e por fazerem parte dessa trajetória;

A Vaneide (*in memoriam*), mesmo que não estejamos juntas fisicamente, sei que está comigo;

A todos os docentes, que me impulsionaram a ser uma profissional competente e um ser humano leal.

Feliz é o homem que persevera na provação, porque depois de aprovado receberá a coroa da vida,
que Deus prometeu aos que o amam.

Tiago 1:12

RESUMO

A água é um recurso natural, essencial para manutenção da vida humana, presente em todas as atividades desenvolvidas pelo homem, como na mineração, agropecuária e na produção industrial. A mineração por sua vez requer grandes volumes de água em todas suas etapas, principalmente no beneficiamento de minérios. Etapas como a flotação, cuja finalidade é concentrar minérios, exigem uma água de qualidade para que a recuperação do mineral de interesse seja eficaz, sendo que a utilização de água dura, com alta concentração de cátions de cálcio e magnésio dissolvidos, podem comprometer a seletividade de tais processos. Neste trabalho, foi realizado uma pesquisa para verificar a influência dos íons presentes em águas duras na flotabilidade do quartzo. Realizaram-se baterias de ensaios de microflotação, inicialmente para estabelecer a concentração do coletor dodecilamina referente a maior flotabilidade do mineral em água destilada. Em seguida, foram utilizadas amostras de água com concentrações pré-definidas de cálcio e magnésio e uma amostra de água naturalmente dura. Por fim, foram realizados ensaios preliminares com intuito de possibilitar a redução da dureza da água por meio do tratamento não térmico via plasma. Verificou-se uma grande redução de flotabilidade, quando a água utilizada na flotação é dura. O plasma mostrou-se eficiente no tratamento da amostra naturalmente dura, contudo as amostras de água dura manipuladas apresentaram resultados de flotabilidade próximos a condição sem o tratamento proposto. Concluiu-se que os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} competem com o coletor por sítios negativos o que acarreta em uma redução significativa na flotabilidade do quartzo, sendo que a presença dos íons magnésio tem um impacto maior sobre a flotabilidade do mineral em questão. Portanto, conclui-se que estudos futuros sobre a utilização do plasma para o tratamento da água dura podem gerar um grande avanço tecnológico.

Palavras-chave: Água dura. Flotação. Quartzo. Dodecilamina. Plasma.

ABSTRACT

Water is a natural resource, essential for the maintenance of human life, present in all activities carried out by man, such as mining, farming and industrial production. Mining, in turn, requires large volumes of water at all stages, especially in the processing of ores. Steps such as flotation, whose concentration is ores, focus on quality water so that the recovery of the mineral of interest is effective, and the use of hard water, with a high concentration of calcium and magnesium cations, can compromise selectivity, can compromise the selectivity of such processes. In this work, a research was carried out to verify the influence of ions present in hard waters on the flotability of quartz. Batteries of microflotation tests were carried out, in order to establish an ideal concentration of Dodecylamine, to verify the impact on flotability in the presence of a naturally hard water sample, as well as in waters containing calcium and magnesium. Preliminary tests were also carried out in order to enable the reduction of water hardness through non-thermal treatment via plasma. It was found that there is a great reduction in flotability when the water used in flotation is hard. The plasma proved to be efficient in treating the naturally hard sample, however, as the manipulated hard water flotability results close to the condition without the proposed treatment. It is concluded that the Ca^{2+} and Mg^{2+} cations compete with the collector for negative sites, which leads to a reduction in the flotability tests and that future studies of plasma treatment for hard water can generate a great technological advance.

Keywords: Hard Water. Flotation. Calcium. Dodecylamine. Plasma.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de uma usina de beneficiamento de minério de ferro.....	15
Figura 2 - Esquema de utilização de água em mineração de ferro	16
Figura 3 - Consumo de água nas instalações da empresa Vale ao longo dos anos	17
Figura 4 - Captação de água na Vale.....	17
Figura 5 - Diagrama de concentração iônica para 1×10^{-4} /L de dodecilamina.....	19
Figura 6 - Influência da qualidade da água na flotação de quartzo com dodecilamina (400 g/t).....	19
Figura 7 - Efeito da concentração de dodecilamina da flotação de quartzo, em pH 8, para os diferentes tipos de água	20
Figura 8 - Comportamento atômico das partículas em estado gasoso e no estado de plasma.....	23
Figura 9 - Sequência de preparação da amostra de quartzo utilizada nos experimentos de microflotação.....	28
Figura 10 - Tubo de Hallimond utilizado nos experimentos	32
Figura 11 - Reator de Plasma modelo Ponta-plano.....	34
Figura 12 - Montagem utilizada nos ensaios de abrandamento da água dura	35
Figura 13 - Flotabilidade do quartzo em função da concentração da dodecilamina (DDA)	38
Figura 14 - Ensaios de microflotação na presença dos íons cálcio	39
Figura 15 - Diagrama de especiação do cálcio, para 1×10^{-3} M $[Ca^{2+}]$	39
Figura 16 - Ensaios de microflotação na presença de íons magnésio	40
Figura 17 - Diagrama da concentração logarítmica do cátion Mg^{2+} com concentração de 10^{-4} M.....	41
Figura 18 - Flotabilidade do quartzo em água destilada e em água naturalmente dura	42
Figura 19 - Titulação de água naturalmente dura com EDTA	42
Figura 20 - Mudança de coloração na titulação com EDTA	43
Figura 21 - Flotabilidade do quartzo após o tratamento das soluções de água dura via plasma.....	43
Figura 22 - Mudança de coloração das soluções preparadas a partir de cloretos de cálcio após o tratamento via plasma	44

Figura 23 - Variações do pH e da concentração de íons de cálcio durante um teste de precipitação45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Importância da mineração para sociedade.....	13
3.2 Utilização da água no setor mineral	13
3.3 Água na flotação	18
3.4 Água dura.....	21
3.5 Tratamento da água dura	22
3.5.1 Plasma	23
4. METODOLOGIA.....	27
4.1 Levantamento da problemática da água dura	27
4.2 Preparação da amostra de quartzo	27
4.3 Determinação da densidade.....	28
4.4 Preparação das soluções de cloreto de cálcio	29
4.5 Preparação das soluções de cloreto de magnésio	29
4.6 Preparação de Dodecilamina – DDA.....	30
4.7 Preparação de soluções de hidróxido de sódio (NaOH).....	30
4.8 Preparação de soluções de ácido clorídrico	31
4.9 Microflotação	31
4.9.1 Ensaios de determinação da concentração de DDA	33
4.10 Influência dos íons de cálcio e magnésio na flotabilidade	33
4.10.1 Ensaios de microflotação na presença de cálcio e magnésio	33
4.10.2 Ensaios de microflotação com água naturalmente dura.....	34

4.11 Abrandamento da água via Tratamento no plasma.....	34
4.10 Titulação com EDTA	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Problemática da água dura na mineração.....	36
5.2 Flotabilidade do quartzo em função da concentração de coletor	37
5.3 Flotabilidade do quartzo na presença de íons Ca^{2+} e Mg^{2+}	38
5.4 Flotabilidade do quartzo na presença de água naturalmente dura.....	41
5.5 Proposta de um tratamento alternativo para o abrandamento de água dura via plasma.....	42
6 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso utilizado em diversas fases da mineração, principalmente no beneficiamento, cujas etapas são realizadas predominantemente a úmido (LIMA, 2018). Contudo não basta que haja água disponível, suas características físico-químicas, tais como cor, dureza, turbidez e pH, devem ser compatíveis com as exigências dos processos (PINHEIRO, 2011).

A flotação é um método de concentração em que os minerais são separados devido à indução da hidrofobicidade seletiva de uma das partículas a se separar. As partículas hidrofobizadas pela ação de um coletor são transportadas por bolhas introduzidas no sistema, dando, assim, caminhos diferentes às espécies a serem separadas (BALTAR, 2011). É comum flotar as partículas de interesse, contudo o oposto também é aplicável, sendo esta denominada de flotação reversa. A flotação reversa é aplicada quando a massa de mineral útil é superior à de minerais não úteis, como no caso do minério de ferro, onde o quartzo é flotado e a hematita deprimida (FERREIRA, 2015).

A flotação reversa do minério de ferro pode ter seu sucesso comprometido pela presença de cátions dos elementos cálcio e magnésio. A presença desses íons na polpa pode resultar na competição com os cátions do coletor pelos sítios negativos da superfície mineral além de outros problemas tais como a formação de precipitados com o coletor, agregação de partículas finas podendo levar também a ativação indesejada de minerais de ganga (PINHEIRO, 2011; BALTAR, 2010). As águas que apresentam alta concentração de íons de cálcio e magnésio, são classificadas como duras (STRACI, 2012).

Diante disso, são necessários estudos a fim de abrandar a água utilizada nesse processo. Para tanto, realizou-se esta pesquisa cujo objetivo é verificar o impacto da água dura no processo de flotação do quartzo, bem como propor um método de tratamento alternativo para redução da dureza da água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é verificar a influência dos íons cálcio e magnésio presentes em águas duras na flotabilidade do quartzo.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Levantar a problemática da água dura na flotação;
- b) Medir a flotabilidade do quartzo em diferentes concentrações do coletor dodecilamina;
- c) Verificar a influência de diferentes concentrações dos íons cálcio e magnésio na flotabilidade do quartzo;
- d) Comparar a flotabilidade do quartzo condicionado com água destilada e com água naturalmente dura;
- e) Propor o abrandamento da água dura via tratamento por plasma.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura relacionada aos temas relevantes a esta monografia.

3.1 Importância da mineração para sociedade

A mineração é uma atividade essencial ao desenvolvimento humano, uma vez que os minerais estão presentes em boa parte dos bens produzidos e utilizados pela sociedade. Além disso, trata-se de um empreendimento de suma importância para desenvolvimento econômico de um país, visto que promove a geração de empregos e arrecadação de impostos pela importação e exportação de recursos minerais (BRASIL MINING SITE, 2019).

Entretanto é necessário que essa atividade seja realizada de forma sustentável sendo necessária a busca contínua de métodos que conciliem a extração de minérios com as questões socioambientais (JEBER; PROFETA, 2018).

A mineração é uma atividade ampla que engloba muitas etapas. Além da exploração dos minérios presentes na crosta terrestre, envolve também a adequação destes para processos posteriores e/ou para comercialização imediata. Ao longo dos anos, muitas técnicas de lavra e processamento mineral foram desenvolvidas e aprimoradas, possibilitando o tratamento de minérios cada vez mais complexos e de difícil beneficiamento (JEBER; PROFETA, 2018).

3.2 Utilização da água no setor mineral

Segundo Lima (2018), a mineração tem se empenhado para promover o uso consciente da água. De acordo com o Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos do ano de 2017, publicado pela Agência Nacional das Águas (ANA), a mineração utiliza 1,6% da água no país, cerca de 1,024 bi m³/ano.

Em de 13 de junho de 2005 foi estabelecido, pela Política Nacional de Recursos Hídricos e pela Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais,

regulamentada pelo Decreto 44.046, a cobrança pelo uso da água, até então sem nenhum ônus para as empresas. Em 2014, a Anglo American informou que pagou cerca de R\$ 900 mil pela captação, a Manabi declarou ter pago R\$ 542,3 mil, já a Samarco e a Ferrous não informaram os valores pagos por essa utilização (PORTO, 2015).

O diretor de Assuntos Ambientais do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), Rinaldo Mancin, ressalta que a água é utilizada em distintas fases da mineração, como no processo de lavra, no processamento e no transporte através de minerodutos. Os minérios, após serem lavrados, são submetidos a operações de processamento mineral a fim de adequá-los às características pré-estabelecidas pelos clientes ou aos processos posteriores. A maioria das etapas do processamento mineral é realizada a úmido, sendo necessário um grande volume de água. A Tabela 1 apresenta dados do consumo de água associado à produção de alguns minérios.

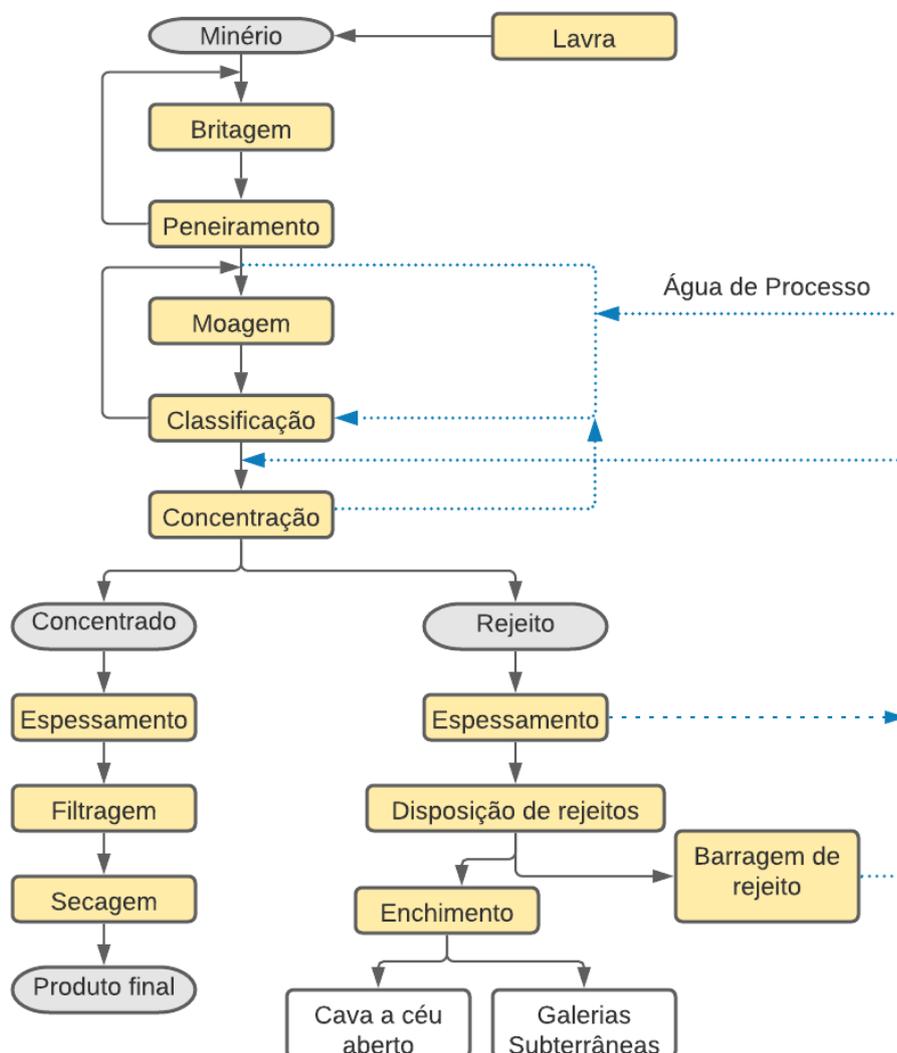
Tabela 1- Consumo de água na produção mineral

Minério	(m³/t produzida)
Manganês	0,03 a 0,17
Potássio	0,11
Minério de ferro	0,18 a 1,0
Ouro	0,14 a 2,28
Titânio	1,58
Cobre	2,03
Fosfato	6,6 a 13,8

Fonte: CNI e IBRAM (2012).

O tratamento dos minérios compreende várias etapas, entre as quais se tem a fragmentação do minério, cujo objetivo é a redução da granulometria, a classificação que separa as partículas por tamanho; a concentração, que visa a separação de partículas úteis das não úteis e as operações de separação sólido-líquido que adequam a umidade dos produtos. A Figura 1 apresenta uma sequência de operações do processamento mineral de uma usina de minério de ferro (LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA, 2004).

Figura 1 - Fluxograma de uma usina de beneficiamento de minério de ferro

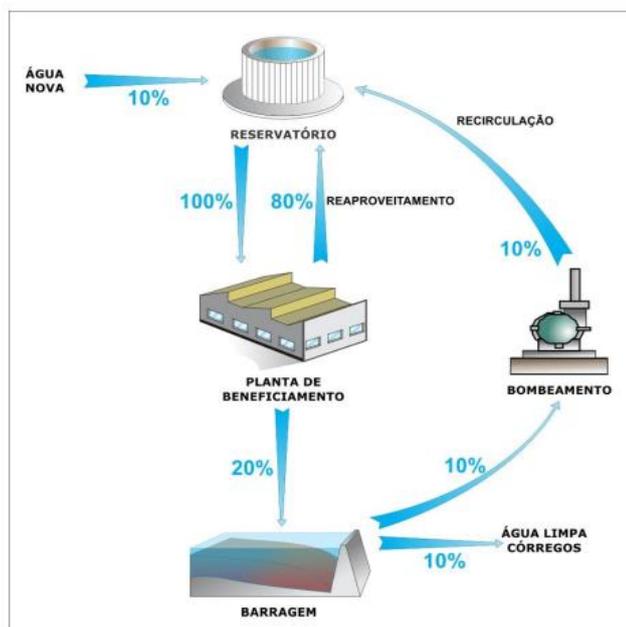


Fonte: Adaptado de LUZ; SAMPAIO; ALMEIDA (2004).

Recircular 100% da água do processo não é possível, contudo é essencial. Isso porque os órgãos ambientais vêm tornando mais rígida a legislação que determina as exigências de captação de água nova, bem como as características a serem cumpridas para devolução da água aplicada no processo ao meio ambiente (SAMPAIO et al., 2010).

As fontes atuais de captação da água para recirculação nos processos industriais são as barragens de rejeito. A Figura 2 apresenta um esquema de utilização e recirculação de água em uma mineração de ferro.

Figura 2 - Esquema de utilização de água em mineração de ferro



Fonte: Freitas (2012).

A água recirculada transporta íons dissolvidos, apresentando características próprias de pH, de salinidade e de turbidez que são diferentes das características de uma água nova, ou seja, de uma água captada diretamente de fontes naturais. Cada operação unitária do Tratamento de Minérios exige uma relação específica entre a quantidade de água nova e a água recirculada do processo (SAMPAIO et al., 2010).

Segundo o site institucional da Vale, em 2019, foi captado um volume total de 149 milhões de m³ de água para processos produtivos, volume 26% menor que o captado em 2018. Os efluentes líquidos gerados nas unidades operacionais da Vale são, sempre que possível, reutilizados nos processos da empresa. E, no ano 2019, foram descartados no meio ambiente 21,3 milhões de m³ de efluentes líquidos (VALE, 2021).

De acordo com o balanço hídrico da Vale, anualmente são captados 272 milhões de m³ de água proveniente, predominantemente, de fontes superficiais doces. O restante provém de origem subterrânea e uma minoria, de empresa de abastecimento. Deste total, 45,6% são de outras captações sem uso. A empresa reutiliza 82% da demanda total e, após o processo, as saídas representam 145 milhões de m³ de água, dos quais 60,7% são disponibilizados ao meio ambiente sem uso, 24,8% são disponibilizados a terceiros e à população e os 14,5% restantes são descartados após receber o devido

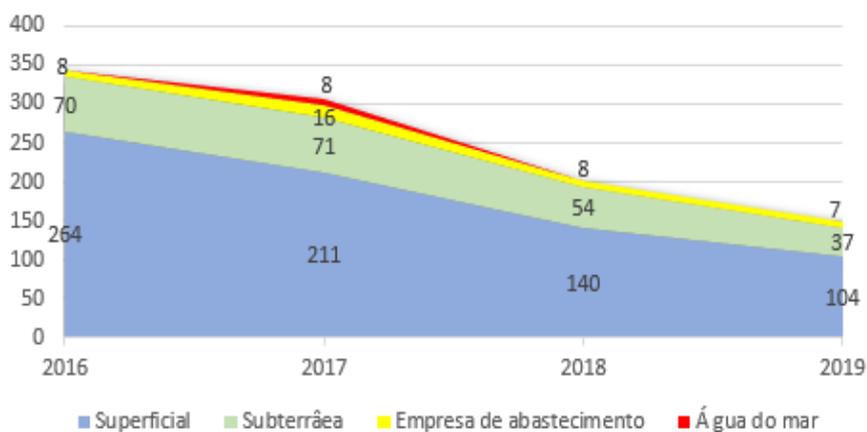
tratamento (VALE, 2021). As Figuras 3 e 4 apresentam os dados de consumo de água na empresa Vale.

Figura 3 - Consumo de água nas instalações da empresa Vale ao longo dos anos



Fonte: Adaptado da VALE (2021).

Figura 4 - Captação de água na Vale



Fonte: Adaptado da VALE (2021).

Observa-se que a água é amplamente utilizada no processamento mineral e a qualidade é determinante para o desempenho das operações unitárias, principalmente nas etapas de concentração. Com isso, é crescente o interesse sobre a origem da água que abastece a mineração, visto que suas características químicas estão diretamente relacionadas a sua fonte (OLIVEIRA, 2007).

3.3 Água na flotação

A flotação é um processo de concentração amplamente utilizado para o beneficiamento de diferentes espécies minerais, o qual se baseia na hidrofobicidade diferencial dos minerais presentes numa polpa, controlado pelo uso de reagentes químicos específicos (OLIVEIRA, 2007).

Na natureza, poucos minerais são naturalmente hidrofóbicos, ou seja, possuem afinidade com a fase gasosa. Majoritariamente, as espécies minerais tendem a se molhar ao serem imersas em água, caracterizando-se como hidrofílicas. A hidrofobicidade é uma característica superficial essencial para que ocorra a flotação, visto que é necessário haver essa diferença entre as partículas a serem separadas. Esse é um processo complexo devido às variáveis que precisam ser controladas para que o processo tenha êxito, como o pH, a temperatura, o tempo de condicionamento, a velocidade de agitação e o tempo de flotação (BALTAR, 2010).

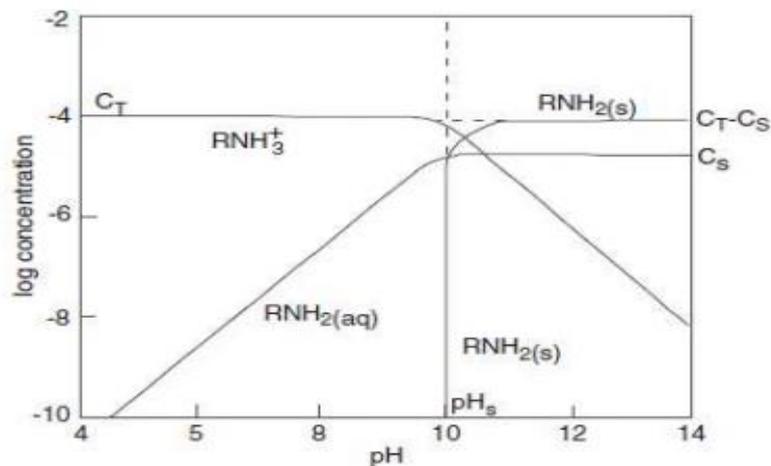
A composição química da água é determinante para o sucesso do processo de flotação, os elementos químicos dissolvidos nela podem afetar a flotação de diferentes modos, a saber: competição com coletor por sítios disponíveis na superfície mineral, formação de precipitados com o coletor, agregação de partículas finas, gerar a ativação indesejada de minerais de ganga, dificultando a coleta dos minerais de interesse (PINHEIRO, 2011; BALTAR, 2010).

No processamento de minério de ferro a presença de íons dissolvidos na água afeta diretamente a eficiência da etapa de concentração, visto que tais elementos interagem com os reagentes presentes no sistema. A concentração do minério de ferro é usualmente realizada por flotação reversa, na qual os minerais de ganga são flotados e os minerais de interesse permanecem na célula (FERREIRA, 2015). Na flotação do minério de ferro, utilizam-se coletores catiônicos representados pela amina. A adsorção desse coletor ocorre por atração eletrostática entre a superfície negativa do quartzo e a parte carregada positivamente da amina (SILVA, 2013).

As aminas são eletrólitos fracos que se dissociam em solução aquosa em função do pH, prevalecendo as espécies iônicas em uma faixa de pH ácida ou pouco alcalina e

predominando a espécie molecular em faixa de pH mais alcalina (VIANA, 2006). A Figura 5 apresenta o diagrama de dissociação da amina. Observa-se que em pH 10,5 a concentração de espécies moleculares é igual à concentração de espécies iônicas.

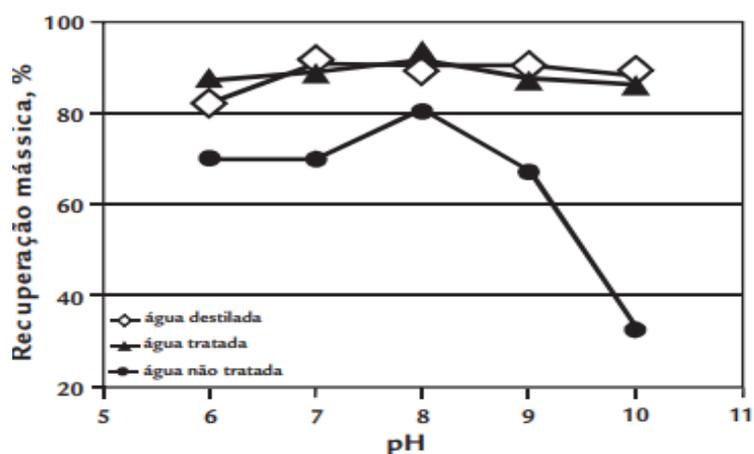
Figura 5 - Diagrama de concentração iônica para 1×10^{-4} L de dodecilamina



Fonte: Bulatovic (2007).

Pinheiro, Baltar e Leite (2012) pesquisaram sobre a importância da qualidade da água na flotação com amina e verificaram que os testes realizados com água dura apresentaram recuperação mássica inferior aos testes realizados com água tratada e com água destilada para toda faixa de pH analisada, conforme apresentado no gráfico da Figura 6. Os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , presentes na água dura, competem com a espécie RNH_3^+ pelos sítios negativos da superfície mineral.

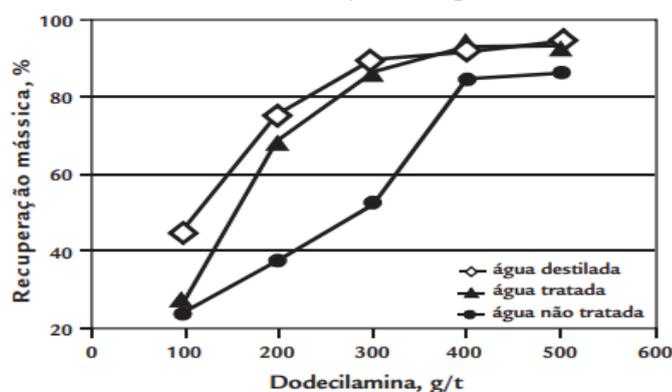
Figura 6 - Influência da qualidade da água na flotação de quartzo com dodecilamina (400 g/t)



Fonte: Pinheiro, Baltar e Leite (2012).

Na Figura 7, observa-se que a utilização de água dura aumenta o consumo do coletor para recuperar o mineral de interesse. Para dosagem igual a 300g/t do coletor, tem-se uma recuperação mássica próxima a 50%, com a utilização de água dura. Na mesma dosagem, utilizando água tratada e destilada, é possível uma recuperação mássica próxima a 90%.

Figura 7 - Efeito da concentração de dodecilamina da flotação de quartzo, em pH 8, para os diferentes tipos de água



Fonte: Pinheiro, Baltar e Leite (2012).

Além do minério de ferro, a concentração de outros sistemas minerais também é afetada pela qualidade da água. Pesquisadores como Rao et al. (1988) e Espinosa et al. (1987) encontraram dificuldade na flotação de pirocloro ((Na,Ca)₂Nb₂O₆(OH,F)) utilizando uma água reciclada, sendo necessária a remoção dos íons de cálcio para que o minério fosse flotado. Nos minérios, o pirocloro vem acompanhado de outros óxidos (magnetita, anatásio, ilmenita) e argilas (minério de Araxá-MG). Para flotar o pirocloro é necessária uma etapa de condicionamento do minério com SiF₆⁻² para ativar as partículas de pirocloro, seguida da adição do coletor (RNH₃⁺) e um surfactante não-iônico (ROH).

Na flotação de zinco oxidado, a qualidade da água também é determinante para o sucesso do processo. A Votorantim Metais, Unidade de Beneficiamento Vazante, flota os minérios oxidados de zinco utilizando como coletor a amina primária, quimicamente denominada dodecilamina (C₁₂H₂₅NH₂) (MARTINS, 2007). Na empresa, utiliza-se água dura no processamento mineral, pois é a água disponível na região devido aos

terrenos cársticos. Tal água utilizada nos processos industriais pode gerar redução da seletividade do processo e maior consumo de reagentes (Zorzal et al., 2007).

Rey (1965) verificou experimentalmente que os testes realizados com amina emulsificada sofreram menor efeito em relação à utilização da água dura, além de proporcionar a redução do grau de deslamagem, diminuindo as perdas do metal no rejeito (REY apud SILVA, 2006).

Rey (1965) também verificou que a presença de cátions de cálcio na água é prejudicial à concentração de minerais oxidados de zinco, pois esses íons potencializam a ação prejudicial da lama. Ele ressaltou que para obter melhores resultados é necessária a adição de carboxil-metil-celulose, adição de emulsão gás-óleo ou óleo combustível, utilização de uma amidoamina ou adição de xantato de cadeia longa (REY, 1965 apud BALTAR, 1980)

3.4 Água dura

Segundo Straci (2012), as águas que apresentam elevada concentração de íons de cálcio e magnésio dissolvidos são classificadas como duras. Esses íons são provenientes de depósitos subterrâneos de calcários calcíticos e/ou dolomíticos, que são dissolvidos pela água agregando a ela uma grande quantidade de íons.

Embora com menor relevância, elementos como zinco, estrôncio, ferro e alumínio também podem ser levados em conta ao medir a dureza da água. São consideradas como água dura aquelas com concentração acima de 150 mg/l de cálcio, conforme apresentado na Tabela 2 (STRACI, 2012).

Tabela 2 - Classificação de águas de acordo com a dureza

Classificação	Níveis de dureza mg/L CaCO₃
Branda	0 – 75
Moderadamente dura	75 – 150
Dura	150 – 300
Muito dura	>300

Fonte: Saneamento de Goiás S/A (2006).

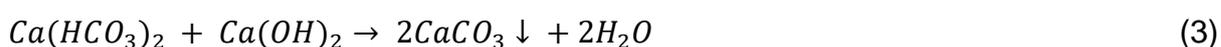
Segundo Menegon, Gerente da Divisão de Qualidade das Águas e do Solo da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), constata-se no mapa geológico do território brasileiro solos com características de dureza nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (STRACI, 2012).

3.5 Tratamento da água dura

O abrandamento de águas duras consiste na retirada do cálcio (Ca²⁺) e do magnésio (Mg²⁺) presentes na água, através de processos como precipitação química ou da troca iônica (ACQUAMÁXIMA, 2019).

Os abrandadores são equipamentos compostos por um vaso de pressão normalmente produzido em aço carbono ou fibra de vidro, com resinas catiônicas em seu interior, responsáveis pela remoção da dureza. As vazões dos abrandadores são variadas e podem ser automáticos ou não, elétricos ou não. (ACQUAMÁXIMA, 2019).

O abrandamento pode ser realizado por precipitação química ou por troca iônica. No processo de abrandamento por precipitação química adiciona-se cal (CaO) e/ou carbonato de sódio (Na₂CO₃), que, ao reagirem com a água dura, precipitam o cálcio e o magnésio. As equações a seguir representam a sequência de reações responsáveis por esse processo (SILVA; CARVALHO, 2020):



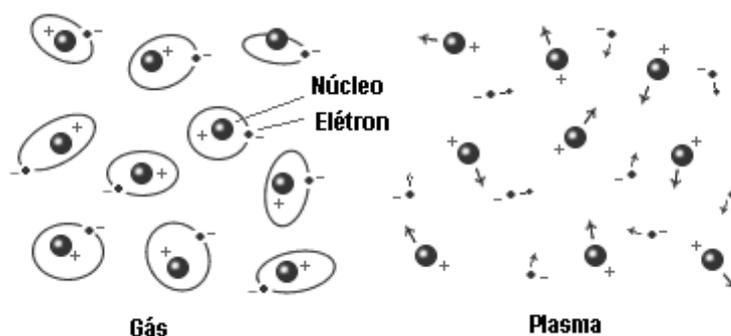


Já no processo de troca iônica a água a ser tratada é submetida a um leito de resina catiônica que irá promover a substituição dos íons de cálcio e de magnésio presentes na água por íons de sódio. Essa resina consiste em uma pequena esfera de polímero poroso com uma estrutura molecular carregada negativamente, mas que também carrega um íon positivo que pode ser trocado pelo íon de sódio. Os íons de cálcio e de magnésio, ao atravessarem os poros da resina, são atraídos pela estrutura negativa dessa. O sódio, por ser solúvel, acaba com as incrustações causadas pelos outros dois sais (ACQUAMÁXIMA, 2019).

3.5.1 Plasma

O plasma é conhecido como o quarto estado da matéria, sendo este um gás ionizado constituído de elétrons livres, íons e átomos neutros, em proporções variadas e que apresentam um comportamento coletivo (FERREIRA, 2004). A Figura 8 traz um comparativo da disposição atômica da matéria em estado gasoso e em estado de plasma.

Figura 8 - Comportamento atômico das partículas em estado gasoso e no estado de plasma



Fonte: <https://trad.fis.unb.br/plasmas/plasma.htm>

É importante ressaltar que nem todo gás ionizado é considerado plasma. Para um meio ser considerado plasma, quatro características devem ser satisfeitas, são elas:

neutralidade macroscópica de carga, comprimento de Debye, parâmetro de Plasma (condição $g \ll 1$, sendo essa a energia necessária para iniciar a geração do plasma) e a Frequência de Plasma (ALVES, 2019 apud GOMES, 2011).

Não há na literatura critérios específicos para classificação dos plasmas, em virtude da expressiva variedade de condições físicas que ele pode apresentar. Os plasmas podem ser classificados em função do seu intervalo de pressão, do tipo de gás utilizado, do modo de produção, da densidade, da temperatura (ALVES, 2019). Contudo o mais usual é classificá-los em naturais e artificiais, de acordo com sua origem.

Segundo Felipini (2005), o plasma pode ser de origem natural ou artificial. É natural quando se forma por vento solar, aurora boreal, nebulosas, descargas elétricas e corona solar (é importante salientar que a maioria dos objetos astronômicos é formado por plasma natural) (ALVES, 2019). É artificial quando o plasma é produzido em laboratórios, sendo classificados como plasma de alta temperatura, plasma térmico e plasma não térmico.

Os plasmas artificiais, produzidos por processos não naturais, estão presentes em diversos produtos, como televisores, lâmpadas fluorescentes, cortes e solda. Esse material também é aplicado no tratamento de efluentes líquidos e gasosos (GERRITY et al., 2010); na esterilização de objetos cirúrgicos (ROMANO; QUELHAS); na modificação química de superfícies de polímeros e pré-tratamento de pinturas (SILVA et al., 2012); na descontaminação de alimentos (ARAUJO; BEZERRA; PROCORIO, 2017), entre outros.

O plasma apresenta inúmeras aplicações, que foram descobertas graças às pesquisas em fusão nuclear. Gradualmente, essas descobertas foram incorporadas aos processos industriais a partir da década de 60, e a utilização do plasma se destaca na indústria eletrônica, sendo aplicada em mais de 85% de seus processos. Devido a essa utilização de plasmas foram desenvolvidos novos materiais, como filmes finos de diamantes, fuelerenos e nanotubos, materiais resistentes à corrosão, entre outros. A vasta aplicabilidade do plasma fez com que os estudos sobre esse assunto se tornassem crescentes em todo o mundo, sendo foco de estudo em laboratórios de

pesquisa acadêmica, bem como em laboratórios industriais, como objetivo de desenvolver novas aplicações tecnológicas de plasmas (GALVÃO, 2006).

De acordo com Claire (2009), os plasmas são diferenciados conforme a temperatura dos elétrons. Quando a temperatura dos elétrons é superior a 70.000 K, são denominados plasmas de alta temperatura, abaixo desse valor, são denominados de baixa temperatura. Em plasma térmico, quando a temperatura dos elétrons é igual à temperatura do meio constituinte do plasma, ocorre equilíbrio termodinâmico local (MACHADO, 2009).

O plasma não térmico é caracterizado por sua baixa temperatura, próxima à ambiente, 300 K. Esse tipo de plasma não apresenta equilíbrio termodinâmico, sendo a temperatura do gás é muito menor que a temperatura dos elétrons (ALVES, 2019 apud RIDENTI, 2014). O plasma não-térmico pode ser definido como um meio altamente reativo e energético, formado por espécies químicas radicalares, iônicas, excitadas, neutras, fótons e elétrons de alta energia, em que o gás encontra-se em temperatura ambiente (FRIDMAN, 2008; D'AGOSTINO, 2008; ELIEZER e ELIEZER, 2001; ROTH, 1995; KIEFT, 2005).

Segundo Nascimento et al. (2009), o plasma tem duas características de expressivo interesse industrial: a obtenção de temperaturas e densidades energéticas mais elevadas que as alcançadas por métodos químicos ou outros e a produção de espécies energeticamente ativas que iniciam mudanças físicas ou reações químicas, dificilmente atingidas em condições normais.

A aplicação do plasma apresenta vantagens em relação a processos químicos tradicionais, pois a temperatura de seus componentes e a densidade de energia é muito superior, além da maior concentração de espécies quimicamente ativas e de maior energia (FRIDMAN, 2008), (KALIA et al., 2013), (JIANG et al., 2014).

A produção do plasma não-térmico se dá pela conversão de energia elétrica em energia química, mediante aplicação de uma diferença de potencial sobre um par de eletrodos metálicos que concentra um campo elétrico e supera a rigidez dielétrica do meio, proporcionando a ejeção e a aceleração de elétrons no sentido do campo

elétrico e em direção ao eletrodo terra (FRIDMAN, 2008; D'AGOSTINO, 2008 e ROTH, 1995).

De acordo com Fridman (2008), a chave do processo de plasma é a ionização, ou seja, a conversão de átomos neutros ou moléculas em elétrons e íons positivos.

4. METODOLOGIA

Este capítulo é composto pela descrição dos procedimentos experimentais realizados neste trabalho. Os ensaios foram desenvolvidos nos Laboratórios da Universidade Federal de Ouro Preto.

4.1 Levantamento da problemática da água dura

Com intuito de verificar os trabalhos já realizados que abordam a problemática da água dura na flotação, realizou-se pesquisas a plataforma Capes, bem como nos repositórios de diferentes universidades. Recorreu-se também a livros de referência na área para um melhor embasamento acerca da temática abordada.

4.2 Preparação da amostra de quartzo

Para obter uma amostra de 100 g de quartzo puro realizaram-se as etapas descritas a seguir:

- a) fragmentou-se uma amostra de quartzo com auxílio de um martelo;
- b) continuou-se a cominuição manual da amostra para adequá-la à granulometria requerida aos testes utilizando um gral de ágata;
- c) peneirou-se a amostra, separando a massa com granulometria compreendida entre 74 μ m e 212 μ m;
- d) homogeneizou-se a amostra em uma lona;
- e) pesaram-se alíquotas de 3 g de quartzo.

Na Figura 9 observa-se a sequência de preparação da amostra de quartzo utilizada nos testes de microflotação.

Figura 9 - Sequência de preparação da amostra de quartzo utilizada nos experimentos de microflotação



Fonte: Autoria própria.

4.3 Determinação da densidade

A densidade da amostra de quartzo foi determinada utilizando um picnômetro com volume igual a 100 ml. Para calcular a densidade da amostra, utilizou-se a Equação 11.

$$D_s = \frac{A_2 - A_1}{((A_4 + A_2) - (A_1 + A_3))} \quad (11)$$

Onde:

D_s = densidade dos sólidos;

A_1 = massa do picnômetro;

A_2 = massa do picnômetro + amostra;

A_3 = massa do picnômetro + amostra + água;

A_4 = massa do picnômetro + água.

O experimento foi realizado seguindo as etapas descritas a seguir:

- a) pesou-se o picnômetro vazio, previamente limpo e seco;
- b) adicionou-se a amostra de quartzo no picnômetro e, em seguida, pesou-se todo o conjunto;
- c) encheu-se o picnômetro com água até transbordar, secou-se a água de sua superfície externa;
- d) pesou-se o picnômetro contendo somente água.

4.4 Preparação das soluções de cloreto de cálcio

Para obtenção de soluções de água com concentrações previamente estipuladas dos íons Ca^{2+} , foi utilizado o reagente cloreto de cálcio (Fabricante - Êxodo), seguindo as seguintes etapas:

- a) adicionou-se 100 ml de água destilada em um béquer de 400 ml;
- b) adicionaram-se as quantidades pré-estabelecidas, de cloreto de cálcio ao béquer com água destilada;
- c) condicionou-se a solução por 5 min em um agitador magnético, garantindo a completa dissolução do reagente.

O cloreto de cálcio é um sal que, ao se dissociar em água, libera o cátion cálcio (Ca^{2+}) e ânions cloreto (Cl^-), conforme mostra a Equação 8.



As concentrações finais dos íons de cálcio utilizadas neste trabalho foram previamente estipuladas tendo por base as concentrações de água dura presentes em instalações industriais. Nesta pesquisa, utilizaram-se soluções preparadas com o cloreto de cálcio nas concentrações de Ca^{2+} iguais a 150 e 400 mg/l.

4.5 Preparação das soluções de cloreto de magnésio

Também foram preparadas soluções de água com concentrações previamente estipuladas dos íons Mg^{2+} , utilizando o reagente cloreto de magnésio (Fabricante - Synth), de acordo com as seguintes etapas:

- a) adicionou-se 100 ml de água destilada em um béquer de 400 ml;
- b) adicionaram-se as quantidades pré-estabelecidas de cloreto de magnésio ao béquer com água destilada;
- c) condicionou-se a solução por 5 min em um agitador magnético, garantindo a completa dissolução do reagente.

O cloreto de magnésio, ao se dissociar em água, libera o cátion magnésio (Mg^{2+}) e ânions cloreto (Cl^-), conforme mostra a Equação 9.



Neste trabalho, utilizaram-se soluções preparadas com o cloreto de magnésio nas concentrações de 150 e 200 mg/l.

4.6 Preparação de Dodecilamina – DDA

Preparou-se uma solução “mãe” do reagente coletor Dodecilamina, conforme os procedimentos descritos a seguir:

- a) pesou-se 1000 mg de DDA (Sigma Aldrich) e transferiu-se essa massa para um béquer de 400 ml;
- b) adicionaram-se 200 ml de água destilada ao béquer, a 40° C;
- c) adicionaram-se 0,45 ml de ácido clorídrico concentrado (37 % v/v);
- d) homogeneizou-se a solução, utilizando um agitador magnético até a completa solubilização do reagente;
- e) transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 1000 ml completando o volume com água destilada.

A partir dessa solução realizaram-se diluições obtendo-se as concentrações de 2,5 mg/l; 5 mg/l; 12,5 mg/l; 50 mg/l utilizadas nos ensaios de microflotação.

4.7 Preparação de soluções de hidróxido de sódio (NaOH)

Para o controle de pH, prepararam-se soluções de hidróxido de sódio (NaOH) nas concentrações 1 % p/v, 5 % p/v e 10 % p/v:

- a) pesou-se a massa de hidróxido de sódio referente a cada concentração (1 g; 5 g e 10 g) em um béquer seco e limpo;

- b) adicionaram-se 30 ml de água destilada e, com auxílio de um agitador magnético, homogeneizou-se o sistema até completa solubilização do soluto;
- c) transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 100 ml completando o volume com água destilada.

4.8 Preparação de soluções de ácido clorídrico

Para o controle de pH, também prepararam-se soluções de ácido clorídrico (HCl) nas concentrações 0,5 % v/v; 1 % v/v, 5% v/v e 10 % v/v:

- a) mediu-se o volume ácido clorídrico referente a cada concentração (0,5 ml, 1 ml; 5 ml e 10 ml) em uma pipeta;
- b) adicionaram-se 30 ml de água destilada a um béquer seco e limpo;
- c) transferiu-se o ácido para o béquer;
- d) homogeneizou-se a solução com auxílio de um agitador magnético;
- e) transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 100 ml, completando o volume com água destilada.

4.9 Microflotação

Com intuito de verificar a influência da água dura no processo de flotação do quartzo, realizaram-se ensaios de microflotação. Para isso, utilizou-se um Tubo de Hallimond, ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Tubo de Hallimond utilizado nos experimentos



Fonte: Autoria própria.

Todos os testes foram realizados em duplicatas, admitindo um desvio máximo igual a 5 % entre os resultados. As etapas para realização dos testes estão descritas a seguir:

- adicionaram-se ao Tubo de Hallimond, 3 g de quartzo ($150 \mu\text{m} < \text{SiO}_2 < 212 \mu\text{m}$), 10 ml de água e 10ml do coletor;
- condicionou-se o sistema por 1 minuto, sob agitação;
- adicionaram-se 300 ml de água destilada, em $\text{pH}=10,5$ ao tubo;
- abriu-se a válvula de gás nitrogênio com vazão entre 70 ml/l e 80 ml/l;
- flotou-se por 1 minuto;
- secaram-se e pesaram-se as frações flotadas e afundadas;
- calculou-se a flotabilidade através da Equação 10.

$$\text{Flotabilidade} = \frac{m_{\text{flotado}}}{m_{\text{flotado}} + m_{\text{afundado}}} \times 100 \quad (10)$$

4.9.1 Ensaios de determinação da concentração de DDA

Com objetivo de definir a concentração de coletor (DDA) que garantisse maior flotabilidade da amostra de quartzo realizaram-se testes de microflotação nas condições estabelecidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentração de coletor utilizadas nos experimentos

Teste	Concentração de dodecilamina (mg/l)
1	2,5
2	5
3	10
4	15,0
5	20,0
6	25,0

Fonte: Autoria própria.

4.10 Influência dos íons de cálcio e magnésio na flotabilidade

4.10.1 Ensaios de microflotação na presença de cálcio e magnésio

Após a determinação da concentração de coletor (25 mg/L) referente aos maiores valores de flotabilidade, realizaram-se testes de microflotação, variando as concentrações de cálcio e de magnésio, conforme sequência apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Ensaios com amostras de água dura preparadas

Teste	Amostra
1	150 mg/l de Ca^{2+}
2	400 mg/l de Ca^{2+}
3	150 mg/l de Mg^{2+}
4	200 mg/l de Mg^{2+}

Fonte: Autoria própria.

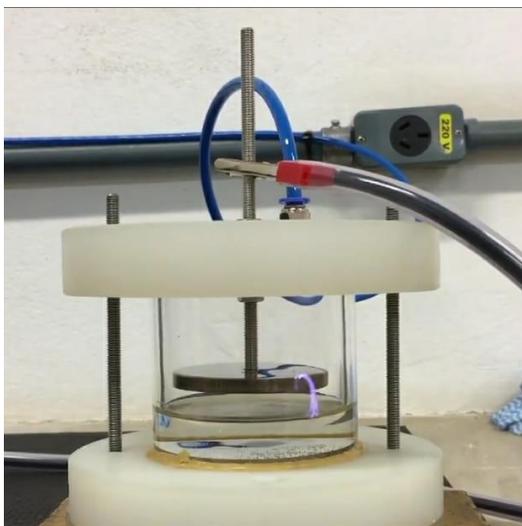
4.10.2 Ensaio de microflotação com água naturalmente dura

Por fim, realizaram-se ensaios com uma amostra de água naturalmente dura coletada em um circuito de uma usina de beneficiamento na cidade de Vazante. A concentração de DDA utilizada nesse teste foi de 25 mg/l, visto que esta foi a condição com maior flotabilidade em água destilada. O pH do sistema foi mantido em 10,5.

4.11 Abrandamento da água via tratamento no plasma

Com intuito de verificar se o reator de plasma é capaz de reduzir a dureza da água e, conseqüentemente, de aumentar a flotabilidade das amostras nas condições testadas, submeteram-se as amostras de água ao plasma não térmico modelo Plano-plano, pertencente à Universidade Federal de Ouro Preto (Figura 11).

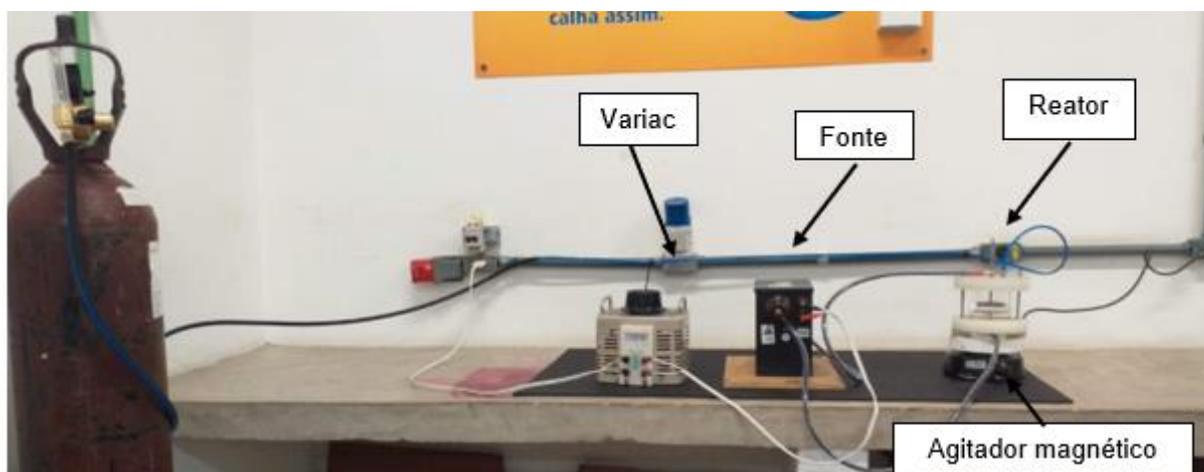
Figura 11 - Reator de Plasma modelo Plano-plano



Fonte: Autoria própria.

O gás argônio foi utilizado como fluido ionizante para geração do plasma não térmico. Utilizou-se uma fonte de corrente alternada de alta tensão (17.000 V), ligada a um transformador Variac, cuja finalidade era controlar a tensão elétrica do reator – optou-se por trabalhar com 50% da capacidade da fonte. Manteve-se a distância entre o plano e o nível da amostra (*gap*) igual a 0,8 mm. A Figura 12 apresenta a montagem utilizada no tratamento via plasma das amostras de água dura.

Figura 12 - Montagem utilizada nos ensaios de abrandamento da água dura



Fonte: Autoria própria.

Após o tratamento via plasma as amostras foram submetidas a testes de microflotação os quais foram realizados com 25mg/l de Dodecilamina em um ph 10,5.

4.10 Titulação com EDTA

Para verificar qual o tempo ideal de tratamento no plasma, realizaram-se testes de titulação das amostras de água naturalmente dura, depois de submetidas ao tratamento via plasma por diferentes tempos (5,10,15, 20, 25 e 30 min). Os ensaios de titulação foram realizados conforme a metodologia descrita a seguir:

- a) mediram-se 50 ml de água dura em uma bureta e, em seguida, transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 ml.
- b) adicionaram-se 3 ml de solução tampão e uma pitada do indicador Negro de Edicromo T.
- c) gotejou-se a solução de EDTA (0,01 mol/L) (fabricante - Fmaia), previamente preparada, até se observar a mudança e cor da solução.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados experimentais obtidos neste trabalho.

5.1 Problemática da água dura na mineração

A qualidade da água é determinante na eficiência das etapas envolvida no beneficiamento de minérios. O processo mais afetado por espécies químicas dissolvidos na água é a flotação. Segundo Baltar (2010) e Pinheiro (2011), a presença dos íons presentes na água dura utilizada para flotar minérios pode afetar seus resultados de diferentes maneiras:

- a) Competindo com o coletor por sítios disponíveis na superfície mineral, as espécies catiônicas competem com a amina pelos sítios negativos da superfície mineral. A probabilidade de colisão entre as bolhas e a partícula mineral é reduzida, visto que competição entre as espécies reduz a densidade de adsorção do coletor, afetando negativamente a cinética de flotação (SCHONS, 2013)
- b) Formando precipitados com o coletor, os íons presentes na água podem interagir com o coletor, formando produtos que podem vir a precipitar;
- c) Promovendo a agregação de partículas finas;
- d) Promovendo a ativação indesejada de minerais de ganga;
- e) Aumentando o consumo dos coletores por parte dos íons presentes na solução.

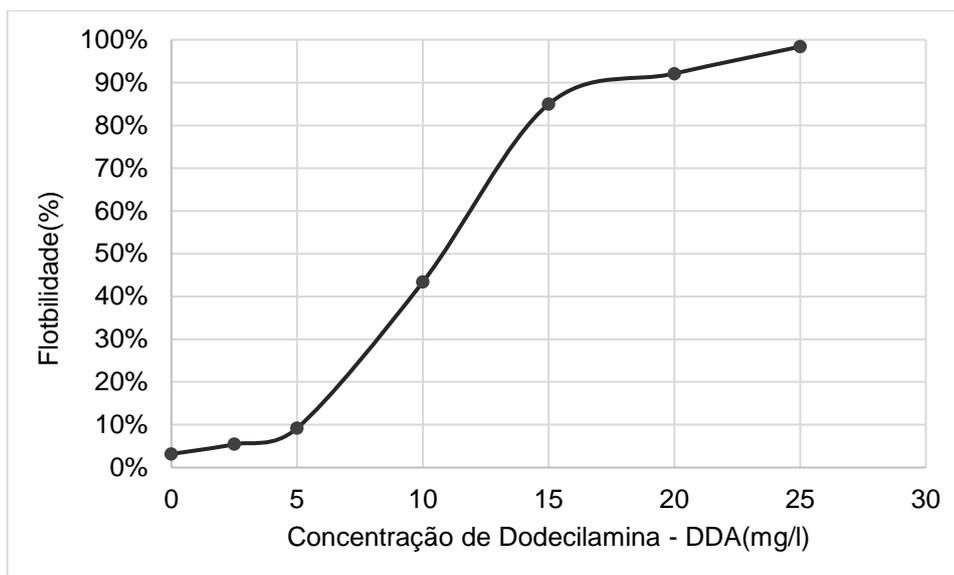
Os coletores catiônicos mais utilizado na flotação são as aminas, estas são derivadas da amônia (NH_3) pela substituição de um ou mais de seus átomos de hidrogênio por um número correspondente de cadeias hidrocarbônicas, a ação das aminas caracteriza-se por uma adsorção física a superfície mineral. A adsorção das partículas minerais por esse coletor é extremamente comprometida pela competição dos cátions em solução, com isso aumenta-se a concentração do coletor resultando na formação excessiva de espuma, o que torna o processo mais oneroso e resulta em problemas ambientais, visto que a água passa a conter elementos complexos em sua composição (PINHEIRO, 2011).

A presença de cátions dissolvidos na água, como ocorre na água dura, também compromete a eficiência de coletores aniônicos, os cátions podem complexar a molécula do coletor e formar precipitados, reduzindo a disponibilidade do coletor em solução para adsorver as partículas a serem flotadas (PINHEIRO, 2011).

5.2 Flotabilidade do quartzo em função da concentração de coletor

Os resultados de flotabilidade do quartzo em função da concentração do coletor estão apresentados no gráfico da Figura 13. Foi possível observar que o aumento da concentração do coletor resultou no aumento da flotabilidade, obtendo o maior valor de flotabilidade (98%) na concentração igual a 25 mg/l.

As interações entre o quartzo e a amina dependem da concentração do coletor e do pH do sistema. O aumento da concentração do coletor, até valores inferiores à da formação de hemi-micelas, aumenta a possibilidade de adsorção na superfície do mineral e conseqüentemente eleva a recuperação do quartzo. Em relação ao pH, para o valor utilizado neste trabalho (pH = 10,5), a proporção das espécies na forma iônica (RNH_3^+) e molecular (RNH_2) do coletor é igual a 1:1 ($\text{pK}_a=10,63$). A coexistência do coletor nas formas iônicas e molecular é favorável a flotação, pois diminui a repulsão eletrostática entre os grupos polares (RNH_3^+), resultando em uma maior densidade de adsorção devido a interações das cadeias hidrocarbônicas da amina (FILIPPOV et al., 2010).

Figura 13 - Flotabilidade do quartzo em função da concentração da dodecilamina (DDA)

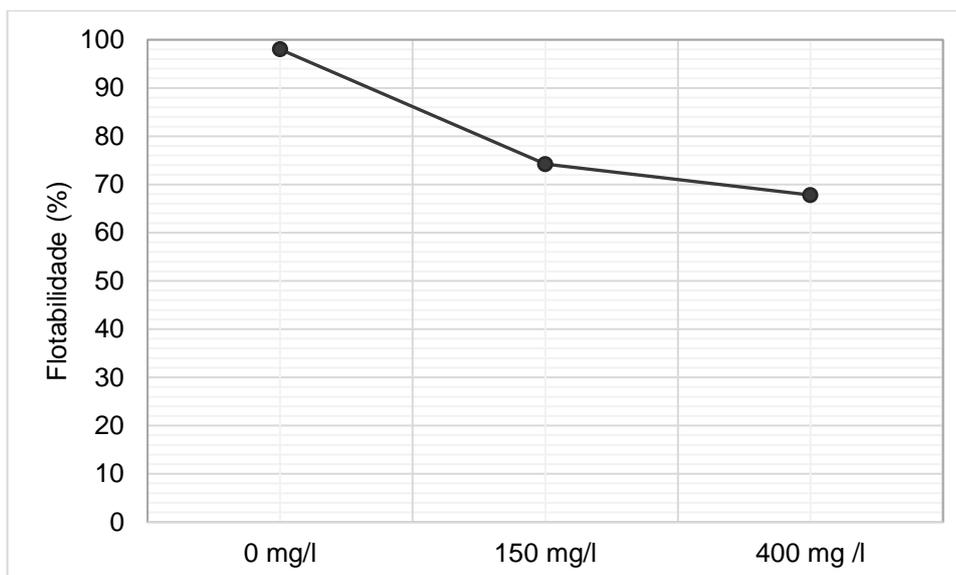
Fonte: Autoria própria

Lelis (2014) observou um comportamento semelhante ao analisar a flotabilidade do quartzo em função da concentração de coletor, variando a concentração de uma éter-diamina em 2,5mg/l e 5mg/l. A autora encontrou em pH=10,5 valores de flotabilidade igual a 96,5% com a concentração de 5,0 mg/L e de 95,5 % na concentração de 2,5 mg/l.

5.3 Flotabilidade do quartzo na presença de íons Ca^{2+} e Mg^{2+}

O gráfico da Figura 14 apresenta os resultados de flotabilidade na presença dos íons Ca^{2+} . Observou-se, em relação ao valor de flotabilidade do sistema obtido com água destilada, uma queda significativa, obtendo-se valores 74,2% e 67,8% de flotabilidade, nas concentrações de 150 e 400 mg/l respectivamente.

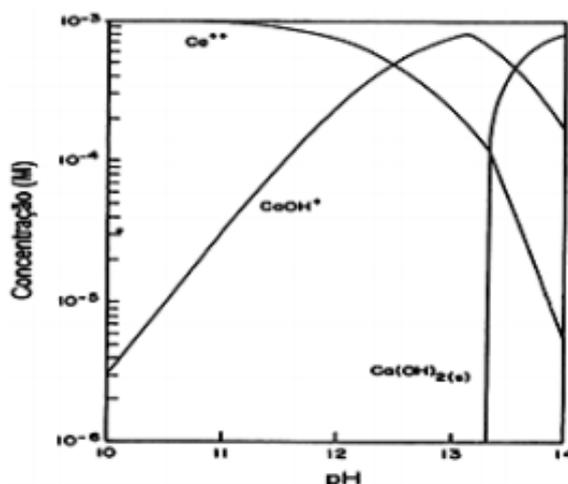
Figura 14 - Ensaios de microflotação na presença dos íons cálcio



Fonte: Autoria própria

O efeito depressor ocasionado pela adição do cloreto de cálcio, pode ser explicado pela alta concentração das espécies Ca^{2+} e CaOH^+ em pH 10,5 conforme pode ser observado no diagrama de especiação do cálcio apresentado na Figura 15. Os cátions Ca^{2+} são atraídos pela superfície negativa do quartzo, resultando na redução da adsorção dos cátions RNH_3^+ da Dodecilamina-DDA na superfície mineral (FUERSTENAU et al., 1985).

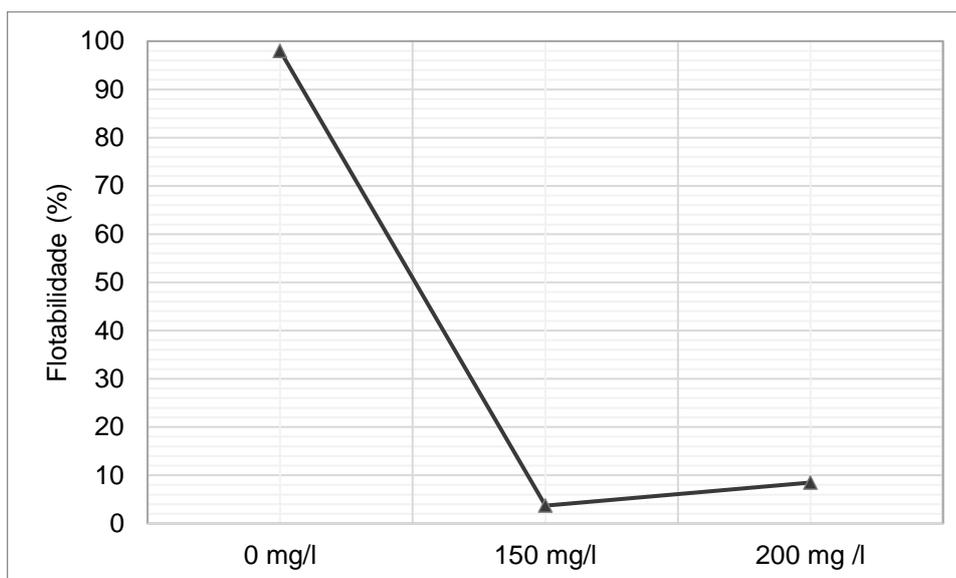
Figura 15 - Diagrama de especiação do cálcio, para $1 \times 10^{-3} \text{ M } [\text{Ca}^{2+}]$



Fonte: (Fuerstenau et al., 1985 apud Cruz 2015)

O gráfico da Figura 16 apresenta os resultados de flotabilidade na presença dos íons Mg^{2+} . Comparando os valores de flotabilidade do sistema obtido com água destilada, e em relação a presença dos íons cálcio, verificou-se que a presença do magnésio gerou maior redução de flotabilidade. Nas concentrações de 150 e 200 mg/l de magnésio atingiu-se apenas 3,7% e 8,5% de flotabilidade, respectivamente.

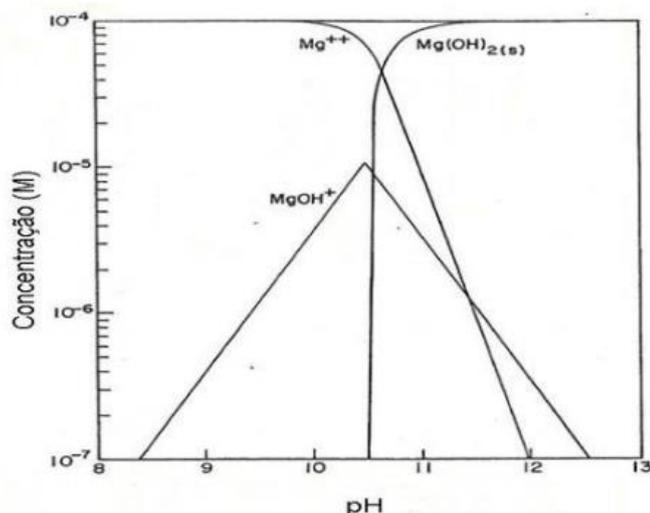
Figura 16 - Ensaio de microflotação na presença de íons magnésio



Fonte: Autoria própria

Entretanto, o aumento da concentração dos íons Mg^{2+} de 150 mg/l para 200 mg/l, não resultou na diminuição da flotabilidade. Isso pode ser explicado, pela diminuição de íons Mg^{2+} disponíveis no sistema no pH analisado devido a provável formação do hidróxido de magnésio, com o aumento da concentração deste reagente. A Figura 17 apresenta o diagrama de especiação do magnésio, em que é possível observar que em pH 10,5 as espécies Mg^{2+} e $Mg(OH)_2$ podem coexistir. Neste trabalho, ao serem testadas concentrações superiores a 200 mg/l de magnésio, ao ajustar o pH da solução com a adição de hidróxido de sódio, observou-se a formação de um precipitado, provavelmente de hidróxido de magnésio.

Figura 17 - Diagrama da concentração logarítmica do cátion Mg^{2+} com concentração de 10^{-4} M

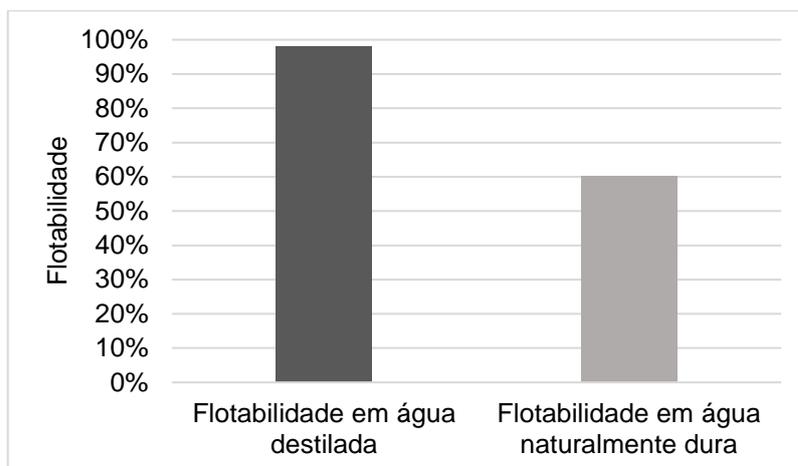


Fonte: (Fuerstenau et al., 1985 apud Lelis 2014).

Os ensaios realizados por Lelis (2014) comprovam esse efeito depressor, gerado pela adição de magnésio e cálcio ao sistema. Ela observou uma grande queda na flotabilidade tanto no quartzo como na hematita, sendo essa queda mais acentuada com a adição de magnésio do que como cálcio. Com o coletor Flotigam EDA na concentração de 2,5 mg/l e adição de 1 mg/l de magnésio a flotabilidade do quartzo reduziu de 95,5% para 75,8%. Com adição de 200 mg/l de cálcio a recuperação do quartzo de 95,5%, sem a adição do cloreto, reduziu para 31,8%.

5.4 Flotabilidade do quartzo na presença de água naturalmente dura

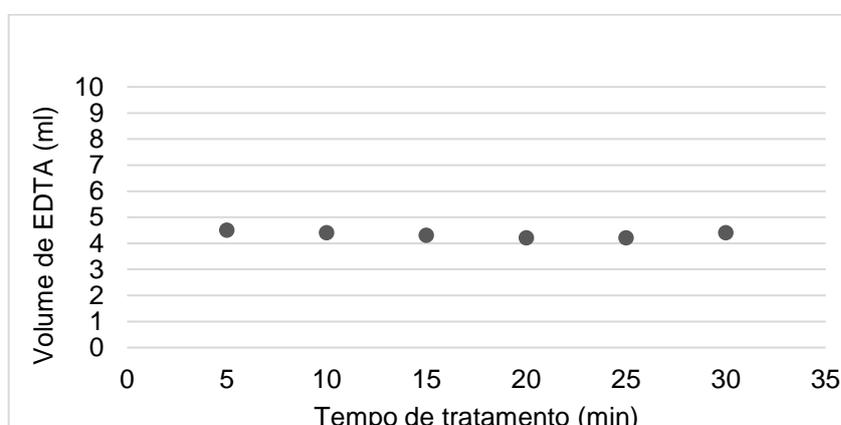
O gráfico da Figura 18 apresenta os valores de flotabilidade do quartzo em água destilada e em água naturalmente dura. Verificou-se uma redução de 38% flotabilidade da amostra de água naturalmente dura, evidenciando assim a presença de cátions na água, são atraídos pela superfície do quartzo, por atração eletrostática reduzindo assim, a disponibilidade de sítios negativos do quartzo para adsorção do coletor.

Figura 18 - Flotabilidade do quartzo em água destilada e em água naturalmente dura

Fonte: Autoria própria

5.5 Proposta de um tratamento alternativo para o abrandamento de água dura via plasma

Com intuito de verificar a influência do tempo de tratamento via plasma da amostra, realizou-se ensaios de tratamento com a amostra de água naturalmente dura, observou-se que o volume de EDTA consumido na titulação se manteve estável, visto que apresentou uma diferença máxima de 0,3 ml entre os testes. Desse modo, pode-se dizer que a variação de tempo de tratamento para a amostra em análise, dentro do intervalo analisado que variou 5 a 30 min não foi significativa, conforme pode ser observado nos dados da Figura 19.

Figura 19 - Titulação de água naturalmente dura com EDTA

Fonte: Autoria própria

Após a titulação as soluções que com adição do indicador Negro de Ediocromo T eram da cor magenta se tornaram azul, conforme a Figura 20.

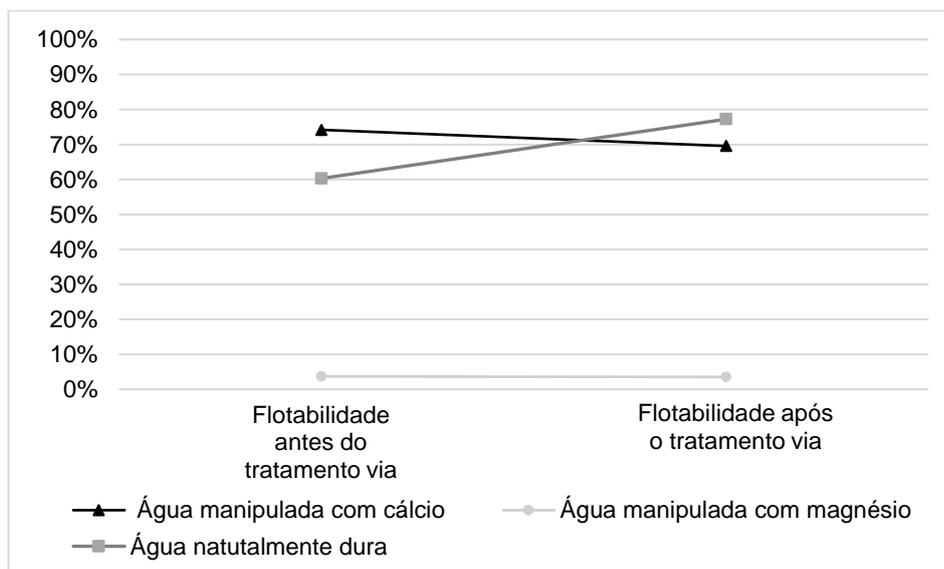
Figura 20 - Mudança de coloração na titulação com EDTA



Fonte: Autoria própria

Optou-se por submeter as amostras ao tratamento por 15 min, tempo intermediário, dentre o intervalo analisado. Nas amostras de água preparadas através de diluição de cloretos de cálcio e magnésio não se observou aumento da flotabilidade. Já a amostra de água dura natural, após ser tratada no plasma teve a sua flotabilidade aumentada em 17%.

Figura 21 - Flotabilidade do quartzo após o tratamento das soluções de água dura via plasma



Fonte: Autoria própria

A Figura 22 ilustra a mudança de coloração observada em uma amostra de água preparada com cálcio, através de diluição de cloretos de cálcio. É importante ressaltar que as amostras ao serem expostas ao plasma assumiram uma cor mais escura, que pode estar associado a formação de novos compostos químicos durante o tratamento. Realizar uma análise química dessa solução é algo de grande importância para esse estudo, contudo não foi possível realizar esse teste.

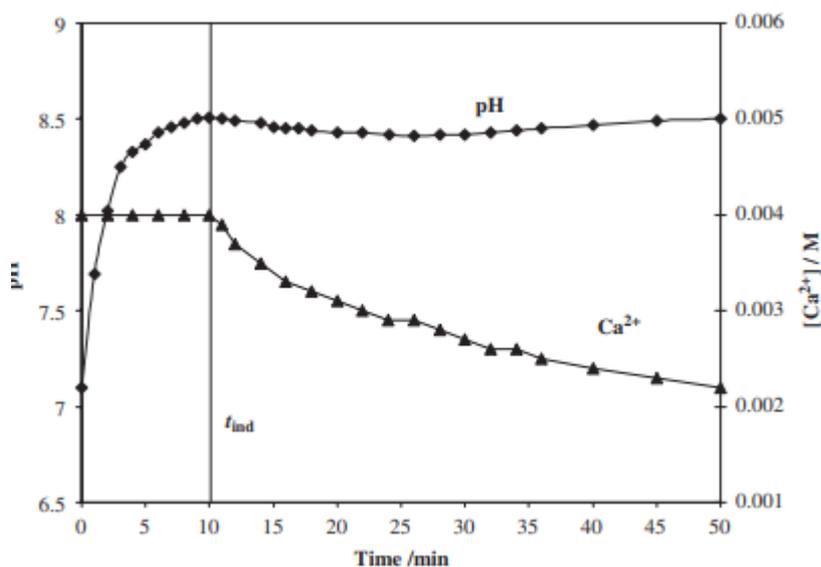
Figura 22 - Mudança de coloração das soluções preparadas a partir de cloretos de cálcio após o tratamento via plasma



Fonte: Autoria própria

Fathi et.al (2006), em seus estudos investigou o efeito de um campo magnético no processo de precipitação de carbonato de cálcio de uma água dura. Ele observou que com 15 minutos de tratamento no plasma, a concentração de cálcio começa decair, sendo o tempo de tratamento empregado uma similaridade com este trabalho. A Figura 23 mostra a redução das espécies Ca^{2+} após 15 minutos de tratamento.

Figura 23 - Variações do pH e da concentração de íons de cálcio durante um teste de precipitação



Fonte: Fathi et.al (2006)

No processo de geração do plasma se aplica um gás ao sistema a fim de formar espécies oxidantes em meio aquoso, o gás é um parâmetro de grande relevância a ser analisado. O argônio é um gás muito utilizado na formação do plasma, por ser um gás inerte e de baixo custo de aquisição. Quando o argônio é utilizado como um gás de plasma, ele sofre excitação e ionização conforme as Equações 12 e 13, gerando assim a produção de espécies radicais na água, Equação 14. (CUBAS *et al.*, 2021). A descarga energética na interface gás-água produz espécies primárias, como OH e H, provenientes da degradação da água, Equação 15. (Locke e Shih,2011).



O plasma não-térmico formado a partir do gás argônio, apresenta uma grande quantidade extra de elétrons de alta energia, elétrons secundários, e de átomos de argônio excitados (HILBERT *et al.*, 1999 apud MACHADO, 2018). Nesse gás os elétrons de alta energia oriundos da descarga não possuem concorrência por reações de dissociação e de captura, favorecendo as reações de ionização e de excitação. Contudo, nem todas as partículas precisam ser ionizadas no plasma, sendo comum

na química do plasma que os gases sejam apenas parcialmente ionizados (MACHADO, 2018).

6 CONCLUSÕES

Constatou-se neste trabalho o quão prejudicial é a água dura para a flotação, devido a competitividade entre as espécies coletoras e os íons de cálcio e magnésio. Diversos autores já estudaram a problemática da água dura no processo e verificaram a redução significativa da flotabilidade na presença de cátions de cálcio e magnésio.

Verificou-se que a concentração de Dodecilamina ideal a ser aplicada a amostra mineral analisada era de 25mg/l, com essa concentração de coletor foi possível flotar 98% da amostra de quartzo em água destilada.

Na presença da água manipulada com cálcio verificou-se uma queda na flotabilidade para as amostras que continham 150 mg/l e 400 mg/l de Ca^{2+} de 23,8% e 30,2% respectivamente. Já com a adição do magnésio obteve-se uma queda de 94,3% e 89,5% para as amostras de 150 e 200 mg/l de Mg^{2+} , respectivamente.

Quanto ao tempo de tratamento via plasma para a amostra naturalmente dura, observou-se que o volume de EDTA consumido para a titulação das amostras foi mantido, logo para essa amostra o tempo de tratamento foi indiferente. Com a aplicação do tratamento por plasma em uma água naturalmente dura, atingiu-se uma melhora de 17% na flotabilidade. Embora está seja uma linha de pesquisa recente, a realização de novos testes pode trazer bons frutos, contudo análises químicas são essenciais nestes ensaios, a fim de que se identifique as espécies químicas formadas após o tratamento via plasma.

REFERÊNCIAS

- ACQUAMÁXIMA TRATAMENTO DE ÁGUA. **Abrandamento é o processo mais utilizado contra a dureza da água**. Indiatuba, SP. 2019. Disponível em: <https://acquamaxima.com.br/abrandamento-e-o-processo-mais-utilizado-contr-a-dureza-da-agua/#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua%20dura,conhecer%20o%20funcionamento%20dos%20abrandadores>. Acesso em: 09 mar. 2020.
- ALVES, D. P. **Caracterização de plasmas frios por espectroscopia óptica de emissão**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2019. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/11017/1/tese_12091 DISSERTA%c3%87%c3%83O DOUGLAS PEREIRA ALVES.pdf. Acesso em: 09 mar. 2020.
- ARAUJO, L. C. S; BEZERRA. M. N. S; PROCORIO. D. O. Plasma atmosférico na descontaminação de alimentos. In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017. **Anais** [...]. Fortaleza, CE. DeVry Brasil - Damásio - Ibmec, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/44712-PLASMA-ATMOSFERICO-NA-DESCONTAMINACAO-DE-ALIMENTOS>. Acesso em: 08 mar. 2020.
- BALTAR, C. A. M. **Flotação no tratamento de minérios**. 2ª Edição. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2010.
- BALTAR, C. A. M. **Flotação de minérios oxidados de zinco**: uma revisão da literatura. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1980. (Série Tecnologia Mineral, 13).
- BRASIL MINING SITE. **A importância da mineração para a sociedade brasileira**. Belo Horizonte, MG. 2019. Disponível em: <https://brasilminingsite.com.br/a-importancia-da-mineracao-para-a-sociedade-brasileira/>. Acesso em: 08 mar. 2020.
- BULATOVIC, S.M., **Handbook of Flotation Reagents; Chemistry, theory and practice: Flotation of sulfide ores**. Elsevier Science e Technology Books. Volume 1. p. 1-5, p. 146; 215-233.2007.
- CRUZ, D. G. **Influência dos íons Ca²⁺, Mg²⁺ e Mn²⁺ na flotação catiônica de minério de ferro**: estudos de bancada. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/6767>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- D'AGOSTINO, R. et al., 2008. Advanced Plasma Technology. Weinheim: Wiley-VC. 457 p. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Comprehensive_Energy_Systems/foxODwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=Advanced+Plasma+Technology.+Weinheim:+Wiley-VC&pg=RA1-PA116&printsec=frontcover. Acesso em: 08 mar. 2021.

ESPINOSA-GOMEZ, R.; FINCHI, J. A.; LAPLANTE, A. R. Effects of the type of water on the selective flotation of pyrochlore from niobec. **Colloids and Surfaces**. v. 26. p. 333-350, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0166662287801257>. Acesso em: 08 mar. 2020.

ELIEZER, S.; ELIEZER, Y. **The Fourth State of Matter**: an Introduction to Plasma Science. 2. ed. Philadelphia: Bristol - Institute of Physics Publishing, 2001. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/The_Fourth_State_of_Matter/5oi9BwAAQB-AJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=The+Fourth+State+of+Matter:+An+Introduction+to+Plasma+Science&printsec=frontcover. Acesso em: 08 mar. 2020.

FATHI, A.; MOHAMED, T.; CLAUDE, G.; MAURIN, G.; MOHAMED, B. A. Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. **Water Research**. v. 40, Issue 10, p. 1941-1950, Jun. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135406001679#:~:text=The%20amount%20of%20calcium%20carbonate,after%20filtration%20of%20the%20solution.&text=The%20homogeneous%20contribution%20was%20increased,one%20was%20decreased%20to%2045.1%25>. Acesso em: 04 ago. 2021.

FELIPINI, C. L. Noções sobre plasma térmico e suas principais aplicações. **Integração**, São Paulo, n. 41, p. 147-151, 2005.

FILIPPOV, L. O.; FILIPPOVA, I. V.; SEVEROV, V. V. The use of collectors mixture in the reverse cationic flotation of magnetite ore: The role of Fe-bearing silicates. **Minerals Engineering**. 2.ed., v. 23, p. 91-98, 2010.

FERREIRA, J. et al. 2004. Brasília. Universidade de Brasília. Instituto de Física. Laboratório de Plasmas. Disponível em: <https://trad.fis.unb.br/plasmas/index.html>. Acesso em: 08 mar. 2020.

FERREIRA, C. R. N. **Métodos de Flotação de Minérios de Ferro**. 2015. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-A3PPRA>. Acesso em: 30 jul. 2021.

FREITAS, S. P. O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da pch bicás. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9LMNGG>. Acesso em: 13 fev. 2021

FRIDMAN, A. **Plasma Chemistry**. New York: Cambridge University Press, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZzmtGEHCC9MC&oi=fnd&pg=PR39&dq=FRIDMAN,+A.+Plasma+Chemistry.+New+York:+Cambridge+University+Press,+2008.&ots=YjdHAfrXak&sig=kKh37CsHonNMwAyUwVhIxhDO2Hk#v=onepage&q=FRIDMAN%2C%20A.%20Plasma%2>

0Chemistry.%20New%20York%3A%20Cambridge%20University%20Press%2C%202008.&f=false. Acesso em: 03 fev. 2021.

GALVÃO, R. M. O. 2006. **Introdução à física de plasmas e suas aplicações tecnológicas**. VI Escola do CBPF. Disponível em: https://mesonpi.cat.cbpf.br/e2006/graduacao/pdf_g1/G1-EscolaCBPF.pdf. Acesso em: 25 jun. 2021.

GERRITY, D.; STANFORD, B. D.; TRENHOLM, R. A.; SNYDER, S. A. An evaluation of a pilot-scale nonthermal plasma advanced oxidation process for trace organic compound degradation. **Water Research**. v. 44, n. 2, p. 493-504, Jan. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.09.029>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GOMES, M. 2011. Água: Sem ela seremos o planeta marte de amanhã. Disponível em: <https://www.brasilagricola.com/2011/08/agua-sem-ela-seremos-o-planeta-marte-de.html#:~:text=%C3%81gua%20%C3%A9%20fonte%20da%20vida,perman%C3%Aancia%20da%20vida%20no%20Planeta>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JEBER, A.; PROFETA, A. L. 2018. **Meio Ambiente e Mineração**. Recurso minerais de Minas Gerais. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/meio-ambiente-e-mineracao/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JIANG, B.; ZHENG, J.; QIU, S.; WU, M.; ZANG, Q.; YAN, Z.; XUE, Q. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. **Chemical Engineering Journal**. v. 236, p.348- 368, 15 Jan. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.090>. Acesso em: 07 mar. 2021

KALIA, S.; THAKUR, K.; CELLI, A.; KIECHEL, M. A.; SCHAUER, C. Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities: a review. **Journal of 289 Environmental Chemical Engineering**. v. 1, Issue 3, p. 97-112. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343713000213>. Acesso em: 07 mar. 2021.

KIEFT, I. E. **Plasma needle**: exploring biomedical applications of nonthermal plasmas. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica) -Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven, 2005. Disponível em: <https://research.tue.nl/en/publications/plasma-needle-exploring-biomedical-applications-of-non-thermal-pl>. Acesso em: 08 mar. 2020.

LELIS, D. **Influência de cátions ca^{2+} , mg^{2+} e mn^{2+} na flotação reversa de minério de ferro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tratamento de Minério). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3609/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Influ%c3%aanciaCationFlota%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 30 jul. 2021.

LIMA, B. Água e mineração: em busca do uso consciente. **Revista Mineração & Sustentabilidade**. 22 mar. 2018. Disponível em: <https://revistamineracao.com.br/2018/03/22/agua-e-mineracao-em-busca-do-uso-consciente/>. Acesso em: 04 mar. 2021.

LOCKE, B. R; SHIH, K. Review of the methods to form hydrogen peroxide in electrical discharge plasma with liquid water. **Plasma Sources Science and Technology**. v. 20, n. 3, 12 Abr. 2011. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0963-0252/20/3/034006>. Acesso em: 30 jun. 2021.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. 4.ed.rev.amp. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 867p., 2004.

MARTINS, L. **Estudo da flotação de minério silicatado de zinco sem a etapa de deslamagem**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MAPO-7R7GCU/1/lemyr_martins.pdf. Acesso em: 31 maio 2021.

MACHADO, M. M. **Conversão de óleo vegetal residual em biodiesel através da tecnologia de plasma: avaliação do potencial de sustentabilidade do processo**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologias ambientais). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/210579/PGEA0621-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 mar. 2020.

NASCIMENTO, J. H. O. et al. Optimization of Plasma Treatment on PET Fabric Using Response Surface Methodology. In: 10TH EUROPEAN VACCUM CONFERENCE (EVC-10) AND 12TH JOINT VACCUM CONFERENCE (JVC-12) AND 7TH ANNUAL MEETING OF THE GERMAN VACCUM SOCIETY (AMDGV-7), Lake Balaton.2008. Acesso em: 29 mai. 2020.

OLIVEIRA, J. F. Flotação. In: Fernandes, F. R. C.; Matos, G. M. M. de; Zuleica Carmen Castilhos, Z. C.; Luz, A. B. da. (orgs.). **Tendências Tecnológicas Brasil 2015**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007, p. 133-156. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1287/1/Tend%C3%AAsAnciasParte2.3.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2020.

PINHEIRO, V.; BALTAR, C.; LEITE, J. Flotação com amina: a importância da qualidade da água. **Rem: Rev. Esc. Minas**. Ouro Preto, v. 65, n. 4, dez. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672012000400017#:~:text=O%20tratamento%20da%20%C3%A1gua%20dura,tratada%20e%20a%20%C3%A1gua%20destilada. Acesso em: 01 fev. 2021.

PINHEIRO, V. **Aplicação de flotação por ar dissolvido para tratamento de águas duras da região Seridó/RN**. 2011. Dissertação (Mestrado em Rochas e Minerais Industriais). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/4927>. Acesso em: 02 jul. 2021.

PORTO, B. Em meio à crise hídrica, minerodutos utilizam água dos rios para levar polpa de ferro ao porto. **Hoje em dia**. 26 jan. 2015. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/primeiro-plano/economia/em-meio-%C3%A0-crise-h%C3%ADdrica-minerodutos-utilizam-%C3%A1gua-dos-rios-para-levar-polpa-de-ferro-ao-porto-1.292757>. Acesso em: 04 mar. 2021.

ROMANO, J.; QUELHAS, M. Esterilização por plasma de peróxido de hidrogênio. **Hospital de Clínicas da UNICAMP**. Disponível em: <http://www.hospvirt.org.br/enfermagem/port/plasma.html#:~:text=Este%20m%C3%A9todo%20de%20esteriliza%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,at%C3%B3xico%20%20com%20processo%20ambiental%20saud%C3%A1vel>. Acesso em: 09 mar. 2020.

SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. da; ANDRADE, M. C. de; FRANÇA, S. C. A. 2010. Água no Processamento Mineral. In: SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. da; ANDRADE, M. C. de; FRANÇA, S. C. A. (ed.). **Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010, p. 797-827. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/767/1/CCL00400010.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2021.

SANEAMENTO DE GOIÁS S/A (SANEAGO). **Manual de Operação de Estação de Tratamento de Água**. Goiânia. 2006. Disponível em: <http://www.voni.leao.nom.br/arquivos/eta.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

SILVA, T. A. V. **Estudo de reagentes na flotação de minério de zinco**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tratamento de Minérios). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp104522.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SILVA, D.; CARVALHO, A. Abrandamento. **Kurita**. 2020. Disponível em: <http://kurita.com.br/index.php/artigostecnicos/abrandamento/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

SCHONS, E. **Fenômenos Interfaciais**. Curso de Especialização em Tratamento de Minérios. Universidade Federal de Goiás. 2013. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/fen_int_3.pdf. Acesso em: 03 jul. 2021.

STRACI, L. Água dura e seus riscos. **Ag Solve Monitoramento Ambiental**. 08 ago. 2012. Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/noticias/6523/agua-dura-e-seus-riscos>. Acesso em: 18 fev. 2021.

VALE. **Água**. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/Agua.aspx>. Acesso em: 04 jul. 2021.

VIANA, P. R. M. **Flotação de Espodumênio, Microclina, Muscovita e Quartzo com Coletores Aniônicos, Catiônicos, Anfotéricos e Mistura de Coletores**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006. Disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MAPO-7RLJ2A/1/paulo_roberto_magalh_es_viana.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.

ZORZAL, C.; COELHO, L.; PERES, A.; PEREIRA, C. 2009. Depressão De Minerais Portadores De Magnésio Presentes Em Minério Oxidado De Zinco. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. 2009, Gramado, Congresso Nacional. 2009. p. 273-278. Disponível em:https://www.artigos.entmme.org/download/2009/flota%C3%A7%C3%A3o/1934%20-%20Caroline%20B.%20Zorzal_Lucas%20C.%20Coelho_Ant%C3%B4nio%20E.%20C.%20Peres_Carlos%20A.%20Pereira%20-%20DEPRESS%C3%83O%20DE%20MINERAIS%20PORTADORES%20DE%20MAGN%C3%89SIO%20PRESENTES%20EM%20MIN%C3%89RIO%20OXIDADO%20DE%20ZINCO.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.