

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

VINÍCIUS CAVANI IWAMURA

**ASSOCIAÇÃO DA *Moringa oleifera* E DO SULFATO DE ALUMÍNIO
COM O PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA A REDUÇÃO
DOS PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2016

VINÍCIUS CAVANI IWAMURA

**ASSOCIAÇÃO DA *Moringa oleifera* E DO SULFATO DE ALUMÍNIO
COM O PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA A REDUÇÃO
DOS PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso
Superior de Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

Coorientadora: Profa. Dra. Joseane Débora
Peruço Theodoro

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**ASSOCIAÇÃO DA *Moringa oleifera* E DO SULFATO DE ALUMÍNIO COM O
PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO PARA A REDUÇÃO DOS PARAMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA**

por

Vinicius Cavani Iwamura

Monografia apresentada no dia 15 de junho de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
OrientadorA

A Folha de Aprovação Assinada Encontra-se na Coordenação do Curso

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por me dar força e capacidade para superar as dificuldades durante a graduação.

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais Robin e Simone, pelo incentivo, confiança, conselhos, e pela insistência em me fazer entender desde pequeno o quanto é importante estudar e adquirir conhecimento.

Meus agradecimentos à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Edilaine Regina Pereira e a minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Joseane Debora Peruço Theodoro, pela confiança, amizade, oportunidade e pelos ensinamentos adquiridos durante este trabalho.

Agradeço ao Mestre Paulo Theodoro por toda a ajuda desde o pré projeto, até a conclusão do trabalho, pelos conselhos e dicas que passou para mim com toda a boa vontade.

As alunas Bruna Ricci Bicudo e Thaís Ribeiro e ao meu amigo Caio, fico agradecido pela ajuda durante o ensaio, tornando possível a execução deste trabalho.

A Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) do município de Ibiporã – PR, pelo gentil e atencioso atendimento, pela disponibilização dos recursos necessários para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos por todas as experiências compartilhadas, boas e ruins, que me fizeram crescer e aproveitar os longos anos dentro da universidade.

Muito obrigado!

RESUMO

IWAMURA, Vinicius Cavani. Associação da *Moringa oleifera* e do sulfato de alumínio com o processo de eletrocoagulação para a redução dos parâmetros físico-químicos da água. 2016. 72 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

Devido à importância da água para a vida humana, é necessário estar sempre procurando novas maneiras de garantir a qualidade desse recurso para o consumo humano. Um modo alternativo para o tratamento de água convencional é a eletrocoagulação, processo que utiliza a eletricidade para oxidar os eletrodos do reator, reagindo com as impurezas da água fazendo-as coagular. Outra maneira de diversificar o tratamento de água é utilizar diferentes tipos de coagulantes naturais como a *Moringa oleifera* que possui uma proteína catiônica com alta capacidade de aceleração do processo de coagulação. Outra hipótese também seria a inserção deste coagulante natural ao coagulante químico já bastante difundido e utilizado em estações de tratamento de água. Esse trabalho tem como objetivo avaliar a associação dos coagulantes *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio com o processo de eletrocoagulação, procurando identificar se o processo de eletrocoagulação se torna mais eficiente ou não, com o auxílio desses elementos. Para isso, foi construído um reator utilizando quatro eletrodos de ferro, uma fonte de energia de 12 V e 0,20 A de corrente elétrica. Os parâmetros analisados foram: pH, temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica e série de sólidos. A fim de comparar a eficiência dos processos, foram realizados três tipos de tratamentos, eletrocoagulação associada à *Moringa oleifera* (T1), eletrocoagulação associada ao sulfato de alumínio (T2) e somente a eletrocoagulação (T3), sendo também variada a concentração dos coagulantes, tendo utilizado ensaios com a concentração de 30 mg.L⁻¹ e 50 mg.L⁻¹ para a *Moringa oleifera* e 25 mg.L⁻¹ e 50 mg.L⁻¹ para o sulfato de alumínio. Ao fim dos ensaios foi possível concluir que o processo de eletrocoagulação associado à *Moringa oleifera* foi o mais eficiente dos tratamentos em relação à remoção de turbidez e cor aparente, atingindo a marca de 92% e 47%, respectivamente. Quanto ao pH a eletrocoagulação associada a *Moringa oleifera* apresentou um aumento de pH considerável, chegando a 11, os demais tratamentos mantiveram o pH na faixa entre 7 e 9. Para os sólidos totais a associação da eletrocoagulação com a *Moringa oleifera* não se mostrou tão vantajosa, obtendo uma eficiência máxima de 11% de remoção (C1), o tratamento utilizando somente eletrocoagulação foi capaz de reduzir 24% da concentração de sólidos totais na água, e a associação da eletrocoagulação com o sulfato de alumínio obteve a maior eficiência de remoção entre os três tipos de tratamento, removendo até 54% (C2) dos sólidos totais presentes na água. Os resultados dos testes para sólidos fixos e voláteis foram inconclusivos.

Palavras chave: Tratamento de água. Eletrocoagulação. *Moringa oleifera*. Sulfato de alumínio.

ABSTRACT

Iwamura, Vinicius Cavani. *Moringa oleifera* Association and aluminum sulfate with the electrocoagulation process for reducing physico-chemical parameters of the water. 2016. 72 p. Graduate work (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2016.

Due to the importance of water to human life, we must always be looking for new ways to ensure the quality of this resource for human consumption, to increase efficiency and reduce process costs. An alternative method for treating conventional water is the electrocoagulation process that uses electricity to oxidize the electrodes reactor, reacting with dirty water particules causing them to coagulate. Another way to diversify the water treatment is to use different types of natural coagulants such as *Moringa oleifera* having a cationic protein with high acceleration capability of the coagulation process. Another possibility would also be to insert this natural chemical coagulant to coagulant already widespread and used in water treatment stations. Therefore, this study aims to evaluate the association of coagulants *Moringa oleifera* and aluminum sulfate with the electrocoagulation process, seeking to identify the electrocoagulation process becomes more efficient or not with the aid of these elements. For this, a reactor was constructed using four iron electrodes, a power source of 12 V and 0.20 A of electric current. The parameters analyzed were: pH, temperature, turbidity, apparent color, electrical conductivity and series of solids. In order to compare the efficiency of processes were performed three types of treatments, electrocoagulation associated with *Moringa oleifera* (T1), electrocoagulation associated with aluminum sulphate (T2) and only electrocoagulation (T3), also varying the concentration of the coagulant, It has used assays with a concentration of 30 mg.L⁻¹ and 50 mg.L⁻¹ for *Moringa oleifera* and 25 mg.L⁻¹ and 50 mg.L⁻¹ for aluminum sulfate. At the end of the test it was concluded that the electrocoagulation process associated *Moringa oleifera* is the most efficient treatments in relation removing turbidity and apparent color, reaching 92% and 47%, respectively. For pH electrocoagulation associated *Moringa oleifera* showed an increase of considerable pH, reaching 11, the other treatments maintained the pH in the range between 7 and 9. For the total solids association electrocoagulation with *Moringa oleifera* was not so advantageous obtaining a maximum efficiency of 11% removal (C1), treatment using only electrocoagulation was able to reduce 24% of the total solids in water, and the association of electrocoagulation with aluminum sulphate had the highest removal efficiency of the three types of treatment, removing up to 54% (C2) of the total solids present in the water. The test results for fixed and volatile solids were inconclusive.

Keywords: Water treatment. Electrocoagulation. *Moringa oleifera*. Aluminum sulfate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore, vagem, flor e semente da <i>Moringa oleifera</i>	21
Figura 2 – Local da coleta da água – SAMAE Ibiporã.....	25
Figura 3 – Laboratórios de saneamento e poluentes atmosféricos – UTFPR Londrina.....	26
Figura 4 – Reator de eletrocoagulação, nível de bancada.....	27
Figura 5 – Eletrodos de ferro.....	28
Figura 6 – Especificações da fonte de energia.....	28
Figura 7 – Agitador magnético.....	29
Figura 8 – Solução de <i>Moringa oleifera</i>	30
Figura 9 – Aparatos utilizados no preparo do coagulante químico.....	31
Figura 10 – Comportamento dos valores médios de turbidez ao longo do tempo de tratamento.....	35
Figura 11 – Eficiência de remoção de Turbidez para as duas concentrações.....	37
Figura 12 – Comportamento dos valores médios de cor aparente ao longo do tempo de tratamento.....	40
Figura 13 – Eficiência de remoção da Cor Aparente para as duas concentrações.....	42
Figura 14 – Comportamento dos valores médios de pH ao longo do tempo de tratamento.....	44
Figura 15 - Comportamento dos valores médios da condutividade elétrica ao longo do tempo de tratamento.....	47
Figura 16 - Comportamento dos valores médios de sólidos totais ao longo do tempo de tratamento.....	50
Figura 17 - Comportamento dos valores médios de sólidos fixos ao longo do tempo de tratamento.....	53
Figura 18 - Comportamento dos valores médios de sólidos voláteis ao longo do tempo de tratamento.....	56
Figura 19 - Comportamento dos valores médios de temperatura ao longo do tempo de tratamento.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros analisados do efluente, equipamentos e metodologia.....	32
Tabela 2 - Organização dos resultados para a análise de variância.....	33
Tabela 3 - Valores brutos da amostra da água coletada na entrada da ETA.....	34
Tabela 4 - Valores médios para Turbidez (NTU).....	35
Tabela 5 - Análise estatística turbidez.....	38
Tabela 6 - Valores médios para cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹).....	39
Tabela 7 - Análise estatística cor aparente.....	43
Tabela 8 - Valores médios para pH.....	43
Tabela 9 – Análise estatística pH.....	46
Tabela 10 - Valores médios da condutividade elétrica (μS.cm ⁻¹)	46
Tabela 11 - Análise estatística para condutividade elétrica.....	48
Tabela 12 - Valores médios para sólidos totais (mg.L ⁻¹).....	49
Tabela 13 - Análise estatística sólidos totais.....	52
Tabela 14 - Valores médios para sólidos fixos (mg.L ⁻¹).....	53
Tabela 15 - Análise estatística sólidos fixos.....	55
Tabela 16 - Valores médios para sólidos voláteis (mg.L ⁻¹).....	55
Tabela 17 - Análise estatística sólidos voláteis.....	57
Tabela 18 - Valores médios para temperatura (°C)	58
Tabela 19 - Análise estatística temperatura.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 A ÁGUA NO BRASIL	12
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO.....	13
3.2.1 Coagulação	13
3.2.2 Flocculação	15
3.2.3 Sedimentação.....	16
3.2.4 Eletrocoagulação.....	16
3.3 COAGULANTES.....	19
3.3.1 Coagulantes naturais	19
3.3.2 Coagulantes químicos.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 LOCAL DE ENSAIO.....	25
4.3 ETAPAS DO EXPERIMENTO	26
4.3.1 Construção do reator.....	26
4.3.2 Preparo das soluções.....	29
4.3.3 Tratamentos	31
4.3.4 Análise dos parâmetros.....	32
4.3.5 Análise estatística	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.2 TURBIDEZ.....	34
5.2 COR APARENTE	38
5.3 PH	42
5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	45
5.5 SÓLIDOS TOTAIS.....	47
5.6 SÓLIDOS FIXOS	51
5.7 SÓLIDOS VOLÁTEIS	53
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A água possui um papel fundamental na natureza, sendo um dos principais motivos para haver vida no planeta Terra. Este elemento é utilizado na sociedade para fins doméstico, industrial, agrícola, produção de energia entre outros. Ao mesmo tempo em que é um fator importante para trazer qualidade de vida as pessoas, a água pode ser um veículo de transmissão de doenças caso não seja tratada ou caso seja tratada de maneira indevida.

Visando garantir a qualidade da água e um maior aproveitamento dos recursos hídricos, novas tecnologias de tratamento vêm sendo pesquisadas há várias décadas, sempre buscando aumentar a eficiência do processo e reduzir os custos.

Dentre essas alternativas destaca-se o processo de eletrocoagulação, onde a coagulação das impurezas presentes na água ocorre pela reação de oxidação e redução dos eletrodos com a água, formando hidróxidos metálicos que desestabilizam e agregam as impurezas resultando na remoção dos poluentes (THEODORO, 2010).

Para os tratamentos de água convencionais, são empregados usualmente coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio. Este coagulante vem sendo utilizado no tratamento de água a mais de 100 anos para auxiliar na remoção de materiais particulados, coloidais e matéria orgânica. Apesar de apresentar um ótimo custo benefício e ser de fácil transporte e alocação, o uso deste coagulante gera a presença de alumínio remanescente no lodo gerado ao fim do processo, dificultando a disposição desse resíduo (CORAL et al., 2009).

Uma alternativa é procurar novos coagulantes para serem utilizados como auxiliares do processo de coagulação/floculação. Destaca-se a *Moringa oleifera*, cujas sementes servem como um coagulante natural, removendo parâmetros como cor, turbidez e coliformes da água, sendo uma ótima alternativa para substituir ou complementar os coagulantes químicos geralmente utilizados (NISHI et al., 2011).

A associação desse coagulante natural com o processo de eletrocoagulação pode ser uma alternativa de tratamento de água, podendo facilitar o acesso ao tratamento em regiões que ainda não possuem.

Sendo assim, a proposta desta pesquisa é verificar o comportamento do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico Sulfato de Alumínio associado com o processo de eletrocoagulação para o tratamento de água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral, analisar o comportamento da associação do coagulante orgânico *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio com o processo de eletrocoagulação no tratamento de água de abastecimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os parâmetros de qualidade de água: turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, cor aparente e série de sólidos;
- Avaliar a porcentagem de eficiência de remoção da turbidez e cor aparente, bem como acompanhar as variações de pH, temperatura, condutividade elétrica e série de sólidos;
- Comparar resultados obtidos entre os diferentes tipos de tratamento para identificar se o processo de eletrocoagulação se torna mais eficiente ou não com o auxílio dos coagulantes, bem como verificar a melhor combinação apresentada para obtenção de uma água de melhor qualidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A ÁGUA NO BRASIL

Segundo Queiroz e Oliveira (2013), além de suprir às necessidades básicas do homem, a água é intensamente utilizada em processos produtivos, após o século XX houve uma intensificação na produção tanto no espaço rural quanto no urbano, gerando assim uma maior demanda por recursos hídricos. Os setores com maior destaque no consumo de água são: agricultura, indústria e o abastecimento público.

De acordo com dados gerados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011), 90% dos municípios brasileiros têm todos os distritos atendidos por rede geral de abastecimento de água. Os municípios com cobertura parcial ou nula se encontram nas regiões Norte, Centro-Oeste, interior do Sul e Nordeste. A região Sudeste conta com a maior abrangência desse tipo de serviço, com destaque para o Estado de São Paulo, que possui quase todos os distritos abastecidos por rede geral.

Dados do IBGE (2011), apontam que 91,9% dos domicílios da zona urbana são atendidos por rede geral de abastecimento de água, enquanto na zona rural apenas 27,8%. Comparando com os censos anteriores é possível observar um aumento da quantidade de domicílios com saneamento básico, porém a quantidade de residências com rede geral de abastecimento na zona rural ainda é baixa.

Sabendo dessa disparidade na distribuição desse recurso natural, o Brasil criou a Política Nacional de Recursos Hídricos, determinando que a água seja um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. E que em situações de escassez, o uso prioritário deve ser para o consumo de seres humano e de animais (BRASIL, 1997).

A ausência de tratamento de água ocorre principalmente nas regiões mais pobres do país. Para tornar o direito a água tratada acessível a todos é importante a pesquisa na área de saneamento básico, buscando formas alternativas para o tratamento da água (SANTOS et al., 2010).

3. 2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

A qualidade da água que chega às estações de tratamento está decaindo, com o desenvolvimento das cidades, indústrias e plantações para perto dos mananciais, os mesmos sofrem uma maior exposição à poluição, necessitando assim que o afluente seja submetido a uma maior quantidade de químicos para torná-lo próprio para o consumo humano (SANTOS *et al.*, 2010).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a água pode conter impurezas que prejudicam sua qualidade, merecem destaque as partículas coloidais, as substâncias húmicas e os organismos vivos em geral. Essas impurezas possuem carga superficial negativa, o que as impede de se aglomerarem sem que as características da água e dessas partículas sejam alteradas, para isso existem os processos de coagulação, floculação e sedimentação.

3.2.1 Coagulação

Di Bernardo e Dantas (2005) dividem a coagulação em dois fenômenos, o primeiro de natureza química, esse tipo de reação depende do pH e da concentração do coagulante na água, o objetivo da reação química é formar espécies hidrolisadas com carga positiva. O segundo fenômeno é físico, este é responsável por realizar o transporte das partículas hidrolisadas recém formadas facilitando o contato entre as impurezas presentes na água.

Para Libânio (2010), a coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, realizada por ações físicas e reações químicas, entre o coagulante, a água e as impurezas presentes, durante um curto período de tempo. Os principais mecanismos que agem no processo de coagulação são: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização de carga, varredura e adsorção e formação de pontes.

3.2.1.1 Compressão da dupla camada elétrica

Esse mecanismo trata da desestabilização dos colóides por meio da adição de íons de carga contrária, os chamados agentes desestabilizadores, como os sais de ferro e os sais de alumínio (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). Este fenômeno ocorre devido à alta concentração de cargas positivas que causam excesso de íons na camada difusa, causando uma redução de volume da esfera para manter a carga eletricamente neutra, diminuindo o potencial elétrico e predominando a força de van der Waals (PAVANELLI, 2001).

3.2.1.2 Adsorção e neutralização de carga

A desestabilização de uma dispersão coloidal está relacionada com as interações colóide-solvente, coagulante-solvente e coagulante-colóide. As interações coagulante-solvente são responsáveis pela adsorção do coagulante na interface colóide-água. Quando se trata de espécies hidrolisadas de alumínio e ferro ou algum polímero sintético catiônico, é normal ocorrer adsorção específica, causada pela interação entre coagulante e colóide (SCHOENHALS, 2006).

3.2.1.3 Varredura

A formação de precipitados do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ poderá acontecer dependendo da quantidade adicionada desses sais, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água. Geralmente, os flocos produzidos por esse mecanismos são maiores, tendo uma maior facilidade para se sedimentar se

comparado com os flocos resultantes da coagulação por adsorção e neutralização de cargas (SCHOENHALS, 2006).

Esse mecanismo é muito utilizado em estações de tratamento onde se tem a floculação e a sedimentação antecedendo a filtração (PAVANELLI, 2001).

3.2.1.4 Adsorção e formação de pontes

Di Bernardo e Dantas (2005) caracterizam esse mecanismo pelo uso de polímeros de grandes cadeias moleculares como pontes entre a superfície em que estão e as outras partículas.

3.2.2 Floculação

A floculação é a etapa onde são fornecidas as condições para que haja o contato e a agregação das partículas após a coagulação. Nessa etapa é almejada a formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração (DI BERNARDO et al., 2005).

Segundo Libânio (2010), as reações químicas que acontecem nas etapas anteriores favorecem o processo de floculação, possibilitando que as partículas de impurezas presentes na água se aglomerem através de choques entre as partículas desestabilizadas no processo de coagulação.

As interações no processo da floculação ocorrem conforme três mecanismos distintos, interação pericinética, interação ortocinética e sedimentação diferencial (VOLTAN, 2007).

O movimento aleatório das partículas coloidais permite que ocorram as primeiras colisões entre as partículas desestabilizadas, decorrentes do movimento Browniano e da ação da gravidade. As partículas coloidais desestabilizadas chocam-se

e aglomeram-se formando flocos de dimensões inferiores a 1 micrômetro caracterizando a floculação pericinética (LIBÂNIO, 2010).

Já a floculação ortocinética é resultante da introdução de energia externa que impulsiona a junção das partículas desestabilizadas e dos microflocos, formadas pelo movimento Browniano, para formação de flocos maiores e mais pesado, podendo ser removidos por sedimentação (LIBÂNIO, 2010).

Na sedimentação diferencial os flocos adquirem diferentes velocidades de sedimentação, essa variação de velocidade entre os flocos faz com que eles se colidam e formem flocos mais pesados (LIBÂNIO, 2010).

3.2.3 Sedimentação

A sedimentação é uma operação física de separação de partículas sólidas com densidade superior à do líquido em seu em torno. Em um tanque com baixa velocidade de fluxo de água, as partículas tendem a ir para o fundo devido à ação da gravidade, o resultado desse processo é que o líquido sobrenadante torna-se clarificado, enquanto as partículas sedimentadas formam uma camada de lodo (VON SPERLING, 1996).

O processo de sedimentação para a remoção das partículas sólidas em suspensão é um dos mais utilizados para o tratamento de água. Utiliza da força gravitacional para fazer a separação de partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento (CARVALHO, 2008).

3.2.4 Eletrocoagulação

O processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de alumínio e ferro foi patenteado em 1909, porém a utilização para a purificação de água potável em grande escala só foi realizado em 1946 nos Estados Unidos da América (CHEN, 2004).

De acordo com Bazrafshan et al. (2012) a eletrocoagulação é um método simples e eficiente para remover as impurezas da água, formando flocos através da eletro-oxidação de um ânodo de sacrifício. Geralmente, os eletrodos de alumínio são utilizados para o tratamento de água e os eletrodos de ferro para o tratamento de efluentes (CHEN, 2004).

Neste processo a corrente elétrica contínua permite que ocorra uma reação de oxidação e redução nos eletrodos de metal, produzindo hidróxidos metálicos que irão efetuar a coagulação dos contaminantes presentes na corrente de água. O material coagulado pode então ser removido por sedimentação e filtração, ou eletroflotação (THEODORO, 2010).

Segundo Theodoro (2010), o que difere a coagulação da eletrocoagulação é que o agente responsável por neutralizar as cargas superficiais e desestabilizar as partículas coloidais é gerado pelos eletrodos metálicos *in situ*, formando assim flocos que são levados para a superfície através das bolhas de oxigênio e hidrogênio formadas pela hidrólise da água, resultando em uma água mais clara.

Crespilho e Rezende (2004) demonstram como ocorre a geração de íons ferro em solução utilizando a eletrocoagulação.

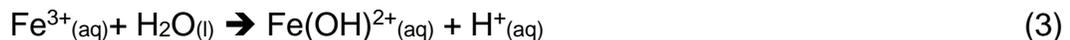
Inicialmente, ocorre a geração de Fe^{2+} no ânodo (Equação 1):

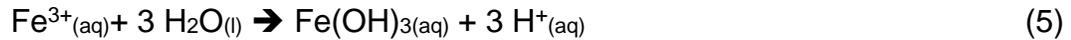
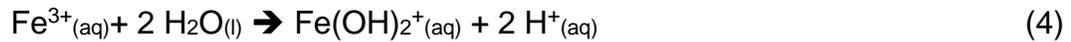


Em seguida, ocorre hidrólise desses íons em meio alcalino (Equação 3.2):



Entretanto, os íons Fe^{3+} podem ser formados caso o meio seja ácido e tenha presença de oxigênio. Dependendo na faixa de pH da solução, é possível se obter as espécies $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ (Equação 3), $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (Equação 4) e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Equação 5):





Ainda segundo Crespilho e Rezende (2004), alguns pesquisadores ressaltam a vantagem da utilização do Fe^{3+} para o tratamento de água ao invés do uso do Al^{3+} , pois este não apresenta efeitos tóxicos.

A quantidade de estudos relacionados à eletrocoagulação para o tratamento de efluentes é muito superior aos estudos realizados com água, porém pesquisas sobre o tratamento de água para o consumo humano por eletrocoagulação não são inexistentes.

Bazrafshan et al. (2012), aplicaram a eletrocoagulação para a remoção de fluoreto da água, utilizando eletrodos de ferro e alumínio. Os resultados obtidos mostraram que tanto o anodo de ferro quanto o de alumínio foram eficientes no tratamento da água e a máxima eficiência (95%) para ambos os eletrodos e para todas as concentrações iniciais foi alcançada com a voltagem constante de 40 V submetida ao tempo máximo de exposição de 60 minutos e com pH 10.

Kuokkanen et al. (2013), fez um levantamento sobre estudos com aplicações recentes da eletrocoagulação para retirada de contaminantes na água.

Entre as pesquisas levantadas se encontra a retirada de ácido húmico por eletrocoagulação, utilizando eletrodos de alumínio, a eficiência de remoção alcançada chegou a 96% com o pH neutro, quando associado com um pré-tratamento eletromagnético, o processo de eletrocoagulação obteve uma eficiência de remoção de 100% (GHERNAOUT¹ et al. 2009 apud KUOKKANEN et al. 2013).

Bektas (2003), avaliou a remoção de fosfato de soluções aquosas por eletrocoagulação utilizando eletrodo de alumínio. O experimento foi realizado utilizando variações de pH, concentração inicial, densidade de corrente e tempo, a fim de determinar as condições ótimas de operação. Os resultados variam de acordo com a concentração inicial de fosfato presente na água, os melhores resultados foram obtidos

¹ GHERNAOUT D. et al. Removal of Humic Acids by Continuous Electromagnetic Treatment Followed by Electrocoagulation in Batch Using Aluminium Electrodes. Desalination, v. 239. Nº 1-3. p 295-308. 2009

com o tempo de exposição de 15 minutos, com um pH próximo de 6 e uma corrente de 10 mA/cm², a eficiência do processo de eletrocoagulação variou entre 80% para a maior concentração de 200 mgL⁻¹ de fosfato até mais de 90% para as demais concentrações.

De acordo com Nansee-Njik et al. (2009), em seu trabalho sobre a remoção de mercúrio por eletrocoagulação os resultados mostram que é possível aplicar este tipo de processo de tratamento em ambientes aquosos contaminado com mercúrio (II), para chegar a esta conclusão primeiramente foi utilizada uma solução sintética de mercúrio (II) contendo 4mgL⁻¹ para se obter as condições ótimas, tanto o alumínio quanto o ferro atingiram grandes potenciais de remoção em uma vasta variação de pH, porém o ferro se mostrou ainda mais eficiente do que o alumínio. Após os testes com a solução sintética o mercúrio foi adicionado a uma amostra de água de rio e a solução foi tratada dentro das melhores condições encontradas pelos testes com a solução sintética. A remoção do mercúrio da amostra com água do rio foi completa, comprovando a efetividade do processo (NANSEU-NJIK² et al. 2009 apud KUOKKANEN et al. 2013).

3. 3 COAGULANTES

3. 3. 1 Coagulantes naturais

Segundo Bongiovani et al. (2010), os coagulantes naturais apresentam certas vantagens sobre os coagulantes químicos geralmente utilizados. Os coagulantes retirados da natureza são biodegradáveis, sem toxicidade, tendo menor produção de lodo com uma menor concentração de metais. Além das vantagens para o meio ambiente e à saúde humana o uso de alguns coagulantes naturais como a *Moringa oleifera* acaba sendo mais econômica se comparado com o sulfato de alumínio, coagulante químico amplamente utilizado no tratamento de água no Brasil (BOURSCHEIDT, 2014).

² NANSEU-NJIKI C. P. et al. Mercury(II) Removal from Water by Electrocoagulation Using Aluminium and Iron Electrodes. Journal of Hazardous Materials. v. 168, nº 2-3.p. 1430-1436. 2009.

Algumas plantas são utilizadas para formar os coagulantes naturais, dentre elas estão o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a mutamba (*Guaxuma ulmifolia*), o cacau (*Theobroma cacao*) e a *Moringa Oleifera* (SANTOS et al., 2010).

3.3.1.1 *Moringa oleifera*

De acordo com Valverde et al. (2014), a *Moringa oleifera* é o único gênero que representa a família *Moringaceae* que possui 14 espécies, sendo a *Moringa oleifera* a mais produzida entre elas.

A *Moringa oleifera* tem suas origens no nordeste indiano, sendo disseminada por vários países da Ásia e África. A planta se adapta bem a diferentes tipos de climas, desenvolvendo-se normalmente e gerando frutos, suportando climas subtropicais secos e úmidos, até tropicais secos e também florestas úmidas. Outra qualidade adaptativa da *Moringa oleifera* é a variedade de solos em que ela se adapta, porém seu melhor desenvolvimento se dá em solo neutro a levemente ácido (GALLÃO et al. 2006) (Figura 1).

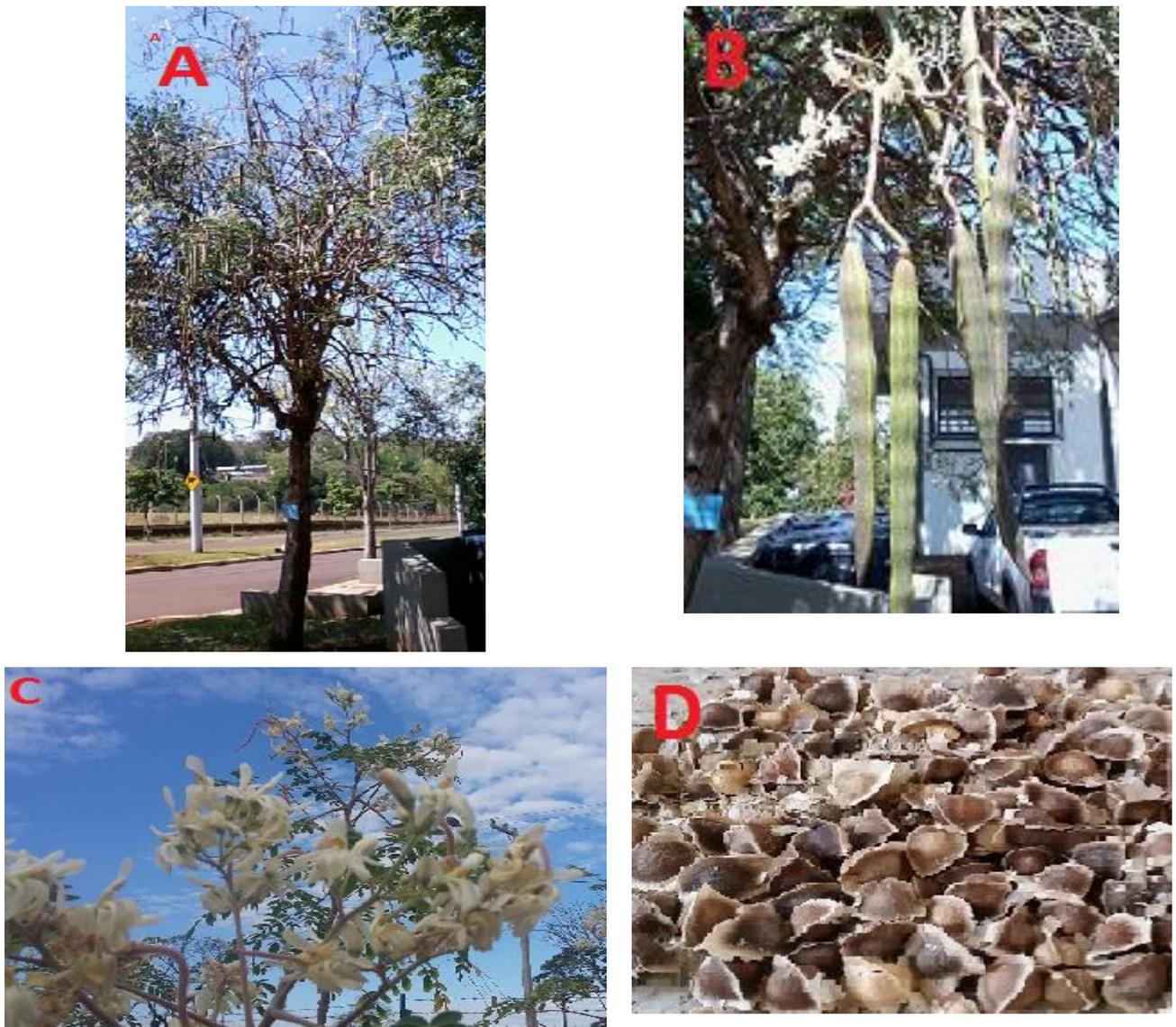


Figura 1. (a) árvore, (b) vagem; (c) flor; (d) semente de *Moringa oleifera*.

De acordo com Bezerra et al. (2004), muito se é aproveitado da planta pelo homem para os mais diversos usos, na área culinária suas folhas, frutos, flores e sementes servem de alimento, é possível também utilizar o óleo extraído das sementes para cozinhar, o mesmo óleo também serve de matéria para indústria de cosméticos, a planta tem propriedades medicinais, sua madeira e óleo atuam como combustível e auxilia no tratamento de água. Um fato interessante sobre as sementes da *Moringa*

oleifera é que a retirada do óleo antes de usá-las para o tratamento de água não altera sua efetividade em relação à coagulação (VASCONCELOS et al., 2009).

Devido à falta de estações de tratamento nas áreas rurais do Nordeste, tem sido cada vez mais frequente o uso das sementes da *Moringa oleifera* para tratar a água para o uso doméstico nas comunidades rurais (BEZERRA et al., 2004).

A presença de proteínas catiônicas hidrossolúveis faz que a *Moringa oleifera* possua propriedades de coagulação/floculação. As proteínas catiônicas hidrossolúveis possuem peso molecular entre 12 e 14 Kda. Essas proteínas são adsorvidas, resultando na neutralização das partículas coloidais em suspensão, clarificando a água (NDABIGENSERE et al., 1995).

Segundo os testes de Moreti et al. (2013), a *Moringa oleifera* se apresentou um bom coagulante para o tratamento de água para fins potáveis, eficiente na remoção de cor aparente, turbidez, coliformes fecais, *Escherichia coli* e pH.

3. 3. 2 Coagulantes químicos

Os principais coagulantes químicos disponíveis no mercado são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidróxicloreto de alumínio e sulfato férrico (VAZ et al. 2010).

A utilização do cloreto férrico com a água diminui a turbidez, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elimina fosfatos, uma parte dos metais pesados e venenos, para isso a coagulação tem que ocorrer em elevados níveis de pH (PAVANELLI, 2001).

O hidróxicloreto de alumínio é um coagulante 1,5 a 2,5 vezes mais eficiente do que os outros sais de alumínio, porém esse produto químico é classificado como produto corrosivo, exigindo um cuidado especial para o seu transporte, uso e estocagem, fazendo com que algumas instituições optem por outro tipo de coagulante (PAVANELLI, 2001).

O sulfato férrico age em uma ampla faixa de pH devido a baixa solubilidade dos hidróxidos férricos, por se tratar de um coagulante com alto peso molecular os flocos se

formam mais rapidamente e possuem maior densidade, diminuindo o tempo de sedimentação (VAZ et al., 2010).

3.3.2.1 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio líquido é fabricado a partir de hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. O coagulante é comercializado com 7 a 8% de alumina. Quando o produto é de boa qualidade, não apresenta resíduos insolúveis e é incolor (PAVANELLI, 2001).

O sulfato de alumínio tem sido amplamente utilizado como coagulante químico no tratamento de água no Brasil e no mundo, tanto em forma granular como em forma líquida. Isso ocorre devido ao bom custo benefício, pois ele não é caro e possui uma ótima eficiência na coagulação e por ser de fácil produção e transporte. O ponto negativo da utilização do sulfato de alumínio é a preocupação com a quantidade de resíduos de alumínio presente na água após o tratamento, outro ponto importante é a necessidade de um corretor de pH, pois as reações envolvendo o coagulante alteram o pH da água (VALVERDE, 2014).

De acordo com Padilha et al. (2011), o sulfato de alumínio se mostrou eficiente na remoção da turbidez de água de abastecimento, alcançando uma turbidez próxima aos 3 NTU, utilizando-se uma concentração de 15 mg.L^{-1} a uma velocidade de sedimentação de $1,14 \text{ cm.min}^{-1}$.

Segundo Libânio et al. (1997), o sulfato de alumínio obteve bons resultados na coagulação de águas naturais com turbidez média e cor elevada, obtendo uma taxa de remoção de cor aparente de 92% e remoção de turbidez de 82% para águas com cor aparente inicial de 190 uH e turbidez inicial de 25 NTU. E para águas com Turbidez inicial de 15 NTU e 80 uH foi obtido uma remoção de cor aparente de 94% e uma remoção de turbidez de 82%.

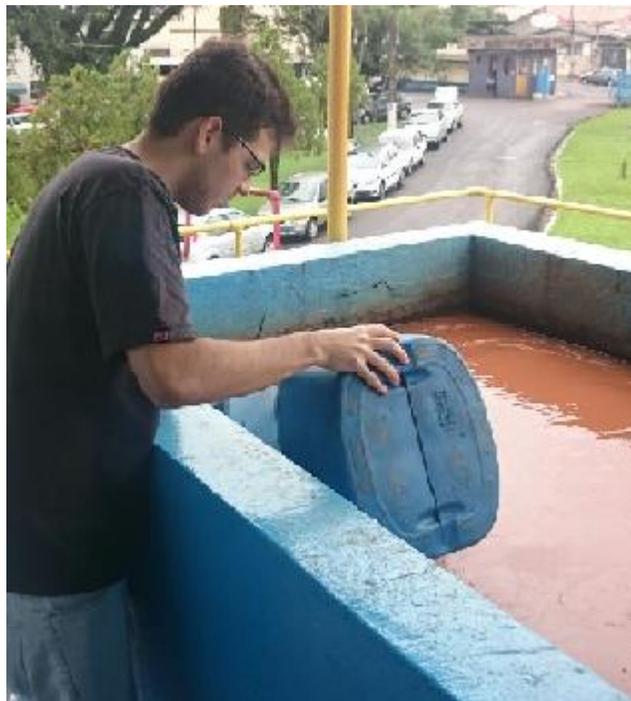
De acordo com Julio et al. (2008), o sulfato de alumínio se mostrou um bom coagulante para água de abastecimento, os resultados obtidos identificaram que os melhores resultados foram alcançados após 15 minutos de floculação, a velocidade de

sedimentação que apresentou melhores resultados foi de $2,5 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, com isso a turbidez que inicialmente era de 11,9 NTU foi reduzida para aproximadamente 0,5 NTU, o pH sofreu uma redução, inicialmente o parâmetro era de 7,4 e durante os ensaios se manteve entre 6,54 e 6,83.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A água bruta utilizada para realização do experimento foi proveniente do Ribeirão Jacutinga, e foi coletada no local de chegada da estação de tratamento a fim de ser tratada na Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto), localizada na cidade de Ibiporã – PR. A Figura 2 mostra o local onde a água foi captada.



**Figura 2: Local da coleta da água – SAMAE, Ibiporã.
Fonte: Autoria própria (2016)**

4.2 LOCAL DE ENSAIO

A análise experimental foi realizada no Laboratório de Saneamento e no Laboratório de Poluentes Atmosféricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - *Campus* Londrina. A Figura 3 mostra o interior dos laboratórios em questão.



Figura 3: (a) Entrada do Laboratório de Saneamento e (b) do Laboratório de Poluentes Atmosféricos da UTFPR – *Campus* Londrina
Autor: Autoria própria (2016)

4.3 ETAPAS DO EXPERIMENTO

4.3.1 Construção do reator

Foi construído para este experimento um reator baseado no modelo proposto por Theodoro (2010), onde foi utilizado um recipiente em acrílico, um eletrodo mono polar, um agitador magnético e uma fonte estabilizada de corrente contínua. A Figura 4 mostra o reator completo em operação.



Figura 4: Reator de eletrocoagulação, nível de bancada
Fonte: Autoria própria (2016)

Como é possível observar na Figura 4 o reator utiliza o jarro do Jar test como recipiente para alocar a água.

O sistema de eletrodos monopolares foi construído com 4 placas de ferro, conectados eletricamente em paralelo (Figura 5), formando 3 pares de eletrodos. Para isolar as placas umas das outras foram utilizados anéis de policloreto de vinil (PVC), garantindo a equidistância entre as placas, que foram fixadas utilizando parafusos de PVC, garantindo sustentação, rigidez mecânica e isolamento elétrico. Para facilitar o manuseio do experimento foi instalado um suporte de madeira, para o manuseio e a melhor fixação das placas no reator.



Figura 5: eletrodos de ferro conectados em paralelo
Fonte: Autoria própria (2016)

Foi utilizada uma fonte para produzir a corrente necessária como mostra a Figura 6.



Figura 6: Especificações da fonte de energia
Autor: Autoria própria (2016)

A fonte utilizada era da marca Bluecase, e forneceu a tensão elétrica de 11,4 Volts para a passagem de corrente elétrica pelo fluido, sendo o valor da corrente dependente da condutividade, a corrente atingida foi de 0,2 A.

Para o sistema de agitação magnética foi utilizado um agitador da marca Thelga. A Figura 7 mostra o agitador magnético utilizado.



Figura 7: Agitador magnético
Autor: Autoria própria (2016)

4.3.2 Preparo das soluções

4.3.2.1 Preparação do coagulante natural *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* utilizadas neste trabalho são provenientes da Universidade Estadual de Campinas, colhidas secas, armazenadas em sacos plásticos e mantidas na geladeira até o momento de seu uso, segundo indicações de Arantes et al., (2010)

As sementes de *Moringa oleifera* foram descascadas, trituradas em liquidificador e misturadas à água destilada (THEODORO (2012)). Após a homogeneização da solução, esta foi levada ao agitador magnético por um tempo de 10 minutos. Depois deste processo a solução foi coada em um coador de pano, onde pode ser observado na Figura 8 o processo da coagem da solução.



Figura 8: Solução de *Moringa oleifera*
Autor: Autoria própria (2016)

4.3.2.2 Preparação do coagulante químico sulfato de alumínio

Utilizou-se uma solução do coagulante sulfato de alumínio preparada pela mistura de 10 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 1 litro de água destilada levada a agitação para a homogeneização da solução, seguindo a metodologia utilizada por Coral et al (2009). A Figura 9 mostra os aparatos utilizados na preparação do coagulante químico.



Figura 9: Aparatos utilizados no preparo do coagulante químico
Autor: Autoria própria (2016)

4.3.3 Tratamentos

Foram aplicados os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleífera* em duas concentrações distintas tendo sido aplicadas em conjunto com a eletrocoagulação. Sendo assim esta pesquisa foi composta pelos seguintes tratamentos:

- T1 - Eletrocoagulação ;
- T2 - Eletrocoagulação + sulfato de alumínio – Concentração 1 (25 mg.L⁻¹);
- T3 - Eletrocoagulação + sulfato de alumínio – Concentração 2 (50 mg.L⁻¹);
- T4 - Eletrocoagulação + *Moringa oleífera* – Concentração 1 (30 mg.L⁻¹) e
- T5 - Eletrocoagulação + *Moringa oleífera* – Concentração 2 (50 mg.L⁻¹)

Quando o ensaio envolvia algum coagulante, antes do início do cronômetro contando os tempos do ensaio, a amostra era submetida a uma agitação rápida (nível 10/10 do agitador magnético), durante 3 minutos, e logo em seguida submetida a uma agitação lenta (nível 3/10 do agitador magnético), durante 15 minutos. Esse procedimento foi necessário para que houvesse uma homogeneização do coagulante na água.

O período de coleta foi de 1 hora, ocorrendo aos 10, 20, 40, 60 e 70 minutos. Todos os testes foram realizados em triplicata.

Após a coleta havia um espera de 5 minutos para se realizar as análises, esse tempo foi necessário para que parte dos flocos suspensos no processo de coleta da amostra decantasse, evitando alteração nos resultados das análises.

4.3.4 Análise dos parâmetros

Para todos os tratamentos citados no item 4.3.3 e do tempo, foram determinados os parâmetros de pH, temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica e série de sólidos, de acordo com o Standard Methods Examination of Water and Wasterwater (APHA, 2012) (Tabela 1).

Tabela 1: parâmetros analisados do efluente, equipamentos e metodologia.

Parâmetro	Equipamento/Modelo	Metodologia
pH	pHmetro mPA-210	4500 B
Temperatura	Termômetro digital	-
Turbidez	Turbidímetro HACH 4000	2130 B
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 B
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B
Série de sólidos	Estufa SL 100, Mufla MA 385,	2540 A

Fonte: Standard Methods, APHA (2012)

4.3.5 Análise estatística

Através dos resultados adquiridos pelas práticas experimentais, as análises estatísticas foram realizadas com o programa BioEstat 5.0 por meio da análise de variância (ANOVA), comparando os resultados encontrados para cada amostra no decorrer do tempo avaliando a eficiência do coagulante utilizado e da concentração adotada e verificando a significância de cada uma dessas variáveis. A Tabela 2 apresenta o modelo de organização dos resultados para a análise de variância.

Tabela 2: Organização dos resultados para a análise de variância.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)					
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)					
Interação (Concentração x Tempo de coleta)					

Onde: SQ= Soma dos Quadrados; GL= Grau de Liberdade; MQ= Média dos Quadrados.

Como apresentado na Tabela 2, quando o valor de P foi maior que 0,05, não houve significância entre as variáveis, ou seja, a pequena variação do parâmetro não representa diferença significativa entre a variável em questão. A análise de variância foi realizada para todos os parâmetros (turbidez, cor aparente, pH, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA BRUTA

Os valores brutos dos parâmetros analisados neste trabalho estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores brutos da amostra da água coletada na entrada da ETA.

Parâmetros	Valor
Turbidez (NTU)	384
Cor Aparente (mg Pt-Co.L ⁻¹)	910
pH	7,09
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	2331
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	315
Sólidos Fixos (mg.L ⁻¹)	130
Sólidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	185

Por meio da metodologia descrita no item 4.3.4, foram realizados ensaios em triplicata e os resultados obtidos estão representados em: (5.1) Turbidez; (5.2) Cor Aparente; (5.3) pH; (5.4) Condutividade Elétrica; (5.5) Sólidos Totais; (5.6) Sólidos Fixos, (5.7) Sólidos Voláteis (5.8) Temperatura.

5.2 TURBIDEZ

A Tabela 4 e a Figura 10 apresentam os valores médios de turbidez, referentes aos três tratamentos utilizados associados à concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.1, A.2 e A.3) deste trabalho.

Tabela 4: Valores médios para Turbidez (NTU)

Tempo de coleta (minutos)	TURBIDEZ MÉDIA (NTU)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e Sulfato de Alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	166,33	241,67	133,27	127,67	282,33
20	152,67	192,67	129,13	107,43	287,00
40	136,67	91,50	123,37	91,10	280,67
60	135,00	37,97	118,00	63,67	278,67
70	139,67	30,90	117,00	63,53	265,67

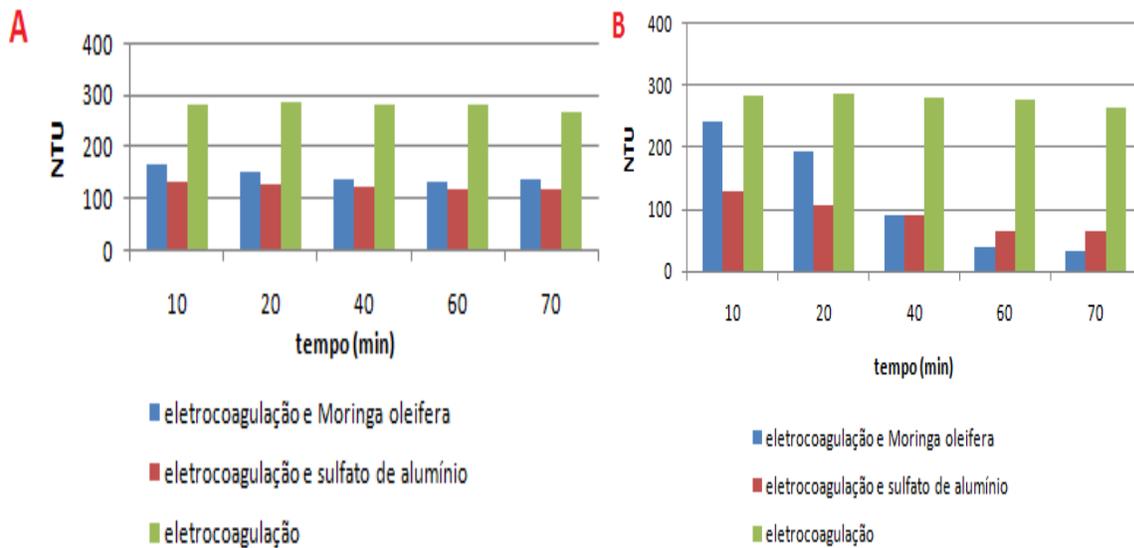


Figura 10: Comportamento dos valores médios de turbidez ao longo do tempo de tratamento.

Observa-se pela Tabela 4 e Figura 10A que os valores mais baixos de turbidez alcançados foram utilizando o sulfato de alumínio como complementar a eletrocoagulação, chegando a atingir 117 NTU (aos 70 minutos). Já o processo de

eletrocoagulação sem a utilização de coagulantes apresentou valores muito acima se comparado ao processo com uso de coagulantes, chegando a um mínimo de 265,67 NTU ao final da coleta. Tal fato pode ter ocorrido devido a corrente elétrica alcançada no experimento ser de 0,20 A, muito abaixo da corrente mínima de 2,5 A sugerida por Caldas et al. (2010). O tratamento associado com a *Moringa oleifera* obteve bons resultados, chegando a um mínimo de 135 NTU após 60 minutos de ensaio. Houve aumento no valor de turbidez no último tempo de resposta e esse aumento pode ter sido causado pela liberação de ferro na água pelo eletrodo o que causou um aumento na turbidez da água.

Comparando os três tratamentos percebe-se uma baixa eficiência do processo de eletrocoagulação para a redução da turbidez, o uso de coagulante de forma auxiliar acabou se tornando o principal agente removedor desse parâmetro na água. Vale lembrar que, o coagulante extraído da *Moringa oleifera* libera uma grande quantidade de matéria orgânica, podendo ser esse o motivo pelo qual o sulfato de alumínio obteve melhores resultados no tratamento.

Nos testes realizados com a concentração maior de ambos os coagulantes (Tabela 4), (Figura 10 B) é possível observar que a *Moringa oleifera* não apresentou uma alta taxa de remoção de turbidez nos primeiros 20 minutos e que a partir dos 60 minutos os níveis de turbidez do processo contendo este coagulante natural se tornaram menores do que os demais tratamentos observando o melhor resultado, chegando a atingir 30,90 NTU aos 70 minutos. Isso demonstra que o processo de formação de flocos com o uso da *Moringa oleifera* é mais lento que o sulfato de alumínio no início do processo o que implica no retardamento do processo de sedimentação e clarificação da água, mas que com uma concentração mais adequada obtem-se um melhor resultado.

Tal fato corrobora com Muniz et al. (2014) que encontraram altas taxas de remoção de turbidez em uma faixa de tempo de 60 a 120 minutos para uma turbidez moderada a elevada em seu estudo sobre clarificação de águas. Os resultados obtidos para a eletrocoagulação associada ao sulfato de alumínio também foram satisfatórios, chegando a uma turbidez de 63,53 NTU aos 70 minutos (Tabela 4).

O tratamento apenas com eletrocoagulação atingiu um resultado de 265 NTU ao fim dos 70 minutos, apresentando uma remoção considerável dos valores de turbidez se comparado aos 384 NTU da água bruta.

A Figura 11 demonstra a eficiência de remoção de turbidez dentro dos três tratamentos propostos nesta pesquisa.

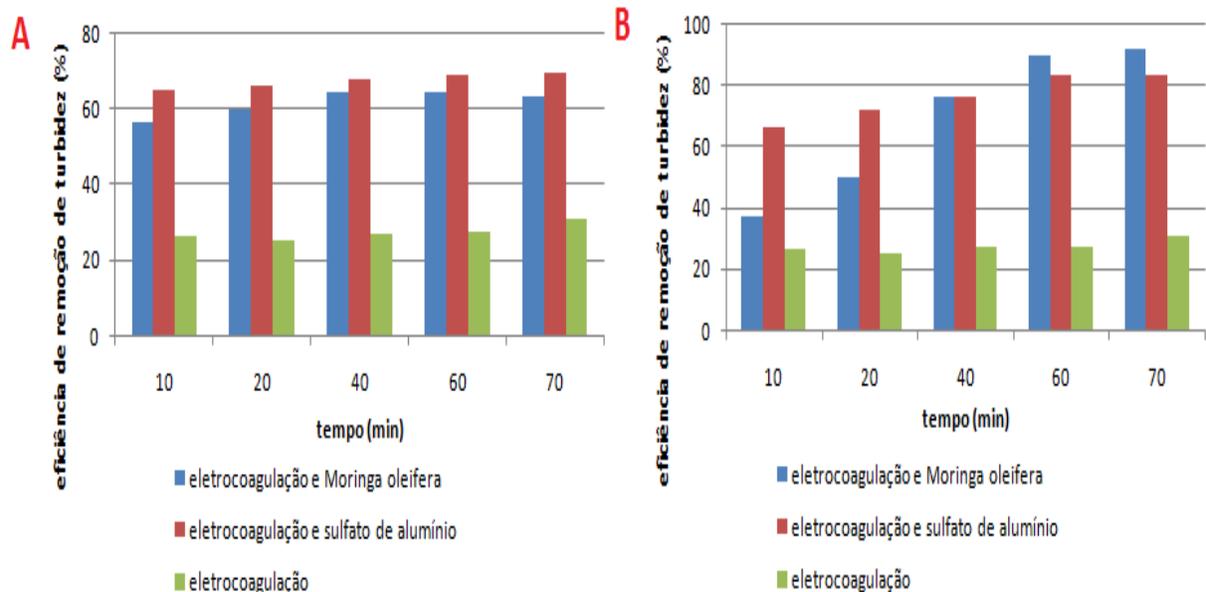


Figura 11: Eficiência de remoção de Turbidez – Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

As maiores eficiências de remoção do parâmetro turbidez com uma concentração mais baixa dos coagulantes (Figura 11 A) ficam por conta do processo de eletrocoagulação associado com o sulfato de alumínio, chegando aproximadamente 70%.

Já com uma concentração maior (Figura 11 B) o processo de eletrocoagulação associado com a *Moringa oleifera* chegou a uma eficiência de remoção de turbidez de aproximadamente 92%.

O processo de eletrocoagulação por si só não se mostrou eficiente, chegando ao máximo de 30% de eficiência de remoção de turbidez ao final do ensaio.

Observando a Tabela 4, pode-se concluir que a concentração 2, apresentou uma remoção maior da turbidez para ambos os coagulantes.

A Tabela 5 apresenta a análise estatística para o parâmetro turbidez.

Tabela 5: Análise estatística turbidez

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	2	1985,761	992,8806	11,6786	0,0047
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	8	1069,455	133,6819	1,5724	0,2677
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	4	235,7882	58,9471	0,6934	0,6187

De acordo com a análise estatística apresentada, o valor de P só foi menor que 0,05 na interação Tratamento x Concentração, evidenciando que o único fator que realmente mostrou uma variação significativa ao se mudar a variável foi a concentração do coagulante para cada tratamento.

5.2 COR APARENTE

A Tabela 6 e a Figura 12 apresentam os valores médios do parâmetro cor aparente, referentes aos três tratamentos utilizados associados à concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.4, A.5 e A.6) deste trabalho.

Tabela 6: Valores médios para cor aparente (mgPt-Co.L⁻¹).

Tempo de coleta (minutos)	COR APARENTE (mgPt-Co.L ⁻¹)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e Sulfato de Alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	873,33	1160,00	468,00	580,00	1156,67
20	593,33	1213,33	536,67	703,33	1083,33
40	573,33	793,33	506,67	633,33	1156,67
60	670,00	570,00	633,33	730,00	1220,00
70	733,33	483,33	590,00	646,67	1283,33

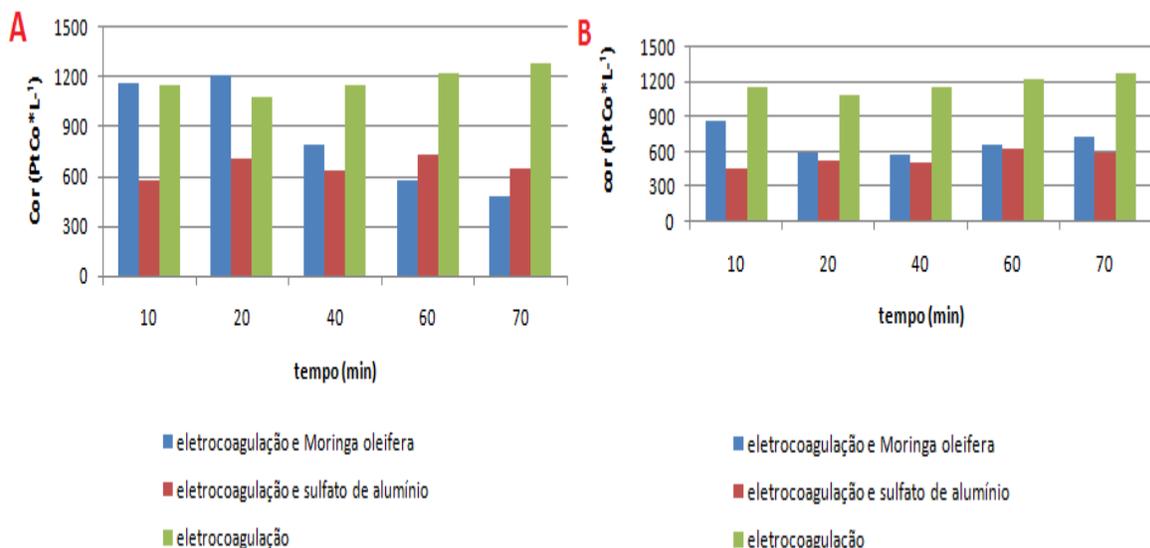


Figura 12: Comportamento dos valores médios de cor aparente ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

É possível observar pela Tabela 6 e Figura 12A que o ponto de menor valor de cor aparente para o processo de eletrocoagulação foi aos 20 minutos (1083,33 mg PtCo.L⁻¹), porém este valor ainda está acima da cor aparente da amostra bruta coletada e isso pode ter ocorrido devido a liberação de íons de ferro Fe²⁺ e Fe³⁺ na água, fazendo com que os níveis de mg PtCo.L⁻¹ aumentassem.

É possível verificar (Figura 12 A) uma remoção do parâmetro pelos processos de eletrocoagulação associados com os coagulantes, tanto o químico quanto o natural. Para uma concentração mais baixa de coagulante (C1), novamente o sulfato de

alumínio mostrou resultados melhores, tendo uma cor aparente ao final do tempo de 70 minutos de ensaio de 590 mg PtCo.L⁻¹ (Tabela 6).

A *Moringa oleifera* também se mostrou efetiva se associada à eletrocoagulação, porém em uma escala menor, chegando a um resultado aos 70 minutos de 733 mg PtCo.L⁻¹ de cor aparente. Nota-se que nos tempos de 20 e 60 minutos a *Moringa oleifera* ficou dentro dos padrões de remoção apresentados pelo sulfato de alumínio o que demonstra sua eficiência ao processo de associação com a eletrocoagulação.

Avaliando os três processos, conclui-se que a eletrocoagulação acabou interferindo negativamente na redução de cor aparente da água para a C1, observando-se um aumento de cor em todos os processos após os 40 minutos (Tabela 7). A causa pode ser a liberação de íons de ferro (Fe²⁺ e Fe³⁺) na água ao longo de todo o processo.

Os resultados dos testes realizados com uma concentração maior de coagulante (Tabela 6 e Figura 19 B) mostraram que ao fim dos 70 minutos de tratamento o processo de eletrocoagulação associado à *Moringa oleifera* mostrou-se mais efetivo, chegando a 483 mg PtCo.L⁻¹ de cor aparente. Corroborando com Paterniani et al. (2009), que em seus estudo sobre o uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais concluíram que foi possível observar um aumento na cor aparente nos primeiros minutos, subindo de 334 mg.L⁻¹ (água bruta) para 476 mg.L⁻¹ isso porque com a adição do coagulante natural ocorreu um aumento na quantidade de partículas dissolvidas e em suspensão, e com o tempo essas partículas foram sedimentando e ocorreu uma redução nos valores de cor aparente.

A Figura 12 B mostra que os resultados do tratamento de eletrocoagulação associado ao sulfato de alumínio oscilaram bastante durante todo o processo, tendo atingido o menor valor de cor aparente aos 10 minutos chegando a 580 mg PtCo.L⁻¹, porém depois dessa medição os valores só aumentaram, chegando a um máximo de 730 mg PtCo.L⁻¹, muito provavelmente pela liberação de íons de ferro, provenientes das placas do reator, na água.

As Figuras 13 A e 13 B demonstram as eficiências de remoção da cor aparente dos três tratamentos propostos nessa pesquisa.

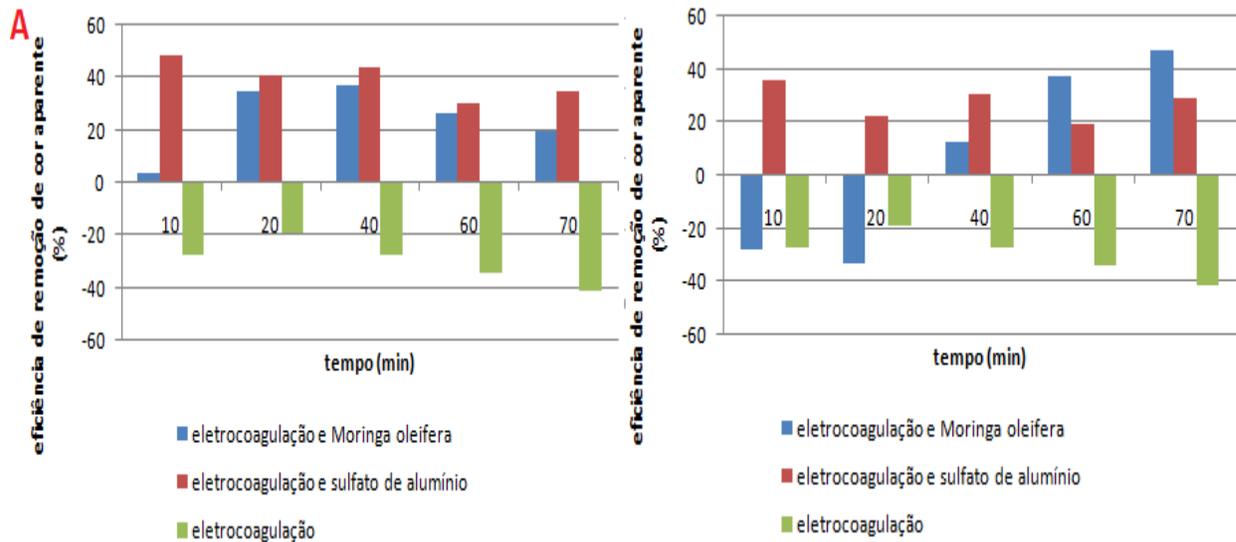


Figura 13: Eficiência de remoção da Cor Aparente – Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

É possível perceber que o tratamento utilizando a eletrocoagulação associado com a *Moringa oleifera* em uma concentração mais baixa (C1) (Tabela 13 A) não chega a ter eficiência negativa, porém ficou bem próxima de nula em seus primeiros minutos e com o decorrer do tempo foi aumentando até o tempo de 40 minutos, alcançando 37%. Após esse tempo a eficiência voltou a diminuir, diferente da maior concentração (C2) (Tabela 13 B), onde a eficiência permaneceu negativa por um período maior (20 minutos), influenciando negativamente em quase 30%. Porém, na marca dos 40 minutos a eficiência de remoção de cor aparente já passava a ser positiva (13%) ao fim dos 70 minutos, a eficiência de remoção de cor aparente da eletrocoagulação associada a *Moringa oleifera* superou os 40%.

Outro ponto importante que pôde ser notado foi à alta eficiência negativa do processo de eletrocoagulação sobre os coagulantes. O ferro liberado na água chegou a interferir negativamente em 40% aos 70 minutos, diminuindo a eficiência dos coagulantes utilizados em conjunto.

O sulfato de alumínio teve sua eficiência constante próxima à faixa dos 30%, porém não conseguiu aumentar o valor de remoção devido à eficiência negativa do processo de eletrocoagulação.

A Tabela 7 apresenta a análise estatística para a cor aparente.

Tabela 7: Análise estatística cor aparente

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	2	32094,85	16,047,43	0,9156	0,559
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	8	311631,7	38953,96	2,2225	0,1398
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	4	96451,87	24112,97	1,3758	0,3238

De acordo com a análise estatística apresentada, todos os valores de P foram maiores que 0,05, portanto nenhuma mudança de variável obteve uma diferença significativa.

5.3 pH

A Tabela 8 e a Figura 14 apresentam os valores médios de pH, referentes as três concentrações utilizadas ao longo do tempo durante o processo de sedimentação. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se nos Apêndice A)Tabelas A.7, A.8 e A.9) deste trabalho.

Tabela 8: Valores médios para pH

Tempo de coleta (minutos)	pH				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e Sulfato de Alumínio		
	C1	C2	C1	C2	
10	7,48	8,54	7,07	8,51	7,54
20	7,61	9,44	7,15	8,46	8,42
40	8,01	10,89	7,97	9,02	8,75

60	8,45	11,40	8,52	9,12	9,00
70	8,82	11,32	8,97	9,37	8,92

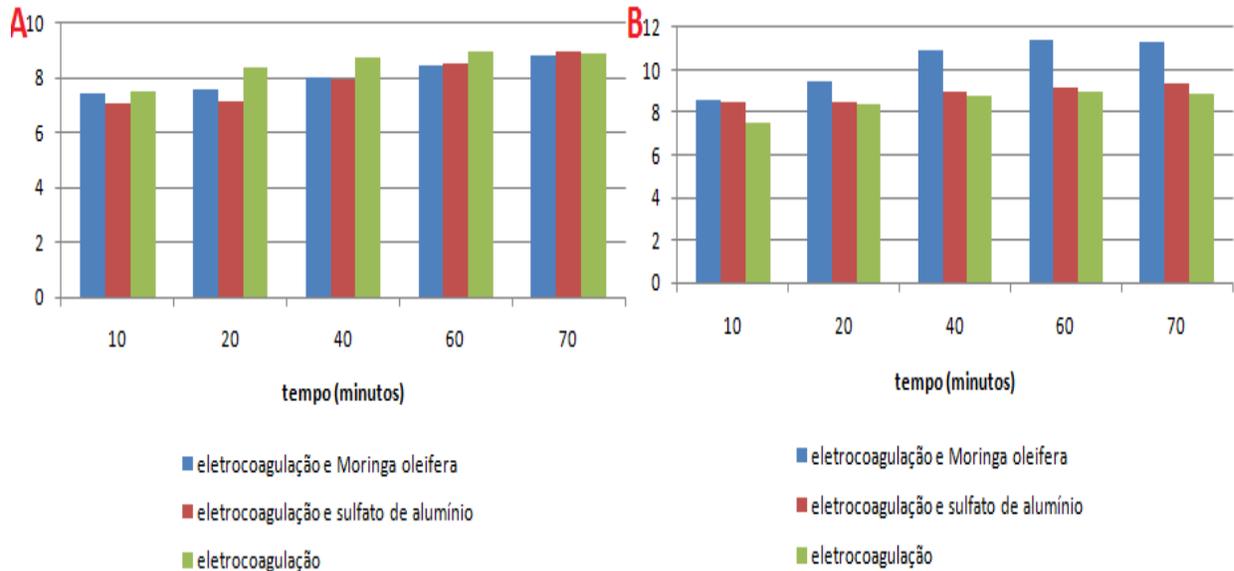


Figura 14: Comportamento dos valores médios de pH ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

Por meio da Tabela 8 e da Figura 14a, observa-se que a faixa de pH dos três tratamentos é bem parecida, ficando entre 7 e 9. O tratamento de eletrocoagulação associado com sulfato de alumínio foi o que teve a maior variação de pH do início ao fim (1,9). Já o valor de maior pH foi observado no tratamento usando somente a eletrocoagulação. A variação de pH para a associação da eletrocoagulação com a *Moringa oleifera* foi de 1,34. Já a variação do pH para o processo de eletrocoagulação foi de 1,38.

Oliveira (2011) em sua análise da taxa de remoção da turbidez em águas naturais utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* Lam, comprovou que o parâmetro pH não sofreu alteração significativa, indicando possivelmente que o extrato não contribui para alterações na relação H^+ / OH^- em solução.

Pereira et al. (2014) em seu ensaio sobre tratamento de água de piscina com coagulante de *Moringa oleifera*, verificaram que o pH apresentou uma média próxima ao neutro, e o coagulante natural provocou uma variação de 2,12% no pH, enquanto o

sulfato de alumínio oscilou 7%. Assim como no presente estudo, onde o sulfato de alumínio apresentou uma maior faixa de variação do pH do que a *Moringa oleifera*.

Segundo Theodoro (2010), para liberar o agente coagulante, íons Fe^{2+} e Fe^{3+} e radicais hidroxilas são liberados na água. Por isso é possível observar o caráter mais básico da água nos três processos envolvendo eletrocoagulação, pois a tendência é ter mais íons OH^- na água para que a coagulação aconteça.

É possível observar através da Tabela 8 e Figura 14b que independentemente do processo o pH aumentou se comparado com a água bruta (7,09). O pH do tratamento de eletrocoagulação associado a *Moringa oleifera* foi o que apresentou maiores valores de pH, chegando a 11,32 aos 70 minutos. Isso pode ter ocorrido devido a maior liberação de íons ferro e hidroxilas na água, deixando a solução com caráter mais básico.

O tratamento envolvendo a eletrocoagulação e o sulfato de alumínio obteve um valor final de pH de 9,37 (variação de 32,15% em relação ao valor bruto) (Tabela 8). Já o uso somente da eletrocoagulação foi o que obteve menor variação de pH, terminando o processo em 8,92 (variação de 25,81% em relação ao valor bruto) (Tabela 8).

Observando a Tabela 8, pode-se concluir que a concentração 2, apresentou uma alteração considerável de pH para a *Moringa oleifera* associada a eletrocoagulação.

A Tabela 9 apresenta a análise estatística para o pH.

Tabela 9: Análise estatística pH

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	5,3368	2	2,6684	11,6367	0,0047
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	0,8157	8	0,102	0,4447	0,8636
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	0,2385	4	0,0596	0,26	0,8947

De acordo com as análises estatísticas apresentadas na Tabela 9, o valor de P só foi menor que 0,05 na interação Tratamento x Concentração, evidenciando que o único fator que realmente mostrou uma variação significativa ao se mudar a variável foi a concentração do coagulante para cada tratamento.

5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 10 e Figura 15 apresentam os valores médios para a condutividade elétrica, referentes às três concentrações utilizadas ao longo do tempo durante o processo de sedimentação. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.10, A.11e A.12) deste trabalho

Tabela 10: Valores médios da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

Tempo de coleta (minutos)	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e Sulfato de Alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	1717,3	977,3	2628,6	1004,7	1443,0
20	1648,0	734,0	2216,0	912,0	1439,7
40	1601,3	1087,0	2535,7	848,7	1448,0
60	1591,7	748,7	2426,7	866,0	1445,7
70	1514,7	806,7	2365,7	856,3	1389,3

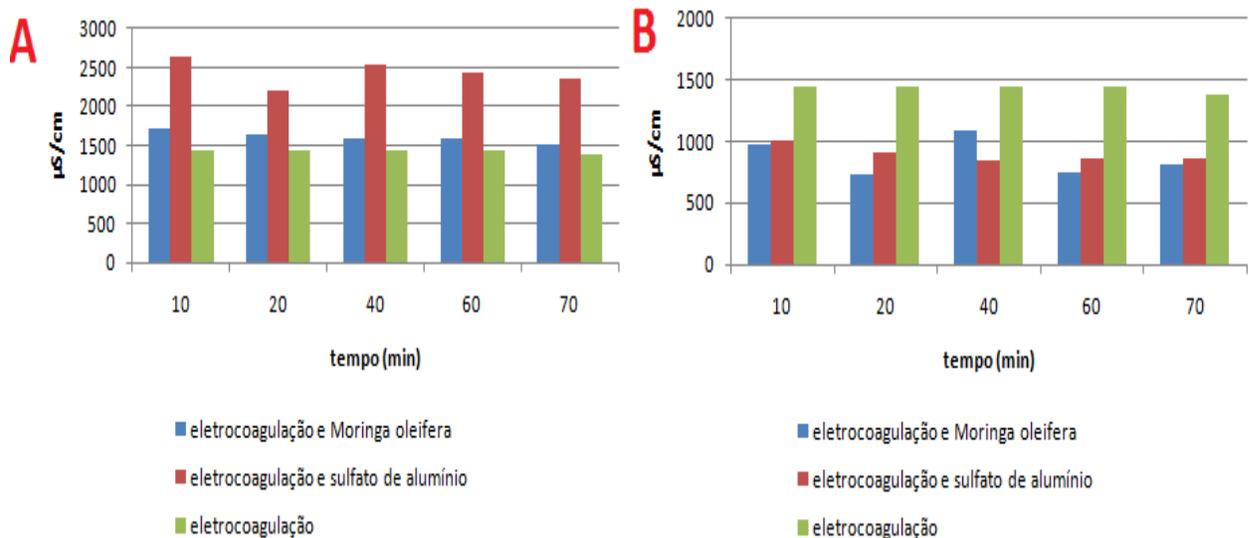


Figura 15: Comportamento dos valores médios da condutividade elétrica ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

Analisando a Tabela 10 e a Figura 15a, observa-se que houve uma redução da condutividade elétrica utilizando o tratamento de eletrocoagulação e *Moringa oleifera*, ao final dos 70 minutos de tratamento o resultado obtido foi de $1514,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Indo contra Oliveira et al. (2011), que comprovaram em seu estudo sobre remoção de turbidez em águas naturais com semente de *Moringa oleifera*, que o parâmetro condutividade elétrica sofreu um aumento de 5,6% devido principalmente à adição de espécies iônicas à solução pelo extrato.

O tratamento utilizando a eletrocoagulação associado ao sulfato de alumínio apresentou um aumento da condutividade elétrica em quase todos os seus tempos, chegando a um pico de $2628,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ aos 10 minutos de ensaio, um pouco acima da condutividade elétrica da água bruta ($2331 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Esse fato pode ter ocorrido, pois o sulfato de alumínio se trata de um sal, e ao adicionar sala água aumentou-se a condutividade da solução.

O tratamento utilizando somente a eletrocoagulação se mostrou o com menores valores de condutividade elétrica atingidos, alcançando $1389,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ao fim dos 70 minutos. Não foram encontrados estudos analisando esse parâmetro para o tratamento de água com eletrocoagulação, impossibilitando a comparação exterior.

Com o auxílio da Tabela 10 e a Figura 15b, observa-se uma grande redução na condutividade elétrica tanto para o tratamento associado à *Moringa oleifera* como no

tratamento associado ao sulfato de alumínio. Ao fim do processo com a *Moringa oleifera* o valor da condutividade elétrica foi de $806,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e para o tratamento utilizando sulfato de alumínio foi de $856,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, muito abaixo do valor da água bruta, $2331 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Esses resultados vão contra a literatura, podendo ter sido causados por algum erro humano ou do equipamento.

A Tabela 11 apresenta a análise estatística para a condutividade elétrica.

Tabela 11: Análise estatística para condutividade elétrica

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	2	6962178	3481089	795,0675	<0,0001
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	8	28730,15	3591,269	0,8202	0,6073
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	4	16750,62	4187,656	0,9564	0,5185

De acordo com as análises estatísticas apresentadas na Tabela 11, o valor de P só foi menor que 0,05 na interação Tratamento x Concentração, evidenciando que o único fator que realmente mostrou uma variação significativa ao se mudar a variável foi a concentração do coagulante para cada tratamento.

5.5 SÓLIDOS TOTAIS

A Tabela 12 e a Figura 16 apresentam os valores médios de sólidos totais, referentes aos três tratamentos utilizados associados à primeira concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.13, A.14, A.15, A.16 e A.17) deste trabalho.

Tabela 12: Valores médios para sólidos totais (mg.L⁻¹)

Tempo de coleta (minutos)	SÓLIDOS TOTAIS (mg.L ⁻¹)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e sulfato de alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	360	445	265	260	290
20	285	380	200	180	370
40	265	320	320	145	435
60	345	285	580	340	240
70	280	295	505	165	295

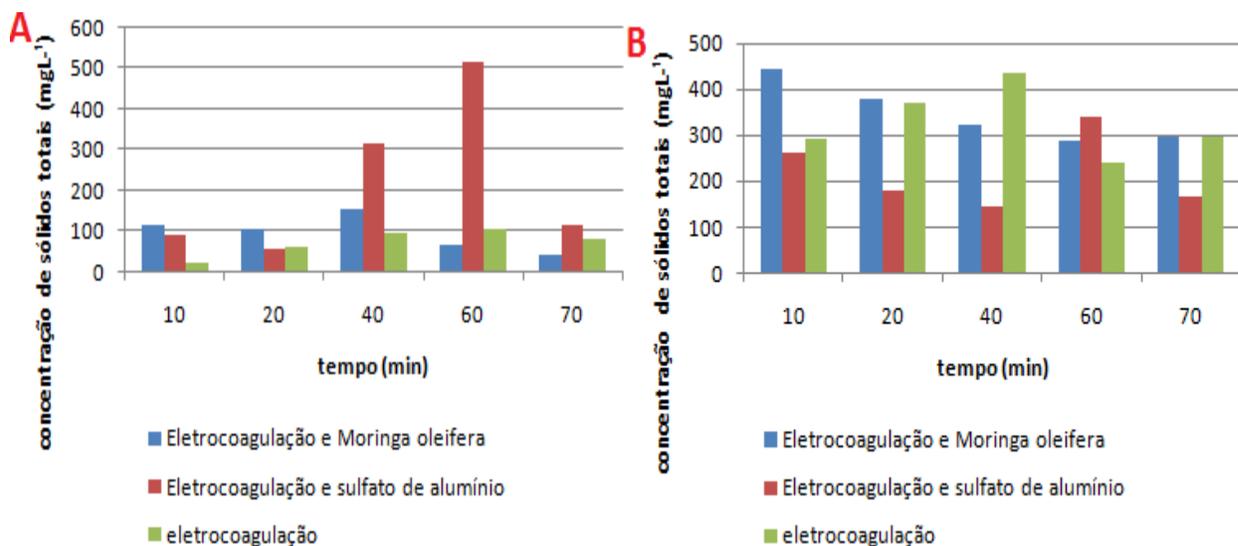


Figura 16: Comportamento dos valores médios de sólidos totais ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

Observa-se na Tabela 12 e Figura 16a, que o tratamento associado com a *Moringa oleifera* foi o único que obteve um aumento dos sólidos totais em seu primeiro tempo de medição, indo de 315 mg.L⁻¹ (água bruta) para 360 mg.L⁻¹, porém em seu último tempo medido foi possível observar uma redução de 11% na presença de sólidos, alcançando-se uma concentração de 280 mg.L⁻¹. Esse aumento na concentração dos sólidos totais é devido a grande carga de matéria orgânica presente

na *Moringa oleifera* e que é potencializado no início do processo e comprovando que apesar de ter um processo de sedimentação mais lento, ela se mostra eficiente.

Tanto o tratamento associado com o uso de sulfato de alumínio quanto o tratamento utilizando somente eletrocoagulação obtiveram bons resultados no início, 265 mg.L⁻¹ e 290 mg.L⁻¹, respectivamente. Porém ao final do tratamento com sulfato de alumínio foi possível observar um aumento dos sólidos totais, chegando a um pico de 580 mg.L⁻¹ aos 60 minutos e finalizando o processo com 505 mg.L⁻¹, esse resultado representa uma ineficiência de 60%. De acordo com Franco (2009), em sua avaliação da influência do sulfato de alumínio na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo, os valores dos sólidos totais aumentam com a adição do coagulante se comparado com a água bruta e quanto maior a concentração de coagulante utilizada, maior a quantidade de sólidos totais presentes na água. Essa situação não foi observada no presente trabalho, apesar da grande variação dos resultados, é possível observar uma menor concentração de sólidos totais na concentração (C2) dos coagulantes, isso pode ter ocorrido por algum erro no processo de pesagem ou por algum valor aleatório, já que se tratam de valores médios.

O tratamento de eletrocoagulação se mostrou eficiente para a remoção dos sólidos totais, alcançando um valor de 240 mg.L⁻¹ aos 60 minutos e 295 mg.L⁻¹ ao final do tratamento, isso representa uma eficiência de 24% e 6% na redução dos sólidos totais, respectivamente.

É possível observar na Tabela 12 e Figura 16b, que quando houve um aumento na concentração do coagulante natural, houve também um aumento da concentração dos sólidos totais no processo que utiliza a *Moringa oleifera* em relação a água bruta nos 40 minutos iniciais. Porém aos 70 minutos a concentração final foi de 295 mg.L⁻¹, menor do que a concentração encontrada na água bruta (315 mg.L⁻¹) demonstrando que apesar da pequena redução da concentração de sólidos totais, o uso do coagulante natural apresentou-se eficiente.

O tratamento da eletrocoagulação com o sulfato de alumínio apresentou menores níveis de concentração de sólidos totais, 165 mg.L⁻¹ aos 70 minutos, mostrando-se o mais eficiente (48%) para essa concentração (C2) de coagulante. Tal resultado corrobora com Santos et al. (2010), que em seu estudo sobre comprando o

tratamento físico-químico da água com *Moringa oleifera* Lam e o sulfato de alumínio, chegou a uma concentração de sólidos totais para o sulfato de alumínio de $0,132 \text{ g.L}^{-1}$, enquanto a concentração de sólidos totais do tratamento com o coagulante a base de *Moringa oleifera* foi de $0,164 \text{ g.L}^{-1}$.

Observando as Figuras 16a e 16b, pode-se concluir que a maior variação se deu por conta do tratamento de eletrocoagulação com sulfato de alumínio, pois a concentração 2 obteve resultados muito inferiores (145 mg.L^{-1} aos 40 minutos) que a concentração 1 no decorrer do experimento. O processo de eletrocoagulação associado a *Moringa oleifera* apresentou uma eficiência baixa na remoção de sólidos totais, chegando ao máximo de 10% de eficiência aos 60 minutos de ensaio.

A Tabela 13 apresenta a análise estatística para os sólidos totais.

Tabela 13: Análise estatística sólidos totais

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	53626,67	2	26813,33	9,0675	0,0091
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	149510	8	18688,75	6,32	0,0093
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	26078,33	4	6519,583	2,2047	0,1584

De acordo com as análises estatísticas apresentadas na Tabela 13, o valor de P foi menor que 0,05 na interação Tratamento x Concentração e Tratamento x Tempo de coleta, portanto os fatores que apresentaram uma variação significativa com as mudanças de variáveis foram à concentração do coagulante para cada tratamento e o tempo em que a água ficou exposta a cada tratamento, respectivamente.

5.6 SÓLIDOS FIXOS

A Tabela 14 e a Figura 17 apresentam os valores médios de sólidos fixos, referentes aos três tratamentos associados à concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.13, A.14, A.15, A.16 e A.17) deste trabalho.

Tabela 14: Valores médios para sólidos fixos (mg.L⁻¹).

Tempo de coleta (minutos)	SÓLIDOS FIXOS (mg.L ⁻¹)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e sulfato de alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	115	50	90	130	25
20	105	65	60	130	65
40	155	105	315	30	95
60	70	100	515	85	105
70	45	95	115	65	80

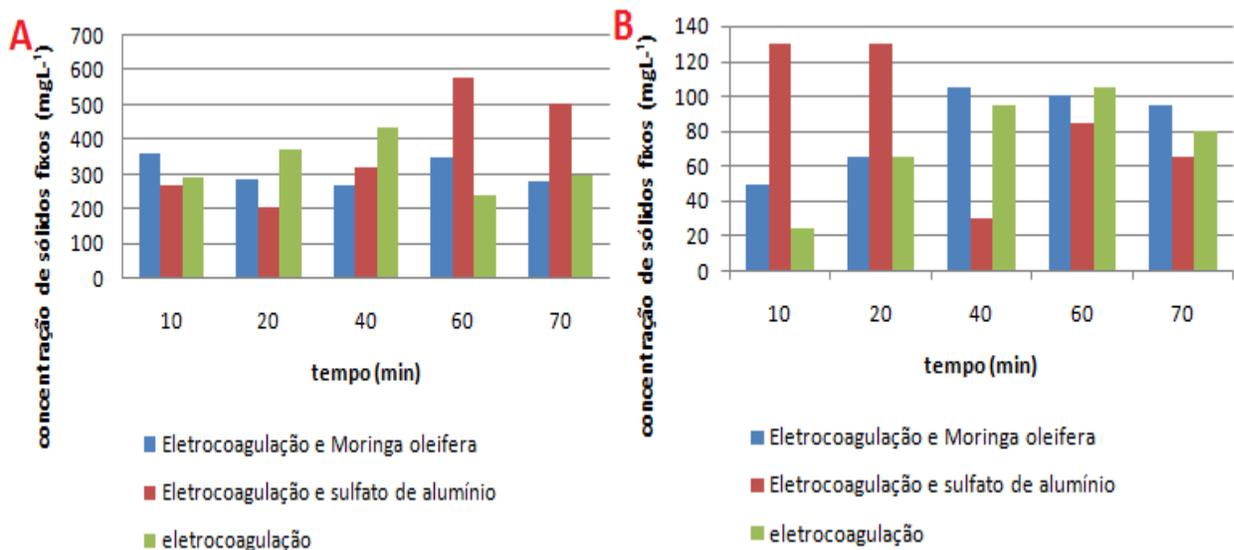


Figura 17: Comportamento dos valores médios de sólidos fixos ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b).

Através da Tabela 14 e Figura 17a, observa-se uma redução inicial em todos os tratamentos quando comparado com os 130 mg.L⁻¹ da amostra bruta. A *Moringa oleifera* associada com a eletrocoagulação obteve uma redução considerável ao fim do seu processo, chegando a 45 mg.L⁻¹, se mostrando o tratamento mais eficaz ao fim dos 70 minutos.

O processo de eletrocoagulação associado com o sulfato de alumínio obteve um bom resultado até os 20 minutos, quando chegou a 60 mg.L⁻¹, sendo o mais efetivo de todos os processos nesse tempo, porém aos 40 minutos os valores aumentaram para 315 mg.L⁻¹, chegando a um pico de 515 mg.L⁻¹ aos 60 minutos de tratamento. Apesar do alto pico aos 60 minutos, ao fim do tratamento a quantidade de sólidos fixos se mostrou menor do que a da água bruta, 115 mg.L⁻¹.

O uso somente da eletrocoagulação se mostrou eficaz, tendo um resultado final de 80 mg.L⁻¹. Aos 10 minutos de tratamento foi alcançado o resultado mais baixo de sólidos fixos entre todos os experimentos, 25 mg.L⁻¹. Entretanto esse valor sofreu uma ascensão até os 60 minutos, chegando a 105 mg.L⁻¹.

Pode-se observar na Figura 17b que ao contrário da concentração 1, o tratamento de eletrocoagulação e *Moringa oleifera* foi mais eficiente no início do tratamento, obtendo seu valor mais baixo de sólidos fixos presentes na amostra, 50 mg.L⁻¹, logo aos 10 minutos. Ao final dos 70 minutos a concentração de sólidos fixos se encontrou em 95 mg.L⁻¹.

O tratamento envolvendo eletrocoagulação e sulfato de alumínio também obteve um comportamento diferente da concentração 1, as maiores concentrações foram encontradas nos primeiros 20 minutos de tratamento, 130 mg.L⁻¹. Já ao final de tratamento a concentração obtida foi de 65 mg.L⁻¹, metade da concentração de sólidos fixos da água bruta, se tornando o processo com maior eficiência entre os 3 ao longo dos 70 minutos.

A Tabela 15 apresenta a análise estatística para os sólidos fixos.

Tabela 15: Análise estatística sólidos fixos.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	25701,67	2	12850,83	1,4259	0,2954
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	36111,67	8	4513,958	0,5009	0,8263
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	27861,67	4	6965,417	0,7729	0,5736

De acordo com as análises estatísticas apresentadas na Tabela 15, todos os valores de P foram maiores que 0,05, portanto nenhuma mudança de variável obteve uma diferença significativa.

5.7 SÓLIDOS VOLÁTEIS

A Tabela 16 e a Figura 18 apresentam os valores médios de sólidos voláteis, referentes aos três tratamentos associados à concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.13, A.14, A.15, A.16 e A.17) deste trabalho.

Tabela 16: Valores médios para sólidos voláteis (mg.L⁻¹)

Tempo de coleta (minutos)	SÓLIDOS VOLÁTEIS (mg.L ⁻¹)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e sulfato de alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	245	395	175	130	265
20	180	315	140	50	305

40	135	215	5	115	340
60	275	185	65	255	135
70	235	200	390	100	215

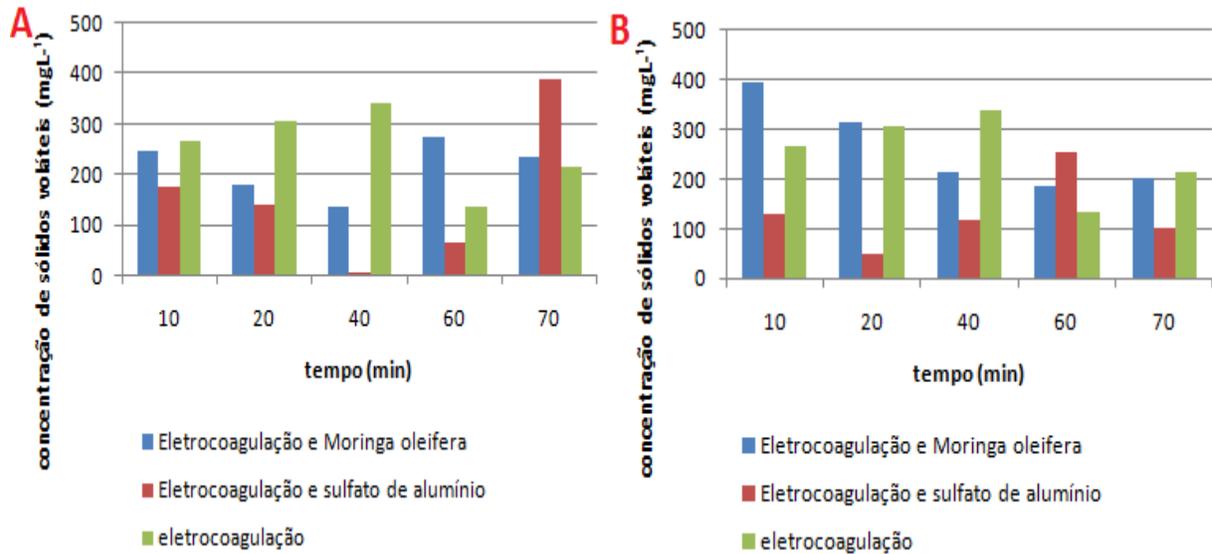


Figura 18: Comportamento dos valores médios de sólidos voláteis ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

Observa-se na Tabela 16 e Figura 18a que apesar de o tratamento envolvendo a *Moringa oleifera* apresentar bons resultados aos 20 e 40 minutos, 180 mg.L⁻¹ e 135 mg.L⁻¹, respectivamente, a concentração alcançada aos 70 minutos, 235 mg.L⁻¹, foi maior que a concentração de 185 mg.L⁻¹ da água bruta. Isso pode ter ocorrido, pois as análises ocorreram de 5 a 7 dias após os ensaios, tempo suficiente para ocorrer a decomposição da *Moringa oleifera* nas amostras, alterando assim alguns resultados.

O processo envolvendo o sulfato de alumínio se mostrou eficiente até os 60 minutos, quando atingiu uma concentração de 65 mg.L⁻¹, porém aos 70 minutos a concentração atingida foi de 390 mg.L⁻¹, maior que a da água bruta.

A eletrocoagulação somente atingiu um valor menor que o da água bruta, alcançando uma concentração de 135 mg.L⁻¹, aos 60 minutos.

Observa-se na Tabela 16 e Figura 18b, que a *Moringa oleifera* aliada a eletrocoagulação em uma concentração maior não conseguiu obter concentrações

menores que a inicial da água bruta, chegando somente a igualar o valor de 185 mgL⁻¹ aos 60 minutos.

O tratamento associando sulfato de alumínio e eletrocoagulação obteve bons resultados, conseguindo uma concentração de 100 mgL⁻¹ ao fim dos 70 minutos.

A Tabela 24 apresenta a análise estatística para os sólidos voláteis.

Tabela 17: Análise estatística sólidos voláteis

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	6811,667	2	3405,833	0,4201	0,6745
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	96936,67	8	12117,08	1,4945	0,2908
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	27291,67	4	6822,917	0,8415	0,5371

De acordo com as análises estatísticas apresentadas na Tabela 17, todos os valores de P foram maiores que 0,05, portanto nenhuma mudança de variável obteve uma diferença significativa.

5.8 TEMPERATURA

A Tabela 18 e a Figura 19 apresentam os valores médios de sólidos voláteis, referentes aos três tratamentos associados à concentração de coagulante ao longo do tempo. Os resultados de todas as amostras coletadas encontram-se no Apêndice A (Tabelas A.18, A.19 e A.20) deste trabalho.

Tabela 18: Valores médios para temperatura (°C)

Tempo de coleta (minutos)	TEMPERATURA (°C)				
	Eletrocoagulação e <i>Moringa oleifera</i>		Eletrocoagulação e sulfato de alumínio		Eletrocoagulação
	C1	C2	C1	C2	
10	26,7	25,0	25,0	25,0	25,3
20	27,3	24,7	25,0	25,3	25,7
40	27,3	25,0	25,0	25,3	26,0
60	27,7	25,0	25,0	25,3	25,7
70	27,7	25,0	25,0	25,3	25,7

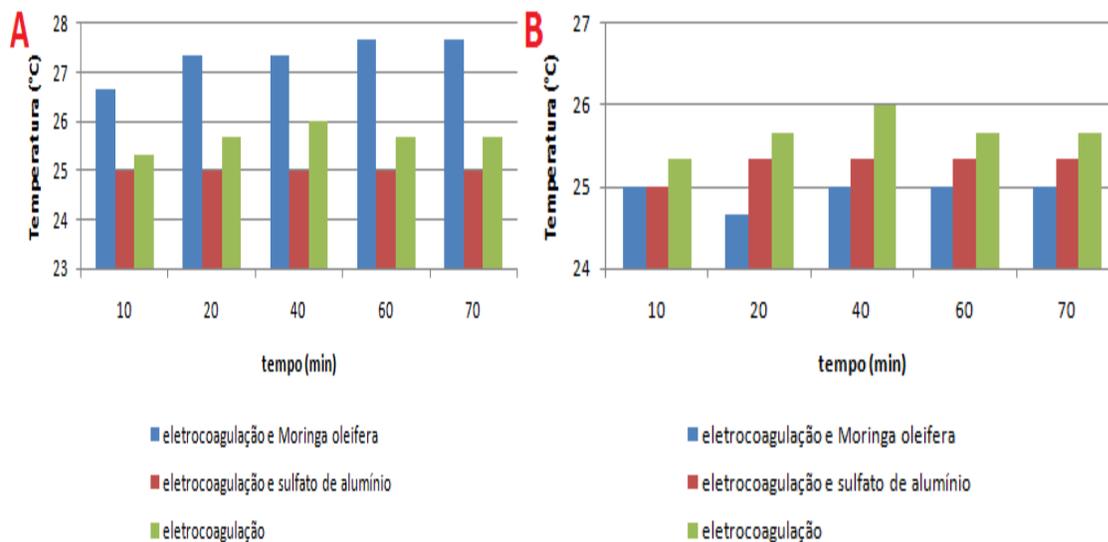


Figura 19: Comportamento dos valores médios de temperatura ao longo do tempo de tratamento- Concentração 1 (C1) (a) e Concentração 2 (C2) (b)

É possível observar na Tabela 18 e a Figura 19a que a temperatura se manteve entre 25°C e 27°C, a maior variação de temperatura foi obtida no tratamento de eletrocoagulação associado à *Moringa oleifera* (1°C). O tratamento envolvendo eletrocoagulação e sulfato de alumínio não teve variação na temperatura e a variação de temperatura do processo de eletrocoagulação foi de 0,7°C.

Com o auxílio da Tabela 18 e a Figura 19b é possível constatar que não houve grandes mudanças de temperaturas nos processos com coagulantes em uma maior concentração (C2), ambos os processos tiveram sua maior variação sendo 0,3 °C.

A temperatura não teve alterações muito grandes, pois a corrente elétrica que chegava aos eletrodos era muito baixa, assim como a condutividade da água. Caso contrário poderia ocorrer o aquecimento dos eletrodos, conseqüentemente aumentando a temperatura da água.

A tabela 19 apresenta a análise estatística para a temperatura

Tabela 19: Análise estatística temperatura

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P
Interação (Tratamento x Concentração)	2	12,5086	6,2543	74,0286	0,0001
Interação (Tratamento x Tempo de coleta)	8	0,6496	0,0812	0,9611	0,5216
Interação (Concentração x Tempo de coleta)	4	0,1848	0,0462	0,5469	0,7086

De acordo com a análise estatística apresentada na Tabela 19, o valor de P só foi menor que 0,05 na interação Tratamento x Concentração, evidenciando que o único fator que realmente mostrou uma variação significativa ao se mudar a variável foi a concentração do coagulante para cada tratamento.

6 CONCLUSÃO

Para os parâmetros turbidez e cor aparente é possível se concluir que a concentração 2 (50 mgL⁻¹) de *Moringa oleifera* apresentou maiores eficiências de remoção, sendo estas de 92% para turbidez e 47% para cor aparente.

Os valores de pH se mantiveram na faixa entre 7 e 9 para todos os tratamentos em ambas as concentrações, exceto a concentração 2 (50 mgL⁻¹) da *Moringa oleifera* que alcançou um pH acima de 11.

Os valores de condutividade elétrica obtidos mostram que as maiores concentrações dos coagulantes reduzem de forma significativa a corrente elétrica da água, chegando a 806,7 µS/cm para a *Moringa oleifera* e 856,3 µS/cm para o sulfato de alumínio ao fim dos 70 minutos de tratamento.

Os resultados obtidos para sólidos totais mostraram que o processo de eletrocoagulação associado ao sulfato de alumínio utilizado na concentração 2 (50 mgL⁻¹) atingiu melhores resultados na remoção desse parâmetro e que para a *Moringa oleifera* a concentração de sólidos totais aumenta conforme se aumenta a concentração do coagulante natural utilizado.

Os resultados para sólidos fixos e voláteis foram inconclusivos, pois variaram muito conforme os tempos, o tempo prolongado de armazenamento das amostras antes da realização do experimento pode ter contribuído para esse fato.

O parâmetro temperatura mostrou maior diferença no tratamento da eletrocoagulação associado à *Moringa oleifera* em relação aos outros, porém essa mudança não teve há ver com o tratamento e sim com a diferença de temperatura do ar dos dias em que foram realizadas as análises, que acabou interferindo na temperatura da água que estava armazenada.

No geral pode-se concluir que a associação da eletrocoagulação com o coagulante natural *Moringa oleifera* e/ou o coagulante químico sulfato de alumínio se mostrou mais eficiente do a eletrocoagulação utilizando uma corrente de 0,2 A e uma voltagem de 11,4 V. Tal fato demonstra que a associação da eletrocoagulação com o uso de outros coagulantes se mostra como uma alternativa viável para o tratamento de água.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a Ed. Washington, 2012.

ARANTES, Camila C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de Moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

BAZRAFESHAN, Edris; OWNAGH Kamal A.; MAHVI Amir H. Application of Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Electrodes for Fluoride Removal from Aqueous Environment. 2011. **E-Journal of Chemistry** 2012. p. 2297-2308. Disponível em: <http://www.jpcomplex.ir/Content/media/image/2013/08/772_orig.pdf> Acesso em: 2 Out. 2015

BEKTAS, Nihal et al. Removal of Phosphate From Aqueous Solutions by Electro-Coagulation. 2003. **Journal of Hazardous Materials**. p.101-105. 2004.

BEZERRA, Antonio Marcos E.; MOMENTÉ, Valéria G.; MEDEIROS, Sebastião. F. Germinação de Sementes e Desenvolvimento de Plântulas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em Função do Peso e da Semente e do Tipo de Substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n. 2, p. 295-299, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v22n2/21034.pdf>>. Acesso em: 7 Set. 2015.

BONGIOVANI, Milene C. Os Benefícios da Utilização de Coagulantes Naturais Para a Obtenção de Água Potável. 2010. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v.32, p 167-170, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/8238/8238>> Acesso em 7 Set. 2015.

BOURSCHEIDT C. T. et al. Coagulação/Floculação de Águas Residuárias do Processamento de Pescado Utilizado *Moringa oleifera* Lam. **Encontro Nacional de Moringa**. Maringá. Paraná. 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

CALDAS, Bárbara S.; CAMARA Carlos Alberto P. da. LOBO, Ilza. **Comparação de Sistemas de Tratamento de Efluentes por Eletrocoagulação/Eletroflotação para Reuso da Água Utilizando Eletrodos de Alumínio e de Ferro**. Encontro Anual de Iniciação Científica. Guarapuava, Paraná. 2010.

CARVALHO, Maria J. H. **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá. 2008.

CHEN, Guohua. Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. 2003. **Separation and Purification Technology**. v. 38, p 11-41. 2004. Disponível em: <http://www.jpcomplex.ir/Content/media/image/2013/08/772_orig.pdf> Acesso em: 1 Out. 2015

CORAL, Lucila A.; BERGAMASCO, Rosângela; BASSETI, Fátima J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. **International Workshop Advances in Cleaner Production**, São Paulo, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>> Acesso em: 26 Set. 2015

CRESPILHO, Frank Nelson; REZANDE, Maria Olímpia Oliveira. **Eletroflotação: princípios e aplicações**. 96p. São Carlos. 2004.

DI BERNARDO, Luiz; BOTARI, Alexandre; SABOGAL-PAZ, Lyda P. Uso de Modelação Matemática para Projeto de Câmaras Mecanizadas de Floculação em Série em Estações de Tratamento de Água. 2005. **Engenharia Sanitária Ambiental**. V.10, n.1, p 82-90. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000100010>. Acesso em: 20 Set. 2015

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª Ed. São Carlos. Editora: RiMa, 2005.

FRANCO, Elton S. **Avaliação da Influência dos Coagulantes Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor da Água Bruta e sua Relação com Sólidos na Geração de Lodo em Estações de Tratamento de Água**. 2009. 187f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <<http://www.proagua.ufop.br/joomla/images/stories/dissertacoes/elton santos.pdf>> Acesso em: 03 mai 2016.

GALLÃO, Maria I.; DAMASCENO, Leandro F.; BRITO, Edy S. Avaliação Química e estrutural da Semente de Moringa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n.1, p. 106-109, 2006. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/224/219>> Acesso em: 4 Out. 2015

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento**. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm> Acesso em: 8 Out. 2015

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010 - Características da população e dos domicílios - Resultados do universo**. Rio de Janeiro, 2011. 270 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso em: 8 Set. 2015.

JULIO, M. de. et al. **Avaliação da Influência dos Parâmetros de Mistura Rápida, Flocculação e Decantação no Tratamento de Água Empregando o Sulfato de Alumínio e o PAC**. 2008. UEPG Ci. Exatas Terra. P 109-120, Ponta Grossa, Paraná, 2008.

KUOKKANEN, Ville et al. Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater-A Review. **Green and Sustainable Chemistry**. v. 3. p 89-121. 2013.

LEME, Edson J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUScar, 2010.

LIBÂNIO, M. et al. **Avaliação do Emprego de Sulfato de Alumínio e do Cloreto Férrico na Coagulação de Águas Naturais de Turbidez Média e Cor elevada.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1365 – 1373, 1997.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ª Ed. 494p. Editora Átomo. Campinas, SP. 2010

MORETI, Lívia O. R. et al. Emprego das sementes de *Moringa oleífera* Lam, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **Revista e-xacta**, Belo Horizonte: UniBH, v. 6, n. 1, p. 153-164. 2013. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/991/586>> Acesso em: 22 Set. 2015

MUNIZ, Gustavo L.. et al. Uso de Sementes do Gênero *Moringa* para Clarificação de Águas com Diferentes Níveis de Turbidez. **XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas.** Minas Gerais. 2014. Disponível em: <http://meioambientepocos.com.br/portal/anais/2014/arquivos2014/USO_DE_SEMENTES_DO_GENERO%20%20MORINGA%20PARA%20CLARIFICACAO%20DE%20AGUAS%20COM%20DIFERENTES%20NIVEIS%20DE_TURBID.doc>. Acesso em 23 Mar. 2016

NDABIGENSERE, Anselme; NARASIAH, K. Subba; TALBOT, Brian G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleífera*. **Water Res.** v.29, n. 2, p. 703-710. 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>> Acesso em: 29 Set. 2015.

NISHI, L. et al. **Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa oleífera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. E oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água.** *3rd International Workshop | Advances in Cleaner Production*, São Paulo – Brazil, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/4/Nishi_L%20-%20Paper%20-%206B4.pdf> Acesso em: 23 Set. 2015

OLIVEIRA, Luana L. et al. **Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de *Moringa oleífera* Lam.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.1, n.1, p.204-210, Julho, 2011

PADILHA, D. J. et al. Análise da Utilização de Três Diferentes Coagulantes na Remoção da Turbidez de Água de Manancial de Abastecimento. **VII Encontro Internacional de Produção Científica**. Maringá, Paraná. 2011.

PATERNIANI, José E. S. et al. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V 13. P 765 – 771, Campina Grande, PB. 2009. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf>> Acesso em: 26 mar. 2016.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2001.

PEREIRA, Edilaine. R. et al. **Aplicação da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de água de piscina**. 11p. Maringá, PR. 2014.

QUEIROZ, Arlei T. de; OLIVEIRA, Luiz A. de. Relação entre produção e demanda hídrica na bacia do rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, Brasil. **Soc. nat.**, Uberlândia , v. 25, n. 1, p. 191-204, Apr. 2013 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132013000100015&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 8 Set. 2015

SANTOS, T. M. et al. Estudo do Tratamento Físico Químico da Água Utilizando Moringa Oleifera Lam em Comparação ao Sulfato de Alumínio. **II Encontro Nacional da Moringa**. Aracaju, Sergipe, 2010.

SANTOS, Thanara Z. dos. et al. **Estudo da Utilização de Floculantes Alternativos e Naturais em Tratamento de Água**. ENDICT- Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. 2010. Disponível em:< <http://www.utfpr.edu.br/toledo/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/anais-do-endict-encontro-de-divulgacao-cientifica-e-tecnologica/anais-do-ii-endict/Q%20Santos%20et%20al%20-%20108-111.pdf>> Acesso em: 2 Set. 2015

SCHOENHALS, Marise, **Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro Avícola**. 2006. 87f Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharias Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THEODORO, Joseane D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 2012. 184f. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Set. 2012.

THEODORO, Paulo S. **Utilização da Eletrocoagulação no Tratamento de Efluentes da Indústria Galvânica**. 2010. 112f Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, 2010.

VALVERDE K. C. et al. **Associação dos Coagulantes *Moringa oleifera* Lam e PAC no Processo de Clarificação de Água Superficial**. Encontro Nacional de Moringa. Maringá. Paraná. 2014.

VASCONCELOS, Vanessa M. et al. **Caracterização Físico-Química do Óleo de *Moringa Oleifera* Lam por Diferentes Solventes**. Encontro Nacional de Moringa. Aracaju, Sergipe. 2009.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al . Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclet. Quím.**, São Paulo , v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000400006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 Out. 2015.

VOLTAN, Paulo E. N. **Avaliação da ruptura e do recrescimento de flocos na eficiência de sedimentação em água com turbidez elevada**. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, vol 2, Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. DESA-UFMG, 211p. 1996

APÊNDICE A

Tabela A.1 – Valores de turbidez para cada repetição e concentração (NTU) (Eletrocoagulação e *Moringa oleifera*)

TEMPO (min)	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
10	191	151	157	281	181	263
20	178	138	142	195	154	229
40	148	133	129	89,4	50,1	135
60	135	137	133	30,5	29,8	53,6
70	130	150	139	23,4	24,3	45

Tabela A.2 – Valores de turbidez para cada repetição e concentração (NTU) (Eletrocoagulação e Sulfato de alumínio)

TEMPO (min)	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
10	156	150	93,8	116	138	129
20	152	149	86,4	106	118	98,3
40	145	140	85,1	92,2	90,1	91
60	136	122	96	60,3	65,5	65,2
70	127	124	100	53,5	69,3	67,8

Tabela A.3 – Valores de turbidez para cada repetição (NTU) (Eletrocoagulação)

TEMPO (min)	R1	R2	R3
10	330	263	254
20	334	263	264
40	334	263	245
60	344	267	225
70	341	271	185

Tabela A.4 – Valores de cor aparente para cada repetição e concentração (mgPt-Co.L⁻¹) (Eletrocoagulação e *Moringa oleifera*)

TEMPO	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
-------	------	------	------	------	------	------

(min)						
10	670	1400	550	1260	1040	1180
20	620	530	630	1090	1490	1060
40	610	500	610	880	640	860
60	640	700	670	420	630	660
70	590	740	870	570	340	540

Tabela A.5 – Valores de cor aparente para cada repetição e concentração (mgPt-Co.L⁻¹) (Eletrocoagulação e Sulfato de alumínio)

TEMPO	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
(min)						
10	464	680	260	590	550	600
20	810	580	220	1010	520	580
40	640	610	270	820	580	500
60	710	790	400	760	740	690
70	680	690	400	500	790	650

Tabela A.6 – Valores de cor aparente para cada repetição (mgPt-Co.L⁻¹) (Eletrocoagulação)

TEMPO	R1	R2	R3
(min)			
10	1230	1020	1220
20	1190	940	1120
40	1160	1260	1050
60	1230	1470	960
70	1270	1730	850

Tabela A.7 – Valores de pH para cada repetição e concentração (Eletrocoagulação e *Moringa oleifera*)

TEMPO	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
(min)						
10	8,3	7,18	6,95	7,97	7,28	10,36
20	8,43	7,54	6,86	9,01	9,32	9,98
40	8,28	7,8	7,94	10,45	11,07	11,16
60	8,68	8,21	8,46	11,24	11,5	11,47
70	9,19	8,41	8,86	11,01	11,27	11,69

Tabela A.8 – Valores de pH para cada repetição e concentração (Eletrocoagulação e Sulfato de alumínio)

TEMPO (min)	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
10	6,99	7,66	6,56	8,87	8,13	8,54
20	7,25	7,12	7,08	9,85	7,5	8,03
40	8,25	8,52	7,14	10,59	7,57	8,89
60	9,36	8,75	7,45	10,85	7,49	9,03
70	9,76	9,48	7,66	10,85	7,85	9,4

Tabela A.9 – Valores de pH para cada repetição (Eletrocoagulação)

TEMPO (min)	R1	R2	R3
10	6,5	7,48	8,63
20	6,65	8,12	10,5
40	6,88	8,59	10,77
60	7,07	8,76	11,17
70	7,2	8,82	10,74

Tabela A.10 – Valores de condutividade elétrica para cada repetição e concentração ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Eletrocoagulação e *Moringa oleifera*)

TEMPO (min)	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
10	3050	1051	1051	1032	987	913
20	2947	964	1033	560	974	668
40	2828	955	1021	1085	1028	1148
60	2797	950	1028	1040	1090	116
70	2821	925	798	646	913	861

Tabela A.11 – Valores de pH para cada repetição e concentração ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Eletrocoagulação e Sulfato de alumínio)

TEMPO (min)	R1C1	R2C1	R3C1	R1C2	R2C2	R3C2
10	2520	2466	2900	856	1165	993
20	1521	233	2790	800	1082	854

40	2490	2337	2784	774	965	807
60	2298	2220	2762	841	887	870
70	2235	2163	2699	792	880	897

Tabela A.12 – Valores de pH para cada repetição ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Eletrocoagulação)

TEMPO (min)	R1	R2	R3
10	2527	986	816
20	2449	915	955
40	2387	908	1049
60	2414	884	1039
70	2409	875	884

Tabela A.13 – Valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para cada repetição para concentração 1 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (*Moringa oleifera*)

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS	SÓLIDOS VOLÁTEIS
R1C1 (10 min)	350	110	240
R1C1 (20 min)	320	170	150
R1C1 (40 min)	190	110	130
R1C1 (60 min)	300	80	220
R1C1 (70 min)	320	30	290
R2C1 (10 min)	370	120	250
R2C1 (20 min)	250	40	210
R2C1 (40 min)	340	200	140
R2C1 (60 min)	390	60	330
R2C1 (70 min)	240	60	180

 min)

Tabela A.14 – Valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para cada repetição para concentração 2 (mg.L⁻¹) (*Moringa oleifera*)

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS	SÓLIDOS VOLÁTEIS
R1C1 (10 min)	450	70	380
R1C1 (20 min)	340	0	340
R1C1 (40 min)	240	110	130
R1C1 (60 min)	230	140	90
R1C1 (70 min)	220	10	210
R2C1 (10 min)	440	30	410
R2C1 (20 min)	420	130	290
R2C1 (40 min)	400	100	300
R2C1 (60 min)	340	60	280
R2C1 (70 min)	370	180	190

Tabela A.15 – Valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para cada repetição para concentração 1 (mg.L⁻¹) (Sulfato de alumínio)

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS	SÓLIDOS VOLÁTEIS
R1C1 (10 min)	260	140	120
R1C1 (20 min)	230	50	180
R1C1 (40 min)	80	80	0

min)			
R1C1 (60	200	130	70
min)			
R1C1 (70	930	150	780
min)			
R2C1 (10	270	40	230
min)			
R2C1 (20	170	70	100
min)			
R2C1 (40	560	550	10
min)			
R2C1 (60	960	900	60
min)			
R2C1 (70	80	80	0
min)			

Tabela A.16 – Valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para cada repetição para concentração 2 (mg.L⁻¹) (Sulfato de alumínio)

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS	SÓLIDOS VOLÁTEIS
R1C1 (10	260	80	180
min)			
R1C1 (20	170	100	70
min)			
R1C1 (40	150	20	130
min)			
R1C1 (60	340	90	250
min)			
R1C1 (70	100	20	80
min)			
R2C1 (10	260	180	80
min)			
R2C1 (20	190	160	30
min)			
R2C1 (40	140	40	100
min)			
R2C1 (60	340	80	260

min)			
R2C1 (70	230	110	120
min)			

Tabela A.17 – Valores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis para cada repetição (mg.L⁻¹) (Eletrocoagulação)

AMOSTRA	SÓLIDOS TOTAIS	SÓLIDOS FIXOS	SÓLIDOS VOLÁTEIS
R1 (10 min)	180	20	160
R1 (20 min)	380	50	330
R1 (40 min)	400	80	320
R1 (60 min)	290	80	210
R1 (70 min)	330	50	280
R2 (10 min)	400	30	370
R2 (20 min)	360	80	280
R2 (40 min)	470	110	360
R2 (60 min)	190	130	60
R2 (70 min)	260	110	150

Tabela A.18 – Valores da temperatura para cada repetição e concentração (°C) (*Moringa oleifera*)

TEMPO (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3
10	27	26	27	25	25	25
20	28	27	27	24	25	25
40	28	27	27	25	25	25
60	29	27	27	25	25	25

70	29	27	27	25	25	25
-----------	----	----	----	----	----	----

Tabela A.19 - Valores da temperatura para cada repetição e concentração (°C)(Sulfato de alumínio)

TEMPO (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3
10	25	25	25	26	25	24
20	25	25	25	26	26	24
40	25	25	25	26	26	24
60	25	25	25	26	26	24
70	25	25	25	26	26	24

Tabela A.20 - Valores da temperatura para cada repetição (°C) (Eletrocoagulação)

TEMPO (min)	R1	R2	R3
10	24	27	25
20	25	27	25
40	25	27	26
60	24	27	26
70	24	27	26