



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA E
DE MATERIAIS (PPGE3M)

OSÉIAS COSTA REGO

USO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA COMO REAGENTE NA FLOTAÇÃO
DE CALCOPIRITA EM TUBO DE HALLIMOND

Porto Alegre -RS

2022

OSÉIAS COSTA REGO

USO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA COMO REAGENTE NA
FLOTAÇÃO DE CALCOPIRITA EM TUBO DE HALLIMOND

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia, modalidade Acadêmica.

Orientador: Dr. André Cesar Zingano.

Porto Alegre - RS

2022

OSÉIAS COSTA REGO

USO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA COMO REAGENTE NA
FLOTAÇÃO DE CALCOPIRITA EM TUBO DE HALLIMOND

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em Engenharia, área de concentração em Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral e Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalúrgica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. André Cesar Zingano

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. – PPGEM/ UFRGS Rafael Teixeira Rodrigues

Prof. Dr. – UFCAT Erwin Tochtrop Junior

Prof. Dr. – ITPAC/IFTO Ângelo Ricardo Balduino

AGRADECIMENTOS

A todos que apoiaram direta ou indiretamente este trabalho, o meu reconhecimento;

A Deus Todo poderoso a Quem dedico a minha fé e confiança;

Ao Professor Doutor Rafael Teixeira pela supervisão acadêmica de excelência pela confiança, atenção, carinho e amizade e toda magnitude de um professor e amigo;

Ao coordenador André Cesar Zingano, pela cooperação paciência e fé nos últimos momentos deste trabalho;

Ao meu Chefe o Sr. Valdomiro Rezende, por ter sido compreensível e incentivador e companheiro em mais essa jornada;

Ao Doutor Erwin Tochtrop Junior pelo seu incentivo característico à pesquisa científica e tecnológica. Meu reconhecimento pela sua dedicação, orientação e paciência durante estes quase 7 anos de convivência, pelo exemplo de profissional e pessoa;

Ao meu amigo, irmão e mentor Doutor Ângelo Ricardo Balduino, pela dedicação, amizade, ajuda nas horas difíceis e por gratamente me adotar como orientando, obrigado por todo cuidado e consideração e por dividir todo seu conhecimento e brilhantismo comigo;

Aos meus orientadores Rafael Teixeira e André Zingano, pela seriedade e dedicação do trabalho e inigualável contribuição acadêmica;

A minha amiga e colega de mestrado Luzinete Larissa por todo apoio e parceria durante mais essa jornada, seja no frio ou no calor estamos sempre juntos;

Ao Laboratório BIOMATER, na pessoa do Luan Rios pela contribuição com a doação de material biotecnológico;

Ao Felipe Coimbra, laboratorista do CEULP-ULBRA, que contribuiu gratamente com minhas análises laboratoriais;

Aos meus pais, irmãos e familiares pelo incentivo depositado;

A minha amiga Núbia Nogueira, pela força e colaboração;

A minha secretária Débora, pela assistência e lealdade;

Aos meus chefes Kurte Menchen e Valdomiro Rezende pelo apoio e compreensão;

A Família Guilherme por ter me dado força e motivação durante todo o processo.

A todos os funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Matérias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pelo suporte durante estes anos.

RESUMO

A calcopirita é um minério importante na obtenção do cobre onde no Brasil temos diversas minas dispostas em todas as regiões. O processo de separação de minério conhecido como flotação é um eficiente processo que permite a utilização de bolhas e de um material espumante que com ajuda de coletores são capazes de conduzir alguns minérios para separação através de equipamentos adequados. Atualmente nesse processo são utilizados modificadores de PH e coletores que permitem a separação do minério através do método de flotação pneumática. A Quitosana é um material biotecnológico produzido a base do exoesqueleto de alguns animais artrópodes que pode ser utilizado como coletor no processo de flotação. Nesse trabalho foi analisado o desempenho da Quitosana em relação a um coletor muito comum, o Xantato, e com isso poderemos verificar como em meios com diferentes concentrações e níveis de PH podemos constatar a eficiência da Quitosana na flotabilidade da Calcopirita. O material utilizado nos testes de microflotação é o minério procedente de uma mina de cobre conhecida como Mina do Matuto em São Félix do Xingu-PA, cedidos pelo laboratório de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA, os testes foram feitos em bancada com o uso do tubo de Hallimond modificado. Os resultados mostraram que houve uma considerável recuperação onde na solução o pH mais indicado é o pH 9 para a recuperação máxima.

Palavras-chave: Minério; Calcopirita; Flotação; Quitosana.

ABSTRACT

Chalcopyrite is an important source of copper in Brazil. There are several parts in all regions. The data separation process known as flotation is a process that allows the use of a type of material that can help collectors to be able to use a method of data analysis. There are several types of PH modifiers and paste-makers that allow the use of ores using the pneumatic flotation method. Chitosan is a biotechnological material produced from the exoqueteo of some animals that can be used as a collector in the flotation process. In relation to Chitosan performance in relation to a very common set, xantato, and with this can be verified as at different concentrations and PH levels, may be a Chitosan science in the buoyancy of calcopirita. The material used in the microflotation and tailings tests is carried out in São Félix do Xingu-PA, provided by the Laboratory of Mining Engineering of CEULP / ULBRA, and was tested on bench with the Hallimond tube. The results were collected with all collectors, and the most indicated pH is pH 9, for maximum recovery.

Keywords: Ore; Chalcopyrite; Flotation; Chitosan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma do processo.	1515
Figura 2- Maciço sulfetado de cobre contendo calcopirita.	1616
Figura 3 - Mesa de ferro e martelo utilizados para fragmentação.	17
Figura 4 - Moagem do minério de cobre calcopirita em almofariz e pistilo.	18
Figura 5- Conjunto de peneiras.	18
Figura 6- Balança de precisão.	20
Figura 7- Tubo de Hallimond modificado do tipo laboratorial.	21
Figura 8 - Flotação sendo realizada no tubo de Hallimond modificado.	22
Figura 9- Material sendo filtrado em papel filtro.	22
Figura 10- Amostras após serem retiradas da estufa.	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados obtidos.....	25
Tabela 2 -	25
Tabela 3 -	28
Tabela 4 -	31

LISTA DE SIGLAS ABREVIATURAS

PH potencial hidrogeniônico

LISTA DE SÍMBOLOS

$p\text{CO}_2$ Pressão parcial de CO_2

μm Micrômetro

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.....	26
Gráfico 2.....	27
Gráfico 3.....	29
Gráfico 4.....	29
Gráfico 5.....	30
Gráfico 6.....	31
Gráfico 7.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	FLOTAÇÃO COMO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO	3
3.2	FLOTAÇÃO DE SULFETOS	7
3.3	NANOPARTÍCULAS COMO ATIVADORES DA FLOTAÇÃO	7
3.4	A QUITOSANA COMO ATIVADOR PARA MATERIAIS ULTRAFINOS	9
3.5	O POTENCIAL POLUIDOR DOS SULFÍDRICOS XANTATOS	11
4	EXPERIMENTAIS	13
4.1	MATERIAIS	14
4.2	INSTRUMENTOS	14
4.2.1	Processamento das Amostras	14
4.2.2	Preparação da Amostra	15
4.2.3	Ensaio de Flotação.....	19
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	23
5.1	O TESTE DE ARRASTE	24
5.2	FLOTAÇÃO COM O COLETOR XANTATO	25
5.3	FLOTAÇÃO COM O COLETOR QUITOSANA	28
5.4	QUITOSANA x XANTATO	31
6	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	ANEXO A – RESULTADOS OBTIDOS DAS ANÁLISES	40

1 INTRODUÇÃO

É inegável a importância dos minerais na história da humanidade pois eles são amplamente utilizados como matéria prima em diversos materiais e processos que acompanharam toda a evolução humana, de maneira que a cada dia eles se torna cada vez mais necessários e indispensáveis, e por serem e recurso não renováveis sua obtenção tem se tornado um desafio crescente, o que demanda métodos e técnicas mais sofisticadas para essa obtenção e melhor aproveitamento dos minérios.

Com isso, pensar no desenvolvimento de novas maneiras de obter e melhor aproveitar os recursos minerais é um trabalho importante, pois o uso dos recursos minerais só tende a aumentar, devido ao crescimento da população mundial.

Como os minerais não são uma fonte de matéria-prima renovável, é necessário que esses materiais recebam tratamentos adequados para um melhor aproveitamento e que tenha viabilidade econômica, além disso, os aspectos ambientais são fatores importante a serem ponderados, pois a mineração, meio adotado pelo homem para a obtenção da matéria prima mineral é uma das atividades desenvolvidas pelo homem que possui impactos ambientais relevantes à natureza.

Anualmente, cerca de 400 milhões de toneladas métricas de minerais metálicos são esmagados e moídos em partículas menores que 100 μm em diâmetro, posteriormente, em alguns casos, são submetidos a um processo chamado de flotação, procedimento esse que isola e coleta os componentes valiosos, utilizando condicionadores de PH e substancias coletoras que ajudam o minério a se ligarem a bolhas de ar produzidas em uma célula de flotação, a fim de produzirem uma espuma enriquecida com o minério o que permite a concentração do mesmo.

A substituição de produtos químicos por materiais biodegradáveis no beneficiamento de minérios poderá possibilitar a mitigação de impactos ambientais, tais como, bioacumulações químicas em micro e macro organismos, além de produzir efluentes com grande potencial tóxico para o solo e corpos hídricos, gerando assim um passivo ambiental.

Nesta perspectiva este trabalho pretende demonstrar que o uso de um componente biodegradável poderá ser uma alternativa a essa questão ambiental, onde seu descarte teria menos impactos ao meio ambiente mantendo a sua funcionalidade semelhante à de outros compostos inorgânicos.

A quitosana é um biopolímero atóxico, biodegradável, produzido por fontes naturais renováveis, cujas propriedades vêm sendo exploradas em aplicações industriais e tecnológicas

há quase setenta anos, algumas das principais áreas de aplicação da quitosana é dentre muitas o tratamento de água na forma de floculantes para clarificação, remoção de íons metálicos e até mesmo na coleta de resíduos oleosos da água.

O processo de concentração e classificação de minério por flotação é uma das mais abrangentes e importantes nos processos de beneficiamento de minérios, principalmente minérios metálicos, seu grande sucesso do método de flotação na indústria mineral se deve à sua, precisão na separação do minério, além da sua grande capacidade de coletar finos o que possibilita uma recuperação mais eficiente para a produção em larga escala.

Aproximadamente 2 bilhões de toneladas de minérios são beneficiados e concentrados com a utilização do método de flotação por ano, incluindo quase todo cobre, chumbo, zinco, níquel e molibdênio produzido no mundo.

Os sais de xantato são utilizados nos processos de flotação como coletores de finos e ultrafinos, os quais tem sido os principais coletores utilizados nas operações com flotação, tanto para minerais metálicos simples, quanto minerais sulfetados. No entanto devido a sua toxicidade aos seres vivos aquáticos, seus efluentes devem ser tratados após o término do processo e antes de lançamento em rios o que traz complexidade no cuidado com os resíduos e com o aumento nos custos do processo.

Desta forma esta pesquisa objetiva verificar o potencial da quitosana como coletor em ultrafinos de minério de calcopirita no processo de flotação para verificar a viabilidade da adição desse material biodegradável em comparação ao xantato, como potencial coletor e como gerador de efluente de menor impacto ambiental onde as análises serão feitas em escala laboratorial através de um tubo de Hallimond modificado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi verificar um potencial coletor de ultrafinos na flotação de minério de calcopirita, através da substituição do sal xantato pela quitosana que é um biopolímero orgânico que permitirá coletar ultrafinos de forma eficiente sem gerar um efluente de alta toxicidade como no caso do xantato.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a execução deste projeto, foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- a) verificar o potencial da quitosana como coletor na flotação de calcopirita;
- b) comparar a eficiência da quitosana com a do xantato como coletores na flotação de calcopirita;
- c) avaliar, através do teste de arraste a real eficiência da quitosana como coletor;
- d) verificar o PH ideal na utilização da quitosana como coletor na flotação de calcopirita.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi dividida em cinco principais tópicos: flotação como processo de classificação de minério; nanopartículas como ativadores da flotação; a utilização da quitosana como material biotecnológico; o potencial poluidor do xantato; e a quitosana como ativador para materiais ultrafinos.

No primeiro tópico do referencial busca-se as referências da flotação como sendo um dos principais métodos de classificação de minério na atualidade descrevendo o processo e sua importância, tal como os elementos que participam desse processo.

No segundo tópico está descrito sobre a influência de nanopartículas que podem contribuir no processo de flotação como ativadoras de partículas que colaboram com a ligação entre o minério e a bolha no processo de aderência.

O terceiro tópico refere-se à utilização da quitosana como material biotecnológico onde é descrito entre outras coisas as suas características e diversidade de seus usos na indústria.

Seguindo com o quarto tópico do referencial temos o potencial poluidor do xantato onde se expõe a condição de resíduo poluidor do reagente e seu risco para o meio ambiente.

E em quinto e último tópico temos a quitosana como ativador para materiais ultrafinos, que mostra o potencial da quitosana como coletor de minério no processo de flotação.

3.1 FLOTAÇÃO COMO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO

A flotação é um processo utilizado no beneficiamento e classificação de minério, baseia-se na interação água com as bolhas de ar, com a finalidade de separar os minerais de interesse dos demais que são rejeitos. Segundo Peres e Araújo (2009), a flotação em espuma, é um

processo de separação aplicado a partículas sólidas que atua nas diferenças das características de superfície entre as várias espécies presentes. Atualmente, constitui um dos principais processos de classificação de minério utilizados pela indústria mineral o que torna a flotação um processo tão importante.

Os primeiros procedimentos de tratamento mineral usando o método de flotação datam no início do século passado. Conforme explica Peres (2005), a flotação foi reconhecida como um procedimento de separação de partículas (minérios) no início do século XX. Em 1901 na Austrália e em 1902 na Itália, Charles Potter e Alcides Froment, respectivamente, verificaram maneira livre que o aparecimento de bolhas de gás poderia ser um agente ideal para flotar as partículas hidrofóbicas. Assim, “a flotação é empregada na separação de partículas finas de minerais de ferro, cobre, molibdênio, níquel, chumbo, zinco, ouro, platina, fosfato ou potássio e de partículas relacionadas de ganga tais como sílica, silicatos (argilominerais), carbonatos, magnetita, ou sulfetos de ferro, dentre outros” (YIANATO, 2003) (CLARK *et al.*, 2005), tornando assim essa técnica uma das mais úteis na indústria e beneficiamento mineral.

Conforme Chaves, Leal Filho e Braga (2018) os principais processos de flotação empregados na mineração podem ser:

- **Flotação por espumas:** é um dos processos mais comum e o mais importante. Neste processo os minerais hidrofobizados, dispersos em meio aquoso que são coletados por bolhas de ar e arrastados até a superfície, removidos na camada de espumas por um transbordo ou de modo mecânico. Conseqüentemente, os minerais hidrofílicos permanecem na fase aquosa acompanhado de um fluxo de água.
- **Flotação em película:** consiste num processo de separação de minerais utilizando a interface água/ar, onde os minerais são alimentados lentamente na superfície hídrica facilitando que as partículas hidrofílicas se molhem e afundem, já as hidrofóbicas permaneçam sem se molhar e sejam removidas por transbordamento.
- **Flotação em óleo:** se trata de um processo de separação de minerais que utiliza interfaces água/óleo. As partículas minerais, normalmente, são agitadas em uma suspensão de água/óleo após um período de repouso em sistema binário, as partículas hidrofílicas ao serem molhadas tendem a afundar e as hidrofóbicas se concentram na interface água/óleo.
- **Flotação Carreadora:** é um processo usado na recuperação de partículas ultrafinas, o qual utiliza-se minerais com granulometrias grosseiras previamente hidrofobizada.

Onde as partículas ultrafinas hidrofóbicas conseguem aderir as partículas grosseiras que são carregadas pelas bolhas de ar e posteriormente, serem flotadas.

- **Eletroflotação:** é o processo que as bolhas de gás são formadas devido a decomposição eletroquímica da água.
- **Flotação em floco:** é um processo utilizado para recuperação de finas partículas, após a agregação seletiva para que em seguida as partículas sejam flotadas.
- **Flotação direta:** os minerais de interesse são flotados e separados por meio da espuma, e os minerais de ganga acompanham o fluxo da polpa.
- **Flotação reserva:** são quando os minerais de ganga são flotados e os minerais de interesse continuam concentrados na polpa.
- **Flotação coletiva:** é quando um grupo de minerais com características que se assemelham são flotados em conjunto.
- **Flotação seletiva:** é flotado apenas uma única espécie de mineral.
- **Flotação instantânea:** a flotação é realizada em curtos intervalos de tempo, logo após a moagem. As partículas mistas que não foram liberadas retornam para o moinho para que passem novamente pela moagem e em seguida retornam para as células para que sejam flotadas.

Para Choi *et al.*, (2016) a flotação é uma técnica de beneficiamento de minério que utiliza propriedades físico-químicas no intuito de separar partículas hidrofóbicas de uma mistura, de outras partículas que são hidrofílicas. Hidrofobicidade é uma propriedade que algumas espécies minerais possuem em capturar bolhas no ar na polpa, exprimindo uma tendência que a espécie possui em ter maior afinidade pela fase gasosa do que pela fase líquida.

Já a hidrofiliabilidade, ao contrário da hidrofobicidade, algumas espécies tendem a ter maior afinidade com a fase líquida do que pela gasosa (CHAVES; LEAL FILHO; BRAGA, 2018).

A flotação é um grande avanço tecnológico que permitiu a indústria mineral a concentração mais eficiente no processamento de minerais, se utilizando de princípios físico-químicos básicos e de características hidrofóbicas e hidrofílicas de diversos materiais o que tem tornado a flotação uma estratégia muito viável ao beneficiamento de minério.

Para realizar a flotação, o minério deve passar por algumas operações, como a moagem, por exemplo, a adequação das partículas até obter uma granulometria de aproximadamente 100 µm de diâmetro, com composições que variam de quase puras do mineral desejado até a ganga

indesejada. Segundo Yang e Pelton (2011) as partículas minerais desejadas são tratadas seletivamente com um surfactante solúvel em água de cadeia curta para tornar as partículas suficientemente hidrofóbicas para se ligarem a bolhas de ar. Assim, é possível tornar o material reconhecido como minério, um material hidrofóbico capaz de se ligar as bolhas de ar produzidas na célula de flotação para que o minério seja concentrado em uma espuma formada pelas bolhas na superfície da célula de flotação.

Durante o processo flotação, uma das etapas do processo mais importantes é a fixação do mineral à superfície da bolha, uma vez que a interação entre partículas minerais e bolhas determina a eficiência do processo como explica Kim et al., (2018). Para melhorar a ligação das partículas às bolhas, as partículas minerais são tratadas seletivamente com um princípio ativo solúvel em água de cadeia curta para tornar suas superfícies hidrofóbicas seletivamente

Choi et al., (2012). Estes tensos ativos são geralmente designados por coletores e que possuem uma importância fundamental na captura do minério então hidrofóbico e capaz de se ligar a bolha de ar produzida pela célula de flotação Park et al., (2016).

Segundo Yang e Pelton (2011) os surfactantes ou "coletores", têm xantato ou algum outro componente semelhante que serve para dar adsorção seletiva ao surfactante e, portanto, hidrofobização da fração desejada de partículas no minério moído que submete o minério a condição ligante a bolha de ar que o permite flotar e flutuar para a superfície formando uma espuma rica do minério em questão, com isso ser concentrado de maneira eficaz a substância desejada.

Conforme Lima e Aquino (2013) a coleta das partículas é um produto da ocorrência dos seguintes eventos:

1. Colisão entre as partículas e bolhas de ar;
2. Adesão entre as partículas e bolhas;
3. Destacamento da partícula aderida à bolha;
4. Retenção da partícula na espuma durante o período necessário para o transporte e remoção do sistema de flotação.

Isso ocorre graças as diferentes partículas presentes durante o processo de flotação apresentam diversas probabilidades. As partículas grossas apresentam alta probabilidade de colisão e baixas probabilidade de adesão e retenção. Característica essa mostrada por Hewitt et al (1994) em estudos já realizados, que o aumento da adesão as bolhas estão relacionadas ao decréscimo do tamanho das partículas e com o aumento da hidrofobicidade, podendo esse ser

obtido com o aumento da dosagem do coletor.

3.2 FLOTAÇÃO DE SULFETOS

A flotação de sulfetos metálicos apresenta um comportamento muito semelhante. Há duas técnicas operacionais para a separação dos minerais de ganga:

- Flotação seletiva condiciona cada sulfeto individualmente e o flota para depois, condicionar e flotar o sulfeto consecutivamente;
- Flotação Coletiva que tem por finalidade flotar todos os sulfetos em conjunto e depois deprime seletivamente um por um (CHAVES; LEAL FILHO; BRAGA, 2018).

No processo convencional da flotação de minério de cobre utiliza-se coletores como os xantatos que servem como meio hidrofilição que promove a adesões as bolhas de ar, o que tem como função transportar as partículas para a superfície onde a concentração ocorrerá em uma espuma Cao *et al.*, (2009).

Como coletor utilizam os xantatos, são eficazes na concentração de minérios como o sulfetado de cobre. Infelizmente, este produto tem algumas características que trazem desvantagens no seu uso como material de processamento de minério na indústria mineral, pois este reagente é consideravelmente tóxico e poluente ao meio ambiente Cao *et al.*, (2009). Os hidroxâmicos ou xantatos são compostos químicos que trazem grande preocupação quanto a utilização dessa substância, tanto para o manuseio do produto, quanto para a operação nas usinas de beneficiamento, mas principalmente, enquanto material residual no descarte inadequado na natureza.

Apesar dessas desvantagens, o uso de hidroxâmicos, acaba sendo o mais comum nas plantas de beneficiamento devido sua eficácia no processo como coletor e pelo baixo custo, devido a esses fatores, novos métodos alternativos de flotação se fazem necessários para expandir o conhecimento e desenvolver a tecnologia de flotação de minério de cobre, com a mesma eficiência, mas com uma produção mais sustentável e menos poluente Li *et al.*, (2018).

3.3 NANOPARTÍCULAS COMO ATIVADORES DA FLOTAÇÃO

Cerca de mais 400 milhões de toneladas de minerais são triturados e moídos em partículas com menos de 100 µm de diâmetro, anualmente, em seguida são submetidas ao

processo de flotação de espuma para isolar os componentes valiosos Yang *et al.*, (2011). Convencionalmente, para esse processo alguns coletores são tensoativos de baixo peso molecular, como por exemplo, o xantato, que tem por objetivo promover a adsorção do mineral na superfície. Novas tecnologias estão sendo inseridas, como por exemplo o uso de nanopartículas como coletores em sistemas de flotação Yang *et al.*, (2011).

Adsorção é um processo resultante do excesso de energia na superfície do adsorvente (energia livre na superfície) devido ao desbalanceamento das forças que atuam nas moléculas Perry *et al.*, (1973). Em outras palavras, a adsorção está relacionada ao processo de acumulação de substância em uma interface, a qual pode ser gás-líquido, líquido-líquido, gás-sólido ou líquido-sólido. É absorção é o processo de acumulação via interpenetração de uma substância em outra fase.

Recentemente, algumas tentativas de coletores foram desenvolvidas com o uso de nanopartículas hidrofóbicas como uma nova classe de coletores na flotação a base de poliestireno e quitosana, por exemplo, empregadas para a flotação de fluorita, sulfetos de ferro, chumbo e entre outros Hajati *et al.*, (2016), Yang *et al.*, (2011) e Huang *et al.*, (2013).

Estudos do uso de nanopartículas na flotação demonstraram que as nanopartículas hidrofóbicas podem obter vantagens como coletores no processo de flotação com eficiência superior aos coletores convencionais Yang *et al.*, (2013). Por exemplo, a cobertura do coletor de poliestireno deve conter apenas 10% de nanopartículas nas superfícies com a utilização de esferas de vidro as quais podem promover uma alta eficiência na flotação, enquanto o coletor molecular convencional requer 25% ou mais de cobertura para uma boa recuperação como explica Abarca *et al.*, (2015).

Considerando estas vantagens das nanopartículas como coletores no processo de flotação, os pesquisadores têm exercido esforços substanciais para clarificar a viabilidade das nanopartículas como coletores em uma estratégia menos poluente e eficaz, através de abordagens ainda experimentais e teóricas Hajati *et al.*, (2016).

As nanopartículas usadas como coletores apresentaram resultados positivos, como: hidrofobicidade suficiente para que as partículas minerais com as nanopartículas adsorvidas aderem mais facilmente as bolhas; são coloidalmente estáveis ao que se refere a força iônica, condição essa que requer as células de flotação; as nanopartículas se depositam especificamente nas partículas desejadas dos minerais e não nas de ganga Abarca *et al.*, (2018).

3.4 A QUITOSANA COMO ATIVADOR PARA MATERIAIS ULTRAFINOS

A quitosana, é um biopolímero do tipo polissacarídeo, possui uma estrutura molecular quimicamente semelhante à celulose, sendo um heteropolissacarídeo preparado a partir da reação de N-desacetilação da quitina. É um dos biopolímeros mais abundantes no planeta, podendo ser extraída principalmente de carapaças e exoesqueletos de crustáceos como explica Azevedo *et al.*, (2007).

Quitosana é polímero atóxico, biodegradável, biocompatível e produzido por fontes naturais renováveis, cujas propriedades vêm sendo exploradas em aplicações industriais e tecnológicas há quase setenta anos, segundo Azevedo et al. (2007) algumas das principais áreas de aplicação da quitosana é dentre muitas o tratamento de água na forma de floculantes para clarificação, remoção de íons metálicos.

Uma característica singular da quitosana reside no fato desse heteropolissacarídeo apresentar, dentre todos os biopolímeros naturais, o maior caráter catiônico como explica Gonsalves *et al.* (2011), uma vez que a maioria dos polissacarídeos animais ou vegetais apresenta caráter neutro (celulose, dextrana, amido) ou aniônico (alginato, carragenina, xantana).

Em adição, algumas funções particulares da quitosana estão diretamente relacionadas a seu caráter eletrolítico, inclusive certos procedimentos de reticulação de suas cadeias.

A quitosana é insolúvel em água, em solventes orgânicos e em bases, sendo solúvel na maioria das soluções de ácidos orgânicos com pH inferior a 6,0. Os ácidos acético e fórmico são os mais usados na solubilização do biopolímero e em dispersões de quitosana também podem ser preparadas por dissolução em ácidos inorgânicos diluídos, tais como, nítrico, clorídrico, perclórico e fosfórico. Após dissolução em meio ácido, os grupos amino livres da quitosana tornam-se protonados ($-NH_3^+$), o que facilita sua solvatação em água. Essa é a razão pela qual o biopolímero passou a ser classificado como um polieletrólito catiônico Gonsalves et al., (2011).

Uma das aplicações da quitosana mais conhecidas é a sua utilização no tratamento de águas residuais e em efluentes industriais isso se deve a capacidade da quitosana interagir com íons metálicos o que propicia o processo (CAMPANA FILHO; SIGNINI; CARDOSO, 2007).

Para o uso e aplicação da quitosana na flotação é necessário a preparação de

microesferas, consiste numa estratégia para incrementar a capacidade de adsorção da quitosana, uma vez que a quitosana está disposta em microesferas elas possuem uma área superficial cerca de 100 vezes maior do que a sua versão em flocos, o que permite um melhor alcance em sua área de contato. Além disso, as microesferas apresentam cinéticas de adsorção mais rápidas e precisas, o que facilita o manuseio e operação.

Na busca pela recuperação de materiais ultrafinos no processo de flotação algumas estratégias são desenvolvidas como métodos auxiliares para a captura de ultrafinos tendo que desta forma dispor de coletores em diâmetros microscópicos designados nano coletores, que são partículas de escala nanométrica feita de materiais normalmente inorgânicos que têm uma alta afinidade com substâncias adsorventes que segundo Santhosh *et al.* (2016) por causa de sua alta porosidade, tamanho pequeno e superfície ativa, nano adsorventes, não só são capazes de sequestrar materiais muito pequenos como fazem isso de forma rápida e também podem ser quimicamente regeneradas após exaustão, a quitosana por sua vez possui além dessas características como principal diferencial o fato de ser de origem orgânica.

A utilização em tecnologias que consigam atuar em escalas muito pequenas tem sido um grande diferencial na indústria e em vários seguimentos econômicos e por estas razões, os interesses acadêmicos da nanotecnologia têm crescido rapidamente em todo o mundo. Na flotação, os materiais apresentam características únicas, e apesar do seu pequeno tamanho, possuem uma grande área de superfície e "superfície relação área/volume como descreve Santhosh et al. (2016). Além disso essas características melhoram a capacidade de adsorção das nanopartículas que além da grande capacidade de adsorção das nanopartículas de superfície, estas partículas apresentam características únicas, tais como potencial catalítico e alta reatividade, o que os torna tão melhores materiais adsorventes do que os materiais convencionais.

Devido à sua área de superfície elevada, as nanopartículas de quitosana têm um maior número de ativos locais de interação com diferentes espécies químicas. Estudos de adsorção apontaram as características mais importantes que determinaram a adsorção que são dentre outros a aptidão para aplicação prática, capacidade de adsorção, seletividade para íons, regenerabilidade, compatibilidade, tamanho de partículas, poros e custo, o que varia de acordo com as substâncias utilizadas Habuda *et al.*, (2014). Além disso Habuda *et al.*, (2014) explicam que proponentes da tecnologia de adsorção argumentam que a técnica é economicamente eficiente e produz resultados satisfatórios e eficientes.

Azevedo *et al.* (2007) explica que no estado sólido, a quitosana é um polímero semicristalino. Sua morfologia tem sido muito investigada, e muitos polimorfismos são mencionados na literatura. Cristais de quitosana são obtidos usando-se a desacetilação completa da quitina de baixo peso molecular. Na difração de raios-X da quitosana é observada uma célula unitária ortorrômbica com parâmetros $a = 0,807\text{nm}$, $b = 0,844\text{ nm}$ e $c = 1,034\text{ nm}$.

Para Azevedo *et al.* (2007) algumas das principais áreas de aplicação da quitosana são: agricultura (mecanismos defensivos e adubo para plantas), tratamento de água (floculante para clarificação, remoção de íons metálicos). Nessa pesquisa a utilização da quitosana como coletor na flotação de calcopirita trará mais uma evidência na utilização diversificada da quitosana.

3.5 O POTENCIAL POLUIDOR DOS SULFÍDRICOS XANTATOS

Os processos e operações de beneficiamento de minério produzem diversos tipos de efluentes líquidos com diferentes graus de toxicidade e bioacumulação ao meio ambiente. A concentração e classificação de minério por flotação é um dos mais abrangentes e importantes processos de beneficiamento de minérios, principalmente minérios metálicos, seu grande sucesso do método de flotação na indústria mineral se deve à sua precisão na separação, ampla utilização e a grande capacidade de coletar finos, além de possibilitar produção em larga escala Baltar (2010).

Aproximadamente 2 bilhões de toneladas de minérios são beneficiados e concentrados com a utilização do método de flotação por ano, isso inclui o cobre, chumbo, zinco, níquel e molibdênio e entre outros, produzidos no mundo.

O sal xantato é utilizado como o principal reagente coletor dos mais utilizados nas operações de flotação, tanto para minerais metálicos simples quanto minerais sulfetados. No entanto devido a sua toxicidade aos seres vivos aquáticos, seu efluentes deve ser tratado após o término do processo e antes de lançamento em rios García-Leiva *et al.*, (2017).

As águas residuais da mineração oriundas do processo de flotação coletadas em barragens de rejeito ou bacias de decantação podem conter tanto xantato residual como metais e não metais dissolvidos, incluindo alguns tipos de drenagem ácida de mina.

No contato com o meio externo podem ocasionar poluição das águas superficiais e subterrâneas, pois de acordo a literatura o xantato apresenta, principalmente, alta toxicidade ao encontrar-se em meio aquoso. O maior risco de toxidez está relacionado ao seu derivado

bissulfeto de carbono (CS₂). Isso, no contexto geral, se traduz em um potencial degradador do meio ambiente, razão pela qual constitui o interesse de se estudar possíveis tratamentos técnicas que sejam economicamente viáveis para remoção / degradação de xantato residual em efluentes.

Na atualidade, existem algumas técnicas para remover o xantato residual. Como exemplos pode-se citar a remoção por oxidação, por precipitação, por decomposição, por neutralização da acidez do rejeito e por biodegradação. Porém, existem algumas limitações, pois esses métodos ainda apresentam altos custos e ainda tem a potencialidade de gerar subprodutos (ainda tóxicos).

As águas residuais do processo de flotação são coletadas e destinadas a barragens de decantação para tratamento onde podem constar tanto xantato residual como metais e não metais dissolvidos, incluindo espécies de drenagem ácida de mina. No contato com o meio externo podem ocasionar poluição das águas superficiais e subterrâneas.

O xantato como resíduo industrial apresenta, principalmente, alta toxicidade ao encontrar-se em meio aquoso García-Leiva *et al.*, (2017). O maior risco de toxidez está relacionado ao seu derivado bissulfeto de carbono (CS₂). O que poderá ocasionar um potencial poluente ao meio ambiente, razão pela qual constitui o interesse de estudar possíveis alternativas de materiais orgânicos e biodegradáveis para a substituição do xantato como coletor de minério e um dos principais efluentes residuais na mineração de sulfetos.

Os xantatos são usados no processo de flotação para a maioria dos minérios sulfetados e para metais como o cobre, níquel, chumbo, zinco, prata e ouro. Caracterizam-se por um odor bastante forte e desagradável. Em geral, são comercializados em estado sólido, com cor variando de branca a amarela dependendo do grupo álcool de origem e do metal de sua composição Baltar., (2010).

Para Guerrero Garate (2010), dentro dos tipos de xantato, o etil xantato de potássio é o reagente de maior seletividade pela sua pequena cadeia hidrocarbonada. O xantato, tanto de sódio quanto de potássio, tem bastante solubilidade em água. Com a liberação do metal potássio (ou do sódio), surge o íon xantato ou íon coletor, afirma Baltar., (2010). Para o presente estudo, o etil xantato, tem a fórmula C₂H₅OCS₂.

Segundo Sun & Forsling (1997), a concentração do xantato residual em barragens de rejeitos de flotação pode ter consequências ambientais devido a sua alta toxicidade para a biota. Os xantatos são bastante tóxicos para organismos aquáticos e moderadamente tóxicos para animais e humanos, podendo provocar irritações nos olhos e na pele. O maior potencial de

toxidez está relacionado ao bissulfeto de carbono, intermediário da sua oxidação natural, explica Mustafa., (2004) e Nicnas., (2000). Segundo a associação russa de consultores e especialistas independentes em recursos minerais, metalúrgicos e químicos industriais, “a concentração máxima permissível de butil xantato na forma de material particulado em instalações industriais é de 10 mg/m³ (10 partes por bilhão)” (Info Mine, 2012).

Na ficha de Emergência do reagente etil xantato de potássio (Sigma-Aldrich) usado para a presente investigação, descreve-se o xantato no item “Riscos para o Meio Ambiente” como: “reagente nocivo para organismos aquáticos”, podendo provocar efeitos adversos ao meio ambiente aquático.

Não se pode por tanto deixar que esse material se incorpore a drenagem e correntes de água.” Estudos de toxicidade indicam que uma solução aquosa de 10 % de etil xantato de sódio apresenta uma DL50 (Dose Letal 50%) oral = 730 mg/kg em ratos. Os órgãos que são atingidos pela via oral são o sistema nervoso central, o fígado e o baço, como explica Guerrero Garate., (2010). E segundo o mesmo autor, o etil xantato de sódio não se acumula no organismo. Guerrero Garate (2010) nos seus estudos com amil xantato de potássio, também realizou análises de toxicidade aguda com peixes Guppy e determinou: CL50 para 48 horas= 10 mg/L e CL50 para 96 horas = 1,5 mg/L. Apresentam-se na Tabela 1 valores de toxicidade aguda (CL50) para diferentes espécies, publicados por Alto et al. (1977).

Por isso desenvolver alternativas de substituição ou mesmo de redução do uso do Xantato é uma necessidade da produção mineral e industrial consciente e um problema que deve ser mitigado no meio ambiente.

4. EXPERIMENTAIS

Neste tópico são apresentados os materiais e a metodologia aplicada nos experimentos realizados.

Os procedimentos experimentais foram executados no Laboratório de Engenharia de Minas do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). A amostra mineral utilizada nos testes de flotação é proveniente da Mina do Matuto, que é uma mina de cobre, no município de São Félix do Xingu- PA.

Para a realização da pesquisa foram necessárias à execução de algumas etapas como: cominuição, classificação granulométrica em sequência a flotação com variação concentração e variações de pH, como demonstrada na Figura 9 apresenta um fluxograma das etapas

realizadas.

Foram utilizados nesta pesquisa os seguintes materiais:

4.1 MATERIAIS

- Amostra de fragmento de calcopirita;
- Amil xantato de potássio de fórmula química $C_5H_{11}O_2SSK$, na forma de um granulado levemente amarelo;
- Espumante Lauril;
- Quitosana em microesferas fornecidas e comercializadas pelo Laboratório BIOMATER da UFRGS;
- Ácido Clorídrico HCL;
- Água destilada;
- Tubo de Hallimond modificado;
- Balança de precisão;
- Papel filtro;
- Béquer;
- Vidro de relógio;
- Estufa elétrica;
- Bomba a vácuo;

4.2 INSTRUMENTOS

- Martelo e mesa de ferro;
- Almofariz;
- Peneiras em serie Tyler com a última em 150 mash;
- Bandeja de alumínio;
- Funil;
- Espátula;
- Pipeta;
- Conta-gotas;
- Bastão de vidro.

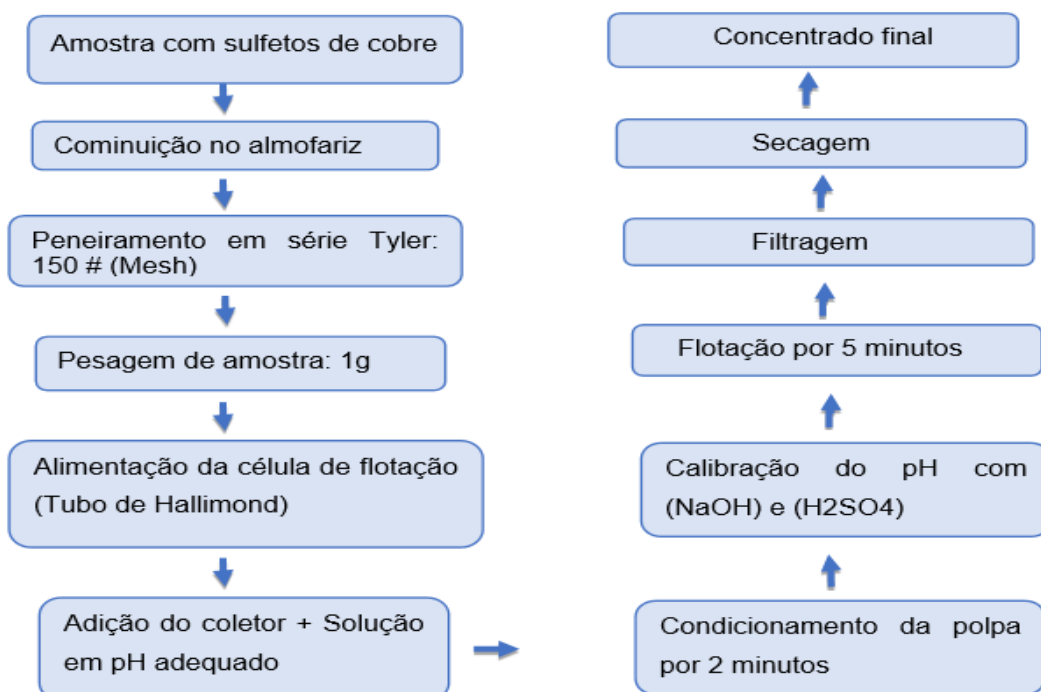
4.2.1 Processamento das Amostras

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas amostras de calcopirita que durante a pesquisa teve como fonte do minério bruto o depósito da Mina do Matuto da cidade de São Félix do Xingu no estado do Pará.

Durante o beneficiamento das amostras de calcopirita foram utilizados processos

primários e secundários de britagem, moagem, classificação granulométrica. O preparo das amostras tem como objetivo a cominuição para que esta possua granulometria apropriada para o processo de flotação pneumática, em grau preciso para desempenho industrial, além de contar com a utilização do coletor Xantato e do espumante Lauril, tendo como modificador de PH, soluções de NaOH e H₂SO₄. Esse processo foi desenvolvido em escala laboratorial fazendo uso de equipamentos de pequeno porte.

Figura 1- Fluxograma do processo.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

4.2.2 Preparação da Amostra

A britagem é a operação que procura fragmentar os blocos obtidos da lavra de forma a diminuir os tornando-os propícios para outros processos, neste caso para chegar em 0,075 mm, todavia como existe uma série de equipamentos para este processo, esta operação deve ser dimensionada de acordo com o minério utilizado e da granulometria pretendida podendo. Esse processo ser repetido diversas vezes com o mesmo equipamento ou mudando o equipamento, até se obter um material de granulometria adequada à alimentação da moagem (CETEM, 2010). A amostra em questão foi obtida em estado bruto e passou por um processo de britagem, que foi realizada por processo mecânico a base de golpes com um martelo comum.

Na busca pelo material em granulometria apropriada para o processo de flotação, foi necessário que se fragmentasse o material a base de calcopirita para que as partículas se submetessem ao processo de flotação.

Figura 2– Maciço sulfetado de cobre contendo calcopirita.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Maciço sulfetado de cobre contendo calcopirita. 2020

A calcopirita extraída da mina do Matuto veio com um tamanho considerável pesando em torno de 2 kg. Com isso foi utilizando processo de fragmentação manual que tem como objetivo quebrar através da força mecânica e fragmentar a amostra. Para isso foi utilizado martelo comum em mesa de ferro apropriada ao tipo de impacto gerado pela quebra do material esse processo foi feito nas dependências do Laboratório de Processamento dos Minerais do CEULP-ULBRA.

Figura 3 - Mesa de ferro e martelo utilizados para fragmentação.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Mesa de ferro e martelo utilizados para fragmentação. 2020

A figura acima demonstra o local onde o material foi fragmentado, uma espécie de mesa de concreto com uma grelha constituída por placas de ferro de aproximadamente 10cm de largura, espaçadas entre si com a medida 2 cm, onde o material mais fino cai num recipiente e o material mais grosso fica retido na parte superior.

A moagem foi executada manualmente com a utilização de um almofariz de porcelana e pistilo de laboratório, até 0,075 mm, granulometria apropriada para processo de flotação processo o qual as amostras serão submetidas posteriormente.

A escolha de partículas de 0,075 mm foi objetivada para verificar se a quitosana alcançaria materiais ultrafinos.

O material a base de calcopirita britada foi colocado em almofariz do tipo laboratorial de numeração adequada para que manualmente possa ser por força mecânica reduzida a partículas menores.

Figura 4 - Moagem do minério de cobre calcopirita em almofariz e pistilo.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Moagem do minério de cobre calcopirita em almofariz e pistilo

Após a moagem do material foi peneirada com aberturas nas medidas em milímetros (peneiras de 2.0, 1.0, 0.6, 0.3, 0.15, 0.075 e <0.075) para realização dos ensaios foram utilizados granulometria inferior a <0.075 mm.

O peneiramento foi realizado por um conjunto de peneiras e agitado manualmente no laboratório conforme figura abaixo.

Foram utilizadas peneiras com abertura de até 150# com agitação executada manualmente e o material foi classificado por peneiras de laboratório tamanho 8x2 juntamente com agitação manual.

O processo de peneiramento faz uso de um conjunto de peneiras laboratoriais que em conjunto com um agitador de peneiras permite que se classifiquem os grãos de forma padronizada e uniforme a ponto de produzir partículas apropriadas para flotação sendo estas partículas iguais ou menores que 0,075 mm que é a granulometria adequada a flotação.

Figura 5- Conjunto de peneiras.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Conjunto de peneiras. 2020

Com o peneiramento foi possível classificar as amostras tendo um material que com partículas micrométricas possam aderir a bolha e com as adequações necessárias tenha capacidade de flotar.

4.2.3 Ensaio de Flotação

Após o processo de peneiramento das amostras o material obtido será pesado em balança de precisão utilizando-se 1g do material a base de calcopirita levados ao tubo de Hallimond para ser flotado com o coletor a base de xantato em testes com 0,3, 0,6, 0,9, e 1,2 ml de xantato sólido dissolvido em água destilada. No processo de flotação o PH será alterado em 9, 10 e 11 para verificação do PH ideal. O processo de flotação será desenvolvido em um equipamento especializado chamado de Tubo de Hallimond Modificado descrito no desenho a seguir.

O tubo de Hallimond consiste em um equipamento tubular constituído por três peças de vidro que encaixadas formam uma tubulação em L que com um auxílio de um pressurizador de ar acoplado em sua extremidade inferior faz com que o ar passe por um filtro que produz bolhas em grande volume o que permite a flutuação das bolhas para a parte superior do equipamento. Na extremidade superior existe uma deformidade do cilindro do tubo que funciona como um funil coletor do material flotado com as bolhas o que permite coletar o conteúdo flotado após o término do processo. No processo foi utilizado um espumante do tipo lauril que será colocado a medida de uma gota em cada teste. Após o desenvolvimento de três amostras para cada uma

das concentrações de xantato em cada uma das alterações de PH (9, 10 e 11) obtemos as médias de flotação em cada bateria de amostra contabilizando assim quatro medias de doze amostras, as quais serão secas em estufa e pesadas em seguida. Em um segundo momento terá a repetição do processo tendo agora como coletor a Quitosana em concentrações de 1.2, 2.4, 3.6 e 4.8 ml nos mesmos níveis de PH (9,10,11), com a adição 1g de NaOH, onde será feita a comparação dos processos e dos resultados obtidos com Xantato e dos resultados com a Quitosana para verificação dos desempenhos em cada processo.

No processo de flotação foram pesados em balança de precisão 1g de material já processado.

Figura 6– Balança de precisão.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Balança de precisão 2020.

A utilização da balança de precisão consiste na verificação exata do conteúdo inicial tendo em vistas o conteúdo do material flotado ao final do processo. Posteriormente o material foi colocado em um Tubo de Hallimond Modificado do tipo laboratorial onde foi feito o processo de flotação.

Figura 7- Tubo de Hallimond modificado do tipo laboratorial.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Tubo de Hallimond modificado do tipo laboratorial. 2020

“Com relação à eficiência de um determinado reagente na flotação (seja ele depressor ou coletor) de um mineral em específico, é usual a utilização de microflotação em tubo de Hallimond modificado” (AGUIAR, 2014). nos estudos. Nesse dispositivo, após o condicionamento da polpa do mineral a ser testado, faz-se a passagem de N_2 (g) nesta polpa por meio de uma placa de vidro porosa no fundo da parte inferior do tubo de Hallimond. Nesse teste, a polpa é mantida em suspensão por meio de um agitador magnético, situado na parte inferior do tubo. Decorrido um determinado tempo (normalmente 1 minuto), o material flotado é recolhido, filtrado, secado e pesado para a determinação da influência do reagente na flotabilidade do mineral (AGUIAR, 2014).

Para desenvolver o processo de flotação no tubo de Hallimond foi necessário a utilização de espumantes do tipo Lauril, além de modificadores de PH que com a aferição de um peagâmetro digital chegamos aos pHs desejados de 9, 10, e 11. Ainda no Tubo de Hallimond adicionamos em etapas distintas os coletores a base de xantato e quitosana. O desenvolvimento da flotação foi feito durante 5 min onde parte do material flotado foi recolhido com o auxílio de um Becker de vidro, conforme figura.

Figura 8 - Flotação sendo realizada no tubo de Hallimond modificado.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Flotação sendo realizada no tubo de Hallimond modificado. 2020

Durante o processo de flotação o material flotado era recolhido e posto nos filtros para irem escorrendo de forma a não perder nenhuma parte do material flotado. Após o preparo das amostras e a obtenção dos resultados do material flotado foram produzidas 24 amostras de flotação do material a base de calcopirita, sendo 12 resultados com o uso de xantato e 12 resultados com o uso de quitosana. As amostras retiradas do Tubo de Hallimond Modificado que permite a realização de ensaios com maior agitação, vazão e menores tamanhos de partícula no teste como explica Rodrigues (2019). Foram filtradas em papel filtro.

Figura 9- Material sendo filtrado em papel filtro.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Material sendo filtrado em papel filtro. 2020

Após a filtragem das amostras de material flotado elas foram classificadas quanto as dosagens de coletor e níveis de PH. Depois de classificadas as amostras foram levadas a uma estufa a 100°C para secagem conforme imagem a seguir.

Figura 10- Amostras após serem retiradas da estufa.



Fonte: REGO, Oséias Costa. Amostras após serem retiradas na estufa.

Uma vez que as amostras estavam secas, elas foram pesadas e assim foram computadas as massas do material flotado com o uso dos diferentes coletores neste caso xantato e quitosana. O gráfico apresenta o resultado em porcentagem da recuperação do minério de Cu obtido com o coletor xantato, com as variações das concentrações em 0.3ml, 0.6ml, 0.9ml, 1.2 ml com o pH 9.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

No desenvolvimento deste trabalho foi possível produzir alguns dados que possibilitam a compreensão do comportamento da quitosana em um processo de flotação em tubo de Hallimond modificado, assim podemos verificar em escala laboratorial quais os comportamentos deste material na flotação da calcopirita onde foram utilizados como coletores o xantato e a quitosana em diferentes concentrações, e pHs, para a melhor visualização do potencial coletor dos dois produtos foram feitos anteriormente um teste de arraste para verificar o comportamento das partículas sem a influência de quaisquer coletores .

5.1 O TESTE DE ARRASTE

Com relação à eficiência de um determinado reagente na flotação (seja ele depressor ou coletor) de um mineral em específico, é usual a utilização de microflotação em tubo de Hallimond modificado nos estudos. Nesse dispositivo, após o condicionamento da polpa do mineral a ser testado, faz-se a passagem de N₂ (g) nesta polpa por meio de uma placa de vidro porosa no fundo da parte inferior do tubo de Hallimond. Nesse teste, a polpa é mantida em suspensão por meio de um agitador magnético, situado na parte inferior do tubo. Decorrido um determinado tempo (nesse estudo 2 minutos), o material flotado é recolhido, filtrado, secado e pesado para a determinação da influência do reagente na flotabilidade do mineral (AGUIAR, 2014).

No entanto, a flotação também pode ocorrer por arraste hidrodinâmico, sem a influência do reagente e independente de fenômenos químicos na superfície do mineral. Neste caso, as partículas são arrastadas entre as bolhas, seguindo o fluxo da água, e como não há a adesão com a bolha, reduz a seletividade do processo. Logo, para se determinar a efetividade de um reagente, é muito importante que o arraste seja quantificado e preferencialmente minimizado.

Resultados dos ensaios de flotação (arraste) feito com minério de cobre utilizando apenas reagente espumante, onde primeiramente colocou-se água destilada no tubo de Hallimond, feito isso adicionamos 1g de material e de 0,0211g de espumante lauril e deixamos condicionando a polpa por 2 minutos com auxílio de agitador magnético. Após isso ligou-se o compressor para início da flotação que durou 5 minutos. Feito isso retiramos o material flotado para o papel filtro e colocamos para secar em estufa à 100°C por 24 horas.

O cálculo dos valores de arraste obtidos no teste é feito da seguinte forma:

$$\text{Arraste (\%)} = \frac{\text{(massa do flotado)}}{\text{(massa do flotado)+ (massa do afundado)}} \times 100$$

Após isso termos os seguintes resultados:

Tabela 1- Resultados obtidos

ENSAIOS	PESO	PESO	MATERIAL	RECUPERAÇÃO
---------	------	------	----------	-------------

	FILTRO (g)	TOTAL (g)	FLOTADO (g)	(%)
1	0,820	1,119	0,299	29,9
2	0,836	1,234	0,398	39,8
3	0,849	1,413	0,564	56,4
4	0,829	1,214	0,385	38,5
5	0,830	1,314	0,484	48,4
6	0,839	1,395	0,556	55,6
7	0,841	1,254	0,413	41,3
8	0,827	1,249	0,422	42,2
9	0,824	1,351	0,527	52,7
10	0,836	1,295	0,459	45,9
11	0,832	1,287	0,455	45,5
12	0,835	1,256	0,421	42,1
MÉDIA			0,439	43,9

Fonte: Dados coletados por Oséias Rego (2020).

Portanto com a obtenção desta média referente ao arraste será possível desconsiderá-lo no processo para melhor verificação do desempenho do coletor quitosana o que segundo Rodrigues (2019) o arraste hidrodinâmico é muito importante para a avaliação correta do processo de flotação em Tubo de Hallimond.

5.2 FLOTAÇÃO COM O COLETOR XANTATO

Para comparar a quitosana com o xantato no desempenho como coletor é preciso que inicialmente possamos verificar o desempenho do mesmo no processo de flotação de calcopirita sendo feita na mesma proporção e com os meios instrumentais tal qual será feito com a Quitosana.

Uma vez desenvolvido no tubo de Hallimond modificado obtivemos os seguintes resultados com a variação de concentração e pH.

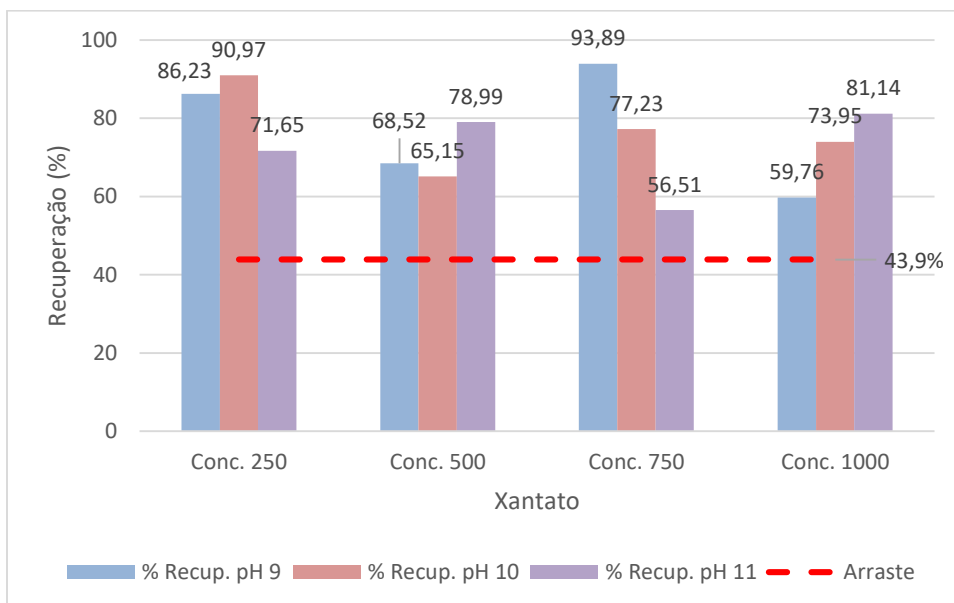
Tabela 2 -

	Conc. 250	Conc. 500	Conc. 750	Conc. 1000
% Recup. pH 9	86,23	68,52	93,89	59,76
% Recup. pH 10	90,97	65,15	77,23	73,95
% Recup. pH 11	71,65	78,99	56,51	81,14
Arraste	43,9	43,9	43,9	43,9

Fonte: Dados coletados por Oséias Rego (2020).

Desta forma chegamos ao seguinte gráfico:

Gráfico 1 - Recuperação



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Verifica-se neste teste que o maior desempenho do coletor Amil Xantato ocorre na concentração de 750 g/t, e com o pH 10, chegando ao pico de 93,89 % de recuperação, como descrevem os gráficos a seguir:

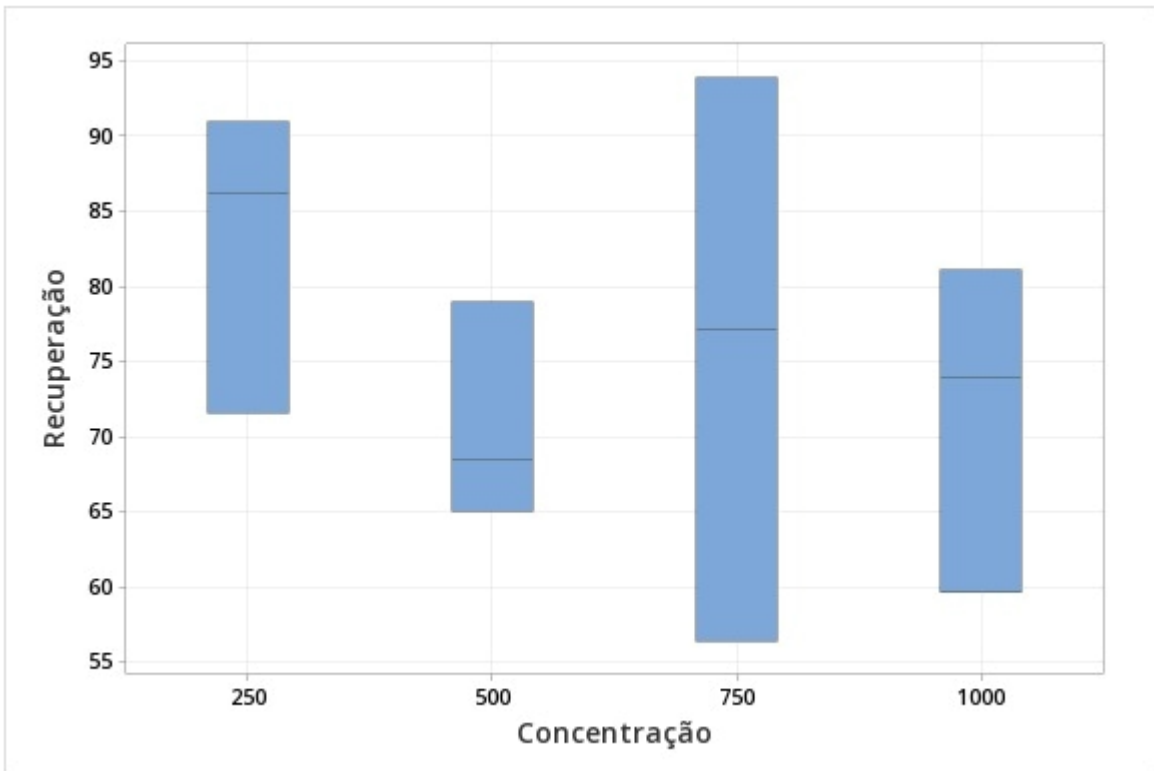


Gráfico 2

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O gráfico demonstra o quanto a concentração de 750 g/t é superior as demais em termos de recuperação.

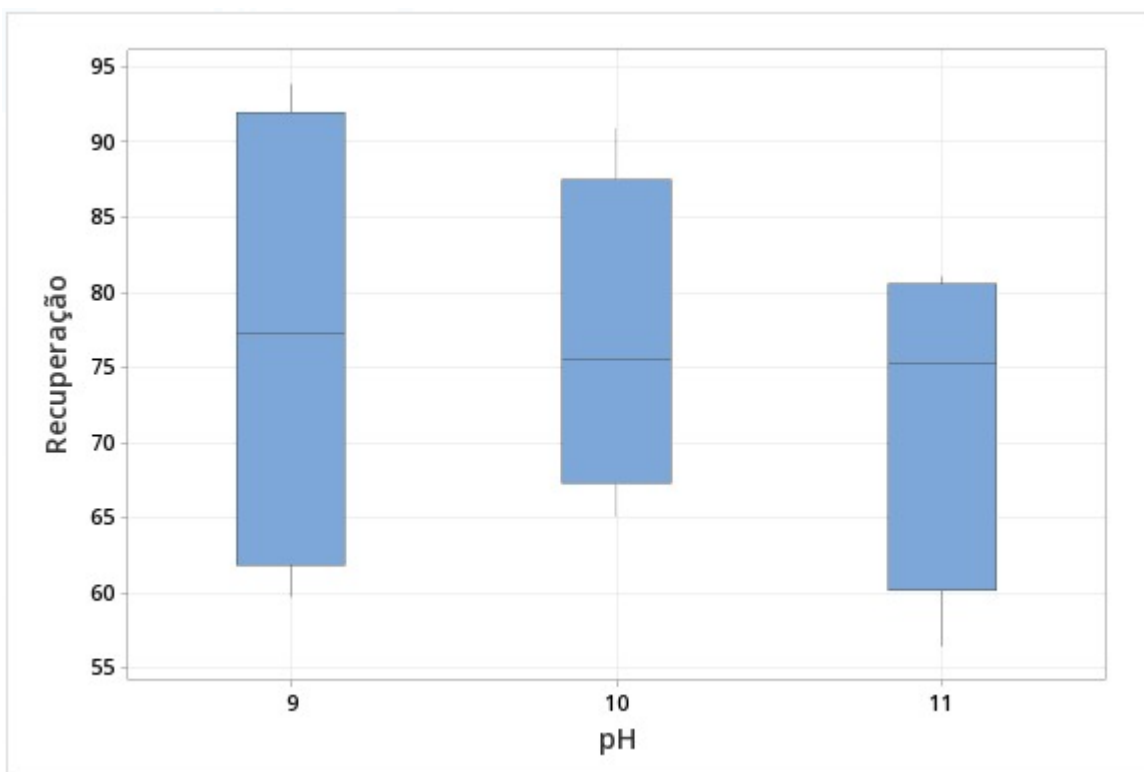


Gráfico 3
 Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Foi verificado que em condições em que a concentração de xantato era igual a 750 g/t com um meio aquoso onde o pH em 9 tivemos uma recuperação ótima de 93,89% da calcopirita flotada. Segundo Nogueira, Osti, Pereira e Lopes (2017) em seu experimento em teste de bancada foi possível verificar recuperação semelhante com o uso do xantato.

Ainda segundo Nogueira, Osti, Pereira e Lopes (2017) Com os resultados da flotação de bancada foi possível afirmar que o melhor conjunto de reagentes usados foi o do ensaio com uso de xantato que permitiu constituir um material flotado (*oversize*) com recuperações diferenciadas do afundado (*undersize*). Além disso foi o que obteve maiores recuperações de Zn, Pb e Ag.

5.3 FLOTAÇÃO COM O COLETOR QUITOSANA

No teste de flotação utilizando a quitosana como coletor tendo variações de concentração e de pH podemos verificar o seu desempenho da seguinte forma:

Tabela 3

Conc. 250	Conc. 500	Conc. 750	Conc. 1000
-----------	-----------	-----------	------------

% Recup. pH 9	56,08	84,86	52,68	70,8
% Recup. pH 10	55,15	57,51	50,16	72,34
% Recup. pH 11	58,92	61,33	50,02	67,53
Arraste	43,9	43,9	43,9	43,9

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

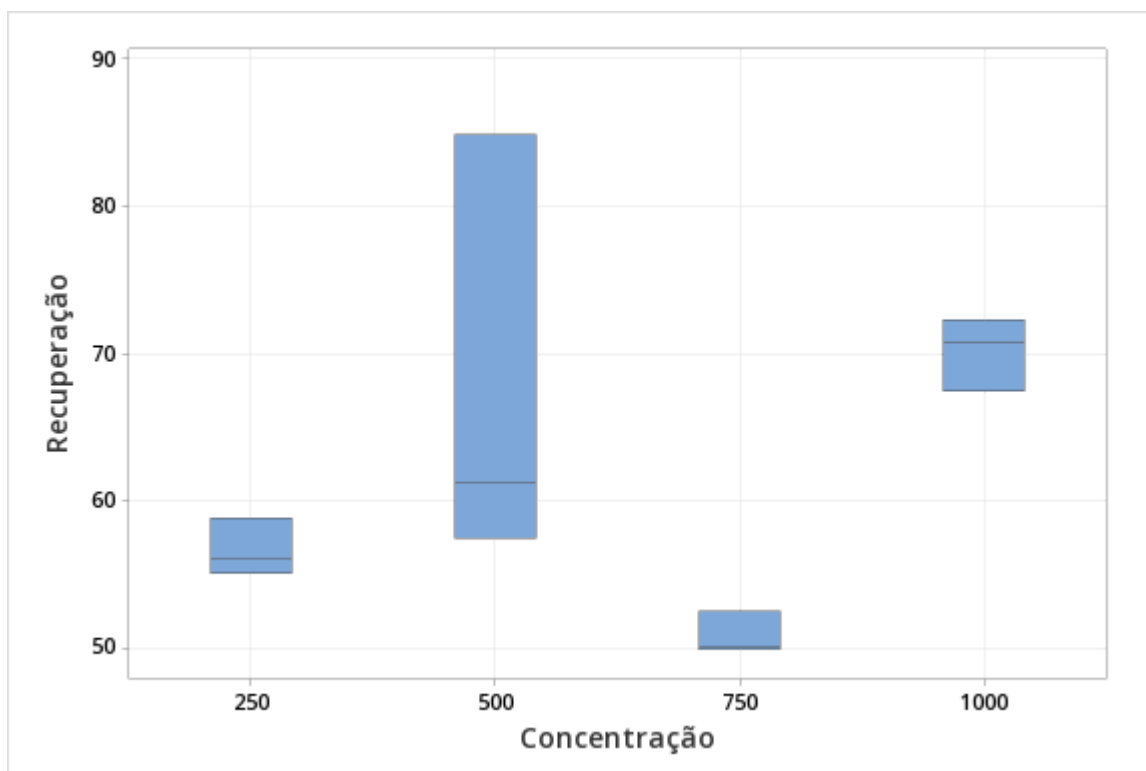


Gráfico 4

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Conforme o gráfico o coletor quitosana mostrou seu melhor desempenho em recuperação com a concentração de 500 g/t onde alcançou uma recuperação de 84,86 %.

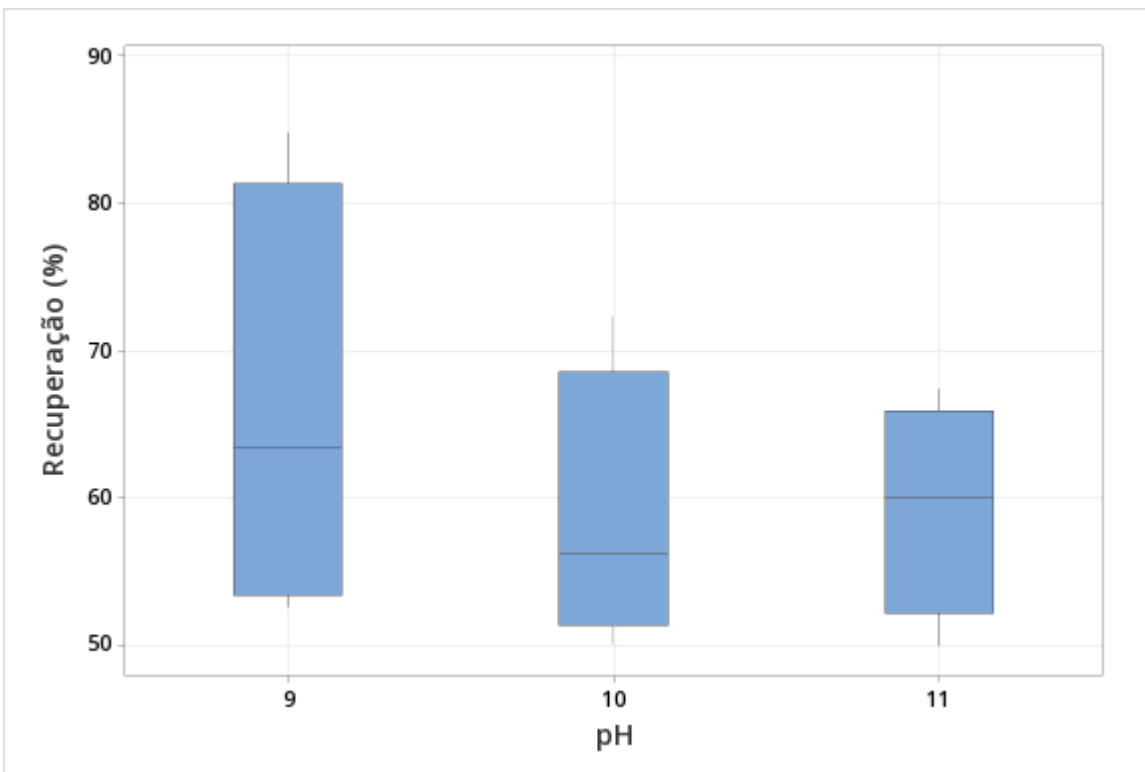


Gráfico 5

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Segundo o gráfico o melhor desempenho do coletor quitosana foi dado no pH 9 tendo um decréscimo com o aumento do pH.

Desta forma podemos relacionar os dados ao seguinte gráfico.

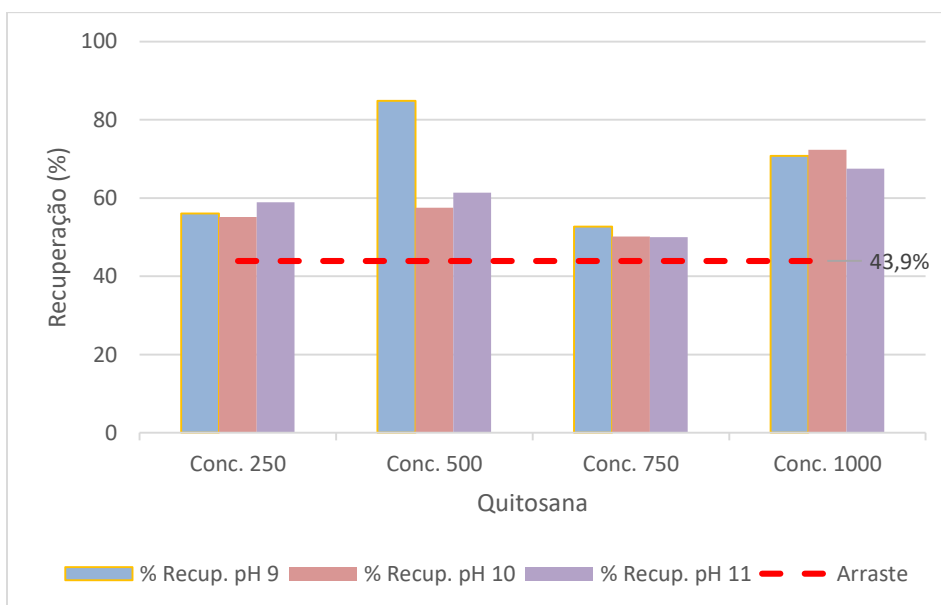


Gráfico 6

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O gráfico demonstra claramente que a concentração de 500 mg em pH 9 tem resultados de recuperação superiores em até 84,86%.

5.4 QUITOSANA x XANTATO

Verificou-se que com o pH 9 e com concentração de 500 g/t de quitosana, foi possível obter a máxima de concentração 84,86 mg de calcopirita recuperada. O que é um valor menor que o obtido pelo Xantato (93,89%), porém deve se considerar que os benefícios no uso do biocoletor são altos como por exemplo baixo custo em sua produção, o ganho ambiental devido à redução de toneladas de poluentes devido as suas propriedades de biodegradação, biocompatibilidade e não toxicidade como explica (SILVA *et al.*, 2016).

Em verificação do desempenho e comportamento do xantato em comparação com a quitosana pôde-se concluir que a quitosana possui desempenho inferior ao xantato como coletor de calcopirita na flotação, pois a sua capacidade como coletor de calcopirita se mostrou funcional, porém inferior ao do xantato.

Tabela 4 -

	X. Conc. 250	Q. Conc. 250	X. Conc. 500	Q. Conc. 500	X. Conc. 750	Q. Conc. 750	X. Conc. 1000	Q. Conc. 1000
% Recup. pH 9	86,23	56,08	68,52	84,86	93,89	52,68	59,76	70,8
% Recup. pH 10	90,97	55,15	65,15	57,51	77,23	50,16	73,95	72,34
% Recup. pH 11	71,65	58,92	78,99	61,33	56,51	50,02	81,14	67,53
Arraste	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A tabela relaciona os valores de recuperação com pH e concentração que a partir dos dados chegamos ao seguinte gráfico comparativo.

Gráfico 2 -

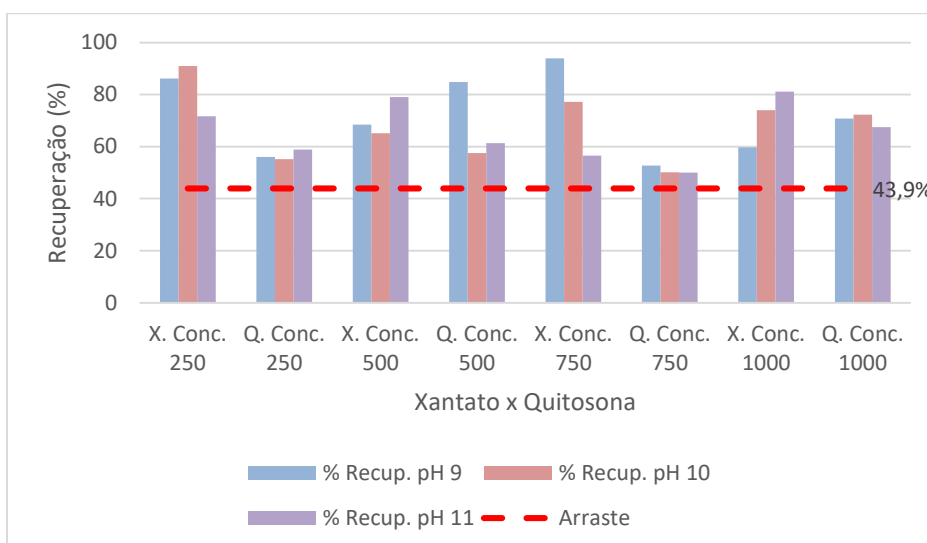


Gráfico 7

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Nesta comparação exposta no gráfico é possível ver a diferença de recuperação entre Quitosana e Xantato e seus valores de alteração com mudança de pH e concentração.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, o processamento e discussão dos dados permitem estabelecer as seguintes conclusões: Os testes de microflotação com o coletor xantato apresentou maior valor de flotabilidade do minério de cobre, sempre superior a 55%. Os maiores valores de recuperação com o xantato foram: 81,14 % com o pH 11 e concentração 1,2 mg, 90,97% com o pH 10 e concentração 0,3 mg e 93,89% com o pH 9 e concentração 0,9 mg. Em relação ao coletor com quitosana os maiores valores de flotabilidade foram iguais a 67,53%, 72,34% e 84,86%, dados semelhantes aos alcançados por Hrůzová, Matsakas, Sand, Rova e Christakopoulos (2020) onde o uso de nanopartículas de lignina alcançaram recuperação semelhante com minério de cobre.

Com o coletor de quitosana para os testes realizados nos pH's 11,10 e 9. Os resultados desse trabalho confirmam que a quitosana possui eficiência no processo de recuperação na flotabilidade da calcopirita, tendo um comportamento semelhante aos de polímeros inorgânicos como no estudo com estireno-butilacrilato conforme pesquisa feita por Yang, Liu, Wang, Ai e Ren (2022), onde as nano esferas do polímero usado alcançaram de 42 para 84% de recuperação em calcopirita. Porém apesar de nanopartículas possuírem desempenho menor que o do Xantato

em relação a recuperação, toda via em aspectos ambientais torna-se uma alternativa sustentável no processo de redução de impactos ambientais o que ocorre de forma contrária com o Xantato.

Contudo os resultados obtidos neste estudo, o processamento e discussão dos dados permitem estabelecer as seguintes conclusões: Os testes de microflotação com o coletor xantato apresentou maior valor de flotabilidade do minério de cobre, sempre superior a 55%. Em relação ao coletor com quitosana os maiores valores de flotabilidade foram superiores a 60% em dosagens de 500 g/t e 1000 g/t, sendo os maiores valores de 84,9% para os testes realizados em pH 9 e dosagem de 500 g/t.

Os resultados desse trabalho confirmam que a quitosana pode ter efeito coletor adequado em flotação de calcopirita, porém possui desempenho menor que do coletor xantato. Todavia, considerando aspectos ambientais, torna-se uma alternativa sustentável na redução de impactos ocasionados pelo uso de reagentes de flotação conforme explicam Rego, Zingano, Tochtrop Junior, Balduino e Rodrigues (2022).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARCA, C., YANG, S., PELTON, R.H., 2015. **Towards high throughput screening of nanoparticle flotation collectors.** J. Colloid Interface Sci. 460, 97–104.
- ABARCA, Carla; ALI, M. Monsur; PELTON, Robert H.. **Choosing mineral flotation collectors from large nanoparticle libraries.** Journal Of Colloid And Interface Science, [S.l.], v. 516, p. 423-430, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2018.01.080>.
- AGUIAR, Maria Auxiliadora Mendes; PERES, A.E.C.; SILVA, Gilberto Rodrigues. **Diminuição da flotabilidade do quartzo como consequência do aumento da dosagem de amina.** 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314180443_Diminuicao_da_flotabilidade_do_quartzo_como_consequencia_do_aumento_da_dosagem_de_amina.
- ARAUJO, A.C., GALERY, R., Viana, P.R.M., ARENARE, D.S. **Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, v.1, p. 325-332, Natal, Brasil, 2005.
- ARAUJO, A.C., GALERY, R., VIANA, P.R.M., ARENARE, D.S. **Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, v.1, p. 325-332, Natal, Brasil, 2005.
- AZEVEDO, V. V. C. et al. **Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, p.30-31, 24 dez. 2007.
- AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; FOOK, M. V. L.; COSTA, A. C. F. M. **Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 2, n. 3, pp. 27-34, 2007.
- BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios.** Recife: Departamento de Engenharia de Minas – UFPE, 2008. 213p.
- BETTENCOURT, Jorge S. **A mina de cobre de Camaquã**, Rio Grande do Sul. Tese (doutorado), Universidade de São Paulo, 1972.
- BRASIL. **Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDS.** Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil. 2016.
- BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral.** Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas. Brasília: DNPM, 2015
- CAMPANA FILHO, Sergio Paulo; SIGNINI, Roberta; CARDOSO, Márcia Barreto. **Propriedades e Aplicações de Quitosana.** Revista Processos Químicos, São Carlos, p.14-14, 01 jul. 2007.
- CAO, Z., ZHONG, H., LIU, G., ZHAO, S., 2009. **Techniques of copper recovery from Mexican copper oxide ore.** Mining Sci. Technol. (China) 19, 45–48.

CAPPONI, F. **Avanços na recuperação de finos de minérios pelo processo de flotação "extensora", o caso da mina de chuquicamata**- Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2005.

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (Rio de Janeiro). **Tratamento de minério**. 5. ed. Rio de Janeiro: Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França, 2010.

CETEM: Rio de Janeiro, dezembro de 2004. PERES, A. E. C. e GUIMARÃES, R. C. **Máquinas de Flotação. In flotação**- Apostila de treinamento da Samarco Mineração, 2005.

CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L.S.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; MONTE, M. B. M.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minério**. 4 ed. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2010, p. 465-513.

CHAVES, Arthur Pinto; L. FILHO, Laurindo de Salles; BRAGA, Paulo Fernando A.. **Tratamento De Minérios: FLOTAÇÃO**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2010.

CHAVES, Arthur Pinto; LEAL FILHO, Laurindo de Salles; BRAGA, Paulo Fernando Almeida de. Flotação. In: LUZ, Adão Benvindo da; FRANÇA, Silvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida (org.). **Tratamento De Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2018. Cap. 10. p. 403-459.

CHOI, J., KIM, W., CHAE, W., KIM, S.B., KIM, H., 2012. **Electrostatically controlled enrichment of lepidolite via flotation**. Mater. Trans. 53, 2191–2194.

CHOI, J., LEE, E., CHOI, S.Q., LEE, S., HAN, Y., KIM, H., 2016a. **Arsenic removal from contaminated soils for recycling via oil agglomerate flotation**. Chem. Eng. J. 285, 207–217.

CLARK, M.E., BRAKE, I., HULS, B.J., YU, M. **Creating value through application of flotation science and technology**. Minerals Engineering, v.19, 2005, pp. 758-765.

DNPM, 2001. 52 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balancomineral-brasileiro-2001-cobre/view>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

EIGELES, M. A. – 1958 - **Selective of nonsulfide Minerals-Progress in Mineral Dressing. Trans SME/AIME**. 4 th International Mineral Dressing Congress. Stockolm.

GLEMBOTZKY, V. V. et al. – 1963 - **Flotation.Primary Sources**. New York.

GONSALVES, Arlan de Assis et al. **Diferentes Estratégias Para A Reticulação De Quitosana**. Quimica Nova, Maceió, v. 34, n. 7, p.1216-1216, 01 abr. 2011.

GREENWOOD N. EARNSHAW A. **Chemistry of the elements**, Elsevier, 2002.

HABUDA-STANIĆ, Mirna; RAVANČIĆ, Maja; FLANAGAN, Andrew. **A Review on Adsorption of Fluoride from Aqueous Solution**. Materials, [s.l.], v. 7, n. 9, p.6317-6366, 5 set. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma7096317>.

- HAJATI,A.,Shafaei,S.Z.,NOAPARAST, M.,FARROKHPAY,S.,ASLANI, S.,2016.**Novel application of talc nanoparticles as collector in flotation.** RSC Adv. 6, 98096–98103.
- HEWITT, D.; FORNASIERO, D.; RALSTON, J. **Bubble particle attachment efficiency.** *Minerals Engineering*, v. 7, n.5/6, p. 657 – 665, 1994.
- HOPE, G.A., BUCKLEY, A.N., PARKER, G.K., NUMPRASANTHAI, A., WOODS, R., MCLEAN, J., 2012. **The interaction of n-octanoydroxamate with chrysocolla and oxide copper surfaces.** *Miner. Eng.* 36–38, 2–11.
- HRŮZOVÁ, Kateřina; MATSAKAS, Leonidas; SAND, Anders; ROVA, Ulrika; CHRISTAKOPOULOS, Paul. **Organosolv lignin hydrophobic micro- and nanoparticles as a low-carbon footprint biodegradable flotation collector in mineral flotation.** *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 306, p. 123235, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123235>.
- HUANG, Peng; CAO, Mingli; LIU, Qi. **Selective depression of pyrite with chitosan in Pb–Fe sulfide flotation.** *Minerals Engineering*, [S.L.], v. 46-47, p. 45-51, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2013.03.027>.
- KAWATRA, S.K., 2002. Froth Flotation - **Fundamental Principles**. Technical Report. Michigan Technical University.
- KELLY, G., SPOTTISWOOD, D.J..**Introduction to Mineral Processing**. New York: John Wiley & Sons, 1982, pp.301 – 322.
- KIM, Hyunjung et al. **Malachite flotation using carbon black nanoparticles as collectors: Negative impact of suspended nanoparticle aggregates.** *Minerals Engineering*, [s.l.], v. 137, p.19-26, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2019.03.025>.
- KLASSEN, V. I.; RAZANOVA, O. A. – 1978 - **Effects on fine slimes and Sodium Silicates on the flotation of Apatite.**Chemical Industrial. Moscow.
- LASKOWSKI, J.S. - **Oil assisted fine particle processing.** En: Fuerstenau D.W. (advisory editor). *Developments in Mineral Processing*, v.12: Laskowski, J.S. and Ralston, J. (Eds.) *ColloidChemistry in Mineral Processing*. Elsevier, pp. 361-394, 1992.
- LI, Z., RAO, F., GARCIA, R.E., LI, H., SONG, S., 2018. **Partial replacement of sodium oleate using alcohols with different chain structures in malachite flotation.** *Miner. Eng.* 127, 185–190.
- LIMA, Neymayer Pereira; AQUINO, Luis Carlos. **Avaliação da flotação pneumática para minério de ferro.** *Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração*. Anais do 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, p. 581-588, 2013.
- MATIOLO, E, 2005. **Recuperação otimizada de finos de minérios de cobre e molibdênio por flotação não convencional.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGEM/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, pp 1-99.

MIN,X.,YUAN,C.,LIANG,Y.,CHAI,L.,KE,Y.,2012.**Metal recovery from sludge through the combination of hydrothermal sulfidation and flotation**. *Procedia Environ. Sci.* 16, 401–408.

MONTE, M. B. M. e PERES A. E. C. **Química de superfície na flotação**. In Tratamento de Minérios

NOGUEIRA, Francielle Câmara; OSTI, Jade; PEREIRA, Carlos Alberto; LOPES, Marina de Menezes. **Avaliação Da Recuperação Dos Metais Prata, Chumbo E Zinco Presentes Em Rejeito De Processamento Hidrometalúrgico De Zinco**. *Holos*, [S.L.], v. 6, p. 188, 5 dez. 2017. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.6393>.

PARK, K., PARK, S., CHOI, J., KIM, G., TONG, M., KIM, H., 2016. **Influence of excess sulfide ions on the malachite-bubble interaction in the presence of thiol-collector**. *Sep. Purif. Technol.* 168, 1–7.

PERES, A. E. C. e GUIMARÃES, R. C. **Máquinas de Flotação**. In flotação- Apostila de treinamento da Samarco Mineração, 2005.

Peres, A. E. C., Araujo, A. C. – **A flotação como operação unitária no tratamento de minérios**. In: CHAVES, A. P., Teoria e Prática do Tratamento de Minérios, Volume 4, A flotação no Brasil, Signus Editora, p.1-29, 2009.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Chemical Engineers' handbook**. 5 ed. Tokyo: McGraw-Hill, 1973. 547p.

PIETROBON, M.C., GRANO, S.R., SOBIERAJ, S., RALSTON, J., 1997. **Recovery mechanisms for pentlandite, and MgO-bearing gangue minerals in nickel ores from Western Australia**. *Miner. Eng.* 10, 775–786.

RAO, SR. **Surface chemistry of froth flotation**. 2ª edição. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004. 744p.

REGO, Oseias Costa; ZINGANO, André Cesar; TOCHTROP JUNIOR, Erwin; BALDUINO, Angelo Ricardo; RODRIGUES, Rafael Teixeira. **Study on the use of chitosan as a collector in chalcopyrite flotation**. *International Journal Of Advanced Engineering Research And Science*, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 328-334, 2022. AI Publications. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.95.32>.

RIBEIRO, José Admário Santos. **Balanco Mineral Brasileiro - 2001:(Cobre)**. Salvador:

ROCIO, Marco Aurélio Ramalho et al. **Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil**. In: SETORIAL, BNDES. BNDES SETORIAL 36: Mineração. 36. ed. Brasília: BNDES, 2012.

RODRIGUES, O. M, S., **Estudos de Flotação de Caulinita**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, 95p. (Dissertação. Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

RUBIO e MATIOLO apud SCHOENHALS (2006, P.35)

RUBIO, J. **Carvão Mineral** - Caracterização e Beneficiamento. Vol. 1, Ed. Nova Linha Artes Gráficas, 1988.

RUBIO, J.; CAPPONI, F.; TEIXEIRA, R. T.; MATIOLO E.- **Enhanced flotation of sulfide fines using the emulsified oil extender technique**. International Journal of Mineral Processing - v.84, n. 1-4, p. 41-50, 2007.

SANTHOSH, Chella et al. **Role of nanomaterials in water treatment applications: A review**. Chemical Engineering Journal, [s.l.], v. 306, p.1116-1137, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.053>.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Florianópolis-SC, 2006.

SENA, R. F. **A avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Dissertação

SILVA, R. K. et al. **Quitosana como um adsorvente natural de íons metálicos e corantes: uma revisão**. In: 22° CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal RN Brasil. QUITOSANA COMO UM ADSORVENTE NATURAL DE ÍONS METÁLICOS E CORANTES: UMA REVISÃO. Natal RN: 22°cbecimat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2016. v. 22, p. 7-7.

TESTA, F.; CAPPONI, F.; RUBIO J. - **Estudios de flotación no convencional de partículas finas de sulfuros de cobre y molibdeno** - em Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama, N° 22, 2008.

TESTA, F.G. **Avanços na flotação de finos de minério com condicionamento em alta intensidade**. Dissertação de Mestrado- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais- PPGEM/UFRGS, p. 82, 2008.

YANG, Bing; LIU, Juan; WANG, Lan; AI, Guanghua; REN, Sili. **Enhanced collection of chalcopyrite by styrene-butyl acrylate polymer nanospheres in the presence of serpentine**. *Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, [S.L.], v. 640, p. 128408, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128408>.

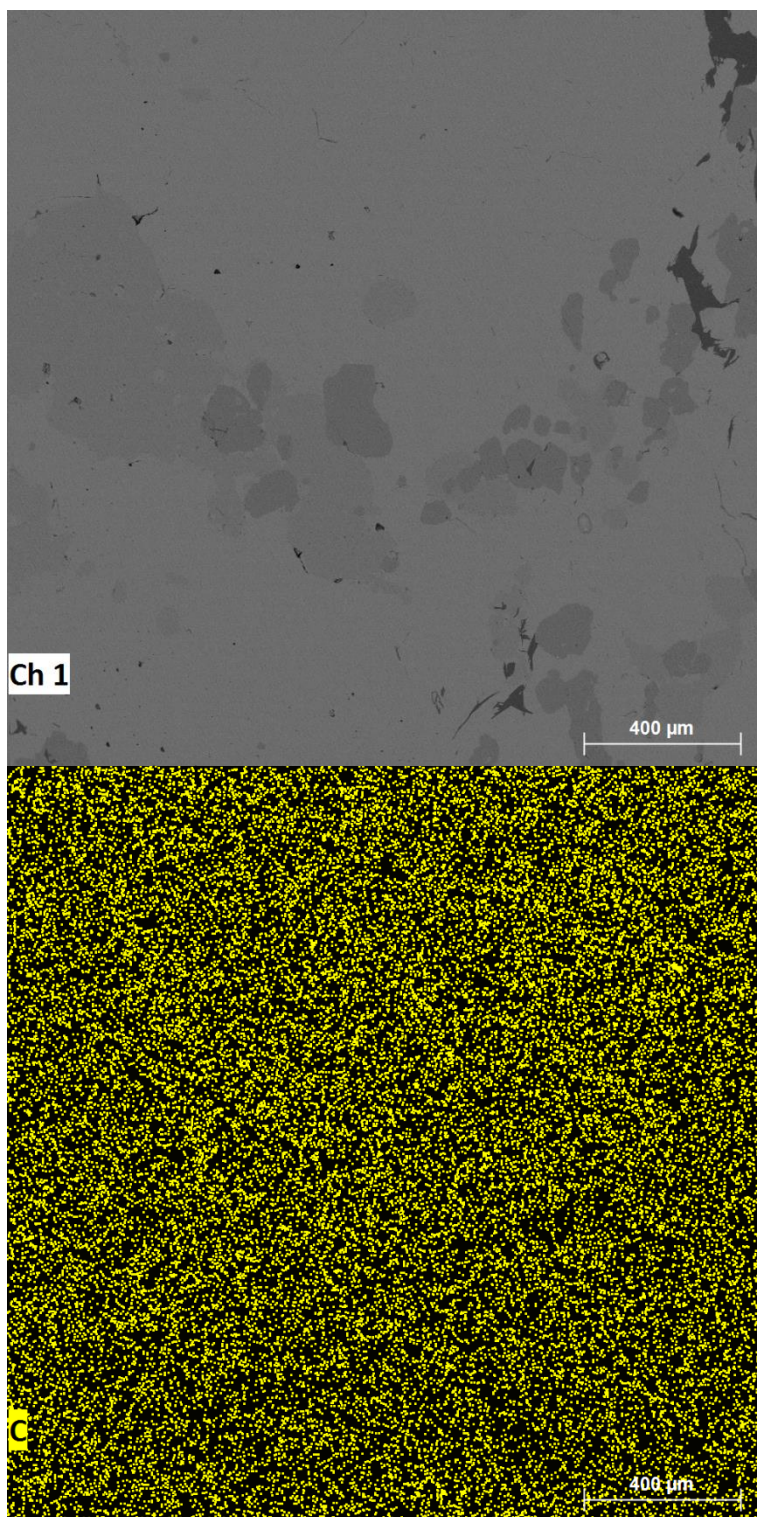
YANG, S., PELTON, R., 2011. **Nanoparticle flotation collectors II: the role of nanoparticle hydrophobicity**. *Langmuir* 27, 11409–11415.

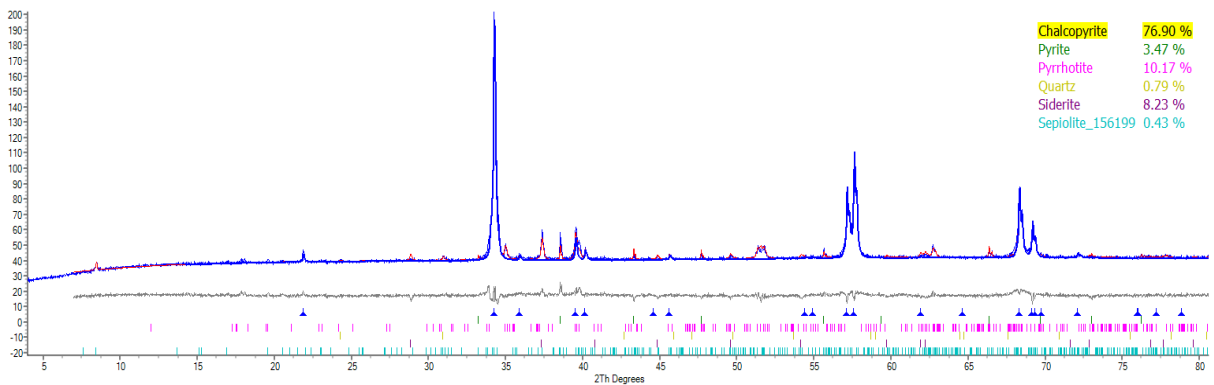
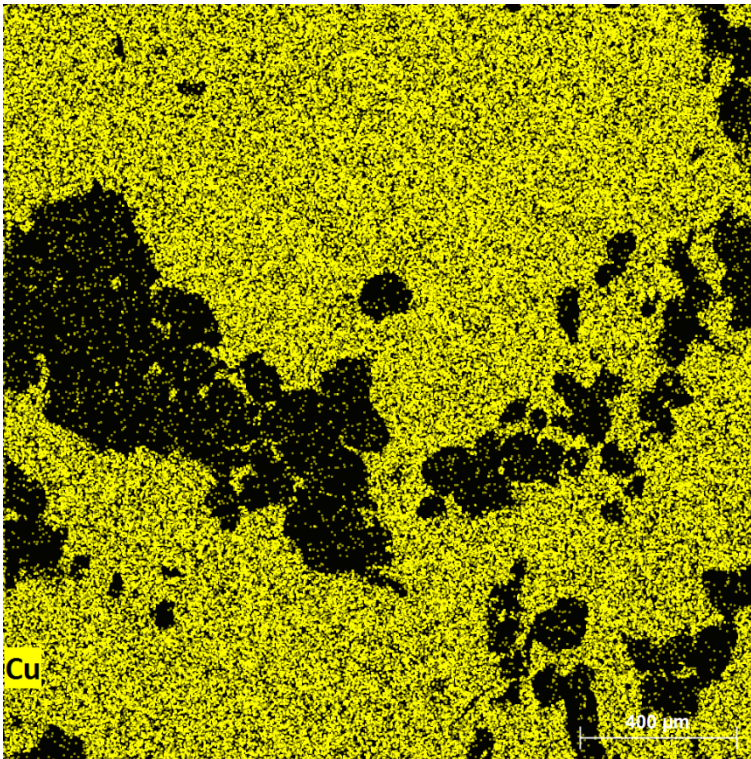
YANG, S., PELTON, R., Abarca, Z., Dai, Z., Montgomery, M., Xu, M., Bos, J.-A., 2013a. **Towards nanoparticle flotation collectors for pentlandite separation**. *Int. J. Miner. Process.* 123, 137–144.

YANG, Songtao; PELTON, Robert; RAEGEN, Adam; MONTGOMERY, Miles; DALNOKI-VERESS, Kari. **Nanoparticle Flotation Collectors: mechanisms behind a new technology**. *Langmuir*, [S.L.], v. 27, n. 17, p. 10438-10446, 6 set. 2011. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/la2016534>.

YIANATOS, J.B. **Design, Modelling and Control of Flotation Equipment**. Proceedings: XXII International Mineral Processing Congress, 3 October 2003, Cape Town, South Africa; 2003.

ANEXO A – RESULTADOS OBTIDOS DAS ANÁLISES





Dados dos ensaios com coletor Xantato

Xantato Conc. 250/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	841	857	889	862,3	
Porcentagem	84,135	85,710	88,870	86,230	

Xantato Conc. 250/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	920	913	897	910	
Porcentagem	91,981	91,296	89,688	90,971	

Xantato Conc. 250/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	698	736	715	716,4	
Porcentagem	69,841	73,582	71,450	71,65	

Xantato Conc. 500/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	700	688	668	685,3	
Porcentagem	70,011	68,770	66,805	68,52	

Xantato Conc. 500/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	666	636	653	651,6	
Porcentagem	66,622	63,625	65,251	65,15	

Xantato Conc. 500/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	780	800	789	789,6	
Porcentagem	77,989	79,998	78,899	78,99	

Xantato Conc. 750/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	929	949	939	939	
Porcentagem	92,883	94,922	93,874	93,89	

Xantato Conc. 750/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	785	752	780	772,3	
Porcentagem	78,503	75,197	78,032	77,23	

Xantato Conc. 750/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	607	528	560	565,0	
Porcentagem	60,731	52,839	55,994	56,51	

Xantato Conc. 1000/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	612	588	593	597,7	
Porcentagem	61,172	58,821	59,316	59,76	

Xantato Conc. 1000/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	746	752	721	739,6	
Porcentagem	74,589	75,192	72,083	73,95	

Xantato Conc. 1000/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	799	807	828	811,3	
Porcentagem	79,905	80,713	82,828	81,14	

DADOS DOS ENSAIOS COM O COLETOR QUITOSANA

Quitosana Conc. 250/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	535	560	588	561	21,649
Porcentagem	53,491	55,983	58,793	56,08	2,166

Quitosana Conc. 250/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	545	550	560	551,6	6,236
Porcentagem	54,492	54,987	55,995	55,15	0,625

Quitosana Conc. 250/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	569	589	610	589,3	16,740
Porcentagem	56,898	58,879	60,982	58,92	1,668

Quitosana Conc. 500/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	839	848	859	848,6	8,179
Porcentagem	83,926	84,754	85,897	84,86	0,808

Quitosana Conc. 500/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	568	570	587	575	8,524
Porcentagem	56,831	56,989	58,723	57,51	0,857

Quitosana Conc. 500/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	597	614	629	613,3	13,072
Porcentagem	59,682	61,375	62,927	61,33	1,325

Quitosana Conc. 750/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	517	522	539	526	9,416
Porcentagem	51,723	52,178	53,862	52,58	1,158

Quitosana Conc. 750/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	497	498	510	501,6	5,907
Porcentagem	49,639	49,813	51,035	50,16	0,621

Quitosana Conc. 750/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	493	497	511	500,3	7,717
Porcentagem	49,301	49,663	51,121	50,02	0,787

Quitosana Conc. 1000/ pH9	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	708	698	718	708	8,165
Porcentagem	70,912	69,793	71,861	70,80	0,847

Quitosana Conc. 1000/ pH10	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	713	709	748	723,4	17,518
Porcentagem	71,264	70,927	74,816	72,34	1,759

Quitosana Conc. 1000/ pH11	Teste 1 ^a	Teste 2 ^a	Teste 3 ^a	Média	Desvio Padrão
Peso em mg	669	668	689	675,3	9,672
Porcentagem	66,889	66,775	68,941	67,53	0,995