



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA COM EXTRACTO DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus*) E COM SULFATO DE ALUMÍNIO, NA ETA DO FIPAG DE MAXIXE.

Autor: José Pedro Francisco Uanicela

Tutor: Mario Tauzene Afonso Matangue.

Lionde, Setembro de 2018



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Projecto de Licenciatura sobre estudo comparativo da qualidade da água tratada com extracto de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) com a tratada com sulfato de alumínio, na ETA do FIPAG de Maxixe, apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural, na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Mario Tazene Afonso Matangue

Lionde, Setembro de 2018



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde aos , ___de _____de 2018

(José Pedro Francisco Uanicela)

CONTEÚDOS

PÁGINAS

LISTA DE FIGURAS.....	i
DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
ANTECEDENTES DA INVESTIGAÇÃO.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Geral:.....	2
1.1.2. Específicos:.....	2
1.2. Problema e Justificativa	2
1.3. Hipótese de estudo	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Descrição do processo de coagulação	4
2.1.1. Compressão da camada difusa	4
2.1.2. Adsorção e neutralização de carga.....	5
2.1.3. Varredura	5
2.1.4. Adsorção e formação de pontes	5
2.1.5. Diagrama de coagulação	6
2.2. Coagulantes naturais usados no tratamento de água	7
2.2.1. Propriedades do extracto de quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>)	7
2.2.2. Propriedades da Moringa- <i>Moringa oleifera</i>	8
2.3. Propriedades do ião metálico em estudo: Alumínio (III).....	8
2.3.1. Hidrólise do ião de Alumínio (III).....	9
2.4. Procedimentos para preparação da solução de extracto quiabo Segundo Ritter (2013) e Almeida (2014).....	9

2.5. Eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (<i>Abelmoschus Eschulentus</i>) na coagulação	10
2.6. Determinação da concentração óptima de extracto de quiabo no processo de coagulação, em escala de laboratório usando <i>jar test</i>	11
2.7. Qualidade de água	12
2.7.1. Turbidez	12
2.7.2. Cor.....	12
2.7.3. pH.....	12
2.7.4. Ferro e Manganês.....	12
3. METODOLOGIA.....	14
3.1. Localização da área de Estudo	14
3.2. Breve descrição da ETA-Maxixe	14
3.3. Métodos.....	15
3.3.1. Determinação da concentração óptima, faixa óptima de PH e eficiência de remoção de turbidez e cor da solução de quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>) e de sulfato de alumínio na coagulação.	15
3.3.2. Determinação da eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>) e de sulfato de alumínio na coagulação.....	18
3.3.3. Comparação da qualidade de água tratada com extrato de quiabo e sulfato de alumínio.	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1. Determinação da concentração óptima e faixa óptima de PH do extracto de quiabo no processo de clarificação de água e sulfato de Alumínio.	19
4.1.1. Determinação da concentração óptima de extracto de quiabo para processo de clarificação da água.	19
4.1.2. Determinação da concentração óptima de solução de sulfato de alumínio para processo de clarificação da água.	21
4.1.3. Faixa óptima de pH da solução de extracto de quiabo.....	23
4.1.4. Faixa óptima de pH da solução de sulfato de alumínio	24

4.2. Determinação da eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>) e sulfato de alumínio.....	25
4.3. Comparação da qualidade de água da solução de quiabo (<i>Abelmoschus eschulentus</i>) e sulfato de alumínio na coagulação	26
4.3.1. Comparação de qualidade de água na remoção de turbidez	26
4.3.2. Comparação de qualidade de água na remoção da cor final	27
5. CONCLUSÃO.....	29
6. RECOMENDAÇÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	vii
APÊNDICES.....	xi

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração esquemática da dupla camada eléctrica.....	4
Figura 2 - Energia potencial de interação entre as partículas coloidais.....	5
Figura 3 - Sobreposição das condições de coagulação (pares de valores de pH e dose de sulfato de alumínio).....	6
Figura 4 - Muscilagem de quiabo	8
Figura 5 - Sistema de flotação.	11
Figura 6 - Mapa do distrito de Maxixe, ilustrando o rio e o local de estudo	14
Figura 7 - Fluxograma de tratamento de água na ETA da FIPAG-Maxixe	15
Figura 8 - Preparação de extrato de quiabo.	15
Figura 9 – Preparação da solução	16
Figura 10 – Teste com extrato de quiabo e sulfato de alumínio.....	17
Figura 11 – Instrumento de medição de turbidez, cor e pH	17
Figura 12 – Diagrama da concentração óptima de extrato quiabo.....	21
Figura 13 – Diagrama da concentração óptima de sulfato de alumínio.....	22
Figura 14 - Diagrama da faixa óptima de pH usando extrato de quiabo.	23
Figura 15 - Diagrama da faixa óptima de pH usando sulfato de alumínio.	24
Figura 16 – Eficiência média de remoção de turbidez com a solução de extrato de quiabo e sulfato de alumínio.....	26
Figura 17 - Teste Two Sample-T para verificação das diferenças entre a turbidez de solução extrato de quiabo e de sulfato de alumínio da água	27
Figura 18 - Teste Two Sample-T para verificação das diferenças entre a cor de solução extrato de quiabo e de sulfato de alumínio da água	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBLOS

°C – Graus celsius

Al – Alumínio;

Ca – Cálcio;

Cl – Cloro;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

Fe – Ferro;

FIPAG – Fundo de Investimento e Patrimonio do Abastecimento de água;

H – Hidrogénio;

H₂CO₃ – Acido carbónico;

H₂O – Molécula de água;

Mn – Manganês;

Na – Sódio;

NaCl – Cloreto de sódio

OMS – Organização Mundial de Saúde;

pH – Potencial de Hidrogénio;

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por estar presente em todos os dias da minha vida, por me fortalecer nos momentos de dificuldade e por ser tão generoso, colocando pessoas maravilhosas no meu caminho.

Agradeço aos meus pais, Pedro Francisco Uanicela e Rosa Ernesto Inguane, por todo amor, dedicação e confiança que sempre depositaram em mim. Pela educação e exemplo de trabalho e honestidade. Por fazerem do meu sonho, o deles. Agradeço também a todos meus irmãos, em especial o Santos, Afonso, Alexandrina e Elton, e meus tios (Américo Ernesto Inguane, Castro Ernesto Inguane, Nordino Ernesto Inguane) pelo exemplo, apoio, e por sempre buscarem esclarecer as minhas dúvidas.

Agradeço à Engenheiro Mário Tauzene Afonso Matangue, pela confiança, paciência e dedicação com que sempre me ajudou. Pelos ensinamentos, ricos conselhos e exemplo de profissionalismo.

Gostaria de agradecer a todos os amigos que fiz no Instituto Superior Politécnico de Gaza, por terem, em algum momento, compartilhado alegrias, dificuldades, sonhos e por terem sido como uma família pra mim. Em especial o Cremildo, Alcídio, Filipe, Reis, Ilton, Daniel, Nelson e Luís Jeje, a querida Cláudia Benhane, a malta de condomínio, à Turma de 2014, de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural que está se formando comigo, pela amizade e companheirismo e agradeço avó Luísa por ter-me dado abrigo logo no primeiro dia, pela grande generosidade e sentimento por mim.

Agradeço também, à meus amigos Nordino, Dércio e Cremildo, com que morei durante o período acadêmico pela excelente convivência e amizade. A minha querida namorada Virgínia, por todo o amor e carinho, por entender minhas ausências, minhas dificuldades e meus momentos de nervosismo e também, por apoiar meus sonhos e ser sempre o meu porto seguro. Ao grupo do Laboratório de Qualidade de Água do FIPAG-Maxixe: Constâncio, Chefe Ricardo, chefe Nhanombe e a dona Percia, pelos equipamentos, pelo apoio na coleta das amostras de água bruta, por ceder os reagentes e pela ajuda na realização desse trabalho e pela amizade.

RESUMO

O trabalho, teve como objectivo avaliar a eficiência de coagulação no processo de tratamento de água utilizando a fracção polar do extrato do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), comparado com sulfato de alumínio da água captada no rio Inhanombe na estação de tratamento de água do FIPAG- Maxixe. Com o uso do extrato de quiabo no processo de coagulação, foram obtidos melhores resultados nas concentrações de 2,4 ppm e no intervalo de 4 a 6 ppm da solução de quiabo, atingindo 90% de remoção de turbidez, após 45 minutos de sedimentação e com sulfato de alumínio foi obtido melhor eficiência de remoção de turbidez com concentração de 6,4 ppm, atingindo 80% de remoção de turbidez, onde abaixo dos 70% de eficiência de remoção pode se obter com qualquer concentração testada. A faixa óptima de quiabo ocorre com pH ácida abaixo de 6,8, com concentração na faixa de 4 a 5 ppm e assim como alcalina ligeiramente superior a 7 com concentração de 6,5 ppm e com sulfato de alumínio a remoção óptima de turbidez ocorre com a faixa de pH alcalina, ligeiramente superior a 7, a uma concentração de 4,5 ppm, podendo ocorrer com mesma concentração pH ácida abaixo de 5 e pH alcalina com concentração de 6,5 ppm. O quiabo apresentou-se mas eficiente em relação a sulfato de alumínio na remoção média de turbidez, atingindo 45% comparado com 44% de sulfato de alumínio, utilizando até concentrações baixas de 2,4 ppm a 45 minutos de sedimentação. Apresentando-se como um aspecto positivo por possivelmente facilitar as etapas seguintes do tratamento, aumentando a vida útil dos filtros e necessitando de quantidade menor de desinfetante e por ser um polímero natural de uma fonte natural barata e abundante no país, onde este pode apresentar maior valor agregado se aplicado no tratamento de água, podendo servir como fonte de renda para a agricultura familiar. Com isso, é possível propor uma divulgação no uso de extrato de quiabo no processo de coagulação no país, o que pode culminar na diminuição de uso dos coagulantes metálicos, trazendo benefícios às pessoas que consumirão menores quantidades de produtos químicos, possibilitar maior facilidade na disposição final do lodo proveniente da ETA além de reforçar a proposta da Química Verde.

Palavras-chaves: Coagulação, Quiabo, Sulfato de alumínio, Tratamento de água.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the coagulation efficiency in the water treatment process using the polar fraction of the okra extract (*Abelmoschus esculentus*), compared to aluminum sulfate from the water captured in the Inhanombe river for the water treatment plant belonging to FIPAG- Maxixe. With the use of okra extract in the coagulation process, better results were obtained at concentrations of 2.4 ppm and in the range of 4 to 6 ppm of okra solution reaching 90% of turbidity removal, after 45 minutes of sedimentation and with aluminum sulfate was obtained better turbidity removal efficiency at a concentration of 6.4 ppm, reaching 80% turbidity removal, where below the 70% removal efficiency can be obtained with any concentration tested. The optimum okra range occurs with acidic pH below 6.8, with a concentration in the range of 4 to 5 ppm and as well as alkaline slightly higher than 7 with a concentration of 6.5 ppm and with aluminum sulphate the optimum turbidity removal occurs with an alkaline pH range of slightly higher than 7, at a concentration of 4.5 ppm, which may occur with the same acidic pH below 5 and alkaline pH at 6.5 ppm. The okra was more efficient in relation to aluminum sulphate in the average removal of turbidity, reaching 45% compared with 44% of aluminum sulphate, using until low concentrations of 2,4 ppm to 45 minutes of sedimentation. It is presented as a positive aspect because it may facilitate the following steps of the treatment, increasing the life of the filters and necessitating a lesser amount of disinfectant and being a natural polymer of a cheap and abundant natural source in the country, where it can present larger value added if applied in the treatment of water, and can serve as a source of income for family agriculture. With this, it is possible to propose a disclosure in the use of okra extract in the process of coagulation in the country, which can lead to a decrease in the use of metallic coagulants, bringing benefits to people who will consume smaller amounts of chemicals, end of the sludge coming from ETA besides reinforcing the proposal of Green Chemistry.

Key words: Coagulation, Okra, Aluminum sulphate, Water treatment.

ANTECEDENTES DA INVESTIGAÇÃO

O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) tem sido usado em testes de tratamento das águas de abastecimento em conjunto com o sulfato de alumínio desde 1993 na Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso (Colares e Sandri, 2013).

A utilização do quiabo ocorreu após conhecimento do interesse dos produtores em usar este vegetal como matéria-prima na fabricação de colas, onde submeteu-se em teste no laboratório e em uma Estação de Tratamento de Água e comparou se nos estudos com o sulfato de alumínio e outros polímeros naturais e sintéticos (Ritter, 2013).

O quiabo é um produto estável, sendo apropriado para o uso em tratamento de água e de efluentes, pois é um polímero aniônico que após a sua aplicação torna o floco mais denso, maior e mais resistente às forças que provocam ruptura e com maior velocidade de sedimentação ou de flotação e maior aderência no meio filtrante, com possibilidade de melhoria da qualidade da água, principalmente em unidades de tratamento que operam sobrecarregadas (Lima, 2007).

O quiabo pode ser usado em algumas zonas rurais do país (Moçambique), ajudando na melhoria de qualidade de água em que a maioria dos sistemas de tratamento de água no país operam em sobrecargas o que leva a baixa qualidade de água para o consumo humano. Adicionalmente, quiabo é produzido em vários locais do país, o que vai possibilitar o aumento da renda dos produtores e reduzindo a incidência de doenças de origem hídrica, pois não é tóxico e o seu uso no tratamento atinge quase 100% da remoção da cor e turbidez (Ritter, 2013).

O quiabo é uma cultura de domínio agrícola nas comunidades rurais, visto que em termos das normas técnicas da produção pode ser produzido na província de Inhambane, principalmente na baixa do regadio de Macuamene, onde produz se em pequenas escalas devido o não reconhecimento das vantagens do mesmo, o que contrapõe-se com sulfato de alumínio que possui custos de aquisição altos e armazenamento, exigindo cuidados durante o seu manuseamento, não biodegradável, com elevadas concentrações que por vezes gera um volume elevado de lodo, poluindo corpos de água perto das ETAs, o que pode provocar problemas à saúde humana, inclusive o aceleramento do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (Clayton, 1989).

1. INTRODUÇÃO

A água captada de rios e mananciais, podem conter uma grande diversidade de impurezas, como substâncias húmicas, partículas coloidais e microrganismos. Estas impurezas normalmente apresentam carga superficial negativa, devido ao contínuo choque destas, sendo que a repulsão electrostática entre estas cargas seja acentuada fazendo com que estas não se aproximem, não acontecendo a agregação, permanecendo as mesmas no meio (Ritter, 2013). De uma maneira geral, quanto maior for a diversidade de matérias-primas oriundas da fonte de captação maior será a possibilidade da ocorrência de choques na composição da água a ser tratada.

O quiabo, além de ser polímero usado no tratamento de água, fornece informações que permitem traçar o perfil nutricional, com relação à variação sazonal, regional, formas de cultivo e do processo de cocção em água (Ritter, 2013).

Segundo Ritter (2013), o quiabo devido as suas propriedades químicas e biológicas os resultados de tratamento podem atingir 96.6% e 98,9 % de remoção da cor e turbidez respectivamente a uma concentração baixa de 1.4 ppm, a um volume de 500 ml, comparando com a moringa que atinge 83.3 % e 97.6 % a uma concentração acima do quiabo de 250 ppm, assim o uso do quiabo reduz os sólidos dissolvidos na água e bactérias facilitando as etapas seguintes do tratamento, aumentando a vida útil dos filtros e necessitando de quantidade menor de desinfectante. Com isso, é possível propor uma diminuição no uso dos coagulantes metálicos, trazendo benefícios às pessoas que consumirão menores quantidades de produtos químicos, possibilitar maior facilidade na disposição final do lodo proveniente da ETA e reforçando a proposta da Química Verde.

O tratamento de água com extrato de quiabo contrapõe-se ao dos outros produtos, pois tem uma possibilidade de não conferir toxicidade à água por ser um polímero sintético. Por exemplo, a acrilamida (monômero residual da fabricação da poliacrilamida) e sulfato de alumínio tem toxidez e caráter carcinogénico, ao passo que o quiabo é benéfico, agrega maior segurança na produção de água de qualidade e renda para o produtor rural (Lima, 2007).

Os estudos feitos na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão- PR (ETA-CM) mostram que o uso de quiabo na coagulação de água, apresenta bons resultados de remoção de cor e turbidez, atingindo-se 96,6 % e 98,9 % de remoção, respectivamente, utilizando a concentração baixas de 1,4 ppm a 500 ml de água (Ritter, 2013).

Em pesquisas realizadas por Lima (2007), com o uso *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench como auxiliar de floculação, o tratamento apresentou melhora significativa na qualidade da

água decantada, e a dosagem do sulfato de alumínio foi reduzida, com igual eficiência de remoção dos parâmetros avaliados para seu estudo.

O quiabo é uma cultura de domínio agrícola nas comunidades rurais em termos das normas técnicas da produção, contrariamente ao sulfato de alumínio que possui custos de aquisição altos e armazenamento, exigindo cuidados durante o seu manuseamento, não é biodegradável, com elevadas concentrações que por vezes gera um volume elevado de lodo que provoca problemas à saúde humana, inclusive o aceleração do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (Clayton, 1989).

1.1.Objectivos

1.1.1. Geral:

- Avaliar a eficiência de coagulação no processo de tratamento de água utilizando a fracção polar do extrato do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), comparado com sulfato de alumínio da água captada no rio Inhanombe na estação de tratamento de água do FIPAG- Maxixe.

1.1.2. Específicos:

- Determinar a concentração óptima e faixa óptima de pH do extracto de quiabo no processo de clarificação de água;
- Determinar a concentração óptima e faixa óptima de pH de sulfato de alumínio no processo de clarificação de água;
- Determinar a eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e de sulfato de alumínio na coagulação;
- Comparar a qualidade de água tratada com quiabo e sulfato de alumínio.

1.2.Problema e Justificativa

O tratamento de água captada nos rios, mananciais e canais abertos é feito com recursos a sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, o qual incorpora na água (coagulação) com vista à optimização de etapas de separação de fases líquido-sólido (decantação, ou, alternativamente, flotação, e filtração); gerando, portanto, resíduos (lodo de decantador e água de lavagem de filtros) não biodegradável, em que são lançados nos corpos de água mais próximos à estação, comprometendo a qualidade de água do manancial, podendo causar assoreamento do corpo de água (Cabral, 2014).

Na ETA do FIPAG-Maxixe o processo de coagulação é feito na base do sulfato de alumínio, que por sua vez causa vários problemas destacando-se os ambientais e a saúde humana através

do lodo gerado nos decantadores e na lavagem de filtros, em que o lodo é rico por iões de alumínio lançado no rio Inhanombe podendo afectar o ecossistema aquático no rio.

Assim sendo, surge como alternativa o uso de quiabo como coagulante alternativo, em que incorpora várias vantagens numa Estação de Tratamento de Água (ETA), desde a qualidade da água decantada e filtrada, redução do consumo do coagulante primário, redução dos gastos com produtos químicos (sulfato de alumínio), redução no volume do lodo no decantador, aumento da eficiência da desinfecção como consequência da redução da concentração de sólidos suspensos na água filtrada, diminuição da ocorrência da deposição de lodo na rede, nos reservatórios de distribuição e no próprio manacial de descarga (Di Bernardo e Dantas, 2005). De acordo com Agarwal (2001 e 2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniónico, que pode ser usado no processo de clarificação de água bruta e com muitas vantagens sobre o sulfato de alumínio, por ser polímero natural e biodegradável, não tóxico e altamente estável no processo de tratamento de água com elevada turbidez e incluindo efluentes provenientes em águas residuárias.

Em Moçambique o uso de quiabo no processo de tratamento de água é praticamente desconhecido e estudos com quiabo fazem-se necessário, pois o sucesso do quiabo no processo de tratamento de água em Moçambique pode ser uma alternativa atraente na concepção e instalação de unidades de tratamento de água nas zonas rurais.

A motivação para a realização deste estudo prende-se com as potencialidades do quiabo que se expressa através das suas propriedades químicas e a tendência de procurar coagulantes biodegradáveis e ambientalmente amigáveis.

1.3. Hipótese de estudo

O uso de extracto de quiabo no processo de coagulação de água do rio Inhanombe produz turbidez e cor residual estatisticamente igual à do sulfato de alumínio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Descrição do processo de coagulação

A coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio da adição de produto químico apropriado, habitualmente com sais de ferro ou de alumínio ou de polímeros sintéticos, seguidos por agitação rápida, com o intuito de homogeneizar a mistura (Pavanelli, 2001).

Os principais mecanismos que actuam na coagulação são: compressão de camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, e adsorção e formação de pontes (Pavanelli, 2001).

2.1.1. Compressão da camada difusa

Esse mecanismo de coagulação é responsável pela desestabilização das partículas colóidais através da adição de iões de carga contrária (Pavanelli, 2001).

Segundo Di Bernardo (1993), confirma que os estudos feitos em 1900 de Schulze e Hardy, por meio das teorias de Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek- Dlvo, mostraram que quanto maior a carga do ião positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. Ao desestabilizar partículas negativas, as concentrações molares dos metais Na^+ , Ca^{++} , Al^{+++} variam de 1000: 10: 1. Em que este fenómeno é explicado pela grande concentração de cargas positivas que causam excesso de iões na camada difusa.

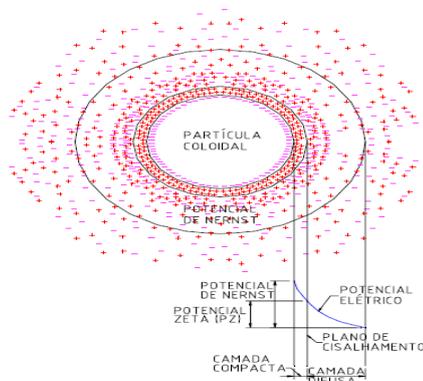


Figura 1 - Configuração esquemática da dupla camada eléctrica (Pavanelli, 2001).

Em que reduz o volume de sua esfera para manter-se electricamente neutra, reduzindo o potencial eléctrico (Potencial Zeta) e predominando a força de Van Der Waals, onde para se ter uma suspensão estável é necessário que as forças de interacções repulsivas superem as forças de atracção de Van Der Walls. Desta forma, para curtas ou longas distâncias sempre o efeito entre as partículas é atractivo; no entanto, a partir de uma distância. d . da superfície da partícula, a repulsão predomina em um certo intervalo de distância.

sua aglomeração. Os segmentos fixados à superfície são os responsáveis pelo ancoramento da cadeia polimérica, pois se ligam a sítios superficiais com os quais possuem afinidade.

2.1.5. Diagrama de coagulação

Seguindo analogia de Amirtharajah & Mills (1982), que descrevem o diagrama de coagulação para sulfato de alumínio, considerando dosagens de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$ versus pH da mistura. Pode-se notar regiões distintas para diferentes mecanismos de coagulação, seja na adsorção e neutralização de cargas, na varredura, ou na combinação de ambas (figura 3).

Na região de coagulação por varredura ocorre excessiva formação de precipitados de hidróxido de alumínio, cujas partículas coloidais estão aprisionadas. Esta região é recomendada para ETA com tratamento completo, pois os flocos são densos e ficam retidos no decantador.

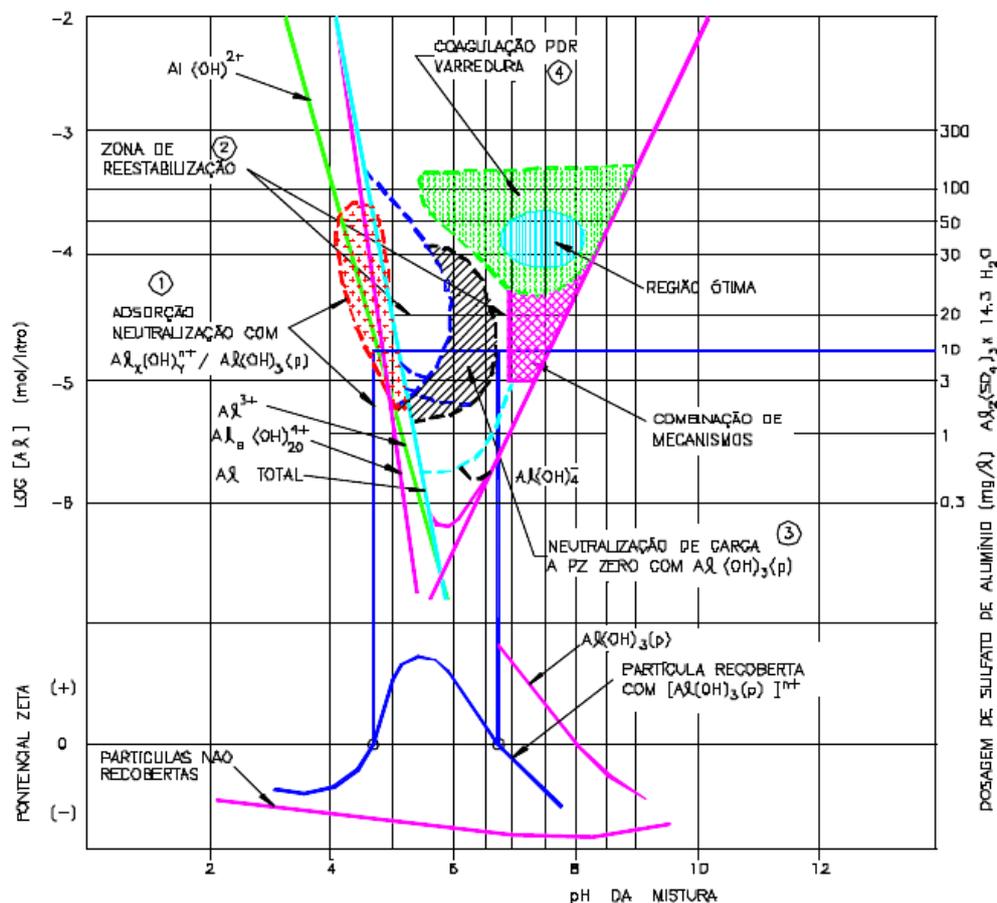


Figura 3 - Sobreposição das condições de coagulação (pares de valores de pH e dose de sulfato de alumínio) (Amirtharajah e Mills, 1982).

Região 1- Região onde prevalece a neutralização de cargas pelas espécies hidrolisadas positivas de alumínio, que são adsorvidas na superfície dos colóides.

Região 2- Zona caracterizada pela reestabilização.

Região 3- Região denominada de “corona”. Nesta região, o potencial zeta atinge seu máximo. Quando o valor de pH está em torno de 6,9 e dosagem de coagulante 10mg/l e o valor do potencial zeta aproxima-se de zero.

Região 4- Região onde predomina a coagulação pelo mecanismo de varredura, em que os flocos possuem um tamanho maior quando comparado aos flocos das outras regiões.

2.2.Coagulantes naturais usados no tratamento de água

2.2.1. Propriedades do extracto de quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

O *Abelmoschus esculentus*, pertence à família Malvaceae, tratando-se de uma planta arbustiva anual, com caule ereto esverdeado ou avermelhado, e atinge de 1 a 1,7 metros de altura. É uma hortaliça de clima quente e por isso é uma das cultivares mais bem adaptadas ao clima tropical (Moçambicano) (Lima, 2007).

O quiabo apresenta uma coloração verde acidentado, com um cheiro característico, a temperatura de 25°C o seu pH varia entre 6,5 - 7,0, com ponto de ebulição de 110°C e totalmente solúvel em água.

O quiabo apresenta características diferentes dos polímeros sintéticos que possuem sítios ionizáveis (positivos ou negativos) ao longo da cadeia, não apresenta esta propriedade, o que os fazem actuar como coagulante. O quiabo possui em sua estrutura uma grande quantidade de H e OH disponíveis ao longo de cada piranose, o que favorece sua acção sobre as partículas instáveis no meio (Stumm e Morgan, 1996).

De acordo com Agarwal (2001) e (2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniônico, que pode ser usado no processo de clarificação de água bruta e com muitas vantagens sobre o sulfato de alumínio, por ser polímero natural e biodegradável, não tóxico e altamente estável no processo de tratamento de água com elevada turbidez.

A combinação do coagulante (quiabo) está associada à provável redução da dosagem do coagulante inorgânico, promovendo menor geração de lodo seco, com benefícios de seu tratamento e disposição final. Além disso, permite a desestabilização de partículas coloidais que não tenham condições de serem incorporadas pela precipitação do coagulante metálico, quando da operação do processo de coagulação no mecanismo de varredura (Stumm et al., 1996).

A mucilagem de quiabo é um polissacarídeo amorfo composto por D-Galactose, L-Ramose e ácido D-galacturínico, em que a actuação conjunta atribui óptimas propriedades de coagulação ao quiabo.

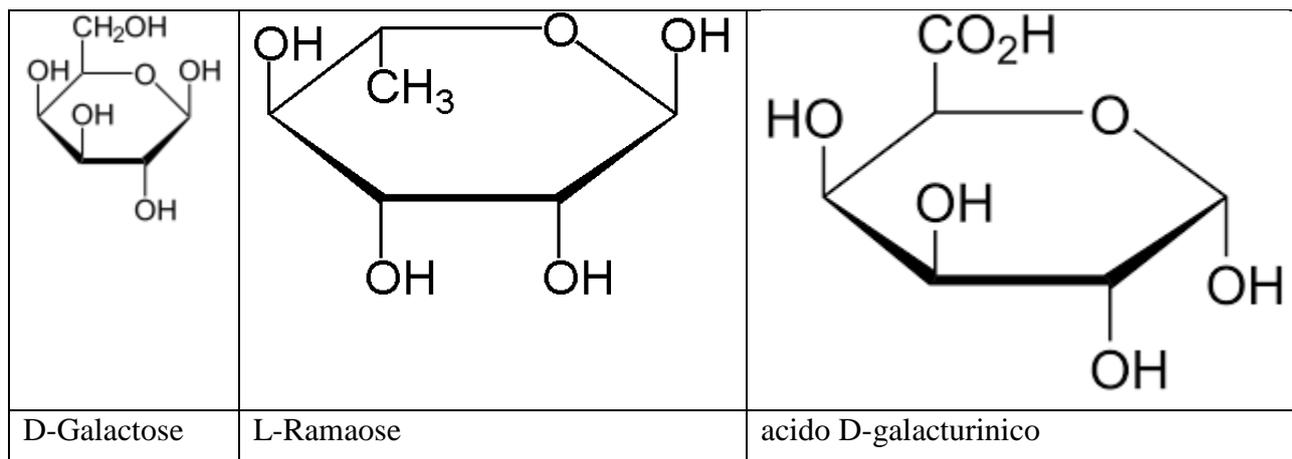


Figura 4 - Muscilagem de quiabo.

2.2.2. Propriedades da Moringa- *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae, que é composta apenas de um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas. Nativa do Norte da Índia desenvolve-se actualmente em vários países dos trópicos. É um arbusto ou árvore de pequeno porte, de crescimento rápido, que alcança 12 m de altura, podendo chegar até 4 m no primeiro ano. Essa planta pode ser facilmente propagada, e as sementes podem ser plantadas diretamente no local definitivo ou em sementeiras (Ritter, 2013).

De acordo com Silva (2005), a eficiência do uso das sementes de *Moringa oleifera* vem sendo confirmada em laboratório e em projetos de abastecimento de água para residências da zona rural no Brasil e no mundo.

Segundo Ritter (2013) nos processos de coagulação e floculação de águas residuárias ou destinadas ao consumo humano, estudos realizados por Okuda et al. (1999), demonstram que a percentagem de remoção de turvação utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da *Moringa oleifera* é de 80 a 99%.

2.3. Propriedades do ião metálico em estudo: Alumínio (III)

O alumínio é um catião pequeno e altamente carregado, sendo considerado um ião metálico duro, que se hidrolisa facilmente em solução aquosa. Possui número de coordenação quatro (raio iônico de 0,53 Å) ou seis (raio iônico de 0,68 Å), adoptando, respectivamente, a geometria tetraédrica ou octaédrica dependendo dos ligantes aos quais se ligará (Williams, 1996) e (Barros, 2001).

A maioria de seus compostos apresenta alto carácter covalente, devido à alta relação carga/raio do Al^{+++} , que confere ao catião elevado poder polarizador, o que propicia uma ligação forte e o caracteriza como um exímio ácido de Lewis.

Encontrado, principalmente, em solos e minérios sob formas químicas insolúveis e atóxicas, de óxidos ou alumínio silicatos, em que é abundante sob forma de hidroxialuminosilicatos, que interfere com o desenvolvimento aquático e, também, pela diminuição de absorção que ocorre no epitélio intestinal de seres humanos quando o alumínio está sob esta forma (Williams, 1996) e (Barros, 2001).

Ressalta-se ainda que este metal, além de sua presença no solo, e conseqüentemente, no aquífero em concentrações médias de $1\mu\text{g.L}^{-1}$, é ainda usado no tratamento da água, na forma de sais, como sulfato de alumínio, podendo então contaminá-la, se sua eliminação não for realizada de maneira eficiente (Williams, 1996) e (Barros, 2001).

2.3.1. Hidrólise do íon de Alumínio (III)

O íon Al (III) sofre hidrólise intensa quando em solução e esta principia a partir de um pH baixo que até atinge 3,00. Em que nessas condições a principal espécie mononuclear presente é $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ que favorece a rápida solvatação do íon alumínio em água. Esta espécie contendo as moléculas de água em um arranjo octaédrico rapidamente sofre reacções de transferência de prótons (Williams, 1996) e (Barros, 2001).

O alumínio é um metal extremamente hidrolisável, que pode formar em soluções complexos de hidróxidos polinucleares e espécies meta-estáveis, que podem precipitar e se redissolverem lentamente. Embora algumas reacções lentas são capazes de gerar espécies poliméricas e colóidais, as quais são menos estáveis.

De acordo com (Williams, 1996) e (Barros, 2001) a elevação do pH, espécies como $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$, $[\text{Al}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^+$ e $\text{Al}(\text{OH})_3$ são formadas, bem como espécies polinucleares, em concentrações maiores do que o íon alumínio. Isso se dá devido à polarização das ligações O-H, que acarreta a perda do próton facilmente. Se o pH retorna a condições ácidas, há novamente a formação do $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ e com a crescente acidez dos solos, as formas fitotóxicas são disponibilizadas em maior quantidade, aumentando-se, assim, a exposição do consumo humano de alumínio.

2.4. Procedimentos para preparação da solução de extracto quiabo Segundo Ritter (2013) e Almeida (2014).

Para a preparação da solução padrão de quiabo, coloca-se os frutos expostos ao sol por três dias, e posteriormente triturados e moídos. Utilizando 5,0 g do quiabo moído para fazer a dissolução em 500 mL de água destilada, resultando em uma “solução mãe” com concentração de 10 g.L^{-1} , que foi novamente diluída para 1 mg.L^{-1} para os ensaios em *Jar test*, onde em cada

jarro, adicionou quantidades pré-determinadas da solução padrão de alcalinizante, coagulante e da solução padrão de auxiliar de floculação, utilizando-se pipeta automática. Ajustando de modo atender o tempo de mistura rápida (TMR) de 1 minuto, em 120 rotações por minuto (rpm) e o tempo de mistura lenta (TML) de 15 minutos, em 60 rpms.

Para Almeida (2014), o quiabo é inicialmente cortado em rodela e colocado em água destilada na proporção de 25% (m.V⁻¹). Em seguida, a biomassa foi macerada a temperatura de 45°C durante 40 minutos em banho-maria. O material obtido foi filtrado e mantido sob refrigeração a determinada temperatura. Após, o extrato passou por precipitação alcoólica e filtração, sendo obtida a goma.

Onde por se tratar de um auxiliar aniônico, a solução de quiabo em pó foi adicionada nas amostras de água depois de iniciada a etapa de floculação, aproximadamente 4 minutos após a coagulação.

2.5.Eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (*Abelmoschus Eschulentus*) na coagulação

Seguindo Borri e Freire (2014), em que é fornecida por meio da medida de redução de turbidez na água tratada pelo coagulante proposto, em que os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção de turbidez, utilizando a equação que se segue:

$$E(\%) = \frac{turbi - turbf}{turbi} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

E (%) corresponde a eficiência de redução de turbidez (%);

Turbi, corresponde ao valor da turbidez da água bruta (NTU);

Turbf, corresponde ao valor da turbidez da água após o *Jar test* (NTU).

Também vai se usar a fórmula de cálculo de eficiência da filtração na remoção de impurezas, que é determinada a partir da seguinte expressão matemática:

$$r(\%) = 100\left(1 - \frac{C_0}{C}\right) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

r (%) é a eficiência na remoção;

C₀ é a concentração inicial da impureza;

C é a concentração final da impureza.

2.6.Determinação da concentração óptima de extracto de quiabo no processo de coagulação, em escala de laboratório usando *jar test*.

Para a determinação da dosagem óptima de produto químico é obrigatório manter fixos os parâmetros de ensaio citados na tabela a seguir e medidos os percentuais de remoção de cor aparente e de turbidez (Filho e Brandão, 2000).

Quadro 1 - Parâmetros e valores que foram mantidos fixos nos ensaios

Parâmetro de ensaio	Valor
Tempo de mistura rápida (Tm)	1 min
Gradiente de velocidade de Mistura Rápida (Gm)	1000 s ⁻¹
Tempo de floculação (Tf)	15 min
Gradiente de velocidade de floculação (Gm)	60 s ⁻¹
Velocidade de flotação (Vf)	5 cm/min
Tempo de colecta (Tc)	93 s
Pressão aplicada na câmara	500 kPa
Razão de recirculação	10 %

Fonte: (Filho e Brandão, 2000).

Segundo Dias e Pereira (2004), para obtenção das dosagens e parâmetros de ensaios usa-se o um equipamento *Jar test*, com seis jarros, capacidade para 0,002 m³ de amostra cada, ligados por mangueiras, os jarros possuem bandejas perfuradas para auxiliar a distribuição das microbolhas de ar produzidas no ponto de aplicação da solução saturada, aumentando a possibilidade de colisão entre microbolhas e partículas de forma independente, a um conjunto de distribuição da água saturada. Essa distribuição é regulada por válvulas agulha instaladas em cada mangueira, conforme ilustra a figura abaixo:



Figura 5 - Sistema de flotação (Dias e Pereira, 2004).

2.7. Qualidade de água

2.7.1. Turbidez

Turbidez é o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma certa quantidade de água, devido à presença das partículas e substâncias que esta contém.

Em sua maior parte, a turbidez é provocada pela acção das chuvas, que, por meio de seus caminhos de escoamento na superfície do solo, carregam partículas de areia e argila para os corpos de água. As areias são partículas sedimentáveis sem coagulação, não constituindo portanto objecto deste estudo (Pavanelli, 2001).

As exigências humanas quanto à qualidade da água crescem com o progresso humano e o da técnica, onde o valor da turbidez não deve estar acima dos limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade conforme Diploma Ministerial n.º180/2004, sem que esta se torne inconveniente para o consumo humano e evitando os perigos decorrentes da má qualidade da água.

2.7.2. Cor

A cor da água, é a resposta da decomposição dos compostos orgânicos de origem vegetal que, pela actividade de microrganismos e pelos resíduos das actividades humanas, se decompõem. Com a decomposição da matéria orgânica natural, ocorre a formação das substâncias húmicas, classificadas de acordo com a solubilidade em diferentes condições (Pavanelli, 2001).

2.7.3. pH

As moléculas de água quando se ionizam dividem-se em iões H^+ e OH^- . Define-se então pH como o cologaritmo decimal da concentração efectiva ou actividade dos iões hidrogénio.

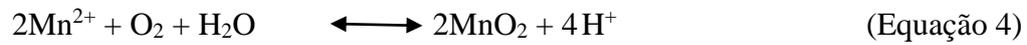
O pH é um dos parâmetros mais importantes na determinação da maioria das espécies químicas de interesse tanto da análise de águas potáveis como na análise de águas residuárias, sendo, pois, uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água (Filho, 2000).

Segundo recomendações do Diploma Ministerial n.º180/2004, o pH dever estar no intervalo de 6,0 a 9,5.

2.7.4. Ferro e Manganês

É um dos elementos químicos mais frequentemente encontrado nas águas naturais. O ferro presente na água pode ser adquirido nas próprias fontes e instalações de captação ou de adução através da corrosão das superfícies metálicas ou mesmo de despejos industriais (Filho,2000). Este catião oxidado e insolúvel (Mn^{4+}) tem um comportamento semelhante ao do ferro, porém sua presença em águas naturais é sensivelmente menos intensa. Na sua forma solúvel é Mn^{2+} (Filho,2000).

De acordo com Moruzzi e Reali (2012), citando Di Bernardo (1993), para remoção do ferro e manganês na água é feito através de métodos químicos, que ocorrem na oxidação do ferro e manganês através do oxigénio molecular, conforme ilustram as seguintes equações:



3. METODOLOGIA

3.1. Localização da área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Água (ETA) do FIPAG-Maxixe, situada no bairro de Habana 2, construída na margem do rio Inhanombe, o mesmo que serve como fonte captação de água do FIPAG-Maxixe que dista cerca de 12 km da cidade da Maxixe.

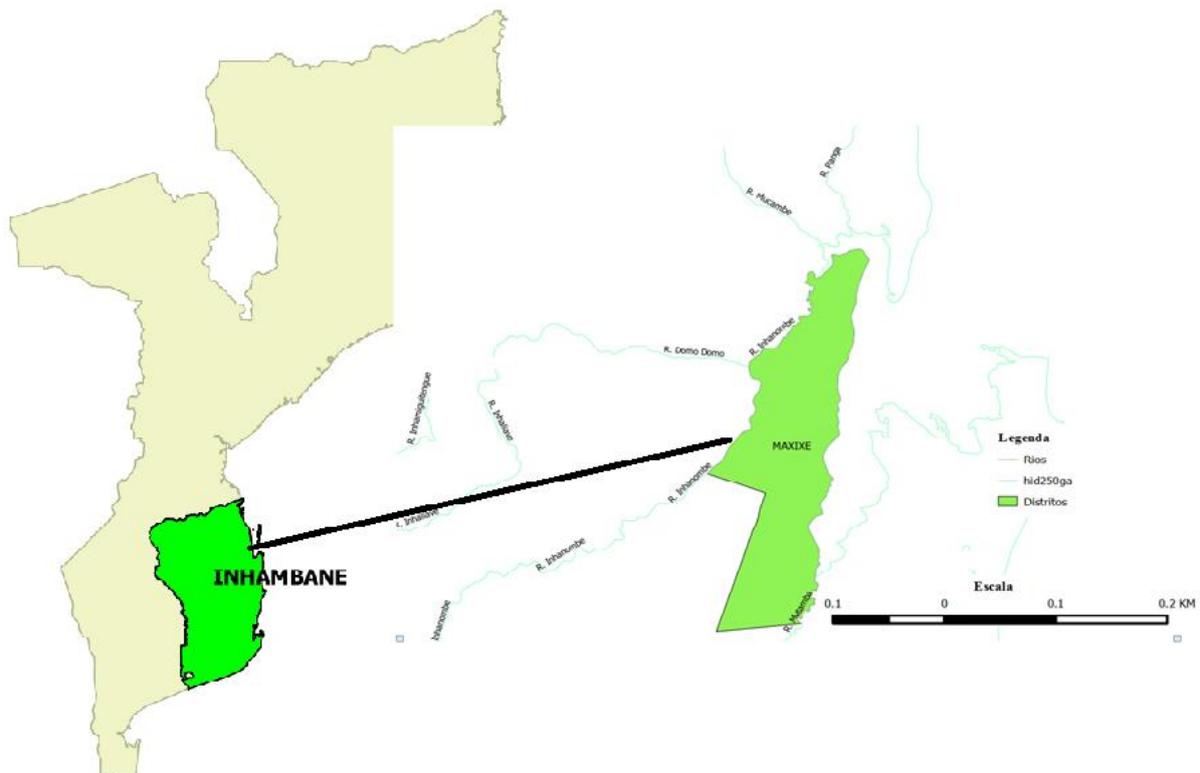


Figura 6 - Mapa do distrito de Maxixe, ilustrando o rio e o local de estudo.

3.2. Breve descrição da ETA-Maxixe

A empresa Fundo de Investimento e Património para o Abastecimento de Água (FIPAG-Maxixe), é uma instituição responsável pelo tratamento e abastecimento de água, para o consumo humano, uso doméstico e industrial, na cidade de Maxixe, também é responsável pela construção e manutenção de infra-estruturas de abastecimento de água.

O município da Maxixe é abastecida pela empresa FIPAG-Maxixe que contém uma estação de tratamento e abastecimento de água com uma capacidade instalada de 8.500 m³/dia e actualmente produz 8.317 m³/dia, para abastecer cerca de 13.659 clientes (FIPAG, 2017).

A Estação de Tratamento de Água (ETA) do FIPAG- Maxixe é composto por 8 (oitos) Etapas de tratamento de água: captação, pré-clorinição, aeração, coagulação, decantação, filtração, desinfecção e tratamento de lodo, como ilustra o fluxograma abaixo. (FIPAG, 2017).

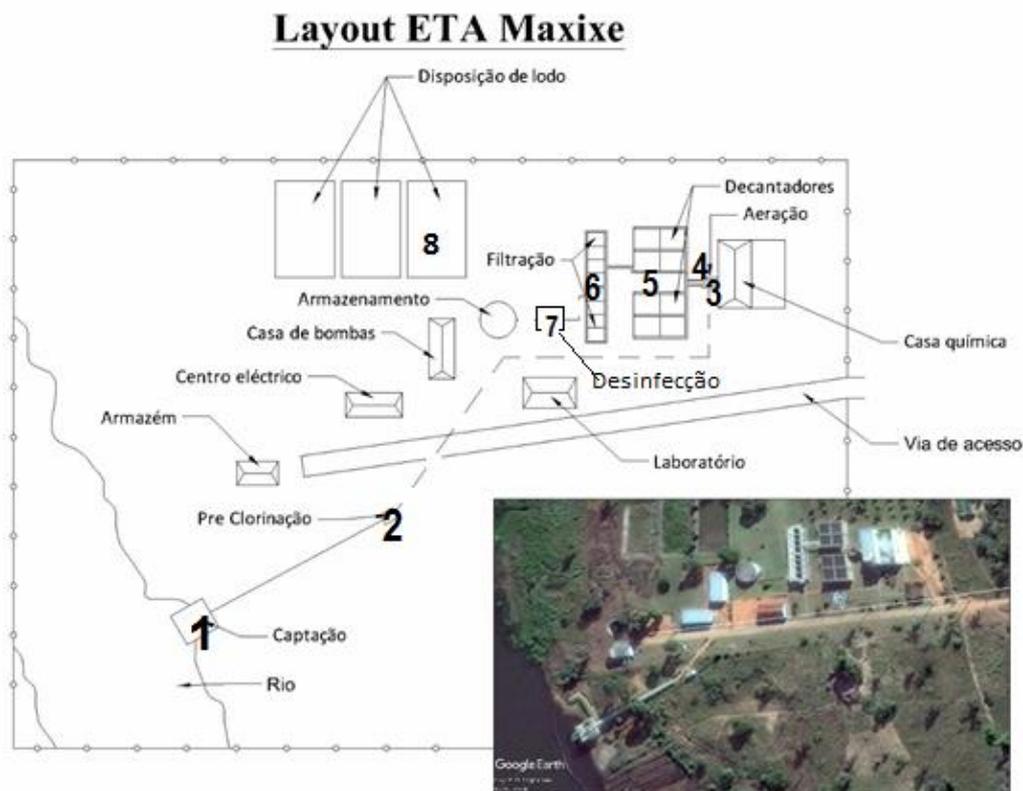


Figura 7 - Fluxograma de tratamento de água na ETA da FIPAG-Maxixe.

3.3.Métodos

3.3.1. Determinação da concentração óptima, faixa óptima de PH e eficiência de remoção de turbidez e cor da solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e de sulfato de alumínio na coagulação.

3.3.1.1.Preparação de sementes de extracto de Quiabo (*Abelmoschus esculentus*)

Utilizou-se frutos de quiabo (*Abelmoschus esculentus*), onde foram obtidos nos mercados do distrito de Chókwè (Moçambique) a uma quantidade de 10 kg. Seguindo o protocolo derivado de Lima, (2007), os frutos foram expostos ao sol por 5 (cinco) dias de modo a remover a humidade, e posteriormente triturados e moídos, mantidos em recipiente descascado à temperatura ambiente.



(a) Secagem ao sol (b) Trituração em almofariz (c) Peneiração

Figura 8 - Preparação de extrato de quiabo.

3.3.1.2. Preparação da solução mãe de quiabo (*Abelmoschus Eschulentus*) e de sulfato de alumínio na coagulação.

Para preparação da solução captava-se 8 litros (Figura 9 a) de água bruta em cada teste laboratorial do rio Inhanombe, em que foram feitas 22 repetições a cada concentração testada, onde 4 litros foram usados para preparação da solução de quiabo e os restantes 4 litros para solução de sulfato de alumínio. Para testes de quiabo usou-se o pó em diferentes soluções de extracto consistindo em NaCl 1,0 M ou água destilada para extrair a solução- mãe do agente de coagulação a 5g de quiabo e 500 mL da solução, assim sendo foi preparada para cada 100 mL de água destilada foi adicionado 1g e agitando durante 10 minutos a uma velocidade de 10 rpm (rotações por minuto) com auxílio de agitador magnético (FMH instruments).

Para testes de sulfato de alumínio seguiu-se a mesma metodologia feita na preparação da solução de quiabo.



a) Detalhes para captação de água (b) Agitador magnético

Figura 9 – Detalhes para captação de água e agitador magnético.

A suspensão do processo de extracção foi filtrada através de papel de filtro (tamanho de poro de aproximadamente 7 μm) e camada fina de algodão (Figura 10 a) e a solução mãe foi usado no processo de coagulação através de *Jar test* de marca Lovibond (Figura 10 b), onde a cada jarro, foram adicionadas quantidades pré-determinadas da solução padrão do extracto de quiabo testadas as seguintes concentrações: 2,4; 4,4; 6,4; e 8,4 ppm, utilizando-se seringa graduada de 15 mL. O *jar test* foi calibrando de modo atender o tempo de mistura rápida (TMR) de 1 minuto, em 100 rotações por minuto (rpm) e o tempo de mistura lenta/ floculação (TML) de 15 minutos, de modo atender as três câmaras de floculação: 70 s^{-1} , 50 s^{-1} e 20 s^{-1} em 60 rpm a 5 minutos a cada câmara e as quatro jarras foram preenchidas com 1000 mL.



a) Procedimentos para preparação da solução mãe (b) Teste experimental

Figura 10 – Procedimentos de preparação da solução mãe e teste experimental com extrato de quiabo e sulfato de alumínio.

Após a mistura lenta, as amostras foram colocadas a temperatura ambiente durante 45 minutos para garantir o processo de sedimentação dos flocos e garantir homogeneização adequada, e coletadas para avaliar o valor da turbidez medida em unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) usando o modelo Turbidímetro HACH DR/890 com o método USEPA 180.1, com intuito de escolha da melhor concentração do coagulante, apontada pela menor turbidez residual nas jarras.

Para medição do pH usou-se medidor Turbidímetro HACH DR/890 (Figura 11) para facilitar o traçado dos gráficos da melhor concentração do coagulante e faixa de pH.



Figura 11 – Instrumento de medição de turbidez, cor e pH.

Para traçado de diagramas de coagulação usou-se dados de concentração e o pH, de modo a verificar a faixa ideal do pH da água e dados de turbidez da água bruta e turbidez residual para traçado de diagramas de melhor concentração, usando o software “Surfer versão 9”.

3.3.2. Determinação da eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e de sulfato de alumínio na coagulação

Para determinar a eficiência de remoção da turbidez da solução de quiabo e sulfato de alumínio, mediu-se a turbidez bruta do rio Inhanombe e a turbidez após as amostras serem submetido a processo de coagulação através de *jar test* com auxílio de Turbidímetro modelo HACH DR/890 com o método USEPA 180.1, de seguida com sustento das equações 1 e 2, descrito na revisão bibliográfica que versa sobre a remoção de turbidez, calculou-se a eficiência de remoção de turbidez na base de médias de cada concentração testada.

3.3.3. Comparação da qualidade de água tratada com extrato de quiabo e sulfato de alumínio.

Para comparação da qualidade de água entre dois coagulantes, primeiro verificou-se todos requisitos estatísticos, onde através dos gráficos de intervalo de confiança e médias, verificou-se a variabilidade dos dados, usando o “Minitab versão 16”.

De seguida fez-se o test *t student* para analisar se a diferença entre a qualidade da água tratada com extracto de quiabo e de sulfato de alumínio. Sendo observado os seguintes requisitos: testes de Shapiro Wilk para normalidade dos dados, Bartlett's Test e Levene's Test para o teste de homogeneidade das variâncias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação da concentração óptima e faixa óptima de pH do extracto de quiabo no processo de clarificação de água e sulfato de Alumínio.

Nas Figuras 12 a, 12 b, 13 a e 13 b, percebe-se que numericamente a melhor remoção de turbidez deu-se na solução de extracto de quiabo comparativamente a de solução de sulfato de alumínio, onde para solução de extracto de quiabo apresentou melhores resultados com concentração baixa de 2,4 ppm, atingindo até 90% de remoção e para solução de sulfato de alumínio os melhores resultados obteve-se com concentração de 6,4 ppm, atingindo 80% de remoção.

4.1.1. Determinação da concentração óptima de extracto de quiabo para processo de clarificação da água.

A Figura abaixo (12 a) ilustra digrama de coagulação obtida pelos pares de valores da turbidez residual e função da concentração do extracto de quiabo obtida pelo surfer versão 9, onde apresenta eixo em comum que permitem a verificação da eficiência de remoção de turbidez em diferentes concentrações. Observa-se três regiões de remoção de turbidez, abaixo de 50%, 50 a 65% e 70 a 90%, em que a melhor faixa de remoção foi obtida com concentração baixa de 2,4 ppm da solução de extracto de quiabo. Essa baixa concentração também foi encontrada na dissertação descrita por Ritter (2013), onde o quiabo apresentou melhores resultados de tratamento com concentração baixa de 1,4 ppm sob mesmas condições feitas no estudo, atingindo até 96.6% de remoção de turbidez.

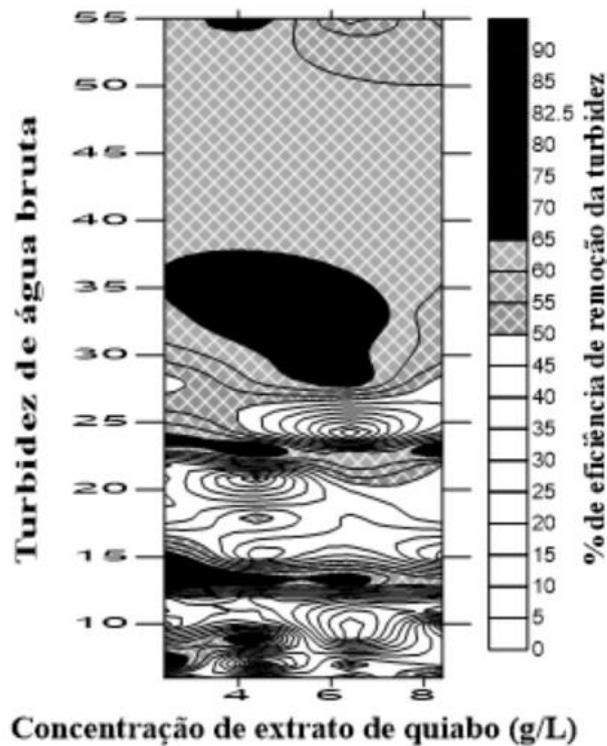
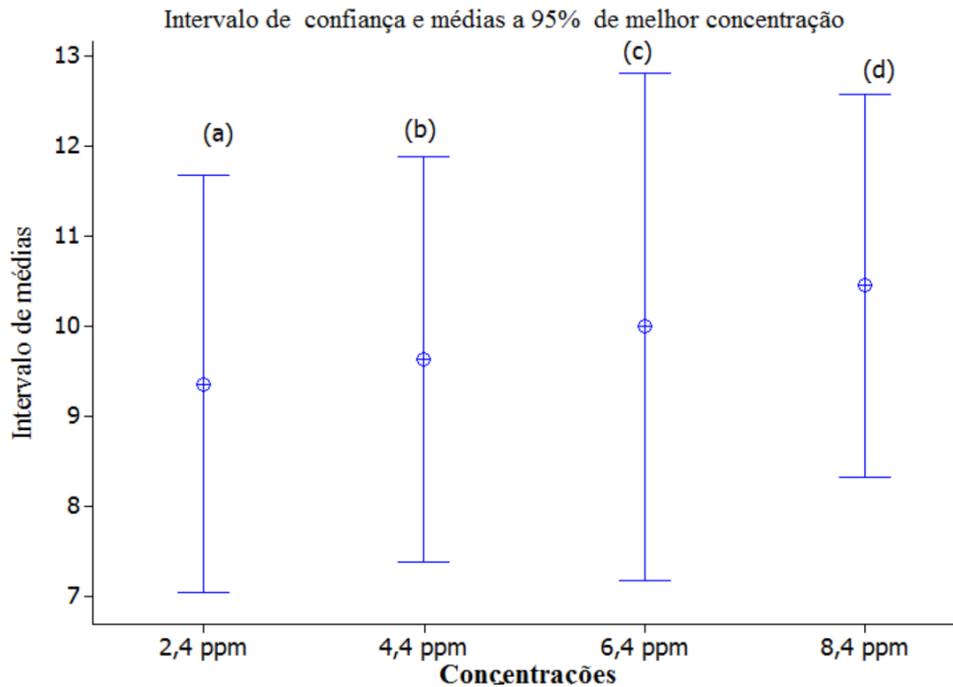


Figura 12 a – Diagrama da concentração óptima de extrato quiabo. A partir da análise da Figura (12 a), é possível observar que os melhores resultados foram obtidos nas concentrações de 2,4 ppm e no intervalo de 4 a 6 ppm, atingindo 90% de remoção de turbidez, após 45 minutos de sedimentação, coagulando até 55 NTU de turbidez bruta, onde verifica-se a região óptima na faixa de turbidez bruta de 30 a 35 NTU, culminando em turbidez abaixo de 5 NTU, recomendado pelo Diploma Ministerial nº 180/2004.



(12 b)

Figura 12 b – Diagrama da concentração óptima de extrato quiabo.

Analisando a Figura (12 b), verifica-se que em termo de média estatística a melhor concentração é de 2,4 ppm, onde o seu intervalo de confiança é reduzida e a sua média é menor (9,4), comparado com outras concentrações.

4.1.2. Determinação da concentração óptima de solução de sulfato de alumínio para processo de clarificação da água.

Na Figura abaixo (13 a), nota-se que a melhor concentração é de 6,4 ppm que compreende uma remoção de 80% de turbidez, onde a faixa melhor de remoção de turbidez bruta verificou-se aproximadamente entre 25 a 30 NTU. Estes resultados estão mais próximos dos resultados obtidos por Pavanelli (2001) no estudo sobre eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada.

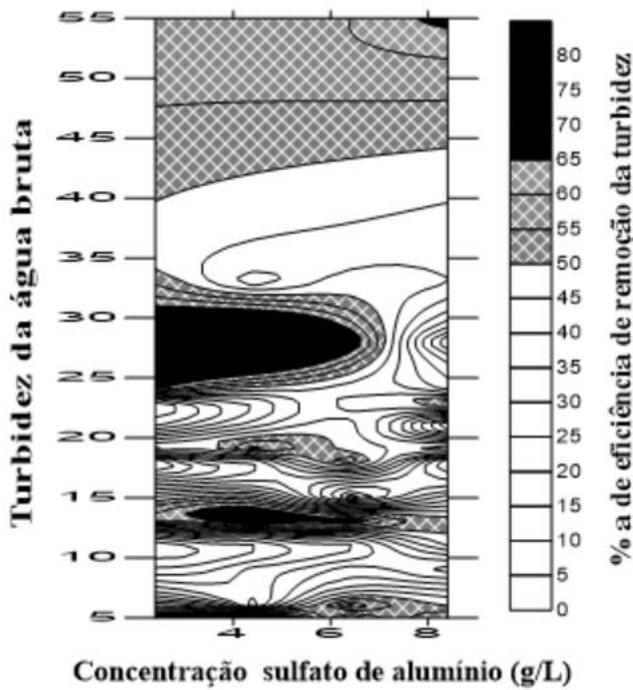
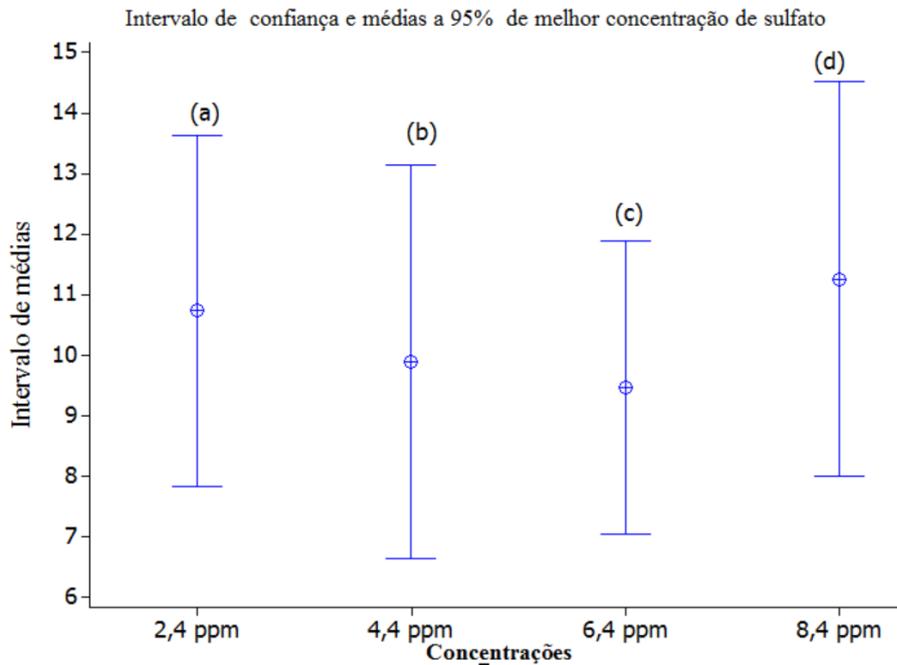


Figura 13 a – Diagrama da concentração óptima de sulfato de alumínio.

A Figura (13 a) mostra que a melhor concentração é de 6,4 ppm, em que é possível obter-se melhor eficiência atingindo 80% de remoção de turbidez, onde abaixo dos 70% de eficiência de remoção pode se obter com qualquer concentração testada, em termo das concentrações, coagulando até 25 a 30 NTU da turbidez bruta.



(13 b)

Figura 13 b – Diagrama da concentração óptima de sulfato de alumínio.

A Figura (13 b), ilustra o intervalo de confiança e variabilidade das médias a 95% da remoção de turbidez da solução de sulfato de alumínio, onde os resultados estatísticos mostram que a melhor concentração é de 6,4 ppm, com menor média e com pouca variabilidade dos dados.

4.1.3. Faixa óptima de pH da solução de extracto de quiabo

A Figura abaixo (14) mostra os resultados de água bruta captada no rio Inhanombe com alta turbidez, em que mostrou facilidade na coagulação, pois apresenta duas regiões de coagulação: na adsorção e neutralização (4,5 ppm), com baixa concentração do coagulante, e na varredura, com concentração mais elevada (6,5 ppm). Onde o floco formado apresentou uma dimensão e característica distinta, sendo indicada à formação do floco com maior dimensão, formado através do mecanismo de varredura em 1 minuto de mistura rápida e 15 minutos de mistura lenta.

Os resultados discordam o estudo de Remi Trier (1995), que afirmou não ter o pH influência na actuação do extracto de quiabo como coagulante. Os resultados obtidos também indicaram que as concentrações mais adequadas do extracto de quiabo não foram as maiores, o que torna desnecessária a maceração de grandes quantidades de extracto de quiabo semente para obter a eficiência de remoção de turbidez.

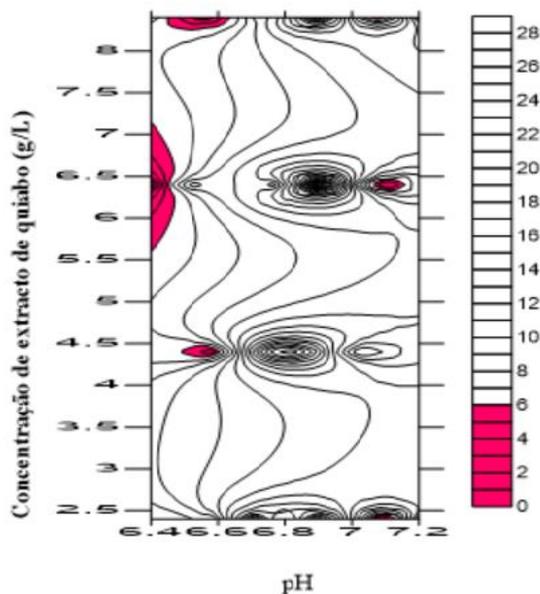


Figura 14 - Diagrama da faixa óptima de pH usando extracto de quiabo.

A remoção óptima de turbidez ocorre na faixa de pH ácido, abaixo de 6,8, com concentração de extrato de quiabo na faixa de 4 a 5 ppm e com concentração de 6,5 ppm pode se ter um pH ácido abaixo de 5, assim como alcalina ligeiramente superior a 7, porém com adequado controle

do pH, é possível coagular com concentração do coagulante muito inferior (mecanismos combinados) até abaixo de 1 ppm, conforme é observado no Diagrama de Coagulação acima. No diagrama apresentado pelo Lima (2007), em que realizou-se a coagulação com sulfato de alumínio de distintas águas naturais e sintéticas que apresentavam a turbidez elevada em relação à cor verdadeira, em que ele constatou que as condições gerais não refletiam o efeito da matéria orgânica (NOM), na dosagem do coagulante. Onde as regiões dos diferentes fenômenos (mecanismos) foram associadas à remoção das partículas na sedimentação e na filtração, e correlacionadas à dosagem do sulfato de alumínio e ao valor do pH, após a coagulação.

Os resultados aliam-se as características da água em estudo, onde o manancial é rico em matéria orgânica, mostrando diferentes mecanismos de coagulação correlacionado ao tempo de sedimentação, concentrações e o pH da água bruta.

4.1.4. Faixa óptima de pH da solução de sulfato de alumínio

A Figura abaixo (15) mostra os resultados de água bruta captada no rio Inhanombe com alta turbidez, em que mostrou facilidade na coagulação, pois apresenta duas regiões de coagulação: na adsorção e neutralização (4,5ppm), com baixa concentração do coagulante, e na varredura, com concentração mais elevada (6,5ppm).

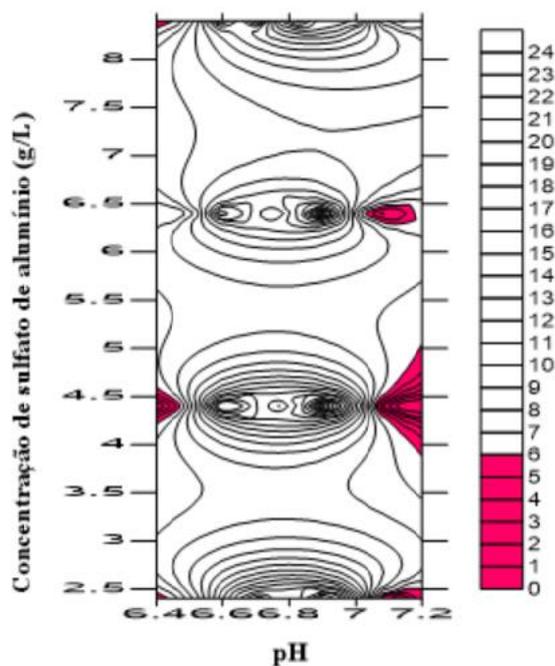


Figura 15 - Diagrama da faixa óptima de pH usando sulfato de alumínio.

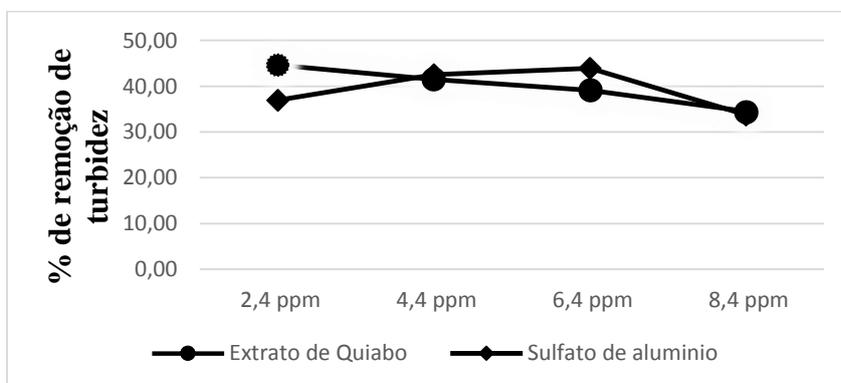
A remoção óptima de turbidez ocorre com a faixa de pH alcalino, ligeiramente superior a 7, com concentração de sulfato de alumínio de 4,5 ppm, podendo ocorrer com mesma concentração pH ácido abaixo de 5 e a remoção óptima ocorre também com pH alcalino superior a 7, com concentração de 6,5 ppm, porém com adequado controle do pH é possível coagular com concentração do coagulante muito inferior (mecanismos combinados).

O estudo feito pelo Motas *et al.*, (2007), em que avaliou o efeito da concentração de coagulantes inclusive o quiabo e do pH da solução na turbidez da água, onde obteve melhores resultados de remoção de sólidos em suspensão nas condições de pH mais baixo, na faixa de 4 a 6. Os resultados mostram uma contradição, em que os resultados através do diagrama acima mostram que a coagulação ocorre na faixa de pH alto (alcalino).

Os resultados do diagrama reflectem os estudos de Di Bernardo e seus colaboradores alinhados a Diagrama de Coagulação do estudo de Amirtharajah no estudo de águas com características diferentes, com cor verdadeira elevada e baixa turbidez, ou com cor e turbidez elevadas, e ainda, com uso de coagulantes, como os sais de ferro e pré-hidrolisados. Com distintas dosagens do coagulante em função do pH, onde foram obtidas curvas de igual turbidez ou remoção, sendo este tipo similar as curvas de nível em estudo e que é denominada por Trussel de topogramas.

4.2.Determinação da eficiência de remoção de turbidez da solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e sulfato de alumínio

A Figura (16 a) mostra que os melhores resultados médios de eficiência na remoção de turbidez foram obtidos com a concentração de 2,4 ppm de extrato de quiabo como melhor concentração, atingindo 45% de remoção e nas concentrações de 4,4 ppm e 8,4 ppm, verifica-se que os dois coagulantes tem a mesma percentagem de remoção, logo com a solução de quiabo pode se ter resultados eficientes com concentrações baixas comparadas com o sulfato de alumínio.

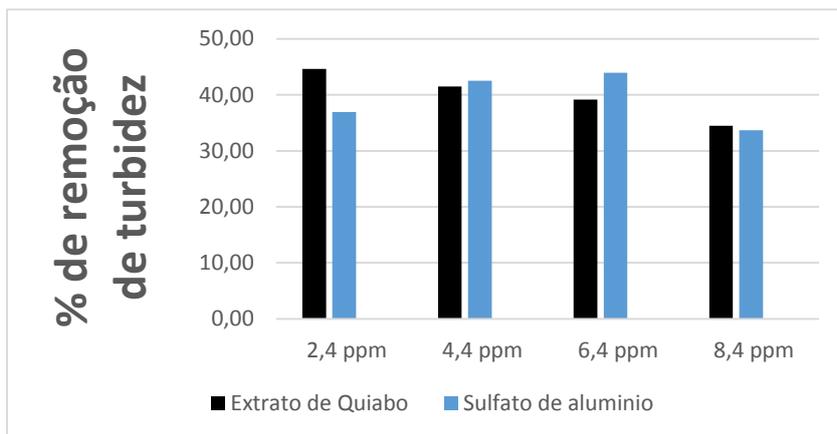


(16 a)

Figura 16 a – Eficiência média de remoção de turbidez com a solução de extrato de quiabo e sulfato de alumínio.

A Figura abaixo (16 b) mostra os mesmos resultados da figura (16 a), apenas diferenciando na forma de ilustração, é possível observar que no ensaio com baixa concentração (2,4 ppm) de solução de extracto de quiabo, os melhores resultados médios de eficiência de remoção de turbidez foram obtidos. Para o ensaio com altas concentrações, os melhores resultados de remoção de turbidez, foram obtidos com as 6,4 e 8,4 ppm.

Entretanto, verifica-se ainda que de maneira geral, para solução de sulfato de alumínio os melhores resultados médios de eficiência foram obtidos com concentrações altas a partir de 4,4 ppm, logo o quiabo é melhor na eficiência de remoção de turbidez precisando de concentrações baixas comparado com o sulfato de alumínio. Os resultados estão mais próximos ao estudo feito por Lima (2007), onde obteve-se valor médio de eficiência de remoção igual a 46 % para solução de extracto de quiabo, onde tratava-se da água do rio Cuiabá, com a solução do polímero natural do quiabo maduro, seco e pulverizado a uma concentração baixa de 2,2 ppm.



(16 b)

Figura 16 b – Eficiência média de remoção de turbidez com a solução de extrato de quiabo e sulfato de alumínio.

4.3.Comparação da qualidade de água da solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e sulfato de alumínio na coagulação

4.3.1. Comparação de qualidade de água na remoção de turbidez

A Figura 17 apresentada a seguir, ilustra a diferença de turbidez final após ser submetido a extrato de quiabo e sulfato de alumínio, verificados com concentrações descritas na metodologia. Onde os resultados mostram que o intervalo de confiança da remoção de turbidez

e a média de quiabo é reduzido em relação a sulfato de alumínio, assim sendo estatisticamente a solução de quiabo é melhor na remoção de turbidez comparado com sulfato de alumínio.

Segundo o teste Two Sample-T, analisando a variável envolvida no processo, foi considerado significativo o parâmetro com p-valor menor que 5% ($p < 0,05$) (0,04), a 95% de nível de significância (anexo IV), logo o resultado da turbidez final do quiabo é diferente a do sulfato de alumínio, assim sendo houve redução significativa no quiabo em relação a sulfato de alumínio, logo o quiabo estatisticamente é um pouco mais eficiente na remoção da turbidez da água bruta.

No estudo feito por Silva *et al.*, (2014), em que analisou os parâmetros físico-químicos sob mesmas condições, onde teve maior redução da turbidez chegando até 87,5%, verifica-se que a biodegradabilidade do coagulante e a consequente redução de resíduos metálicos na água tratada e no lodo gerado no fim do processo facilitam a disposição final deste e possibilita a sua utilização para fins mais específicos, beneficiando a saúde pública e contribuindo para a preservação ambiental.

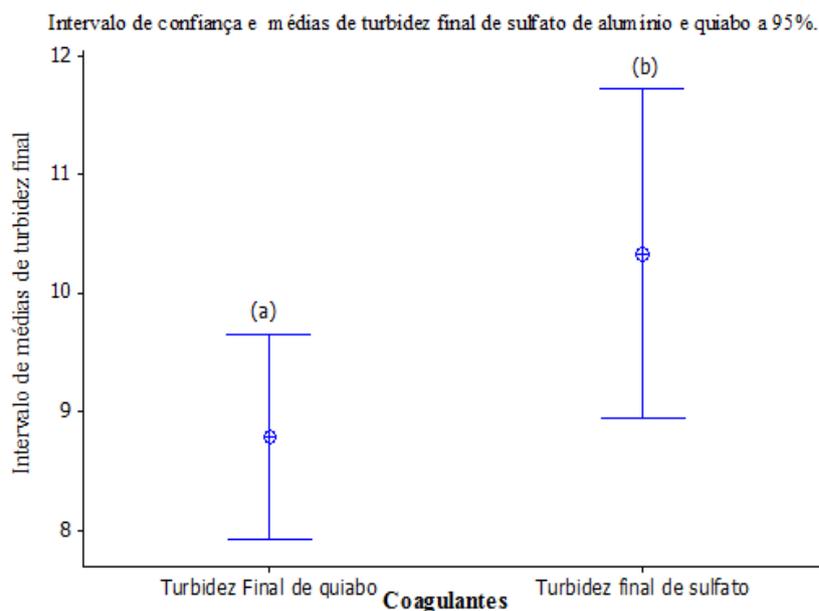


Figura 17 - Teste Two Sample-T para verificação da diferença entre a média turbidez final de solução extrato de quiabo e de sulfato de alumínio da água.

4.3.2. Comparação de qualidade de água na remoção da cor final

Segundo o teste Two Sample-T, analisando a variável envolvida (cor) no processo, foi considerado significativo o parâmetro com p-valor menor que 5% ($p < 0,05$) (0,02), a 95% de nível de significância (anexo V), logo o resultado da remoção da cor com quiabo é diferente a do sulfato de alumínio, assim sendo houve redução significativa no sulfato de alumínio em

Estudo comparativo da qualidade da água tratada com extracto de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) com a tratada com sulfato de alumínio, na ETA do FIPAG de maxixe.

relação a solução de extracto de quiabo, logo o sulfato de alumínio estatisticamente é mais eficiente na remoção da cor da água bruta do rio Inhanombe.

A Figura 18 mostra que o intervalo de confiança da remoção da cor e a média de sulfato de alumínio é reduzido em relação a extracto de quiabo, assim sendo em termo da média a solução de sulfato de alumínio é melhor na remoção da cor comparado com quiabo nas condições da água do rio Inhanombe.

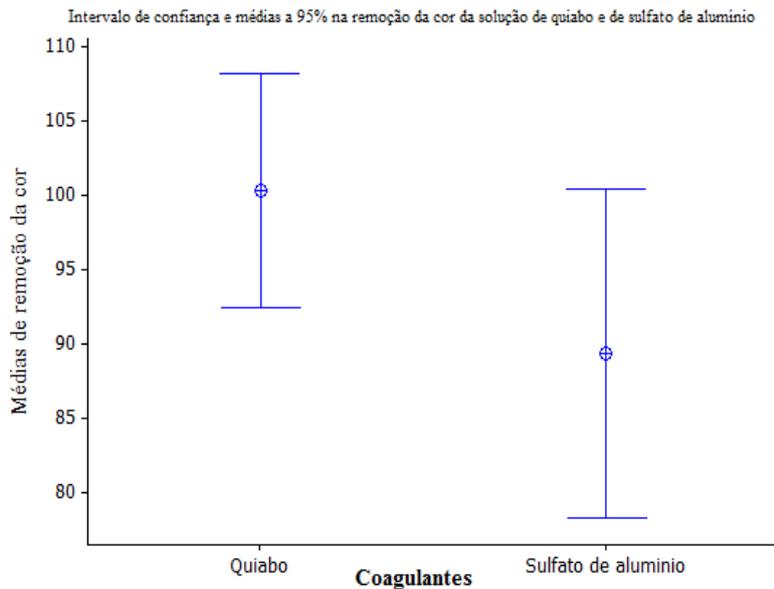


Figura 18 - Teste Two Sample-T para verificação da diferença entre a média da cor de solução extrato de quiabo e de sulfato de alumínio.

5. CONCLUSÃO

Com este estudo, é possível concluir que o uso de quiabo no processo de coagulação nas condições experimentais testadas, apresentou-se como uma boa alternativa para melhorar a qualidade da água do rio Inhanombe para abastecimento humano.

Em que é possível observar que os melhores resultados foram obtidos nas concentrações de 2,4 ppm e no intervalo de 4 a 6 ppm da solução de quiabo atingindo 90% de remoção de turbidez, após 45 minutos de sedimentação e com sulfato de alumínio foram obtidos melhores resultados de eficiência de remoção de turbidez com concentração de 6,4 ppm, atingindo 80% de remoção de turbidez, onde abaixo dos 70% de eficiência de remoção pode se obter com qualquer concentração testada.

A faixa óptima de quiabo ocorre com pH ácido abaixo de 6,8, com concentração na faixa de 4 a 5 ppm e assim como alcalino ligeiramente superior a 7 com concentração de 6,5 ppm e com sulfato de alumínio a remoção óptima de turbidez ocorre com a faixa de pH alcalino, ligeiramente superior a 7, a uma concentração de 4,5 ppm, podendo ocorrer com mesma concentração pH ácido abaixo de 5 e pH alcalino na concentração de 6,5 ppm.

Quanto aos resultados estatísticos comparando os resultados de remoção de turbidez entre a solução de quiabo e sulfato de alumínio, conclui-se que houve redução significativa no quiabo em relação a sulfato de alumínio, logo o quiabo estatisticamente é um pouco mais eficiente na remoção da turbidez da água bruta.

Na remoção da cor a partir de análise estatística, verifica-se redução significativa no sulfato de alumínio em relação a quiabo, logo o sulfato de alumínio estatisticamente é mais eficiente na remoção da cor da água bruta do rio Inhanombe.

Além disso, com o uso do quiabo no tratamento da água, é possível reduzir a dosagem do consumo do coagulante químico sulfato de alumínio, o que apresenta-se como um aspecto positivo, tendo em vista que essa diminuição reduz a ingestão de produtos químicos metálicos pelas pessoas e possivelmente favorece a disposição final do lodo.

A diminuição do uso de coagulantes metálicos, também reforça a proposta da Química Verde, que pode ser definida como a utilização de técnicas químicas e metodologias que reduzem ou eliminam os usos de solventes, reagentes ou a geração de produtos e sub-produtos que são nocivos à saúde humana ou ao ambiente. Devido ao facto do produto utilizado nesta pesquisa ser proveniente de uma fonte natural barata e abundante no país, este pode apresentar maior valor agregado se aplicado no tratamento de água, podendo servir como fonte de renda para a agricultura familiar.

6. RECOMENDAÇÕES

- Teste com extrato de quiabo no processo de coagulação, para avaliar a remoção de turbidez e a cor, no tratamento de água para abastecimento humano, o que vai culminar na redução de ingestão dos produtos químicos metálicos usados na ETA-Maxixe;
- No caso a turbidez for alta pode se fazer teste em conjunto com coagulante metálico (sulfato de alumínio) e polímero natural do quiabo no processo de coagulação para remoção de turbidez e cor, o que vai ajudar na avaliação de desempenho no processo de tratamento primário quimicamente assistido, seguindo o protocolo da Ritter (2013);
- Divulgação do uso do polímero natural do quiabo no processo de coagulação e filtração em tratamento de águas, principalmente nas regiões produtoras de Moçambique e nas Estações de Tratamento de Água do país.
- Recomenda-se as próximas pesquisas para analisar-se o lodo produzido na ETA da FIPAG-Maxixe.
- Teste comparativo de extracto de quiabo e sulfato de alumínio na época de estiagem, pois o estudo foi feito na época chuvosa valendo somente para esta época.

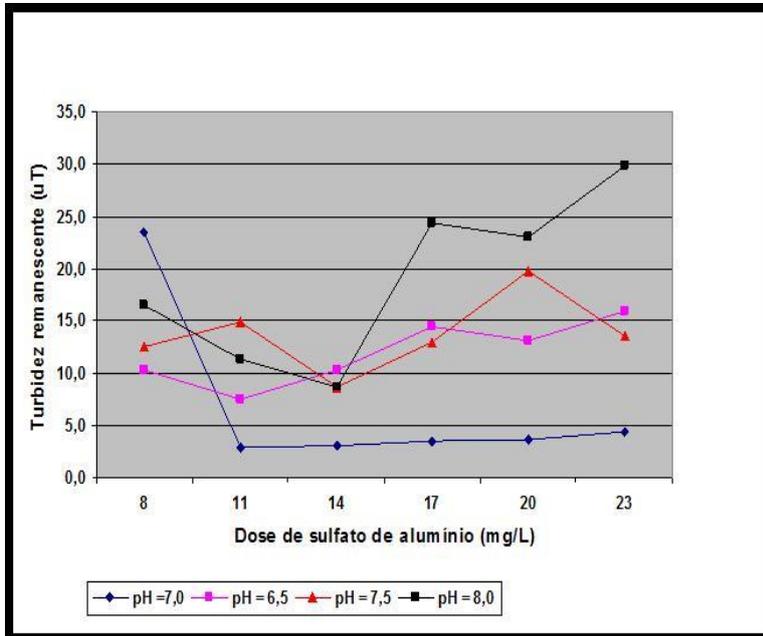
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGARWAL, Monika, RAJANI, Smita, MISHRA, Anurag, RAI, Jai, 2003, *Utilization of Okra Gum for Treatment of Tannery Effluent*, International Journal of Polymeric Materials. Taylor & Francis.
2. AMIRTHARAJH, A. e MILLS, K. M, 1982, “*Rapid mix design for mechanisms of alum coagulation*”. J. AWWA, V. 74, n. 4, p. 210-216.
3. BORRI, Rodrigo Babora e FREIRE, Rosane , 2014. *Remoção da turbidez da água usando aloe vera como coagulante natural*, volume 10, Alta Paulista.
4. COLARES, C. J. G e SANDRI, 2013. *Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte Ambi-Água*, v. 8, n. 1 Taubaté.
5. DI BERNARDO, L,1993, “*Métodos e técnicas de tratamento de água*” – Rio de Janeiro: ABES, V. 1.
6. DI BERNARDO, Luis e DANTAS, Angela. D. B, 2005, *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 2ª ed. v. 1. São Carlos, RiMa.
7. DIAS, Monique Sandra Oliveira e PEREIRA, José Almir Rodrigues, 2004, *Determinação da dosagem ótima de polímeros em Sistema de flotação, em escala de laboratório, Utilizado no pós-tratamento de efluente de reator Uasb da ete sideral, belém/pa*, Centro Tecnológico e Universidade Federal do Pará.
8. FILHO, Carlos Fernandes de Medeiros, 2000, *Abastecimento de água*, Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Campina Grande – PB.
9. LIMA, Guilherme Júlio de Abreu, 2007, *Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto*, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Rio de Janeiro.
10. MENDES, C.G.N,1989, *Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. São Carlos. 144p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade do Estado de São Paulo.
11. MONTAS. FINGER, F.L.; SILVA, D.J.H.; CORRÊA, P.C.; FIRME, L.P.; NEVES, L.L.M., 2007, *efeito da concentração de coagulantes e do ph da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento de frutos do cafeeiro*, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.2, p.544-55, Viçosa - MG.
12. MORUZZI, R. B. REALI.A.C. 2012.*Flotação por ar dissolvido (FAD): Influência da distribuição de tamanho de partículas e do binômio velocidade/tempo de detenção na zona de reação no desempenho do processo*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo,São Carlos.

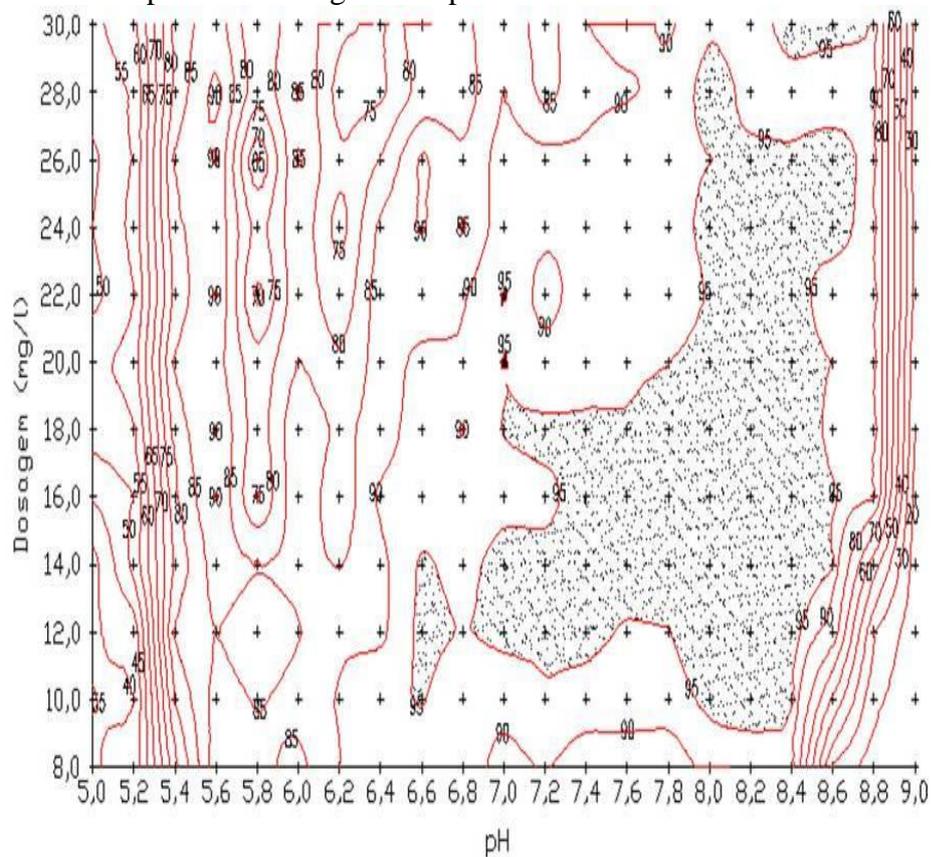
13. OKUDA, Tetsuji., BAES, Aloysius, NISHIJIMA, Wataru. 2001. *Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in Moringa oleifera seeds*. Water Research.
14. PAVANELLI, Gerson, 2001, *Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada*, São Carlos.
15. PINTO FILHO, A. C. T e BRANDÃO, C. C. S, 2000. *Avaliação do potencial da flotação por ar dissolvido sob pressão como pós-tratamento para efluentes de reatores anaeróbios de fluxo ascendente*. In: Congresso Interaamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil.
16. REMI THIER. 1995. *Uso da semente do gênero Moringa: uma proposta alternativa para a clarificação das águas brutas no nordeste*. Recife.
17. RITTER, Cínica Maria, 2013, *Estudo da utilização de polímeros naturais abelmoschus esculentus (l.) Moench (malvaceae) e moringa oleifera lam (moringaceae) no tratamento de água de abastecimento*, Campo Mourão, Paraná;
18. SILVA et al., 2014, *aplicação de goma de quiabo (hibiscos esculentus) no processo de tratamento de água*, Vol. 2/n.1, Aracaju.
19. SILVA, Cleusa A. 2005. *Estudos Aplicados ao Uso da Moringa oleifera como Coagulante Natural para Melhoria da Qualidade de Águas*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.
20. STUMM, Werner. MORGAN, James J, 1996, *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*, 3ed. 1022p. New York, John Wiley & Sons.
21. CLAYTON, B. E, 1989. *Report of the lowermoor incident advisory group*. Journal Ind. Méd. v. 40, n3.
22. ALMEIDA, R. A, 2014. *Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário*, v. 37, n. 1, Goiânia.
23. WILLIAMS, W, 1996. *Spatial variations of aluminum species in drinking water supplies in Xi'an studied applying geographic information system*. Journal of Environmental Science (China), v.22, n.4.
24. BARROS, A, 2001. *Propiedades de iao de aluminio*, 1ª edicao.v.2, São Carlos.

ANEXOS

Anexo I - pH x dose coagulante óptima



Anexo II - pH x dose coagulante óptima



Anexo III - Matérias necessárias para realização do trabalho

Material	Uso
Jar Test (LOVIBOND)	Para métodos experimentais no processo de coagulação
Triturador	Na trituração do polímero
Béquer	Nos processos experimentais
Pipetas	Auxílio na medição da quantidade de amostras
Água destilada	Facilitar a homogeneidade da solução activo (concentração)
Reagentes	Para análises de qualidade de água físicas e químicas
Quiabo e Sulfato de alumínio	Coagulantes a serem usados
Cloreto de sódio (NaCl 1,0 M)	Facilitar a homogeneidade da solução activo (concentração)
Turbidímetro modelo HACH DR/890	Medição de turbidez
pH metro ou HACH HQ 11d	Medição de pH

Anexo IV – Resultado de *teste-t* de qualidade de água na remoção de turbidez

Two-Sample T-Test and CI: Quiabo; Sulfato de aluminio

Two-sample T for Quiabo vs Sulfato de aluminio

	N	Mean	StDev	SE Mean
Quiabo	77	9,47	5,27	0,60
Sulfato de aluminio	77	10,34	6,09	0,70

Difference = mu (Quiabo) - mu (Sulfato de aluminio)

Estimate for difference: -0,875

95% CI for difference: (-2,694; 0,945)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,95 P-Value = 0,044 DF = 147

Anexo V – Resultado de *teste-t* de qualidade de água na remoção da cor

Two-Sample T-Test and CI: Quiabo; Sulfato de aluminio

Two-sample T for Quiabo vs Sulfato de aluminio

	N	Mean	StDev	SE Mean
Quiabo	76	97,1	38,3	4,4
Sulfato de aluminio	76	89,4	48,6	5,6

Difference = mu (Quiabo) - mu (Sulfato de aluminio)

Estimate for difference: 7,68

95% CI for difference: (-6,36; 21,72)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1,08 P-Value = 0,021 DF = 142

Anexo VI - Dados de Tratabilidade de água do rio Inhanombe da FIPAG-Maxixe usando solução de sulfato de alumínio

Concetracao (g/L)	Turbidez		Cor		pH	
	Inicial	Turbidez Final	Inicial	Cor Final	Inicial	pH Final
2,4	5	1	55	29	7,1	7
4,4	5	0	55	64	7,1	7,1
6,4	5	3	55	63	7,1	7
8,4	5	8	55	71	7,1	7,1
2,4	13	5	90	31	7,1	6,6
4,4	13	2	90	0	7,1	6,6
6,4	13	3	90	0	7,1	6,6
8,4	13	6	90	0	7,1	6,7
2,4	9	8	42	66	6,5	6,6
4,4	9	7	42	45	6,5	6,7
6,4	9	6	42	38	6,5	6,5
8,4	9	7	42	67	6,5	6,8
2,4	28	6	296	50	7,2	6,7
4,4	28	0	296	5	7,2	6,7
6,4	28	7	296	77	7,2	6,8
8,4	28	26	296	167	6,5	7
2,4	13	5	92	61	6,4	6,9
4,4	13	2	92	48	6,4	6,9
6,4	13	6	92	53	6,4	6,9
8,4	13	5	92	17	6,4	6,9
2,4	12	10	34	76	6,5	6,6
4,4	12	9	34	82	6,5	6,6
6,4	12	8	34	76	6,5	6,5
8,4	12	6	34	56	6,5	6,5
2,4	6	3	34	89	6,5	6,8
4,4	6	7	34	124	6,5	6,8
6,4	6	2	34	53	6,5	6,8
8,4	6	3	34	55	6,5	6,8
2,4	15	8	296	62	7,2	7,1
4,4	15	7	296	113	7,2	6,6
6,4	15	15	296	60	7,2	6,5
8,4	15	10	296	175	7,2	6,6
2,4	19	9	122	62	7,1	6,9
4,4	19	7	122	53	7,1	6,8
6,4	19	10	122	55	7,1	6,9
8,4	19	9	122	62	7,1	6,9
2,4	55	23	371	199	6,9	6,7
4,4	55	24	371	205	6,9	6,8
6,4	55	22	371	188	6,9	6,8
8,4	55	18	371	108	6,9	6,9

Anexo VII - Dados de Tratabilidade de água do rio Inhanombe da FIPAG-Maxixe usando solução de extracto de quiabo

Concentração (g/L)	Turbidez Inicial	Turbidez Final	Cor Inicial	Cor Final	pH Inicial	pH Final
2,4	7	1	55	29	7,1	7
4,4	7	9	55	64	7,1	7,1
6,4	7	3	55	63	7,1	7
8,4	7	4	55	71	7,1	7,1
2,4	13	1	90	4	7,1	6,6
4,4	13	3	90	26	7,1	6,6
6,4	13	3	90	41	7,1	6,6
8,4	13	5	90	65	7,1	6,7
2,4	23	8	77	91	6,6	6,5
4,4	23	4	77	65	6,6	6,5
6,4	23	9	77	100	6,6	6,6
8,4	23	4	77	67	6,6	6,5
2,4	10	8	73	95	6,5	6,7
4,4	10	6	73	83	6,5	6,7
6,4	10	11	73	113	6,5	6,7
8,4	10	4	73	61	6,5	6,7
2,4	9	5	44	81	6,5	6,5
4,4	9	1	44	49	6,5	7
6,4	9	9	44	114	6,5	6,5
8,4	9	5	44	82	6,5	6,4
2,4	22	15	150	114	6,6	6,5
4,4	22	10	150	91	6,6	6,4
6,4	22	8	150	57	6,6	6,4
8,4	22	11	150	97	6,6	6,5
2,4	28	15	296	62	7,2	7,1
4,4	28	11	296	113	7,2	6,6
6,4	28	8	296	60	7,2	6,5
8,4	28	15	296	175	7,2	6,6
2,4	13	7	92	97	6,4	6,5
4,4	13	7	92	86	6,4	6,5
6,4	13	0	92	95	6,4	6,5
8,4	13	8	92	86	6,4	6,5
2,4	12	8	34	139	6,5	6,6
4,4	12	15	34	147	6,5	6,6
6,4	12	17	34	190	6,5	6,7
8,4	12	15	34	169	6,5	6,5
2,4	6	9	34	84	6,6	6,7
4,4	6	2	34	36	6,6	6,6

APÊNDICES



a) Quiabo fresco



b) Quiabo desidratado após 5 dias



a) Processo de colecta de amostras b) Recipiente de colecta de amostra



a) Medição de coagulante b) Processo de preparação da solução c) Processo experimental através de *jar test*



a) Agitador magnético b) Almofariz c) Peneiração de quiabo d) Turbinímetro