



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



WARLESON CÂNDIDO DOS SANTOS VIEIRA

COMPOSTOS NATURAIS E MODIFICADOS NA FLOCULAÇÃO DE FINOS DE QUARTZO

OURO PRETO

2019

WARLESON CÂNDIDO DOS SANTOS VIEIRA

**COMPOSTOS NATURAIS E MODIFICADOS NA FLOCULAÇÃO DE
FINOS DE QUARTZO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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: Prof^a. Dr^a. Érica Linhares Reis

OURO PRETO

2019

V657c Vieira, Warleson Candido dos Santos .
Compostos naturais e modificados na floculação de finos de quartzo.
[manuscrito] / Warleson Candido dos Santos Vieira. - 2019.
42 f.

Orientadora: Profa. Dra. Érica Linhares Reis.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas.

1. Minérios de ferro - Rejeitos. 2. Água - Floculação. 3. Água - Coagulação. 4.
Amido. I. Reis, Érica Linhares. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.7.06

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



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

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO


Aos 22 dias do mês de novembro de 2019, às 10h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas DEMIN/EM, no Campus Universitário Morro do Cruzeiro, foi realizada a defesa da Monografia de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“COMPOSTOS NATURAIS E MODIFICADOS NA FLOCULAÇÃO DE FINOS DE QUARTZO”**, pelo aluno **Warleson Cândido dos Santos Vieira**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof.^a Dr.^a Érica Linhares Reis (orientadora)**, **Eng.^a de Minas Paôlla de Carvalho Barbosae M.Sc. Flávio Luiz Martins**.

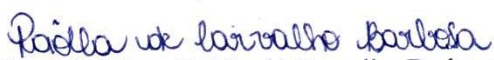
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou pela **aprovação** do candidato, com a nota **9,0**, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.


O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

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

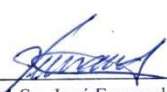
Ouro Preto, 22 de novembro de 2019.


Prof.^a Dr.^a Érica Linhares Reis
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientadora


Eng.^a de Minas Paôlla de Carvalho Barbosa
Membro da Comissão Avaliadora


M.Sc. Flávio Luiz Martins
Membro da Comissão Avaliadora


Warleson Cândido dos Santos Vieira


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

*Aos meus pais por me apoiarem sempre e
Aos meus irmãos pelo companheirismo e apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por me abençoar diariamente com saúde, paz e determinação em todas as etapas da minha trajetória;

A minha família que certamente é o alicerce mais sólido que levarei comigo por onde for independente da presença física;

A minha mãe Maria Realina dos Santos Vieira por me ensinar que possuir força e fé não significa deixar a doçura e respeito de lado;

Ao meu pai José Cândido Vieira que por toda minha vida mostrou o valor do trabalho e da valorização do futuro;

A minha irmã Shirley dos Santos Vieira por mostrar que determinação e coragem são instrumentos valiosos na vida de todo ser;

Ao meu irmão Charles Cândido dos Santos Vieira pela amizade, companheirismo e por mostrar que devemos nos concentrar para conquistar o sucesso;

A Renata e Sofia que completam minha família com sobriedade e alegria;

A minha orientadora Érica Linhares Reis pela paciência e apoio incondicional desde à primeira vista e pelo auxílio no crescimento pessoal e profissional;

Aos professores Milton Brigolini Neme pela amizade e José Margarida da Silva pela disponibilidade e profissionalismo;

A professora Melissa Fabiola Siqueira Savedra pelo acolhimento e receptividade;

Aos membros da banca pelas sugestões e comentários;

Aos técnicos do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN), Antônio Pedro de Freitas, Flávio Luiz Martins, Luiz Cláudio do Sacramento e Mariana Caroline Andrade Silva, pelo auxílio na realização de ensaios e disponibilidade em sempre orientar com sabedoria;

A mestra Aline da Mata Chiacchio Leite por tornar a vivência laboratorial uma experiência de alegria e grande amizade;

A engenheira Paôlla de Carvalho Barbosa pela disponibilidade e carinho em todas as vezes que pode estar presente;

Aos meus amigos Lucas José, Elias Issa e Gustavo Couto por participarem de momentos realmente incríveis que vivi em toda minha vida;

Aos amigos que fiz em Ouro Preto, Gabriel Alves Piuzana, Bruna de Oliveira Gomes, Maria Clara Canhas, Bárbara Ferreira, João Pedro Corona, Alcídia Moises, Teodoro Gauzzi, Ana Laura, Marcelo Ferreira, Thamires Vieira, Cecília Rodrigues por me proporcionarem as melhores histórias durante minha estadia nesta cidade linda, espero que nos encontremos muitas vezes mais;

Aos funcionários do DEMIN, Joaquim, Isabel e Joana pelas conversas e sinceros conselhos;

Aos ex-alunos, moradores e homenageados da República Babilônia pela recepção e acolhimento, lugar que foi certamente a melhor morada que eu pude ter em Ouro Preto;

Agradeço a FAPEMIG, CNPQ, CAPES e UFOP pelo apoio na forma de bolsas de estudo.

“Talvez não tenhamos feito o melhor mas lutamos para que o melhor fosse feito.

Não somos o que iremos ser, mas graças a Deus, não somos o que éramos.”

Martin Luther King

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismo de floculação dado por formação de pontes.	19
Figura 2 – Mecanismo de reversão localizada de carga.	20
Figura 3 – Visão geral (esquerda) e detalhes das flores e folhas (direita) da Acácia Negra (<i>Acacia mearnsii</i>).	21
Figura 4 – Estrutura dos monômeros de poliacrilamidas.	22
Figura 5 – Estruturas da (a) amilose e (b) amilopectina.	24
Figura 6 – Estrutura simplificada da carboximetilcelulose de sódio.	25
Figura 7 – Estrutura do reagente Tanfloc.	26
Figura 8 – Potencial zeta do quartzo condicionado em água destilada.	27
Figura 9 - Tubo de agregação imediatamente após sedimentação	30
Figura 10 – Distribuição granulométrica da amostra de quartzo utilizada nos ensaios de agregação.	31
Figura 11 – Difratoograma de raios X da amostra de quartzo utilizada nos ensaios de agregação.	31
Figura 12 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 50 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.	32
Figura 13 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 100 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.	33
Figura 14 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 200 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das partículas de esgoto por faixa de tamanho:	18
Tabela 2 – Melhores resultados de sedimentação por floculante e condições experimentais em que ocorreram:	35

LISTA DE NOTAÇÕES

pH – Potencial hidrogeniônico

L – Litro (volume)

mg – Miligramas (peso)

mg/L – Miligrama por litro (concentração)

g/t – Grama por tonelada (concentração)

CMC – Carboximetilcelulose

PIE – Ponto isoelétrico

DRX – Difractometria de raios X

DCE – Dupla camada elétrica

PDF-4 – *Powder Diffraction File 4*

ICDD – *International Centre for Diffraction Data*

RESUMO

A floculação de rejeitos de minérios de ferro é um processo importante na separação sólido/líquido nas plantas industriais, porém os reagentes atualmente utilizados neste processo possuem alto custo e potencial tóxico para o meio ambiente e consumo humano, tendo o uso proibido em alguns países. Baseado em estudos que investigaram o uso de fontes naturais e naturais modificadas como agentes de floculação e demonstraram resultados satisfatórios, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização e desempenho do amido de araruta, fécula de batata, carboximetilcelulose (CMC) e Tanfloc SG como agentes de floculação na sedimentação de partículas muito finas de quartzo (<30 µm), presentes em rejeitos de minério de ferro, nos valores de pH 5, 6 e 7. Para o reagente Tanfloc SG adotou-se a dosagem única de 50 mg/L e para a poliacrilamida adotou-se a dosagem única de 1 mg/L, compatível com a dosagem utilizada industrialmente (20 g/t). Para os demais flocculantes, adotou-se as dosagens de 50 mg/L, 100 mg/L e 200 mg/L. As características fundamentais dos finos de quartzo frente aos reagentes testados foram determinadas com a realização de testes de agregação e de potencial zeta (encontrado na literatura). O pior resultado foi para o CMC que apresentou como melhor desempenho 34,04% de material sedimentado, valor semelhante ao encontrado para o teste em branco. O melhor resultado, 99,24% de material sedimentado, foi obtido para o Tanfloc SG no pH 7 com dosagem única (50 mg/L) porém para os valores de pH 5 e 6, este reagente ainda assim apresentou os melhores resultados frente aos demais utilizados sendo, 97,95 e 99,05%, respectivamente. Pôde-se notar um acréscimo de valor para a eficiência no processo de sedimentação com o aumento do pH para o reagente com melhores resultados de sólidos sedimentados.

Palavras-chave: rejeito de minério de ferro, flocculantes, floculação, coagulação, amido, Tanfloc SG.

ABSTRACT

Flocculation of iron ore tailings is an important process in solid / liquid separation in industrial plants, but the reagents currently used in this process have high cost and toxic potential for the environment and human consumption, being prohibited in some countries. Based on studies that investigated the use of modified natural and natural sources as flocculating agents and demonstrated satisfactory results, this work aims to evaluate the use and performance of arrowroot starch, potato starch, carboxymethylcellulose (CMC) and Tanfloc SG as agents of flocculation in the sedimentation of very fine quartz particles (<30 µm) present in iron ore tailings, at pH 5, 6 and 7. A single dosage of 50 mg/L was used for Tanfloc SG and a dosage of 1 mg/L was used for polyacrylamide, compatible with the values used industrially. For the other flocculants, the dosages of 50 mg/L, 100 mg/L and 200 mg/L were adopted. The fundamental characteristics of quartz fines against the tested reagents were determined by the aggregation and potential zeta tests found in the literature. The worst result was for the CMC that presented 34,04% of sedimented material as the best performance, a value to that was found for the blank test. The best result, 99,24% of sedimented material, was obtained for Tanfloc SG at pH 7 with single dosage (50 mg/L) but for pH 5 and 6, this reagent still presented the best results compared to the others used, 97,95 and 99,05%, respectively. An increased value for efficiency in the sedimentation process may be noted as the pH increases for the reagent with better sedimentation solids results.

Keywords: iron ore tailings, flocculants, flocculation, coagulation, starch, Tanfloc SG.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Floculação de Lamas de Minério de Ferro	16
3.2	Separação sólido-líquido	17
3.3	Partículas	17
3.4	Coagulação e Floculação	18
3.5	Acácia Negra.....	21
3.6	Reagentes utilizados na floculação	22
3.6.1	Poliacrilamida	22
3.6.2	Amidos.....	23
3.6.3	Carboximetilcelulose (CMC)	24
3.6.4	Tanfloc SG.....	25
3.7	Potencial Zeta.....	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	Preparação e caracterização da amostra de quartzo.....	28
4.2	Reagentes.....	28
4.3	Ensaio de agregação	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1	Preparo e caracterização da amostra de quartzo	30
5.2	Ensaio de Agregação.....	32
6	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Rejeitos da etapa de deslamagem de minérios de ferro, comumente, contêm em sua composição partículas muito finas (abaixo de 30 μm) de quartzo. Para a remoção deste tipo de partícula do efluente utiliza-se o processo de desaguamento (CHAVES, 2010).

Atualmente na mineração, o abatimento das partículas suspensas e por consequência a obtenção de qualidade da água e do rejeito adensado ótimo se torna um desafio. A floculação de rejeitos torna-se uma etapa crítica para a eficiência da separação sólido/líquido nas plantas industriais. No entanto, os reagentes atualmente utilizados neste processo possuem alto custo e potencial tóxico para o meio ambiente e consumo humano, tendo o uso proibido em alguns países. Devido ao monômero da fabricação da poliacrilamida possuir natureza tóxica e comprovado caráter carcinogênico, alternativas naturais e sustentáveis vêm sendo pesquisadas na intenção de substituir este floculante sintético (GALEŠA *et al.*, 2008).

O amido surge então como uma alternativa à floculação pelo fato de apresentar características biodegradáveis, bom desempenho, versatilidade, abundância e baixo custo. Estudos, como os realizados por Di Bernardo (2000), observaram a possibilidade da utilização de amidos como floculantes para o tratamento de efluentes e recuperação de águas.

Alguns estudos também foram desenvolvidos com coagulantes naturais. Coagulantes de origem orgânico-naturais conhecidos como polieletrólitos são representados por compostos constituídos por grandes cadeias moleculares, dotados de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001 *apud* TREVISAN, 2014).

Os taninos apresentam-se também como alternativa à floculação e possuem diversas aplicações, que podem incluir indústrias de curtume e no tratamento de esgotos e de águas destinadas ao consumo humano (TANAC, 2003). Segundo Coral *et al.* (2009), derivados do tanino podem ser extraídos da casca de plantas, como a Acácia Negra (*Acacia mearnsii*), atuam em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre as partículas, sendo esta etapa responsável pela formação de flocos e conseqüentemente sedimentação. São designados como moléculas encontradas nas formas de monômeros, oligômeros ou polímeros,

e possuem a aptidão de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais (CASTRO-SILVA *et al.* 2004).

Deste modo, o presente trabalho pretende avaliar o desempenho de compostos naturais e modificados como floculantes de quartzo que se encontram, majoritariamente, na granulação de até 30 μm .

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar o desempenho dos reagentes de origem essencialmente vegetal como agentes de floculação na sedimentação de partículas menores que 30 μm de quartzo.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar o efeito dos compostos naturais em diferentes dosagens e valores de pH como agentes de floculação na sedimentação de partículas menores que 30 μm de quartzo;
- Utilizar o floculante sintético poliacrilamida como comparação da eficiência dos agentes de floculação na sedimentação das partículas menores que 30 μm quartzo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Flocculação de Lamas de Minério de Ferro

Com o aumento da demanda de aço e de ferro para a sua produção houve um acréscimo na geração de resíduos pelas indústrias siderúrgicas e de mineração, o que ocasiona um problema ambiental devido às grandes áreas requeridas para disposição dos mesmos (BEZERRA, 2017).

Alguns estudos foram desenvolvidos com a intenção de avaliar a atuação de flocculantes no tratamento de lamas de minério de ferro. Weissenborn *et al.* (1994), por exemplo, estudaram um método seletivo de flocculação capaz de floccular hematita de uma dispersão de hematita, goethita e caulinita em um minério de ferro ultrafino natural utilizando uma grande variedade de amidos e poliacrilamidas hidrolisadas e obtiveram como resultado que o amido de trigo foi o flocculante seletivo com resultados superiores.

Em estudos direcionados por Dash *et al.* (2011), após caracterização do rejeito de minério de ferro gerado em minas da Índia, os autores obtiveram um material com D_{80} de 12 μm e dados referentes a análise química mostraram que a composição deste rejeito é dada por Fe (39,7%) na forma de óxidos, SiO_2 e Al_2O_3 . O estudo do potencial zeta do rejeito foi realizado e o ponto isoelétrico encontrado foi de 4,66. Verificou-se que a taxa de sedimentação aumentava à medida que o pH diminuía de 10 para 5 e também à medida que a dosagem de flocculante, poliacrilamida aniônica e não iônica, aumentava. A taxa máxima de sedimentação foi observada em 80 g de polímero/t de sólido que corresponde à adsorção máxima do polímero. A taxa ideal de sedimentação pôde ser alcançada em pH 6,5 com 80 g/t de poliacrilamida aniônica. Uma maior adsorção de flocculante de poliacrilamida não iônica foi observada em comparação à poliacrilamida aniônica, contudo, a taxa de sedimentação obtida durante a flocculação com flocculante não iônico é menor em comparação com a aniônica. (DASH *et al.*, 2011).

Bezerra (2017) caracterizou a lama de rejeito de minério de ferro originária da etapa de deslamagem da mina de Conceição II/VALE localizada no complexo ferrífero de Itabira e obteve como resultado para a análise química teores de ferro, sílica e alumina de 50,96%,

35,96% e 7,92%, respectivamente com granulação D_{90} de 35,6 μm , ou seja, comprova-se a existência de finos de quartzo produzidos na etapa de deslamagem da mina.

O objetivo no contexto da mineração, de um modo geral, é adensar o rejeito, que possui de 5 a 10% de sólidos, e gerar um underflow com porcentagem sólida que esteja entre 50% e 75%, e um overflow capaz de ser reutilizado como água de recirculação no sistema (CHAVES, 2010). Dada a dificuldade em realizar a sedimentação de partículas muito finas em suspensão, como as que surgem no beneficiamento mineral, este processo é acelerado com a adição de coagulantes e floculantes aos sistemas nas etapas de deslamagem.

3.2 Separação sólido-líquido

Segundo Luz *et al.* (2010) vários processos na indústria mineral necessitam, em alguma etapa do beneficiamento, de operações de separação sólido-líquido. Essas são consideradas, na maioria das vezes, etapas decisivas num fluxograma de beneficiamento mineral, pois, além da complexidade de algumas operações, observam-se também os altos investimentos de capital e manutenção associados aos equipamentos utilizados. Além disso, a concepção destes equipamentos para realização da separação das fases depende das necessidades específicas do processo, bem como das características da alimentação. Dois objetivos básicos deverão ser atendidos em um processo de separação sólido-líquido: (i) produção de um sólido desaguado e (ii) produção de um líquido clarificado (LUZ *et al.*, 2010).

3.3 Partículas

O tamanho das partículas interfere diretamente na maioria das etapas de processamento mineral e tratamento de efluente, em especial nas frações mais finas. Na mineração, tende-se a utilizar a denominação fina para partículas menores que 100 μm e ultrafina para partículas menores que 10 μm . Quando se trata de tratamento de esgoto, Rudolfs e Balmat (1952, *apud* Lopes, 2011) exibem as principais denominações empregadas, como mostra a Tabela 1, de acordo com a faixa granulométrica.

Tabela 1 – Classificação das partículas de esgoto por faixa de tamanho:

Faixa de tamanho de partículas	Classificação de partículas por faixa de tamanho	
	Rudolfs e Balmat (1952)	APHA/AWWA/WEF (1998)
< 0,001 μm	Solúveis	Dissolvidos
0,001 a 1 μm	Coloidais	
1 a 100 μm	Supra-Coloidais	Suspensos
> 100 μm	Sedimentáveis	

Fonte: LOPES (2011).

Ao considerar outras propriedades específicas dos sólidos particulados além de seus tamanhos, por exemplo, área específica e carga superficial, a sedimentação natural dos mesmos torna-se um desafio no cenário da mineração. Assim, métodos eficientes de aglomeração, como coagulação e floculação, são utilizados para possibilitar ou aperfeiçoar o desempenho relacionado ao abatimento deste material (LEITE, 2019).

3.4 Coagulação e Floculação

O mecanismo de coagulação caracteriza-se pela desestabilização de uma suspensão coloidal e é obtido principalmente através da adição de sais inorgânicos que se dissociam em solução aquosa, alteram a carga superficial das partículas e reduzem a repulsão entre estas, promovendo então a adsorção específica de íons. As partículas suspensas e coloidais podem ser desestabilizadas de três formas distintas que são: (i) compressão da dupla camada elétrica, (ii) adsorção e (iii) neutralização de cargas e varredura (BRATBY, 2006; DI BERNARDO, 2000; GOODWIN, 2004; LUZ, *et al.*, 2010).

Segundo Luz *et al.* (2010) a floculação caracteriza-se pela ação de um polímero, necessariamente solúvel em água, o floculante, que promove a agregação de partículas finas em forma de flocos. De modo geral o processo é o resultado da ação de um polímero de elevado peso molecular que se adsorve de forma simultânea na superfície de várias partículas. Os polímeros podem ser classificados quanto à sua origem, carga elétrica e peso molecular. Dessa forma, os floculantes podem ser: naturais, modificados ou sintéticos; neutros, aniônicos ou catiônicos e de baixo, médio ou elevado peso molecular (NGAKFUMBE, 2013).

Para a floculação, os principais mecanismos são:

- Formação de Pontes (Figura 1): predominam em sistemas com a utilização de polímeros não-iônicos ou com mesma carga que a superfície mineral. As pontes se formam quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros ocasionando um emaranhamento das mesmas, ocorre aumento da densidade do aglomerado o que possibilita sua sedimentação (LUZ, *et al.*, 2010).

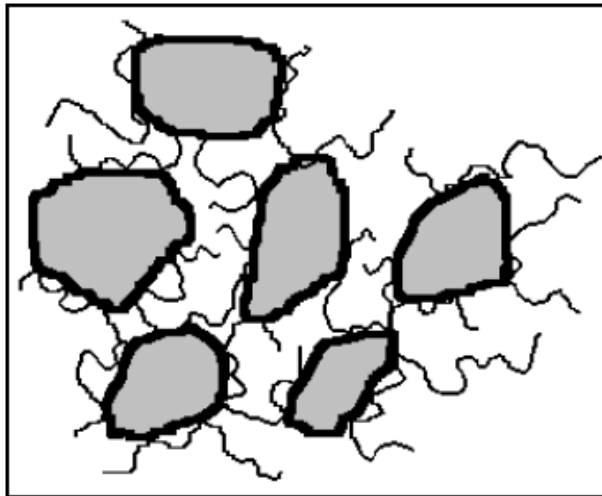


Figura 1 – Mecanismo de floculação dado por formação de pontes.

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

- Reversão Localizada de Carga (Figura 2): ocorre interação entre o polímero de alta densidade de carga e a superfície da partícula que possui baixa densidade de carga, revertendo assim a carga elétrica na área recoberta pelo reagente. A formação de flocos ocorre a partir da atração da região com reversão de carga com uma partícula de carga oposta (LEITE, 2019).

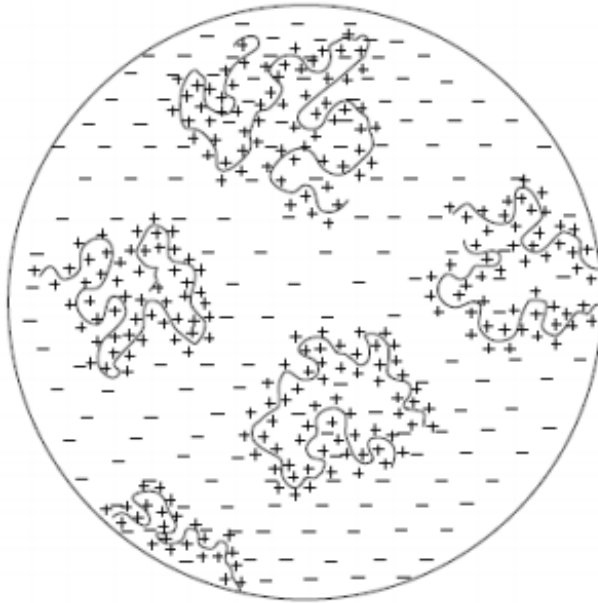


Figura 2 – Mecanismo de reversão localizada de carga.

Fonte: BRATBY (2006).

- Neutralização de Cargas: Há redução da repulsão eletrostática entre as partículas dada pela adição de polímero com molécula de baixa densidade de carga, neutralizando a carga oposta da superfície mineral (LUZ *et al.*, 2010).

3.5 Acácia Negra

Segundo Higa *et al.* (2009) a Acácia-negra (*Acacia mearnsii*) é uma árvore plantada comercialmente no Rio Grande do Sul e representa uma expressiva parcela dos reflorestamentos do Estado. Além do uso como matéria-prima para tanino, celulose e carvão, possui importância social, por ser cultivada por famílias na região.

Acácia-negra é reconhecida pela qualidade de sua casca, de onde são obtidos os extratos vegetais ricos em tanantes e fenóis, que originam os taninos, amplamente utilizados na indústria de curtumes, constituindo-se no mais conhecido grupo de produtos obtidos a partir da casca. Obtêm-se, ainda, os floculantes, utilizados em processos de tratamento de água e que, por possuir origem vegetal, não apresentam os inconvenientes e contraindicações percebidos nos floculantes de origem química. Atuam também como dispersantes, enquanto aditivos em processos em que é necessária a realização de aspersão de soluções. Em termos de rendimento de tanino, por árvore, de qualidade relacionada à composição e coloração, a espécie é uma das melhores. Em função disso, é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais no mundo (HIGA *et al.*, 2009).

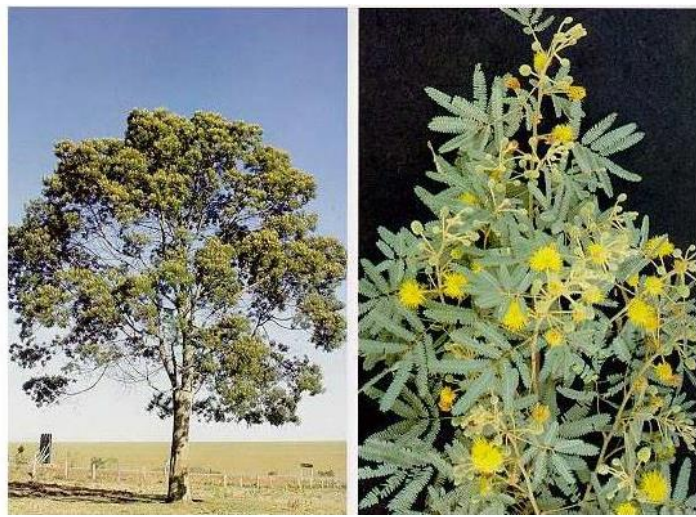


Figura 3 – Visão geral (esquerda) e detalhes das flores e folhas (direita) da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*).

Fonte: LIMA JUNIOR & ABREU (2018).

3.6 Reagentes utilizados na floculação

3.6.1 Poliacrilamida

Os floculantes do tipo poliacrilamida e seus derivados predominam amplamente em operações de separação sólido-líquido na indústria mineral e são obtidos a partir da polimerização da acrilamida (LUZ *et al.*, 2010). De acordo com Jin *et al.* (1987), as poliacrilamidas adsorvem-se na superfície do quartzo por pontes de hidrogênio e forças de London-van der Waals.

A poliacrilamida é sintetizada a partir da polimerização da acrilamida e industrialmente é parcialmente hidrolisada com ácido acrílico por sua cadeia principal, o que lhe confere um caráter aniônico (ARINAITWE & PAWLIK, 2013 *apud* LEITE, 2019) ou possui caráter catiônico devido a sua copolimerização com monômero catiônico (OLIVEIRA, 2016 *apud* LEITE, 2019).

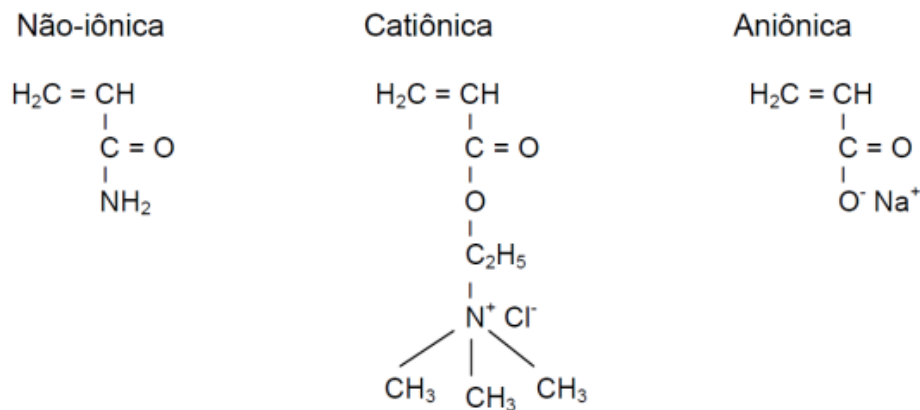


Figura 4 – Estrutura dos monômeros de poliacrilamidas.

Fonte: TURRER (2007) *apud* LEITE (2019).

3.6.2 Amidos

O amido é um polissacarídeo constituído apenas de glicose. Os seus dois principais componentes, a amilose e a amilopectina, são formados por unidades D-glicose unidos por ligações α -(1,4) e ligações α -(1,6) nos pontos de ramificação (BULÉON *et al.*, 1998 *apud* LEONEL *et al.* 2011).

A proporção entre os principais componentes dos amidos, amilose e amilopectina, varia conforme a fonte, o que lhe atribui características específicas, bem como o arranjo físico próprio dentro da estrutura dos grãos (BILIADERIS, 1991).

Possui como principal propriedade a gelatinização que é capacidade de tornar-se viscoso em água com o aumento da temperatura. As propriedades dos amidos podem ajudar a determinar sua funcionalidade característica e, portanto, sua utilidade na indústria de alimentos, por exemplo (KRIEGER *et al.*, 1997).

Segundo Campos *et al.* (1984) o amido pode ser considerado relativamente heterogêneo sendo constituído principalmente pela amilose (Figura 6 (a)), que possui longas cadeias lineares não ramificadas, e a amilopectina (Figura 6 (b)), de cadeias ramificadas. Ambas apresentam propriedades distintas como solubilidade, em que a amilose é totalmente solúvel enquanto que a amilopectina não. Ressalta-se ainda que uma propriedade que possui grande importância no emprego do amido na flocculação é a quebra da estrutura do grão, que resulta na gelatinização do material.

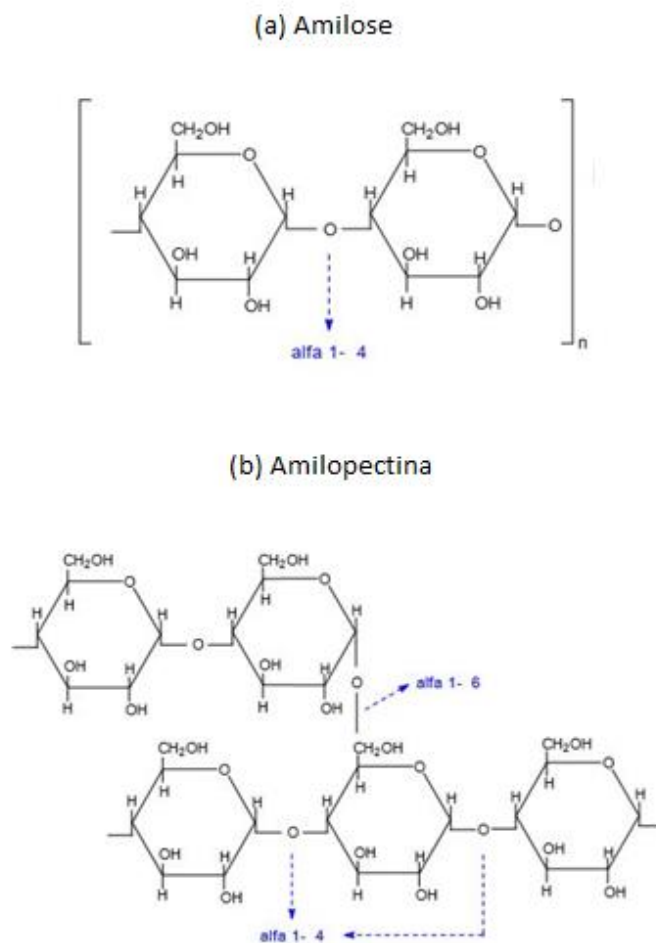


Figura 5 – Estruturas da (a) amilose e (b) amilopectina.

Fonte: adaptado de HORN (2012).

3.6.3 Carboximetilcelulose (CMC)

A carboximetilcelulose (CMC) é um polímero linear aniônico usado como agente para aumento de viscosidade, redutor de filtrado e em fluidos de perfuração. A estrutura química derivada da celulose interfere diretamente nas interações floculante/partículas em suspensão (NÓBREGA & AMORIM, 2015). A carboximetilcelulose pode ser encontrada sob várias formas dependendo do tamanho de partículas, grau de substituição, viscosidade e características de hidratação, e apresenta estabilidade em pH ácido (SHI *et al*, 2007).

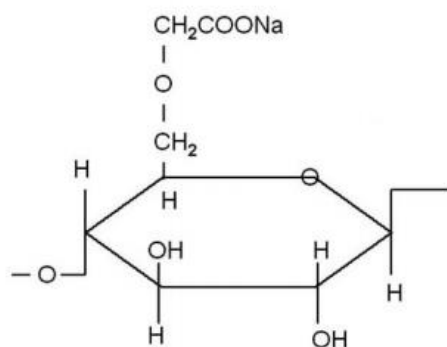


Figura 6 – Estrutura simplificada da carboximetilcelulose de sódio.

Fonte: PEARSE (2005) *apud* ALEXANDRINO (2013)

3.6.4 Tanfloc SG

Segundo Trevisan (2014), o reagente Tanfloc SG é produzido pela empresa TANAC com sede em Montenegro-RS e se apresenta como um produto natural, biodegradável e que não consome alcalinidade do meio, portanto, não altera o pH. É um tanino extraído da casca da Acácia negra (*Acacia mearnsii*). É um polímero orgânico catiônico, de baixo peso molecular com origem vegetal e que pode atuar como coagulante ou floculante. Pode-se observar na Figura 8 a estrutura química do tanino que é utilizado na produção do reagente.

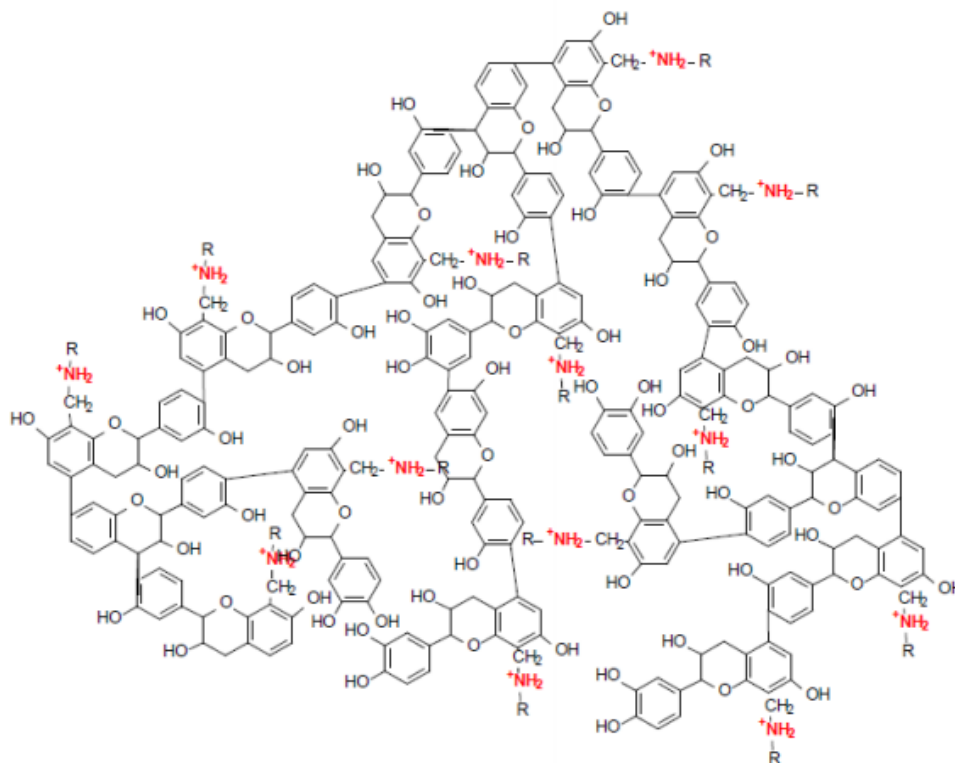


Figura 7 – Estrutura do reagente Tanfloc.

Fonte: MANGRICH *et al.* (2014).

3.7 Potencial Zeta

Potencial zeta é o potencial medido no plano de cisalhamento entre a partícula e a solução quando os dois estão em movimento relativo, na presença de um campo elétrico. Este deslocamento das partes da dupla camada elétrica (DCE) leva ao aparecimento de um potencial eletrocinético, que pode ser medido por meio da eletroforese, eletrosmose, potencial de escoamento e potencial de sedimentação (HUNTER, 1981; *apud* LUZ *et al.*,2010).

O potencial zeta para o quartzo encontrado por Lopes (2009) é mostrado na Figura 9.

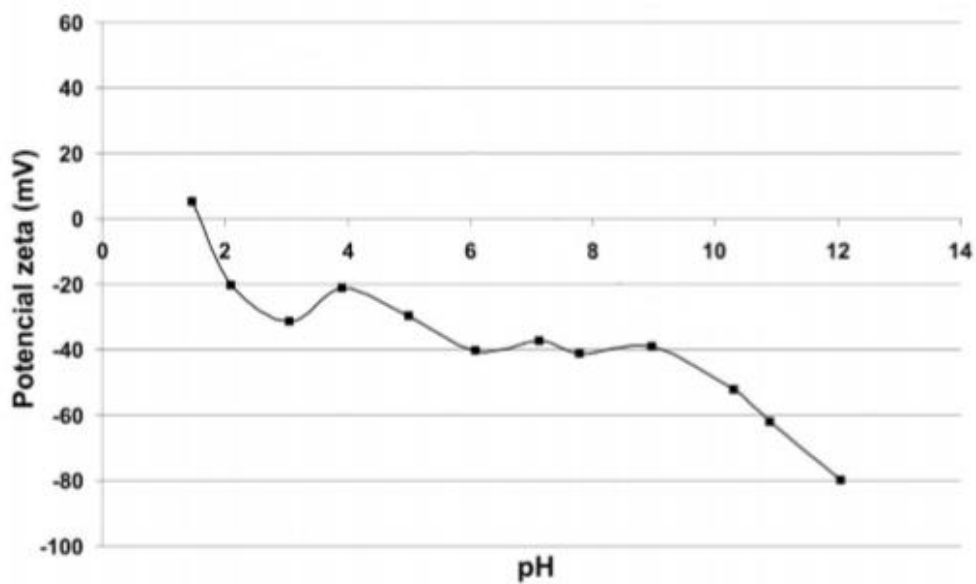


Figura 8 – Potencial zeta do quartzo condicionado em água destilada.

Fonte: LOPES *et al* (2009).

O ponto isoelétrico (PIE) do quartzo ocorre em pH 1,8 (LOPES *et al.*, 2009). Porém, sabe-se que podem existir variações devido à gênese das partículas e a morfologia dos grãos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Preparação e caracterização da amostra de quartzo

A adequação granulométrica da amostra de quartzo, aproximadamente 15 kg, foi realizada por cominuição através de britagem, em britador de mandíbulas, e posterior moagem, em moinho de porcelana, com classificação realizada por meio de peneiramento vibratório, via úmido, com equipamentos pertencentes ao Laboratório de Tratamento de Minérios (DEMIN/UFOP) utilizando a série Tyler. A fração de interesse ($< 38 \mu\text{m}$) foi analisada empregando um granulômetro a laser (Cilas 1060) do Laboratório de Propriedades Interfaciais (DEMIN/UFOP).

Utilizou-se um espectrofotômetro de emissão óptica com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP/OES – Agilent 725) do Laboratório de Geoquímica do DEGEO/UFOP para a análise química da amostra pura de quartzo.

A composição mineralógica foi feita através de um difratômetro de raios X (Xpert³Powder - PanAlytical) pertencente ao Laboratório de Microscopia Ótica e Difractometria de Raios X (DEMIN/UFOP). Os difratogramas foram coletados pelo *software Data Colector* em um tempo de 14 minutos, sendo o equipamento operado a uma voltagem de 45 kV e uma corrente de 40 mA utilizando um tubo de cobre com filtro de níquel para obtenção da radiação $K\alpha\text{Cu}$ no comprimento de onda de 1,5406 Å. O ângulo de varredura (2θ) foi de 5 a 90°. A interpretação dos dados foi realizada pelo *software HighScorePlus* sendo utilizado o banco de dados do *Powder Diffraction File 4 (PDF -4)* do *International Centre for Diffraction Data (ICDD)*.

4.2 Reagentes

O floculante sintético utilizado para comparação nos ensaios foi a poliacrilamida (Praestol 2641 do fabricante Solenis). Foram ainda utilizados os reagentes, amido de araruta e fécula de batata comercial. Quanto ao reagente carboximetilcelulose (CMC), utilizou-se o de pureza analítica presente no Laboratório de Análises Químicas do DEMIN/UFOP. O reagente

Tanfloc SG utilizado foi o que se apresenta na forma de suspensão e disponibilizado comercialmente pela empresa TANAC.

Soluções diluídas e concentradas de NaOH e HCl foram utilizadas como reguladores de pH.

4.3 Ensaios de agregação

Os ensaios de agregação foram realizados em tubo de vidro de dispersão no Laboratório de Análises Químicas (DEMIN/UFOP) com os polímeros: sintético, naturais e o natural modificado como mostrado na Figura 10. A metodologia para realização dos testes foi adaptada de Orumwense e Nwachunkwu (2000), utilizando misturas de quartzo e água destilada com 5% de sólidos, em um tubo de dispersão com volume total de polpa de 200 mL. O pH foi ajustado com soluções de NaOH e/ou HCl e os ensaios abrangeram os valores de pH de 5, 6 e 7. As dosagens utilizadas foram 50, 100 e 200 mg/L para amido de araruta, fécula de batata e CMC; 1mg/L para poliacrilamida e 50 mg/L para Tanfloc SG para os mesmos valores de pH. Os testes foram realizados em duplicata. O reagente de agregação na concentração esperada foi adicionado à mistura com agitação realizada através de agitador magnético durante um minuto. Permitiu-se então a sedimentação do material por quatro minutos e após esta etapa o sobrenadante foi imediatamente sifonado e a fração afundada, seca em estufa e pesada.



Figura 9 - Tubo de agregação imediatamente após sedimentação

O grau de agregação (GA), ou material sedimentado, foi calculado a partir da fórmula adaptada de Alexandrino (2013):

$$GA(\%) = \left(\frac{m_{\text{under}}}{m_{\text{over}} + m_{\text{under}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que m_{over} é a massa suspensa e m_{under} é a massa afundada no sistema de dispersão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Preparo e caracterização da amostra de quartzo

Os dados referentes à distribuição granulométrica da amostra de quartzo preparada para os ensaios são exibidos no gráfico da Figura 11.

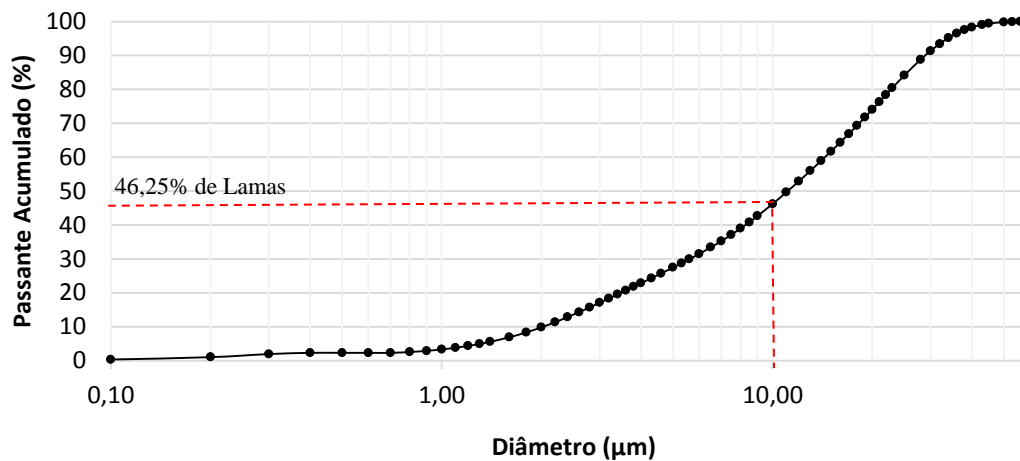


Figura 10 – Distribuição granulométrica da amostra de quartzo utilizada nos ensaios de agregação.

Pelo gráfico da Figura 11 o valor do D_{90} foi próximo a 30 µm, o que comprova que a granulação da amostra pertence à faixa classificada como “fino”.

A Figura 12 apresenta o difratograma de raios X (DRX) da amostra de quartzo. Como pode ser observado, o difratograma apresenta picos somente referentes ao quartzo.

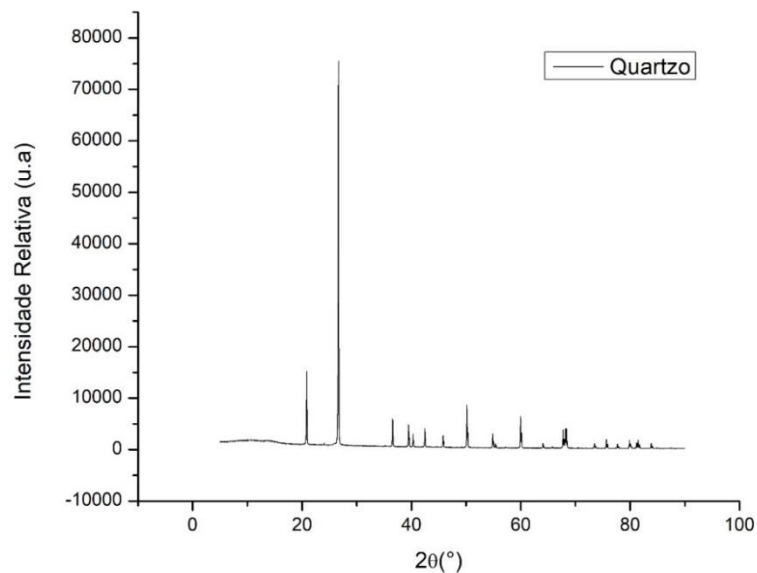


Figura 11 – Difratograma de raios X da amostra de quartzo utilizada nos ensaios de agregação.

O resultado obtido através do DRX mostra que existem apenas picos que indicam a presença do quartzo, logo a amostra se apresenta compatível com o esperado com o quartzo majoritariamente puro.

5.2 Ensaios de Agregação

Os resultados para os flocculantes utilizados: Amido de Araruta, Fécula de Batata e CMC, nas diferentes dosagens (50, 100 e 200 mg/L) foram comparados com a Poliacrilamida na dosagem industrial (20 g de flocculante por tonelada de minério ou 20 g/t) e com o Tanfloc SG na dosagem única para aplicação no sistema, 50 mg/L. Os valores encontrados podem ser observados nos gráficos das Figuras 13, 14 e 15 para as dosagens 50, 100 e 200 mg/L respectivamente.

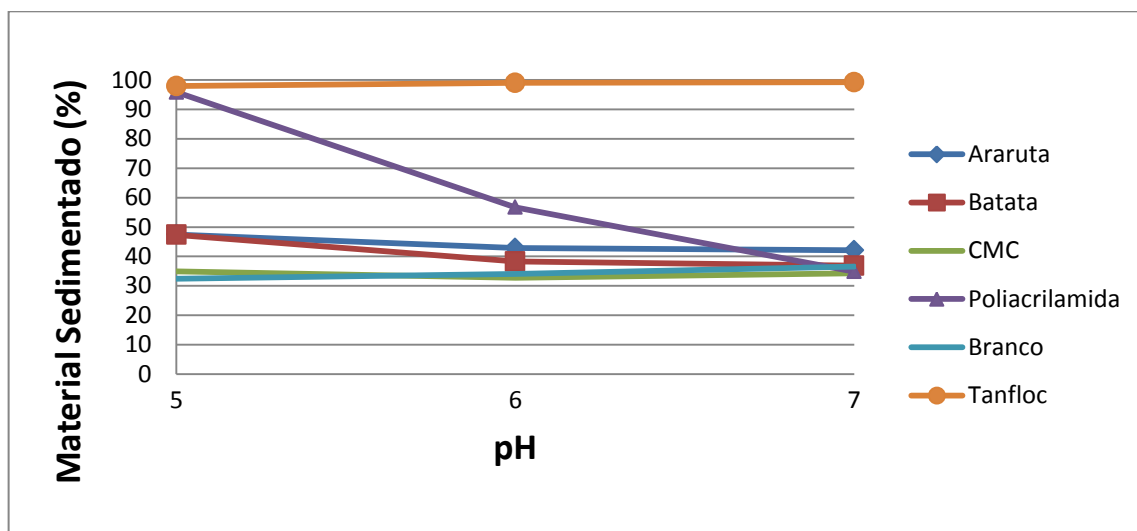


Figura 12 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 50 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.

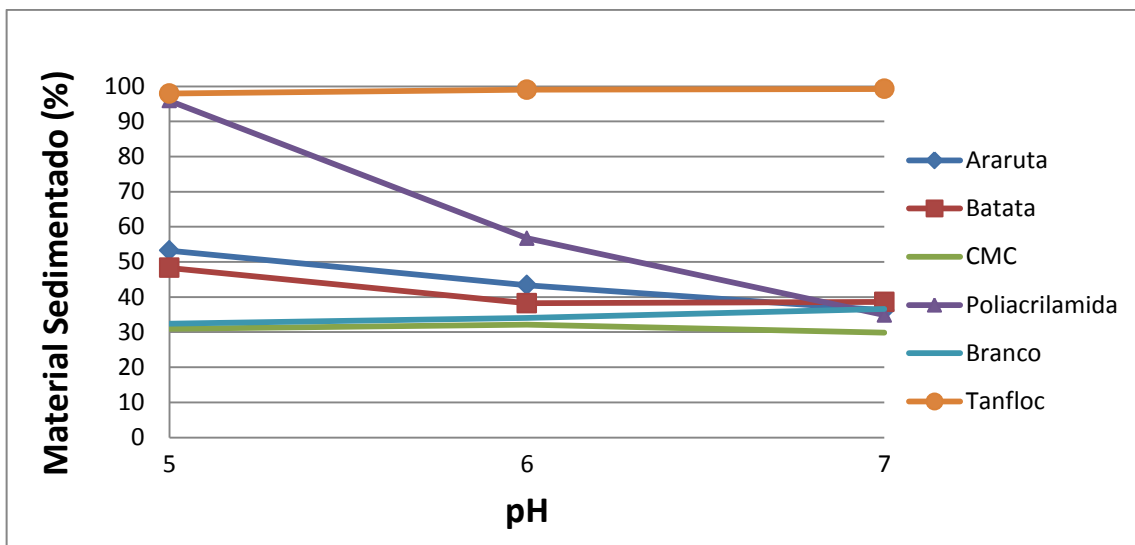


Figura 13 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 100 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.

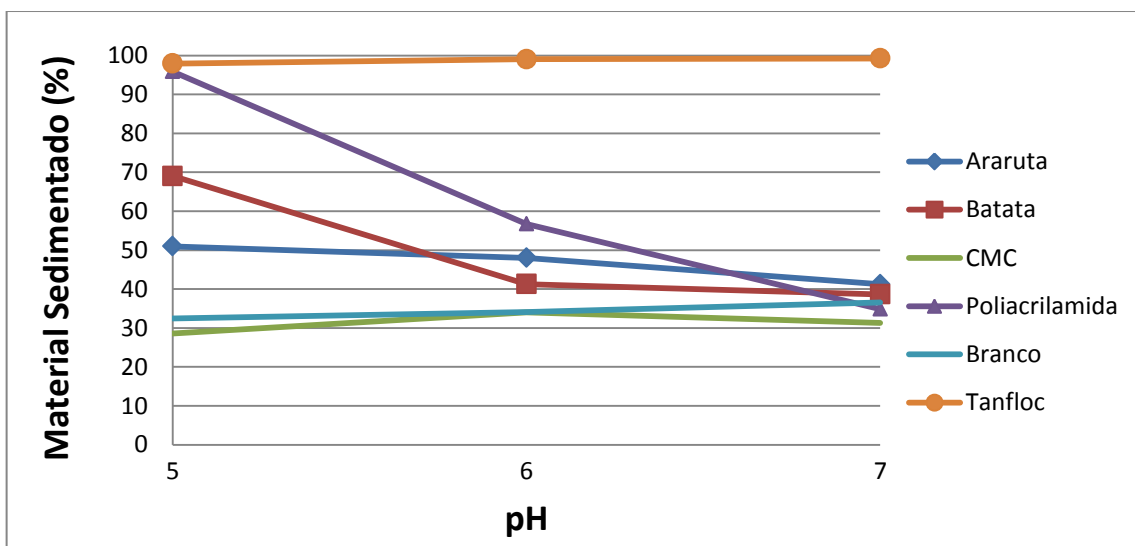


Figura 14 – Material sedimentado (%) para os valores de pH avaliados na dosagem 200 mg/L para Araruta, Fécula de Batata e CMC; Poliacrilamida na dosagem 1 mg/L e Tanfloc SG na dosagem de 50 mg/L.

Pode-se perceber a partir das figuras acima que para os reagentes Poliacrilamida, Amido de Araruta e Fécula de Batata quanto mais próximo do ponto isoelétrico do quartzo (que ocorre em pH 1,8) maior a quantidade de material sedimentado. Para o pH 5 a Poliacrilamida apresentou maior eficiência frente aos reagentes Amido de Araruta, Fécula de Batata e CMC em todas as dosagens estudadas, porém à medida em que ocorria o acréscimo no valor do pH, 6 e 7, seu desempenho sofreu queda considerável, 56,74% e 34,85% de material sedimentado respectivamente. Na dosagem de 50 mg/L (Figura 13) a araruta e a fécula de batata apresentaram resultados similares para o material sedimentado (cerca de 50%) em todas as faixas de pH. Porém, como pode ser observado na Figura 15, a fécula de batata na maior dosagem (200 mg/L) e no pH 5 mostrou um bom resultado dentre os demais flocculantes estudados, alcançando cerca de 70% de material sedimentado. Nos pHs 6 e 7 para mesma dosagem, 200 mg/L, no entanto, o seu desempenho é reduzido e se torna inferior ao apresentado pela araruta que alcançou menos de 50% de material sedimentando nestas duas últimas faixas de pH citadas.

O CMC, um reagente natural modificado, apresentou os menores resultados de eficiência para a floculação de finos de quartzo em todos os testes de agregação, apresentando apenas cerca de 30% de material sedimentado nas dosagens e pHs estudados o que indica que não houve floculado por ação do reagente uma vez que os testes em branco obtiveram aproximadamente 34% de material sedimentado.

O Tanfloc SG, outro reagente natural modificado, na dosagem única utilizada apresentou os melhores valores para material sedimentado em todas as faixas de pH sendo elas 97,95% no pH 5, 99,05% no pH 6 e 99,24% no pH 7.

A Tabela 2 foi construída a partir dos resultados obtidos e exibe o melhor valor de material sedimentado (%) para os reagentes e em que condições ocorreram, correlacionando-os com os demais.

Tabela 2 – Melhores resultados de sedimentação por floculante e condições experimentais em que ocorreram:

Floculante	pH	Dosagem (mg/L)	Material Sedimentado (%)
Poliacrilamida	5	1	95,88
Araruta	5	100	53,22
Fécula de Batata	5	200	69,04
CMC	5	50	34,90
Tanfloc SG	7	50	99,24

6 CONCLUSÕES

A partir do presente trabalho foi possível avaliar os desempenhos dos flocculantes naturais (Amido de Araruta e Fécula de Batata) e naturais modificados (CMC e Tanfloc SG) frente ao polímero sintético utilizado industrialmente (poliacrilamida) quanto à floculação de finos de quartzo.

O valor de pH em que os flocos puderam se formar com maior eficiência para a maioria dos flocculantes foi o pH 5, fato que pode ser justificado pela proximidade com o ponto isoelétrico do quartzo (pH 1,8), o que pôde favorecer a formação dos mesmos uma vez que as cargas nas superfícies das partículas estivessem menores.

Para os reagentes estudados como alternativa ao sintético, o Tanfloc SG foi o que apresentou maior eficiência quanto à porcentagem de material sedimentado (99,24%) na dosagem única de 50 e no pH 7, porém os valores alcançados para porcentagem de material sedimentados foram os maiores nos valores de pH 5 e 6 também, 97,95% e 99,05% respectivamente.

Para os intervalos de pH e dosagens escolhidas o CMC não apresentou bom desempenho mesmo frente aos flocculantes naturais obtendo melhor resultado para pH 5 na dosagem de 50 mg/L com 34,90% de material sedimentado.

Um estudo mais aprofundado sobre a melhor dosagem para aplicação nos sistemas de ensaio de agregação e ainda sobre o valor de pH em que poderia ocorrer a otimização na formação de flocos, como ensaios em *jar-test*, por exemplo, auxiliaria na busca dos melhores valores para utilização dessas substâncias como flocculantes sobre finos de quartzo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRINO, J. S. **Correlação entre estado de dispersão, propriedades eletrocinéticas e flotabilidade de hematita**. 2013. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ARINAITWE, E.; PAWLIK. M. A role of flocculant chain flexibility in flocculation of fine quartz. Part I. Intrinsic viscosities of polyacrylamide-based flocculants. **International Journal of Mineral Processing**, v. 124, p. 50-57, 2013.

BEZERRA, C. G. **Caracterização do rejeito de minério de ferro (IOT) e avaliação da sua influência no comportamento físico-químico e mecânico de pastas de cimento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BILIADERIS, C. G. **The structure and interactions of starch with food constituents**. Canadian Journal Physiology Pharmacology, Birmingham, v. 69, n. 1, p. 60-78, 1991.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa oleífera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BRATBY, J. **Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment**. 2.ed. Londres: IWA Publishing, 2006.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. **Starch granules: structure and biosynthesis – Mini review**. International Journal of Biological Macromolecules, Maryland Heights, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.

CAMPOS, J. R.; VIEIRA, M. B. S.; VILLELA, L. M. O. Comparação da eficiência de amido de diversas fontes naturais, quando empregado como auxiliar de floculação de águas para abastecimento. **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p. 144-149, 1984.

CASTRO-SILVA, M. A.; RORIG, L. R.; LAMB, L. H.; HECK, C. A.; DECUSATI, O. G. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. microrganismos filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**: desaguamento, espessamento e filtragem. 3.ed. São Paulo: Signus Editora, 2010.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo Humano**. In: INTERCIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change.

DASH, M.; DWARI R.K.; BISWA, S.K.; REDDY, P.S.R.; CHATTOPADHYAY, P.; MISHRA, B.K. **Studies on the effect of flocculant adsorption on the dewatering of iron ore tailings**. Chemical Engineering Journal 173, p. 318–325, 2011.

DI BERNARDO, A. S. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GALEŠA, K.; BREN, U.; KRANJC, A.; MAVRI, J. Carcinogenicity of Acrylamide: A Computational Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 18, p. 8720-8727, 2008.

GOODWIN, J. **Colloids and interfaces with surfactants and polymers**. Sussex do Oeste: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; MOCHIUTTI, S.; MORA, A. L.; HIGA, A. R.; SIMON, A. A. Acácia-negra. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009.

HORN, M. M. **Blendas e filmes de quitosana/amido de milho: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades**. 2012. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

HUNTER, R.J. **Zeta Potential in Colloid Science**, 1981, Chapter 6. New York, Academic Press.

JIN, R.; HU, W.; HOU, X. Mechanism of selective flocculation of hematite from quartz with hydrolyzed polyacrylamide. **Colloids and Surfaces**, v. 26, p. 317-331, 1987.

KRIEGER, K. M.; DUVICK, S. A.; POLLAK, L. M.; WHITE, P. J. Thermal properties of corn starch extracted with different blending methods: micro blender and homogeneizer. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 5, p. 553-555, 1997.

LEITE, A. M. C. **Amidos modificados como floculantes de lama de rejeito de minério de ferro**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

LEONEL, M.; CARMO, E. L.; LEONEL, S.; FRANCO, C. M. L.; CAMPANHA, R. B. **Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira**. Ver. Bras. Frutic., vol. especial, p. 599-605, 2011.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. **Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades**. Revista Virtual de Química, vol. 10, núm. 3, 2018.

LOPES, G. M.; LIMA, R. M. F. **Flotação direta de minério de ferro com oleato de sódio**. REM: Revista Escola de Minas, vol. 62, núm. 3, 2009, pp. 323-329, Escola de Minas Ouro Preto, Brasil.

LOPES, M. A. **Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânica.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios.** 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, vol. 6, p. 2-15, 2014.

NÓBREGA, K.; AMORIM, L. Influence of the Molar Mass of CMC in the Rheological Behavior and of Filtration of Clay Suspensions. **Ceramica**, 61, 399-408. 2015.

NGAKFUMBE, J. **The use of organic polymers in the chemical purification of peat derived runoff water.** 2013. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Oulu, Oulu.

OLIVEIRA, M. F. M. **Poliacrilamidas na flotação catiônica reversa de minério de ferro.** 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ORUMWENSE, F. F. O.; NWACHUKWU, J. C. Flocculation studies on hematite-silica system using polymeric flocculants. **Indian Journal of Chemical Technology**, v. 7, p. 23-29, 2000.

PEARSE, M. J. An Overview of the Use of Chemical Reagents in **Mineral Processing.** **Minerals Engineering**, v. 18. p. 139-149, 2005.

RUDOLFS, W.; BALMAT, J. L. Colloids in sewage – I. Separation of sewage colloids aid of the electron microscope. **Sewage and Industrial Wastes**, v. 24, n.03, p.248-256, 1952.

SHI, H. Y.; ZHANG, L. M.; MA, Y. Q.; YI, J.Z. **Synthesis and characterization of water-soluble cellulose derivatives with thermos – and pH-sensitive functional groups**. Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry, v. 44, n. 10, p. 1109-1113, 2007.

TANAC. **Tanfloc**: manual prático para o uso em estações de tratamento de águas de abastecimento. Montenegro: TANAC S.A., 2003. 122p.

TREVISAN, T. S. **Coagulante TANFLOC SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TURRER, H. D. G. Polímeros depressores na flotação de minério de ferro. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WEISSENBORN, P. K.; WARREN, L. J.; DUNN, J. G. **Optimisation of selective flocculation of ultrafine iron ore**. International Journal of Mineral Processing 42, 191-213, 1994.