

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL**

FELLIPE JHORDÃ LADEIA JANZ

**COAGULANTES ORGÂNICOS E SULFATO DE ALUMÍNIO APLICADOS NO
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2018

FELLIPE JHORDÃ LADEIA JANZ

**COAGULANTES ORGÂNICOS E SULFATO DE ALUMÍNIO APLICADOS NO
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA

2018



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Coagulantes orgânicos e sulfato de alumínio aplicados no tratamento de efluente de indústria cervejeira

por

Fellipe Jhordã Ladeia Janz

Monografia apresentada no dia 03 de dezembro de 2018 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, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
(UNICAMP – Departamento de Água e Solo)

Prof. MsC. Isabela Bruna de Tavares Machado Bolonhesi
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me dar força, paciência, sabedoria, dedicação e não me deixar desistir diante dos momentos difíceis.

Agradeço todos os meus familiares, em especial aos meus pais, Heder e Adilza, pelo amor, carinho, compreensão, pelos ensinamentos e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis da vida e por nunca medirem esforços para que eu realizasse todos os meus sonhos. Ao meu grande amigo e irmão, Jhonas, por sempre me apoiar, conversar, me motivar e sempre estar ao meu lado em todos os momentos. A minha tia Francisca Ladeia, por sempre fazer um papel de segunda mãe, me incentivando, apoiando e me dando atenção e carinho.

Agradeço minha namorada, Thaís Ribeiro, pois sempre esteve comigo e me ajudou nos momentos difíceis da graduação, me dando apoio, carinho, atenção e motivação, não me deixando desistir e sempre me incentivando a continuar.

Aos meus amigos, Dandley Vizibelli e Thiago Ferreira, que acompanharam todos os sacrifícios da graduação, por sempre estarem a disposição para eu compartilhar os momentos de alegria e tristeza.

À Thaysa Moya sou grato por me incentivar a ingressar na graduação e por não me deixar perder a inscrição da mesma.

Meus sinceros agradecimentos à Prof.^a Dr.^a Edilaine Regina Pereira, pela paciência, apoio, ensinamentos e pela orientação durante a realização deste trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental pelos ensinamentos transferidos e pelos incentivos.

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente, mesmo que não tenham sido citados!

RESUMO

JANZ, F. J. L. **Coagulantes orgânicos e inorgânicos aplicados no tratamento de efluente de indústria cervejeira**. 2018. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

O processo de produção de cerveja gera grande quantidade de efluente, pois consome até 10L de água para cada litro de cerveja e a grande maioria se torna efluente, contendo grande quantidade de matéria orgânica, podendo causar problemas ambientais se não tratado. Sabendo do potencial poluidor do efluente de cervejaria foi proposto um comparativo entre aplicação de três coagulantes diferentes (extraído da semente de *Moringa oleifera*, Tanino e Sulfato de Alumínio) para condições diferentes do efluente, que foi obtido a partir de três diferentes pontos do sistema de tratamento de efluente, sendo o ponto A – o efluente após o tratamento preliminar, o ponto B – o efluente após tratamento por lagoas anaeróbias e o ponto C – o efluente final. O experimento foi realizado em Jar-Test usando concentração de 9 mL.L⁻¹ de coagulante, sendo que todo o procedimento foi realizado em triplicada com coletas nos tempos de 3, 13, 23 e 33 minutos de sedimentação. Foram analisados os parâmetros de cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH, temperatura, demanda química de oxigênio e sólidos totais. Os melhores resultados de redução de cor aparente e turbidez foram utilizando o efluente coletado no ponto A, sendo que todos os coagulantes tiveram porcentagens superiores a 84% de redução de cor aparente e maiores que 89% para redução de turbidez, sendo a maior redução de cor aparente obtida com a *Moringa oleifera* e a maior redução de turbidez usando Sulfato de Alumínio. A condutividade elétrica sofreu influência quando usado o coagulante extraído da semente de *Moringa oleifera* devido a solução salina presente. A remoção de sólidos totais teve os melhores resultados no ponto A o destaque foi o Tanino com 35% de remoção, enquanto o Sulfato de Alumínio obteve vantagem nos pontos B e C. A demanda química de oxigênio obteve seu melhor resultado quando aplicado o tratamento com coagulante Tanino no efluente coletado no ponto A. Assim após a realização do presente estudo recomenda-se a aplicação do coagulante Tanino no ponto A, pois nesse ponto de coleta o coagulante orgânico apresentou altos valores de remoção de cor aparente e de turbidez, e conseguiu obter a maior remoção de demanda química de oxigênio se comparado aos demais coagulantes.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*; Tanino; Sulfato de Alumínio.

ABSTRACT

JANZ, F. J. L. **Organic coagulants and aluminum sulphate applied in the treatment of brewer industrial effluent.** 2018. 60 p. Graduation in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2018.

The beer production process generates a large amount of effluent, consuming up to 10L of water for each liter of beer, and the vast majority becomes effluent, containing a large quantity of organic matter, which can cause environmental problems if not treated. Knowing the pollutant potential of the brewery effluent, a comparison was made between three different coagulants (extracted from *Moringa oleifera*, Tannin and Aluminum Sulphate) for different effluent conditions, which was obtained from three different points in the treatment of effluent, where point A - the effluent after the preliminary treatment, point B - the effluent after treatment by anaerobic lagoons and the point C - the final effluent. The experiment was performed in Jar-Test using a concentration of 9 mL.L⁻¹ of coagulant, and the whole procedure was done in triplicate with collections at the times of 3, 13, 23 and 33 minutes of sedimentation. The parameters of apparent color, turbidity, electrical conductivity, pH, temperature, chemical oxygen demand and total solids were analyzed. The best results of apparent color reduction and turbidity were obtained using the effluent collected at point A, and all coagulants had percentages above 84% of apparent color reduction and greater than 89% for turbidity reduction, being the largest reduction of apparent color obtained with *Moringa oleifera* and the highest turbidity reduction using Aluminum Sulphate. The electrical conductivity was influenced when the coagulant extracted from the *Moringa oleifera* seed was used due to the saline solution present. The removal of total solids had the best results at point A, the highlight was the Tannin with 35% of removal, while the Aluminum Sulphate obtained advantage in points B and C. The chemical oxygen demand obtained its best result when applied the treatment with Tannin coagulant in the effluent collected at point A. So after the accomplishment of the present study it is recommended the application of the coagulant Tanino at point A, because at this point of collection the organic coagulant presented high values of removal of apparent color and turbidity, and managed to obtain greater removal of chemical oxygen demand when compared to other coagulants.

Keywords: *Moringa oleifera*; Tannin; Aluminum sulfate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Panorama da Indústria Cervejeira no Brasil	12
3.2	Tratamento de efluentes	13
3.3	Processos do tratamento físico-químico	14
3.3.1	<i>Coagulação</i>	15
3.3.2	<i>Floculação</i>	16
3.3.3	<i>Sedimentação</i>	16
3.4	Coagulantes inorgânicos	17
3.4.1	<i>Sulfato de alumínio</i>	17
3.5	Coagulantes orgânicos	18
3.5.1	<i>Moringa oleifera</i>	18
3.5.2	<i>Tanino</i>	19
3.6	Conselho Nacional do Meio Ambiente	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Local de coleta.....	22
4.2	Local do ensaio.....	23
4.3	Preparo das soluções coagulantes	23
4.4	Pré-ensaio	25
4.5	Ensaio Laboratorial	26
4.6	Parâmetros analisados	27
4.7	Análise Estatística	27
5	RESULTADOS	28
5.1	Caracterização do Efluente.....	28
5.2	pH.....	29
5.3	Turbidez.....	33
5.4	Cor aparente.....	37
5.5	Temperatura	42

5.6	Condutividade elétrica	45
5.7	Sólidos totais	49
5.8	Demanda química de oxigênio	52
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O setor cervejeiro no Brasil apresenta constante crescimento, isso é evidenciado quando se analisa os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), tais dados mostram que no ano de 2007 o país possuía aproximadamente 100 cervejarias registradas no Brasil, porém, com o crescimento desse setor e com o surgimento das chamadas microcervejarias, atualmente se tem registro de 610 empreendimentos.

As regiões Sul e Sudeste possuem juntas cerca de 83% de todos os empreendimentos registrados, sendo que os Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina são os que mais possuem cervejarias, contendo, respectivamente, 122, 119 e 73 cervejarias (MAPA,2018).

A média da produção entre os anos de 2012 e 2016 superou os 13,5 bilhões de litros de cerveja produzido ao ano, dando ao Brasil o título do terceiro maior produtor de cerveja. Porém com o aumento da produção também ocorre um aumento na demanda de água para produção, pois é necessário o consumo de 4 a 10L de água para a produção de 1L de cerveja (CETESB, 2005).

O efluente da indústria cervejeira é considerado um dos principais impactos ambientais gerados, pois possui grande potencial poluidor quando gerenciado e destinado de forma irregular. Além de ser gerado em grande quantidade, ele também apresenta elevada concentração de matéria orgânica (1200 a 3000 mgL⁻¹ de DBO), sólidos suspensos (100 a 800 mgL⁻¹) e nutrientes, como fósforo e nitrogênio (CETESB, 2005).

A preocupação com a eficiência no tratamento de efluente se deve à busca da otimização nos tratamentos para que seja possível obter resultados ao final do tratamento que esteja dentro dos limites permitidos pelas leis. A resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n°430 de 2011 surgiu como uma diretriz sobre as condições e padrões de lançamento de efluente, assim complementando a resolução CONAMA n°357 de 2005.

O uso dos processos físico-químicos possui elevada eficiência na redução de cor aparente, turbidez e material suspenso, assim podendo ser empregados no tratamento da água para reuso e como processo auxiliar no tratamento biológico,

sendo comumente utilizados coagulantes inorgânicos devido às suas capacidades de remoções conhecidas.

A substituição do uso de coagulantes inorgânicos por coagulantes orgânicos vem sendo estudada em diversos setores, pois os resultados apresentados são semelhantes na eficiência de redução de cor aparente, turbidez e matéria orgânica, ademais os coagulantes orgânicos são biodegradáveis, atóxicos e geram menor quantidade de lodo residual.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar e comparar o comportamento dos coagulantes orgânicos e inorgânico no tratamento do efluente da indústria cervejeira visando demonstrar suas eficiências.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve como objetivo geral comparar o desempenho dos coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e Tanino em relação ao coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de coagulação/floculação seguido por sedimentação simples de efluente proveniente de indústria cervejeira.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura;
- Avaliar a eficiência de remoção por sedimentação dos parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos totais e demanda química de oxigênio;
- Comparar os resultados de cada tratamento com a legislação CONAMA nº430 de 2011.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

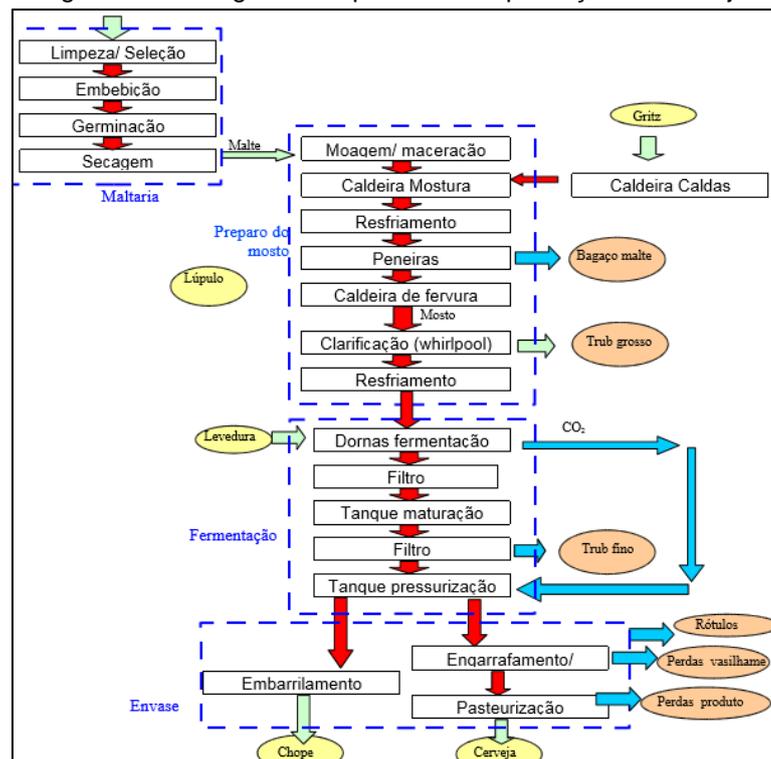
3.1 Panorama da Indústria Cervejeira no Brasil

Conforme Morado (2009), a história da humanidade e da cerveja está fundida, pois evidências arqueológicas apontam que o início da produção da cerveja ocorreu junto com a chamada Revolução Agrícola por volta de 9000 a.C. na Ásia Ocidental, a partir do fim da vida nômade e o início da produção de grãos e sementes. Também é possível encontrar registro na história que a produção de cerveja já ocorria na Europa nas regiões onde se plantavam grãos ao invés da uva desde a idade do Bronze (período que durou entre 1800 a 700 a.C.) (BELTRAMELLI, 2012).

A produção de cerveja no Brasil vem crescendo ao longo dos anos em uma taxa de 5% ao ano, sendo o Brasil considerado, em 2014, o terceiro maior produtor de cerveja do mundo com uma produção de 14 bilhões de litros de cerveja (CERVBRASIL, 2015).

O processo de produção da cerveja ocorre conforme a Figura 1, sendo composto pelas seguintes etapas: maltaria, preparo do mosto, fermentação e envase. A etapa de fermentação é considerada a mais importante, uma vez que é nela que ocorre a transformação dos açúcares da cevada em álcool.

Figura 1 – Fluxograma do processo de produção da cerveja.



Fonte: CETESB (2005).

A produção de cerveja demanda grande quantidade de água, sendo que o consumo de água possui uma relação de até 10:1, ou seja, são necessários 10L de água para a produção de 1L de cerveja. A maior parte da água consumida é usada para operações de limpeza, podendo ser de pisos, equipamentos e vasilhames, assim gerando grande quantidade de efluente (CETESB, 2005).

A geração de efluente nas cervejarias tem como principais origens as etapas de envase e da fermentação. O efluente proveniente do processo de fermentação apresenta pequena geração de volume, sendo apenas 3% do volume total gerado, porém com alto teor de matéria orgânica. Já o efluente gerado pela lavagem de garrafas e equipamentos, apesar de ser um grande volume, apresenta pouca carga orgânica (CETESB, 2005).

O efluente da indústria cervejeira é considerado como um dos principais possíveis impactos ambientais desse setor devido à produção de grande quantidade de efluente que tem como características grande teor de sólidos suspensos, bastante carga orgânica e nutrientes (fósforo e nitrogênios) (CETESB, 2005).

Conforme World Bank Group (1999), o efluente proveniente do processo industrial da fabricação de cerveja apresenta as seguintes características: sólidos suspensos entre 10 a 60 mg.L⁻¹, Demanda Química de Oxigênio (DQO) entre 3000 a 4000 mg.L⁻¹, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) variando entre 1500 a 3000 mg.L⁻¹, podendo apresentar concentração de 30 a 100 mg.L⁻¹ de nitrogênio (N) e fósforo (P) de 10 a 30 mg.L⁻¹.

3.2 Tratamento de efluentes

Conforme Von Sperling (1996), o tratamento de efluente tem como objetivo adequar determinado efluente para que o mesmo obtenha padrões de qualidade requeridos pela legislação vigente para que seja lançado no corpo receptor. O tratamento de efluente possui vários níveis de tratamento, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário, sendo que o nível terciário de tratamento ocorre apenas eventualmente.

O tratamento preliminar se caracteriza como uma etapa física e tem como objetivo remover as partículas grosseiras, flutuantes e materiais minerais sedimentáveis. Os sólidos podem ser removidos por grades, desarenadores, peneiras e caixas de retenção de óleo e gordura. (NUNES, 2012)

O nível primário de tratamento é uma etapa física com objetivo de remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, sólidos flutuantes e orgânicos. O efluente percorre vagorosamente tanques de decantação que permitem que os sedimentos sejam removidos do meio líquido.

O nível primário de tratamento pode ser feito com adição de coagulantes e polímeros, também chamado de tratamento primário químico assistido – CEPT tem demonstrado elevada eficiência de sedimentação e remoção de sólidos, com valores de 70 a 85% de remoção de sólidos suspensos totais e 45 a 55% de DBO (JORDÃO; PESSOA, 2006)

O tratamento do nível secundário se destaca por ser uma etapa biológica, tendo como objetivo a remoção de sólidos não sedimentáveis, DBO suspensa fina e DBO solúvel, podendo apresentar remoção parcial de nutrientes e patogênicos. O processo de remoção desses elementos ocorre por meio de microrganismos (bactérias, fungos e outros) através de reações bioquímicas, podendo ser aeróbio ou anaeróbio. Existem diversos métodos de tratamento secundário, sendo que os mais comuns são: Lagoa de estabilização e variantes; Lodos ativados e variantes; Filtro biológico e variantes; e Tratamento anaeróbio. Esse nível de tratamento pode apresentar eficiência de remoção de 60 a 99% para DBO, de 80 a 99% para remoção de coliformes e de 10 a 50% de remoção dos nutrientes, dependendo do método utilizado (VON SPERLING, 1996).

Conforme Nunes (2012), o nível terciário de tratamento do efluente é realizado quando se pretende ter melhor qualidade do efluente ou a remoção de substâncias contidas na água residuária, sendo que para esse tratamento podem ser usados diversos processos, entre eles: adsorção por carvão ativado, osmose reversa, filtros de areia e oxidação química.

3.3 Processos do tratamento físico-químico

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005), para que ocorra a remoção de impurezas é necessário que ocorra mudança na característica do que vai ser tratado. O processo de clarificação é uma das formas de remoção dessas impurezas, sendo composta por três operações: coagulação, floculação e sedimentação e possui como objetivo a remoção de sólidos suspensos e sólidos dissolvidos (LIBÂNIO, 2010).

3.3.1 Coagulação

O processo de coagulação ocorre com a adição do agente coagulante na água, que desestabiliza as partículas suspensas e coloidais através de ações físicas e reações químicas entre a água, o coagulante e as impurezas presentes. As impurezas presentes na água podem ser partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos que apresentam cargas elétricas quando junto a água (LIBÂNIO, 2010). Devido as cargas elétricas apresentadas pelas impurezas ocorre a necessidade de adição de sais de alumínio ou ferro, de polímeros sintéticos ou vegetais catiônicos para que ocorra a alteração da força iônica do meio, dessa forma permitindo que ocorra o fenômeno da coagulação.

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005), a coagulação é considerada o resultado da ação individual ou conjunta dos seguintes mecanismos: compreensão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes. Esses mecanismos são descritos das seguintes formas:

- o processo de compreensão da dupla camada elétrica - é o mecanismo responsável pela desestabilização das partículas coloidais por meio da adição de íons de camada contrária;
- adsorção e neutralização - desestabilização de uma dispersão coloidal por meio das interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente;
- varredura - mecanismo que poderá apresentar formação de precipitados dependendo da quantidade de coagulante empregado no tratamento, o pH da mistura e a concentração de íons no meio;
- adsorção e formação de pontes - mecanismo que ocorre através da adição de polímeros orgânicos que reduzem a quantidade de coagulantes e favorecem a coagulação através das formações de pontes químicas.

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005) se faz necessário que o processo de coagulação ocorra em agitação intensa melhorando a eficiência na formação de espécies hidrolisadas através das interações entre coagulante e água.

3.3.2 *Floculação*

O processo de floculação se trata do agrupamento das partículas desestabilizadas dispersas na água que, sob condições de agitação lenta, se unem por meio de colisões. Dessa forma ocorre a formação dos flocos, sendo eles partículas maiores e mais densas (SCHOENHALS, 2006).

Ocorrem, na etapa de floculação, condições favoráveis para o contato e a aglomeração das partículas anteriormente coaguladas, assim possibilitando a formação de flocos com tamanho e massas específicas que possibilitem a remoção das impurezas por meio da sedimentação, flotação ou filtração (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A formação dos flocos ocorre por três fenômenos: floculação pericinética (movimento browniano), floculação ortocinética (movimento do fluido) e sedimentação diferencial (sedimentação dos flocos). Voltan (2007) define esses fenômenos das seguintes formas: floculação pericinética é o movimento errático das partículas causados pela energia térmica; floculação ortocinética é o processo de encontro das partículas com diferença de gradiente de velocidade das partículas; e sedimentação diferencial é o choque das partículas através das diferentes velocidades de sedimentação.

3.3.3 *Sedimentação*

O processo de sedimentação se trata de uma operação física de separação de partículas por meio da diferença de densidade, desta forma esse processo separa as partículas sólidas, com densidades maiores, do meio líquido, que apresenta uma menor densidade. Esse processo ocorre devido a ação da gravidade, dessa forma as partículas mais pesadas tendem a ir para o fundo. Assim, ocorre a clarificação do líquido sobrenadante e a formação da cama de lodo (VON SPERLING, 1996).

Carvalho (2008) também descreve o processo de sedimentação como sendo um fenômeno baseado na utilização das forças gravitacionais para separação das impurezas do meio líquido, destacando que a sedimentação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais utilizados no tratamento de água. Devido ao pequeno tamanho de algumas partículas ou pela sua densidade ser

próxima a do meio líquido, estas não conseguem sedimentar, sendo necessário o uso do processo de filtração para a remoção dessas impurezas.

3.4 Coagulantes inorgânicos

Os coagulantes inorgânicos são os coagulantes mais usados, destacando os sais de alumínio e ferro, devido ao fato de apresentarem baixo custo e capacidade de coagulação comprovada no tratamento de água e efluente. Porém o uso dos coagulantes inorgânicos apresenta uma preocupação ambiental, pois o lodo gerado pode conter íons solúveis, assim dificultando a sua disposição final e podendo causar danos à saúde humana (VAZ,2009).

3.4.1 Sulfato de alumínio

Conforme Cavalcanti (2009), a aplicação do coagulante sulfato de alumínio no tratamento de efluente é capaz de eliminar grande quantidade de elementos sólidos em suspensão ou coloidais, e seu uso vem ocorrendo há vários anos, sendo esse coagulante usado desde a época dos egípcios.

Conforme Rosalino (2011), a eficiência do sulfato de alumínio é apresentada em valores de pH entre 5,5 e 8,5, pois nos demais valores de pH os íons do sulfato de alumínio ficam solúveis em água e acabam não precipitando, assim tornando o coagulante ineficiente.

Carvalho (2008) destaca como característica negativa ao uso do sulfato de alumínio a geração do lodo ao longo do tratamento, pois o lodo gerado não é considerado biodegradável, podendo apresentar concentração de metais, sendo necessário um maior cuidado no tratamento e disposição final.

O Sulfato de Alumínio no tratamento de efluente de indústria de galvanizados apresentou eficiência de redução de 98,13% na cor aparente e 98,78% na turbidez, com uma concentração de 40ppm (VAZ, 2009). No estudo de Neves (2016), o tratamento de efluente de indústria têxtil com o uso de Sulfato de Alumínio obteve eficiência máxima de 24,42% para redução de turbidez e 37% para redução de cor aparente, porém os resultados são para concentrações diferentes de coagulante, sendo 800mg.L⁻¹ e 550mg.L⁻¹, respectivamente. Estudos de tratamento de efluente de indústria cervejeira associado ao uso do coagulante sulfato de alumínio não foram

encontrados, uma vez que os trabalhos encontrados com esse tipo de efluente possuem foco no tratamento de nível secundário.

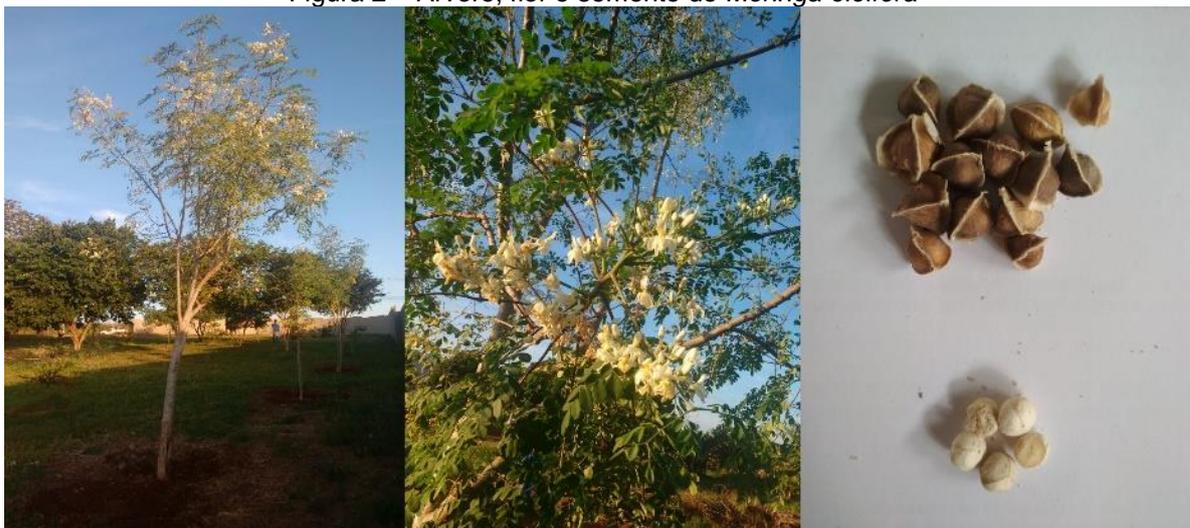
3.5 Coagulantes orgânicos

Os coagulantes retirados da natureza são biodegradáveis, sem toxicidade, tendo menor produção de lodo com uma menor concentração de metais, assim apresentando vantagens sobre os coagulantes inorgânicos geralmente utilizados (BONGIOVANI et al.,2010).

3.5.1 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* apresentada na Figura 2 pertence à família Moringaceae, composta de apenas um gênero e quatorze espécies. Trata-se de uma árvore nativa da Índia de porte pequeno, rápido crescimento, grande resistência às secas e consegue viver em diversos tipos de solo (Cardoso et al., 2009). Segundo Bezerra, Momenté e Medeiros Filho (2004), a *Moringa oleifera* se adaptou muito bem a região do nordeste brasileiro, pois essa região apresenta dias mais longos e com temperaturas acima de 25°C.

Figura 2 – Árvore, flor e semente de *Moringa oleifera*



Fonte: Autor próprio (2018)

A *Moringa oleifera* tem sido aproveitada de diversas formas pelo homem, além do uso no tratamento de água, também se tem explorado nas áreas de alimento a

partir do uso de diversas partes da planta, na indústria de cosméticos com exploração do óleo extraído da semente, na área da medicina e como fonte de energia por meio da sua madeira e do óleo extraído (BEZERRA; MOMENTÉ; MEDEIROS FILHO, 2004).

O estudo de Gallão, Damasceno e Brito (2006) demonstrou que a *Moringa oleifera* é composta por 40% de proteína. A proteína catiônica encontrada possui alto peso molecular, sendo ela responsável pela desestabilização das partículas dispersas na água. A proteína extraída da semente da *Moringa oleifera* apresenta uma reação semelhante ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos, polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou vegetal.

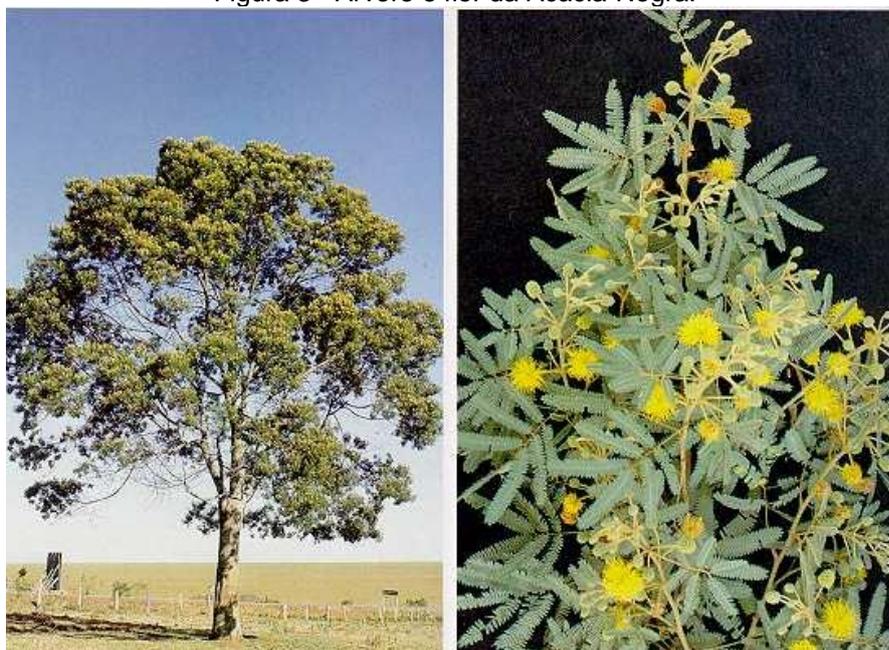
As vantagens apontadas no uso do coagulante natural *Moringa oleifera* em relação aos demais coagulantes é o fato dela apresentar menor geração de volume de lodo e possuir uma ampla faixa de pH, variando entre os valores de 4 e 12, assim dispensando o custo de operação com a correção do pH (VAZ, 2009).

No estudo de Vaz (2009) o uso da *Moringa oleifera* apresentou bons resultados no tratamento de efluente de indústria de galvanoplastia, sendo apresentado uma eficiência de 90,3% e 92,9% de redução para cor aparente e turbidez, respectivamente. O tratamento de efluente de indústria de café solúvel apresentou eficiência máxima de 25,6% para redução de cor aparente (PALEARI, 2014). A *Moringa oleifera* também pode ser usada como coagulante no pós-tratamento de efluente de indústria cervejeira, como no estudo de Arruda et al. (2015) em que houve uma eficiência de redução de cor aparente de aproximadamente 80%, fazendo com o que efluente atendessem a legislação pertinente.

3.5.2 Tanino

O Tanino, utilizado no presente trabalho, é extraído da casca da Acácia-Negra (*Acacia mearnsii*). A Acácia-Negra, conforme mostrada na Figura 3, se trata de uma leguminosa arbórea, originária da Austrália, e pode atingir até 10m de altura. Atualmente é a terceira espécie florestal mais plantada no Brasil, sendo explorada para extração de tanino, celulose e produção de carvão (EMBRAPA, 2003).

Figura 3 - Árvore e flor da Acácia-Negra.



Fonte: SILVA (1999).

O tanino derivado de vegetais apresenta bastante eficiência no tratamento de efluente e água por agir nos sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre as partículas, assim realizando a formação dos flocos mais densos e volumosos e por consequência a sedimentação das impurezas.

Cruz (2004) apresenta algumas vantagens ao comparar o tanino com os coagulantes inorgânicos, sendo essas vantagens: menor custo, matéria prima renovável, menor quantidade de ânions sulfatos e cloretos no efluente final, menor volume de lodo produzido, sendo esse lodo orgânico de maior facilidade de destinação final.

Devido sua grande eficiência no processo de coagulação e por ser uma substância natural, o Tanino tem se mostrado como alternativa na substituição dos coagulantes orgânicos. A Argentina e o Paraguai já fazem o uso desse coagulante nos tratamentos, porém no Brasil, por falta de investimento no mercado, o uso desse produto se torna inviável por causa do valor (SILVA, 1999).

O uso do tanino como coagulante para o tratamento de efluente de indústria de café solúvel apresentou eficiência máxima de 51,5% na redução de cor aparente nos estudos de Paleari (2014), e nos estudos realizados por Vaz (2009) utilizando o tanino no tratamento de efluente de indústria de galvanoplastia o tanino apresentou eficiência de 96,77% e 99,38% para redução de cor aparente e turbidez, respectivamente.

3.6 Conselho Nacional do Meio Ambiente

A legislação brasileira define que o efluente para ser lançado deve estar de acordo com a Resolução de nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, pois ela quem dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução nº 357/2005. Dessa forma, o lançamento só poderá ocorrer quando o efluente estiver em conformidade com todos os valores estabelecidos pelo CONAMA, assim sendo necessário que ocorra o tratamento de efluente de modo que ele se enquadre nas condições e padrões estabelecidos.

As condições e padrões de lançamentos dispostos na Resolução nº430/2011 do CONAMA podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de lançamento de efluentes.

Parâmetro	Condição
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1mL.L ⁻¹
Regime de lançamento	vazão máxima de 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos e Graxas	Até 20mg.L ⁻¹ para óleos minerais
	Até 50mg.L ⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais;
Materiais flutuantes	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Remoção mínima de 60%
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg.L ⁻¹

Fonte: CONAMA nº430/2011.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de coleta

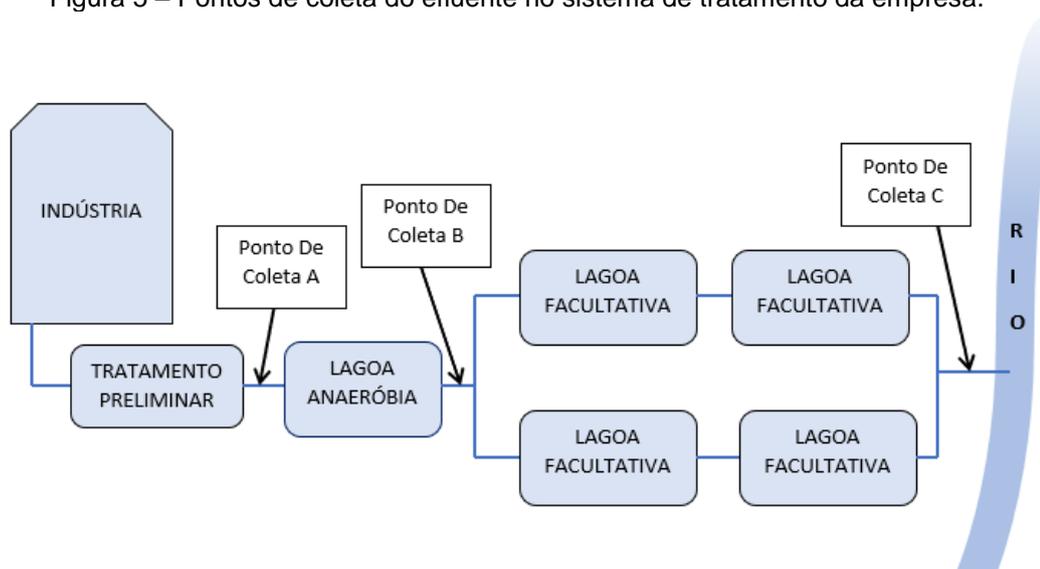
O efluente utilizado no experimento foi coletado em uma indústria cervejeira localizada na região de Londrina no norte do Estado Paraná (Figura 4).

Figura 4 – Localização de Londrina no estado do Paraná.



A forma de tratamento do efluente na empresa ocorre por tratamento em lagoas, sendo um sistema australiano (lagoa anaeróbia seguido por lagoa facultativa) (Figura 5).

Figura 5 – Pontos de coleta do efluente no sistema de tratamento da empresa.



Fonte: Autor próprio (2018)

As coletas foram realizadas em três pontos (Figura 5), sendo uma coleta ao início da estação de tratamento de efluente após o tratamento preliminar (A), uma após o

tratamento anaeróbio (B) e a terceira coleta ao fim do processo de tratamento de efluente (C), após as lagoas facultativas, momentos antes do lançamento do efluente ao corpo hídrico.

4.2 Local do ensaio

A realização dos ensaios e análises foram realizadas nos Laboratório de Saneamento e no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Figura 6), que se localiza na região leste da cidade Londrina nas seguintes coordenadas: latitude 23°18'25,7"S e longitude 51°06'57,6"O.

Figura 6 – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Londrina*.



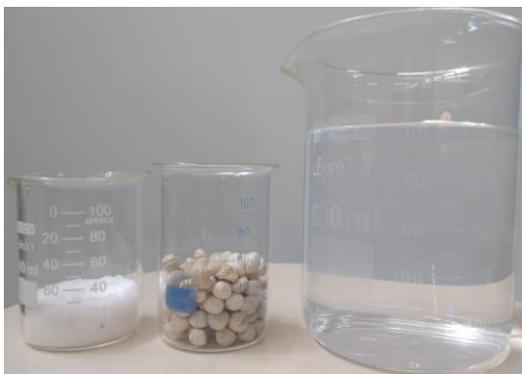
Fonte: Google Maps (2018)

4.3 Preparo das soluções coagulantes

O preparo da solução coagulante extraída da semente de *Moringa oleifera* foi realizada conforme Janz et al. (2018), usando solução salina com concentração de 1M para extração dos princípios ativos e 50g de semente descascada. Na Figura 7 é apresentado os ingredientes utilizados para a preparação da solução de *Moringa oleifera*. O primeiro passo foi preparar a solução salina com a diluição de 1M de NaCl (58,44g) em 1 litro de água destilada, posteriormente triturou-se 50g da semente de moringa descascada junto a solução salina com o uso de um liquidificador. Após a

trituração foi realizado a filtração da solução coagulante com um coador de pano, assim removendo as partículas mais grosseiras.

Figura 7 – Ingredientes para o preparo da solução orgânica de *Moringa Oleífera*



Fonte: Autor próprio (2018)

Para a solução coagulante de Tanino reservou-se um balão volumétrico com 1000mL de água destilada, posteriormente mediu-se 5mL de Tanino e transferiu-se para o balão volumétrico, em seguida a mistura foi homogeneizada.

A solução do coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio foi preparada com a diluição de 5g de Sulfato de Alumínio em 1000mL de água destilada, sendo utilizado para isso um balão volumétrico.

Na Figura 8 são apresentadas as soluções coagulantes prontas: no lado esquerdo a solução de *Moringa Oleífera*, a solução de Tanino ao centro da imagem e no lado esquerdo a solução de Sulfato de Alumínio.

Figura 8 – Soluções coagulantes de *Moringa oleífera*, Tanino e Sulfato de Alumínio.



Fonte: Autor próprio (2018)

4.4 Pré-ensaio

A realização de um pré-ensaio é essencial para a definição das melhores condições de concentrações de cada coagulante utilizado durante os ensaios, assim determinada a dosagem ideal de coagulante para cada ensaio.

O pré-ensaio (Figura 9) foi realizado colocando uma quantidade pré-definida de efluente em béquer de 100mL, posteriormente acrescentou-se concentrações de 3mgL^{-1} , 6mgL^{-1} e 9mgL^{-1} das soluções coagulantes. Após agitação da solução coagulante foi necessário esperar alguns minutos para que ocorresse o processo de coagulação, em seguida foi verificado qual das concentrações apresentou melhor grau de floculação, assim sendo determinado qual seria a concentração a ser utilizada.

Figura 9 – Pré-Ensaio.



Fonte: Autor próprio (2018)

Após realizado o pré-ensaio foi determinado que a concentração a ser utilizada no estudo para os três coagulantes seria de 9mgL^{-1} , pois essa concentração conseguiu obter coagulante do efluente com os três coagulantes proposto.

4.5 Ensaio Laboratorial

Os ensaios foram realizados em equipamento Jar test (Figura 10), o modelo de fabricação do aparelho é 218/06 LDB de marca Nova Ética com capacidade para 6 jarros graduados de 2 litros cada.

Figura 10 – Aparelho de Jar-Test da marca Nova Ética.



Fonte: Autor próprio (2018)

O experimento foi composto por três tratamentos, sendo que cada tratamento utilizou um coagulante diferente. Destacam-se:

- T1 – Tratamento com coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio;
- T2 – Tratamento com coagulante orgânico extraído da semente de *Moringa oleifera*, porém durante o estudo mencionou-se apenas como coagulante *Moringa oleifera*;
- T3 – Tratamento com coagulante orgânico Tanino extraído da casca da Acácia-Negra, durante o trabalho denominado apenas como coagulante Tanino.

A realização do ensaio Jar-Test seguiu adaptações da metodologia de Theodoro (2012), dessa forma o aparelho foi programado para que após a adição dos tratamentos propostos o aparelho realizasse uma agitação rápida simulando o processo de coagulação durante 3 minutos com uma rotação de 150 rpm, seguido por 10 minutos de agitação lenta para simular o processo de floculação, que se deu numa rotação de 15 rpm, e por fim, ocorreu o desligamento do aparelho para que ocorresse o processo de sedimentação.

Após iniciado o processo de sedimentação foram realizadas coletas do efluente nos tempos de 3, 13, 23 e 33 minutos (JANZ et al., 2018).

A partir do momento da coleta nos tempos determinados foram realizados os procedimentos de análise de cada amostra.

4.6 Parâmetros analisados

Durante o estudo foram analisados os seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH, sólidos totais e demanda química de oxigênio. Os procedimentos foram realizados conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Na Tabela 2 encontram-se relacionados os parâmetros com suas respectivas metodologias:

Tabela 2 – Parâmetros e metodologia utilizada para o monitoramento do ensaio.

Parâmetro	Metodologia	Equipamento
Cor aparente	2120 – C	Espectrofotômetro DR 5000 – HACH
Turbidez	2130 – B	Turbidímetro AP 2000 – Policontrol
Condutividade elétrica	2510 – B	Condutivímetro Digital Portátil CD 860 - Instrutherm
pH	4500 H + B	Medidor de pH de Bancada MPA 210 - Tecnopon
Temperatura	2550 – B	Medidor de pH de Bancada MPA 210 - Tecnopon
Sólidos Totais	2540	Mufla e Estufa
DQO	5220	Bloco digestor de DQO – Policontrol

Fonte: Autor próprio (2018)

4.7 Análise Estatística

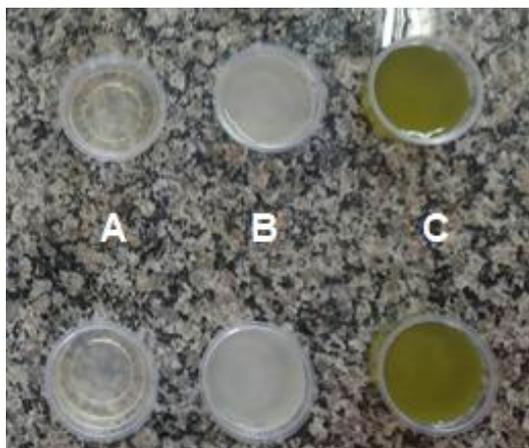
As análises foram realizadas em triplicata e os resultados obtidos através do ensaio foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) usando o delineamento Split Plot através da utilização do software estatístico R, sendo assim considerada a existência de dois tipos de tratamento durante a comparação. Neste estudo foi considerado como tratamento principal o tempo e como secundário, os coagulantes. A partir dessa hipótese analisou se esses fatores (tempo e coagulantes) e a interação entre eles (tempo*coagulante) apresentam diferença significativa. Se apresentado significância, seria realizada a aplicação do teste de Tukey a nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização do Efluente

Na Figura 11 é apresentada a aparência das amostras coletadas nos diferentes pontos do processo de tratamento de uma indústria cervejeira, sendo que no ponto de coleta A o efluente estava em seu estado bruto, sem qualquer tipo de tratamento prévio, no ponto B o efluente foi coletado na caixa de passagem após o tratamento pelas lagoas anaeróbias e no ponto de coleta C o efluente foi coletado no lançamento ao corpo hídrico após o efluente ter sido tratado por um sistema australiano (lagoa anaeróbia e lagoa facultativa).

Figura 11 – Amostras do efluente de cervejaria coletadas nos pontos A, B e C.



Fonte: Autor próprio (2018)

Ao analisar a Figura 11, chama a atenção a coloração do efluente, pois ao longo do tratamento ele vai ganhando cor, isso ocorre devido ao fato que o tratamento utilizado atualmente não apresenta a eficiência esperada aumentando a concentração de algas no efluente, podendo assim indicar uma problemática no sistema de tratamento.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da caracterização do efluente demonstrando os resultados para cada ponto de coleta.

Tabela 3 – Caracterização do efluente de cervejaria coletado nos pontos A, B e C.

Parâmetros	Pontos de Coleta		
	A	B	C
Cor Aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	330	830	1510
Turbidez (UNT)	98,9	124,0	115,0
pH	12,9	6,6	8,2

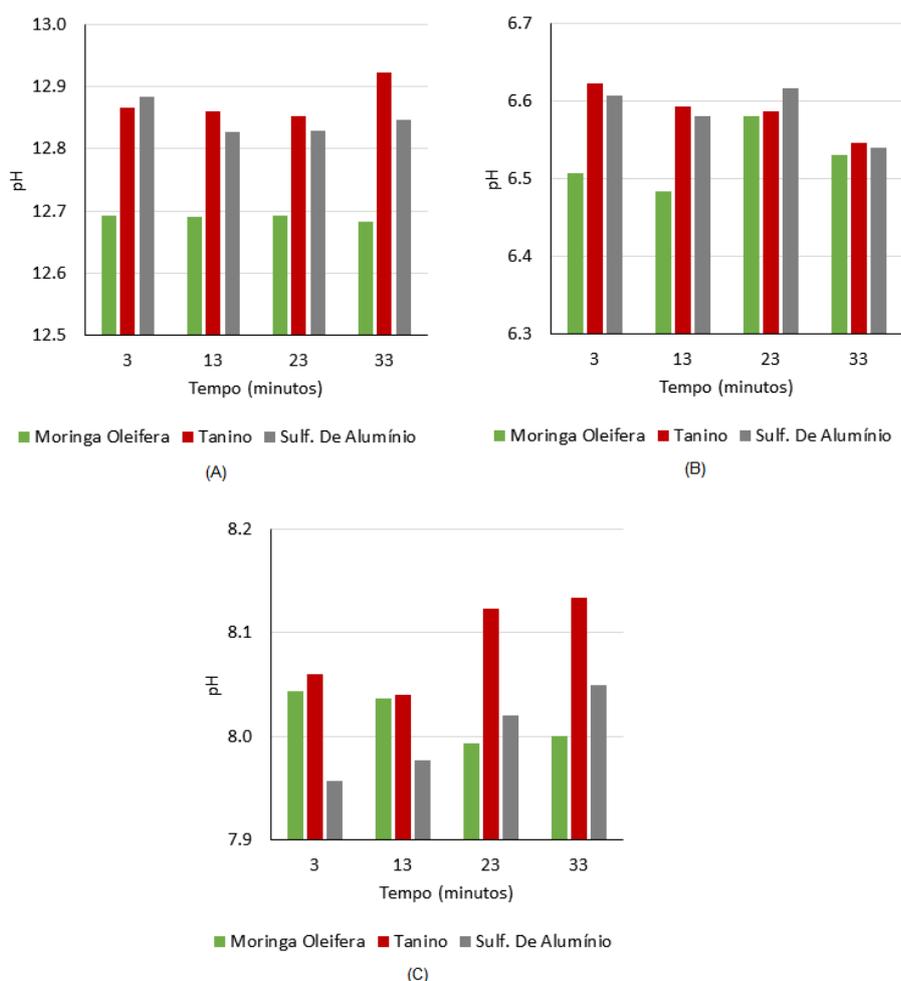
Temperatura (°C)	21,9	21,0	20,0
Condutividade Elétrica (mS.m ⁻¹)	2,50	1,52	1,22
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	2420	2320	1660
DQO (mg.L ⁻¹)	1405,8	838,5	735,9

Fonte: Autor próprio (2018)

5.2 pH

Na Figura 12 são apresentados os valores de pH medidos durante os ensaios realizados, demonstrando o resultado de cada um dos pontos de coleta de efluente, sendo que o A é o efluente não tratado (bruto), o B é o efluente após tratamento anaeróbico e C é o efluente tratado pelo sistema australiano, que posteriormente é lançado no corpo hídrico.

Figura 12 – Resultados obtidos do parâmetro pH nos três diferentes pontos de coletas de efluente.



Fonte: Autor próprio (2018)

O pH do efluente coletado no ponto A apresentava valor alcalino sendo pH=12,9, desta forma, ao comparar o valor do efluente com os valores encontrados

após os tratamentos aplicados é possível observar que ocorreu pouca variação entre os valores encontrados, uma vez que a diferença do bruto e dos tratamentos foi menor que 0,3 unidades de pH. Porém, observa-se na Figura 12 que a solução coagulante de *Moringa oleifera* é qual apresenta as maiores diferenças em relação ao bruto com valores inferiores a 12,7 e que os valores de pH em todos os tratamentos tiveram pouca variação ao longo do tempo analisado.

Na caracterização do pH do efluente coletado no ponto B obteve-se um valor de 6,6. O comportamento do parâmetro no efluente coletado neste ponto não demonstrou tantas variações, uma vez que os valores medidos ao longo do ensaio demonstraram pouca diferença entre tratamentos e tempos de coletas.

A grande diferença no valor de pH entre os pontos A e B é justificada devido ao fato que ocorre a correção do pH entre os pontos de coleta, uma vez que as bactérias anaeróbicas do sistema de tratamento possuem maior eficiência em condições de pH entre 6 e 8.

Ao avaliar o parâmetro pH do efluente do ponto C bruto foi encontrado o valor de 8,2, sendo um valor ligeiramente básico. Dentre todos os tratamentos utilizados a solução coagulante de Tanino foi o que apresentou os valores mais altos, porém todos eles abaixo do valor do efluente bruto. Ao comparar os valores de todos os tratamentos encontramos uma variação inferior a 0,3 unidades de pH.

Observa-se que todos os resultados obtidos possuíam diferenças inferiores a 0,3 entre o efluente inicial e os valores medidos após os tratamentos, assim indicando que as soluções coagulantes utilizadas no estudo apresentaram pouca influência nesse parâmetro.

As coletas dos pontos B e C apresentaram conformidade desse parâmetro quando comparado com o Artigo 16 da Resolução nº430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, uma vez que esta determina que a condição de lançamento do efluente em corpos hídricos é de pH entre 5 e 9.

A análise estatística de variância referente ao parâmetro pH do efluente coletado no ponto A é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.005186	0.001729	1.211	0.3666
Erro a	8	0.011422	0.001428		
Coagulante	2	0.239717	0.119858	73.258	2e-16
Tempo*Coagulante	6	0.010372	0.001729	1.057	0.4272
Erro b	16	0.026178	0.001636		
Total	35	0.292875			

Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 4, para a interação Tempo*Coagulante, observa-se que o p-valor=0.4272 > 0,05, indicando que a interação não é significativa, a 5% de significância. Portanto, as comparações de médias foram realizadas individualmente, para cada fator. Observando-se, ainda, a Tabela 4, para o fator Tempo o p-valor = 0,3666 > 0,05, indicando que não houve diferença entre as médias, já para o fator Coagulante o p-valor < 0,05. Neste último caso, houve a necessidade de realizar as comparações de médias.

Na Tabela 5 é apresentado um resumo das comparações de médias para o fator Coagulante, utilizando o teste de Tukey

Tabela 5 - Comparação das médias do pH de cada coagulante no ponto A.

Coagulante	Média
Tanino	12.88 a
Sulfato de Alumínio	12.88 a
<i>Moringa oleifera</i>	12.69 b

Fonte: Autor próprio (2018)

A comparação de médias (Tabela 5) demonstram através das letras iguais que os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio são estatisticamente iguais, já a *Moringa oleifera* se diferencia dos demais coagulantes por apresentar uma média menor.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da análise estatística de variância do pH nos ensaios com efluente coletado no ponto B.

Tabela 6 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.0171	0.0057	2.3723	0.14619
Erro a	8	0.019222	0.002403		

Coagulante	2	0.030439	0.015219	5.1689	0.01855
Tempo*Coagulante	6	0.017783	0.002964	1.0066	0.45484
Erro b	16	0.047111	0.002944		
Total	35	0.131656			

Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 6, indica que a interação não é significativa entre o tempo*coagulante quando considerado a 5% de significância, uma vez que p-valor>0,05. O p-valor encontrado para o fator tempo foi maior que 0,05 indicando que não possui diferença significativa em relação ao tempo, porém o p-valor encontrado para o fator coagulante (0,01855) foi menor que 0,05, assim demonstrando que ocorre diferença entre os coagulantes. Desta forma, realizou-se a comparação de médias.

Na Tabela 7 é apresentado um resumo das comparações de médias para o fator Coagulante, utilizando o teste de Tukey.

Tabela 7 - Comparação das médias do pH de cada coagulante no ponto B.

Coagulante	Média
Tanino	6.5875 a
Sulfato de Alumínio	6.5858 b
<i>Moringa oleifera</i>	6.525 b

Fonte: Autor próprio (2018)

A comparação de média demonstrou que o coagulante Tanino possui média diferente dos demais tratamentos, porém os coagulantes Sulfato de Alumínio e *Moringa oleifera* possuem médias estatisticamente iguais.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da análise estatística de variância do pH nos ensaios com efluente coletado no ponto C.

Tabela 8 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ponto C

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.011789	0.00393	2.1434	0.17288
Erro a	8	0.014667	0.001833		
Coagulante	2	0.052506	0.026253	3.5901	0.05153
Tempo*Coagulante	6	0.029094	0.004849	0.6631	0.68037
Erro b	16	0.117	0.007313		
Total	35	0.225056			

Fonte: Autor próprio (2018)

Observando os p-valores, todos os efeitos são não significativos (médias iguais), pois $p\text{-valor} > 0,05$. Por isso, não é necessário fazer comparações múltiplas.

5.3 Turbidez

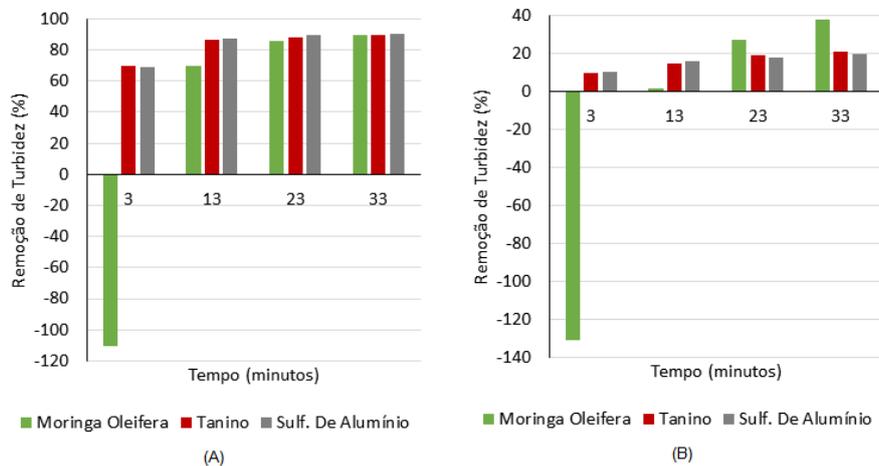
Os valores de turbidez e de porcentagem de redução de turbidez obtidos durante os ensaios realizados são apresentados na Tabela 9 e na Figura 13.

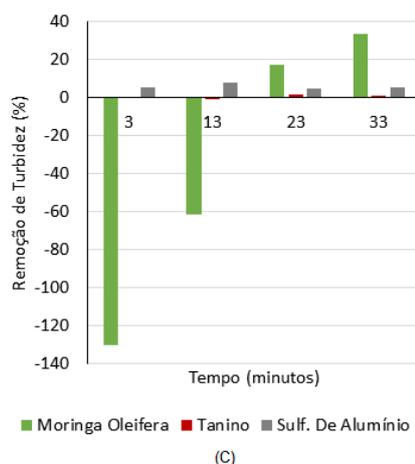
Tabela 9 – Valores de turbidez medidos durante os ensaios em UNT.

Ponto de Coleta	Coagulante	Tempo (minutos)			
		3	13	23	33
A	Tanino	29.7	13.0	11.4	10.5
	<i>Moringa oleifera</i>	208.3	30.2	13.8	10.3
	Sulfato de Alumínio	30.8	12.5	10.4	9.8
B	Tanino	112.3	105.7	100.7	98.5
	<i>Moringa oleifera</i>	286.7	122.0	90.0	77.4
	Sulfato de Alumínio	111.3	104.3	102.0	99.7
C	Tanino	115.7	116.0	113.3	113.7
	<i>Moringa oleifera</i>	265.0	186.0	95.4	76.7
	Sulfato de Alumínio	108.7	106.3	109.7	108.7

Fonte: Autor próprio (2018)

Figura 13 – Resultados de porcentagem de redução de turbidez nos três diferentes pontos de coletas.





Fonte: Autor próprio (2018)

No ponto de coleta A são encontrados os melhores resultados de redução de turbidez em relação ao efluente coletado, sendo que o efluente possuía inicialmente turbidez de 98,9 UNT. Os resultados obtidos no primeiro tempo de coleta (3 minutos) demonstraram que a solução coagulante de *Moringa oleifera* foi ineficiente, enquanto os demais apresentaram redução superior a 60% de turbidez, porém a partir do segundo tempo de coleta é possível observar que o resultado da *Moringa oleifera* foi próximo dos demais tratamentos avaliados. O resultado foi semelhante para todos os tratamentos, sendo obtido 89% de redução para a solução coagulante de Tanino e 90% de redução para as soluções coagulantes de *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio.

O efluente coletado no ponto B apresentava turbidez de 124 UNT, sendo esse o ponto com maior turbidez. Ao analisar a Figura 13 observa-se que todos tratamentos melhoraram ao longo do ensaio, principalmente a solução coagulante de *Moringa oleifera* que no primeiro tempo obteve ineficiência de redução e acabou o ensaio com o melhor resultado de redução. Os tratamentos com Tanino e Sulfato de Alumínio apresentaram eficiência em todas as coletas, sendo os melhores resultados obtidos no último tempo. Ao final do ensaio a redução de turbidez foi de 38% com a *Moringa oleifera*, 21% com o Tanino e 20% com o Sulfato de Alumínio.

O efluente coletado no ponto C apresentava inicialmente 115 UNT de turbidez. Os coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e Tanino apresentaram ineficiência nas coletas de 3 e 13 minutos de sedimentação, enquanto o coagulante inorgânico apresentava eficiência de 6% e 8% de redução de turbidez nas respectivas coletas.

Após 23 minutos de sedimentação todos os coagulantes apresentaram eficiência, sendo que a partir desse tempo a *Moringa oleifera* se destacou dos demais coagulantes, obtendo valores bem superiores. Ao fim do ensaio, os valores de redução obtido por cada coagulante foi de 33% para o coagulante *Moringa oleifera*, 1% para o coagulante Tanino e 6% para o coagulante o Sulfato de Alumínio.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe por meio da Resolução N°357 de 2005 sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para seu enquadramento, além de estabelecer os padrões e condições de lançamento de efluente. No Art. 14 do capítulo 3 determina-se que os corpos de água de classe 1 devem apresentar no máximo 40 UNT, e nos Art. 15 e 16 determina-se que os corpos de águas de classe 2 e 3 podem apresentar turbidez de até 100 UNT.

Considerando um corpo hídrico de Classe 1, somente o efluente coletado no ponto A estaria em conformidade com a legislação e poderia ter o lançamento neste, pois todos os tratamentos realizados neste efluente conseguiram valores próximos de 10 UNT na coleta aos 33 minutos, sendo que o Sulfato de Alumínio obteve o melhor resultado com 9,8 UNT, seguido pela *Moringa oleifera* com 10,3 UNT e Tanino apresentando 10,5 UNT.

Caso o lançamento seja em corpos da água com enquadramento de Classe 2 ou 3, apenas dois resultados não apresentariam conformidade, sendo o Tanino e o Sulfato de Alumínio no tratamento do efluente de cervejaria coletado no ponto C, uma vez que o tratamento com Tanino apresentou turbidez média de 113,7 UNT e com o Sulfato de Alumínio média de 108,7 UNT.

Nas Tabelas 10, 11 e 12, observa-se que o $p\text{-valor}=2.20^{-16} < 0,05$, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa, a 5% de significância. Portanto, as comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey.

Tabela 10 – Resultados da análise de variância para redução de turbidez no ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	40285	13428.2	201.53	2.20E-16
Erro a	8	533	66.6		
Coagulante	2	20162	10081.1	157.52	2.20E-16

Tempo*Coagulante	6	45316	7552.7	118.01	2.20E-16
Erro b	16	1024	64		
Total	35	107320			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 11 – Resultados da análise de variância para redução de turbidez no ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	22654	7551.5	836.08	2.20E-16
Erro a	8	72	9		
Coagulante	2	8207	4103.3	234.64	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	32710	5451.7	311.75	2.20E-16
Erro b	16	280	17.5		
Total	35	63923			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 12 – Resultados da análise de variância para redução de turbidez no ponto C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	17471	5823.6	546.11	2.20E-16
Erro a	8	85	10.7		
Coagulante	2	12037	6018.3	331.99	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	34153	5692.2	314	2.20E-16
Erro b	16	290	18.1		
Total	35	64036			

Fonte: Autor próprio (2018)

Nas Tabela 13, 14 e 15 são apresentados resumos das comparações de médias para os desdobramentos, onde as comparações entre coagulantes devem levar em conta as letras minúsculas (por coluna) e as comparações entre Tempos devem considerar as letras maiúsculas (por linha).

Tabela 13 – Comparação das médias de redução de turbidez para o ponto A.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	-110.65 bC	69.47 bB	86.01 aAB	89.55 aA
Sulfato de Alumínio	68.86 aB	87.32 aA	89.5 aA	90.07 aA
Tanino	69.94 aB	86.86 aAB	88.47 aA	89.35 aA

Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados da Tabela 13 demonstraram que no efluente coletado no ponto A ocorre diferença entre os coagulantes apenas nos tempos de 3 e 13 minutos, nos demais tempos (23 e 33 minutos) as médias são estatisticamente iguais. A comparação entre os tempos demonstrou que todos os coagulantes possuem significâncias.

Tabela 14 – Comparação das médias de redução de turbidez para o ponto B.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	-131.183 aA	1.613333 aB	27.39667 aC	37.58 aD
Sulfato de Alumínio	10.21333 bA	15.86333 bAB	17.74333 bAB	19.62333 bB
Tanino	9.406667 bA	14.78333 bAB	18.81667 aB	20.59 bB

Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 14 os resultados demonstram que no efluente coletado no ponto B quando analisadas as médias entre os coagulantes, os tratamentos com Sulfato de Alumínio e Tanino são estatisticamente iguais. Já na comparação entre os tempos todos os coagulantes apresentaram significâncias.

Tabela 15 – Comparação das médias de redução de turbidez para o ponto C.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	-130.437 aA	-61.737 aB	17.070 aC	33.307 aD
Sulfato de Alumínio	5.510 bA	7.540 bA	4.640 bA	5.510 bA
Tanino	-0.580 bA	-0.870 bA	1.450 bA	1.160 bA

Fonte: Autor próprio (2018)

Quando analisado os resultados da Tabela 15 da comparação das médias de redução de turbidez em relação aos coagulantes, nota-se que o Sulfato de Alumínio e o Tanino são estatisticamente iguais, enquanto a *Moringa oleifera* é diferente dos demais tratamentos. Já na análise entre os tempos observa-se que somente a *Moringa oleifera* apresenta diferença significativa entre as médias.

5.4 Cor aparente

Na Tabela 16 são apresentados os valores de cor aparente medidos durante os ensaios e as porcentagens de redução do parâmetro cor aparente são apresentadas na Figura 14, sendo considerado como base para o cálculo de redução o valor bruto medido em cada ponto de amostragem.

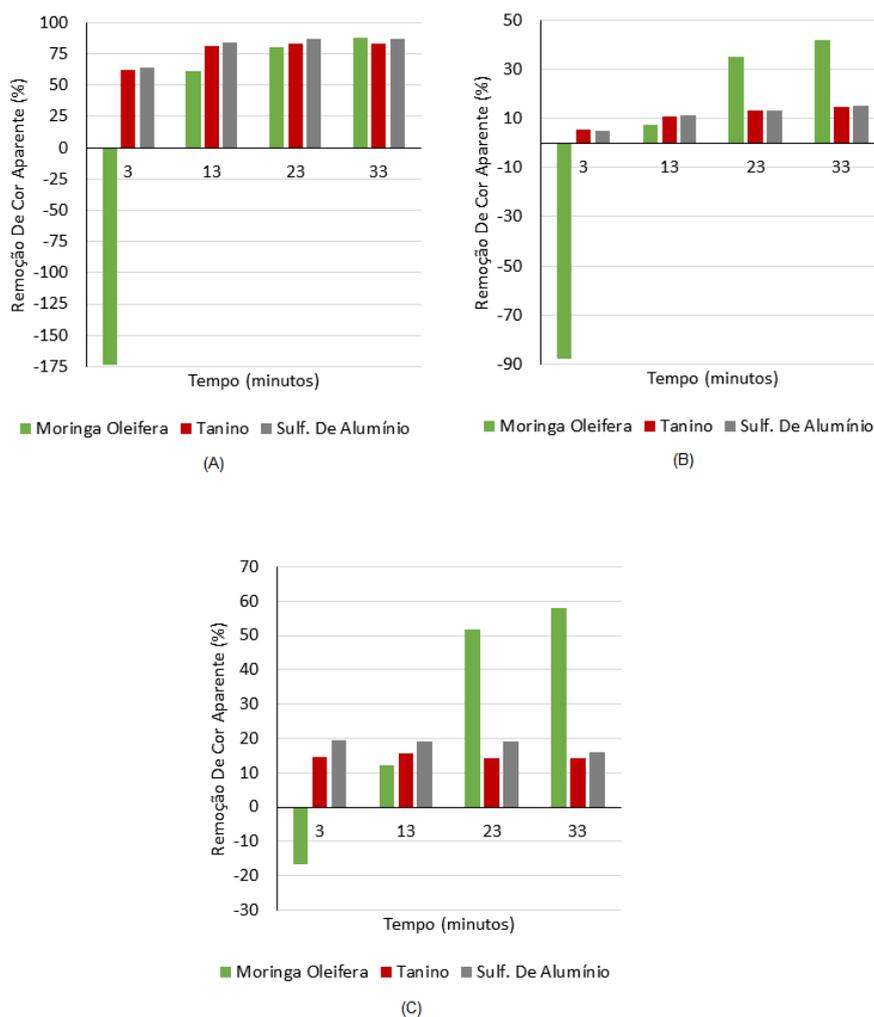
Tabela 16 – Valores de cor aparente medidos durante os ensaios em mgPtCo.L⁻¹.

Ponto de Coleta	Coagulante	Tempo (minutos)			
		3	13	23	33
A	Tanino	125.0	61.7	56.7	54.0
	<i>Moringa oleifera</i>	903.3	127.0	63.7	40.7
	Sulfato de Alumínio	118.3	53.0	43.7	42.0
B	Tanino	783.0	741.7	721.7	706.7

	<i>Moringa oleifera</i>	1560.0	770.0	536.7	481.7
	Sulfato de Alumínio	786.7	735.3	720.3	702.0
	Tanino	1290.0	1273.3	1296.7	1293.3
C	<i>Moringa oleifera</i>	1760.0	1326.7	726.7	633.3
	Sulfato de Alumínio	1216.7	1220.0	1223.3	1266.7

Fonte: Autor próprio (2018)

Figura 14 – Gráficos de porcentagem de redução de cor aparente nos três diferentes pontos de coletas.



Fonte: Autor próprio (2018)

Conforme apresentado na Figura 14 é possível observar que no ponto de coleta A ocorreu ineficiência do tratamento com coagulante *Moringa oleifera* no tempo de 3 minutos de sedimentação, sendo obtido -174% de redução, nesse caso mediu-se 903 mg PtCo.L⁻¹, enquanto o efluente inicial do ponto A apresentava 330 mg PtCo.L⁻¹. Nos demais tempos observa-se que os coagulantes foram apresentando melhoras gradativas, assim acabando o ensaio com resultados superiores a 75% para todos os

tratamentos. A *Moringa oleifera* apresentou o melhor resultado, obtendo 88% de redução de cor aparente, seguido pelo Sulfato de Alumínio com 87% e o Tanino com 84%.

No ponto B de coleta o efluente apresentava cor aparente no valor de 830 mg PtCo.L⁻¹. Os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio apresentaram remoções logo na primeira coleta, sendo 5% para o Sulfato de Alumínio e 6% para o Tanino, enquanto a *Moringa oleifera* apresentou -88% de eficiência. A *Moringa oleifera* apresentou maior eficiência na segunda coleta e seguiu aumentando, assim aos 23 minutos (terceira coleta) obteve o melhor resultado entre os coagulantes, com 35% de redução, sendo que os demais apresentaram 13%. Ao fim dos 33 minutos de ensaio a *Moringa oleifera* permaneceu com o melhor resultado, sendo esse de 42% de redução de cor aparente e os demais tratamentos apresentaram 15%.

A cor aparente do efluente coletado do ponto C foi de 1530 mg PtCo.L⁻¹, sendo que o mesmo apresentava cor esverdeada devido à grande presença de algas na lagoa facultativa do sistema de tratamento. A *Moringa oleifera* apresentou novamente resultados negativos, mostrando ineficiência com apenas 3 minutos de sedimentação, porém demonstrou um aumento progressivo dos resultados, assim conseguindo valores positivos de redução nas demais coletas. Os tratamentos com Tanino e Sulfato de Alumínio apresentaram eficiência desde a primeira coleta, porém apresentaram pouca variação ao longo do tempo, apresentando valores bem próximos em todas as coletas. A *Moringa oleifera* conseguiu obter melhores resultados que os demais tratamentos no terceiro tempo de coleta, aos 33 minutos do processo de sedimentação, e continuou assim até a finalização do ensaio. Desta forma, a solução coagulante de *Moringa oleifera* apresentou o melhor resultado com 42% de redução de cor aparente, seguido pelo Sulfato de Alumínio com 16% e pelo Tanino com 14%.

O parâmetro cor aparente não é abordado pelas legislações do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Paraná (CEMA), desta forma não existe valor para comparação. A Resolução Nº 357/2005 do CONAMA determina a cor verdadeira para o enquadramento dos corpos hídricos, porém não abrange o parâmetro de cor aparente.

Nas Tabelas 17, 18 e 19, observa-se que o $p\text{-valor}=2.20\text{E-}16 < 0,05$, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa, a 5% de significância. Portanto, as comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa (desdobramentos). Para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey.

Tabela 17 – Resultados da análise de variância para redução de cor aparente no ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	64806	21602.1	287.66	2.20E-16
Erro a	8	601	75.1		
Coagulante	2	33796	16898.2	187.95	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	79392	13231.9	147.17	2.20E-16
Erro b	16	1439	89.9		
Total	35	180034			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 18 – Resultados da análise de variância para redução de cor aparente no ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	13963	4654.4	712.1	2.20E-16
Erro a	8	52	6.5		
Coagulante	2	1165	582.6	65.44	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	18728	3121.4	350.58	2.20E-16
Erro b	16	142	8.9		
Total	35	34052			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 19 – Resultados da análise de variância para redução de cor aparente no ponto C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	3419	1139.68	286.43	2.20E-16
Erro a	8.000	31.800	3.980		
Coagulante	2.000	856.900	428.450	105.560	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6.000	7714.500	1285.760	316.780	2.20E-16
Erro b	16	64.9	4.06		
Total	35	12087.3			

Fonte: Autor próprio (2018)

Nas Tabela 20, 21 e 22 são apresentados resumos das comparações de médias para os desdobramentos, onde as comparações entre coagulantes devem levar em conta as letras minúsculas (por coluna) e as comparações entre Tempos devem considerar as letras maiúsculas (por linha).

Tabela 20 – Comparação das médias do parâmetro cor aparente para o ponto A.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
Moringa	-173.73 bC	61.53 bB	80.7 aAB	87.7 aA
Sulfato	64.13 aB	83.9 aAB	86.8 aA	87.3 aA
Tanino	62.1 aB	81.3 abAB	82.8 aAB	83.6 aA

Fonte: Autor próprio (2018)

Na comparação de média do ponto A (Tabela 20), quando analisado entre coagulantes observa-se que ocorreu somente diferença significativa nos tempos de 3 e 13 minutos, sendo que nesses pontos os resultados para Tanino e Sulfato de Alumínio são iguais e a *Moringa oleifera* é diferente dos demais. Já na comparação entre tempos, observa-se que em todos os casos os tempos de 23 e 33 minutos são iguais.

Tabela 21 – Comparação das médias do parâmetro cor aparente para o ponto B.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
Moringa	-87.967 aA	7.200 aB	35.300 aC	41.933 aD
Sulfato	5.200 bA	11.400 aAB	13.233 bB	15.433 bB
Tanino	5.667 bA	10.600 aAB	13.067 bB	14.867 bB

Fonte: Autor próprio (2018)

Na comparação de média do ponto B (Tabela 21), quando analisado entre coagulantes observa-se que somente no tempo de 13 minutos não ocorreu diferença entre os coagulantes, enquanto que nos demais tempo somente o Sulfato de Alumínio e o Tanino são iguais. Já na comparação entre tempos, observa que a *Moringa oleifera* possui todos diferença significativa entre todos os tempos, enquanto o Sulfato de Alumínio e o Tanino apresentam igualdade entre os dois primeiros tempos (3 e 13 minutos) e entre os três últimos tempos (13, 23 e 33 minutos).

Tabela 22 – Comparação das médias do parâmetro cor aparente para o ponto C.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
Moringa	-16.567 aA	12.133 aB	51.900 aC	58.067 aD
Sulfato	19.400 bA	19.200 bA	18.967 bA	16.133 bA
Tanino	14.600 cA	15.667 abA	14.133 cA	14.333 bA

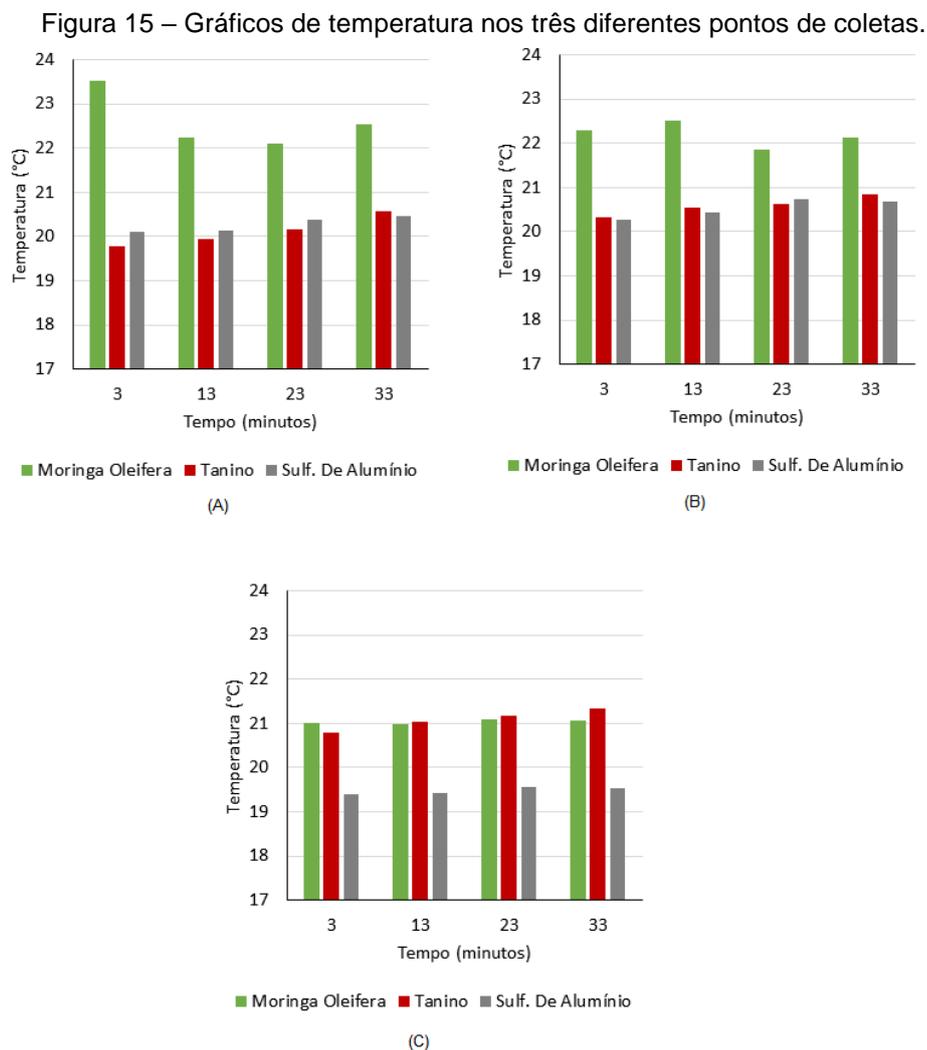
Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 22, observa-se que na comparação de médias entre coagulantes ocorreu diferença significativa em todos os tempos, sendo que no último tempo a

Moringa oleifera é diferente dos demais coagulantes, enquanto o Sulfato de Alumínio e o Tanino são iguais. Já na comparação entre tempos, observa que a *Moringa oleifera* possui diferença significativa entre todos os tempos, enquanto o Sulfato de Alumínio e o Tanino não possuem diferença significativa.

5.5 Temperatura

O comportamento do parâmetro temperatura durante todos os ensaios consta na Figura 15.



Fonte: Autor próprio (2018)

O efluente coletado no ponto A apresentava temperatura de 21,9°C, conforme apresentado na Figura 15 os tratamentos com coagulante Tanino e Sulfato de Alumínio apresentaram redução das temperaturas durante o ensaio, enquanto o tratamento com *Moringa oleifera* apresentou temperaturas maiores do que o valor do efluente coletado.

Os resultados dos ensaios usando o efluente coletado no ponto B apresentaram valores superiores de temperatura para os tratamentos com Tanino e Sulfato de Alumínio, enquanto a *Moringa oleifera* apresentava valores maiores do que o inicial. A temperatura do efluente no ponto de B foi de 21,0°C.

O efluente coletado no ponto C apresentava temperatura de 20,0°C. Os tratamentos com *Moringa oleifera* e Tanino apresentaram aumento na temperatura, enquanto o tratamento com Sulfato de Alumínio teve redução da temperatura.

As diferenças de temperatura entre os efluentes durante os ensaios ocorreram devido ao fato que os ensaios foram realizados em períodos do dia diferentes, desta forma ocorreu uma certa interferência no parâmetro temperatura, pois o laboratório também não apresenta controle de temperatura interna.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente determina através da Resolução N° 430/2011 as condições e padrões de lançamento dos efluentes, sendo que no Art. 16 determina-se que o efluente deve apresentar temperatura inferior a 40°C. Desta forma, todos os resultados estão em conformidade com a legislação.

Nas Tabelas 23, 24 e 25 são apresentados os resultados da análise de variância de temperatura do efluente coletado nos pontos A, B e C, respectivamente.

Tabela 23 – Resultados da análise de variância da temperatura referente ao ponto de coleta A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	1.103	0.3677	3.483	0.070204
Erro a	8	0.844	0.1056		
Coagulante	2	46.712	23.3558	266.501	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	4.046	0.6744	7.695	0.000516
Erro b	16	1.402	0.0876		
Total	35	54.108			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 24 – Resultados da análise de variância da temperatura referente ao ponto de coleta B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.3031	0.101	4.49	0.039714
Erro a	8	0.18	0.0225		
Coagulante	2	21.6906	10.8453	473.25	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6	1.1494	0.1916	8.36	0.000325
Erro b	16	0.3667	0.0229		
Total	35	23.6897			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 25 – Resultados da análise de variância da temperatura referente ao ponto de coleta C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.353	0.118	17.67	0.000689
Erro a	8.0	0.053	0.007		
Coagulante	2.0	19.860	9.930	882.67	2.20E-16
Tempo*Coagulante	6.0	0.193	0.032	2.86	0.04321
Erro b	16.0	0.180	0.011		
Total	35.0	20.640			

Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados das análises de variância de todos os pontos de coleta (Tabelas 23, 24 e 25) demonstraram que as interações do tempo*coagulante possuem diferença significativa, uma vez que em todos os casos os p-valores foram menores do que 0,05. Desta forma, realizou-se comparações de médias utilizando o teste de Tukey, onde foi fixado um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa.

A partir das análises de comparações de médias dos pontos de coletas gerou-se as Tabelas 26, 27 e 28 com os resultados, sendo que na Tabela 26 são apresentadas as comparações referentes ao ponto A.

Tabela 26 – Comparação das médias de temperatura referente ao ponto A.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
Moringa	23.53333 aA	22.23333 aB	22.1 aB	22.53333 aB
Sulfato	20.10000 bA	20.13333 bA	20.36667 bA	20.46667 bA
Tanino	19.76667 bB	19.93333 bAB	20.16667 bAB	20.56667 bA

Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados da Tabela 26 demonstram que quando realizada a comparação entre coagulantes (letras minúsculas, analisadas por coluna) em todos os tempos que os coagulantes Sulfato de Alumínio e Tanino são iguais, uma vez que apresentam letras iguais, enquanto a *Moringa oleifera* é diferente dos demais. A análise entre os tempos (letras maiúsculas, analisadas por linha) demonstrou que os resultados do tratamento com Sulfato de Alumínio não apresentam diferença significativa ao longo do ensaio. Já os coagulantes Tanino e *Moringa oleifera* possuem diferença significativa entre os tempos.

Na Tabela 27 apresentam-se as comparações das médias do parâmetro temperatura referente ao efluente coletado no ponto B.

Tabela 27 – Comparação das médias de temperatura referente ao ponto B.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	22.300 aAB	22.500 aA	21.867 aC	22.133 aBC
Sulfato de Alumínio	20.267 bA	20.433 bAB	20.733 bB	20.667 bB
Tanino	20.333 bA	20.533 bAB	20.633 bAB	20.833 bB

Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados da Tabela 27 da comparação entre coagulantes (letras minúsculas, analisadas por coluna) demonstrou que coagulantes Sulfato de Alumínio e Tanino são iguais, enquanto a *Moringa oleifera* é diferente dos demais. Quando analisado a comparação de médias entre os tempos (letras maiúsculas, analisadas por linha) observa-se que todos os coagulantes possuem diferença significativa.

Na Tabela 28 apresenta-se as comparações das médias do parâmetro temperatura referente ao efluente coletado no ponto C.

Tabela 28 – Comparação das médias de temperatura referente ao ponto C.

Coagulante	Tempo (minutos)			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	21.000 aA	20.967 aA	21.100 aA	21.067 aA
Sulfato de Alumínio	19.400 bA	19.433 bA	19.567 bA	19.533 bA
Tanino	20.800 aA	21.033 aB	21.167 aBC	21.333 cC

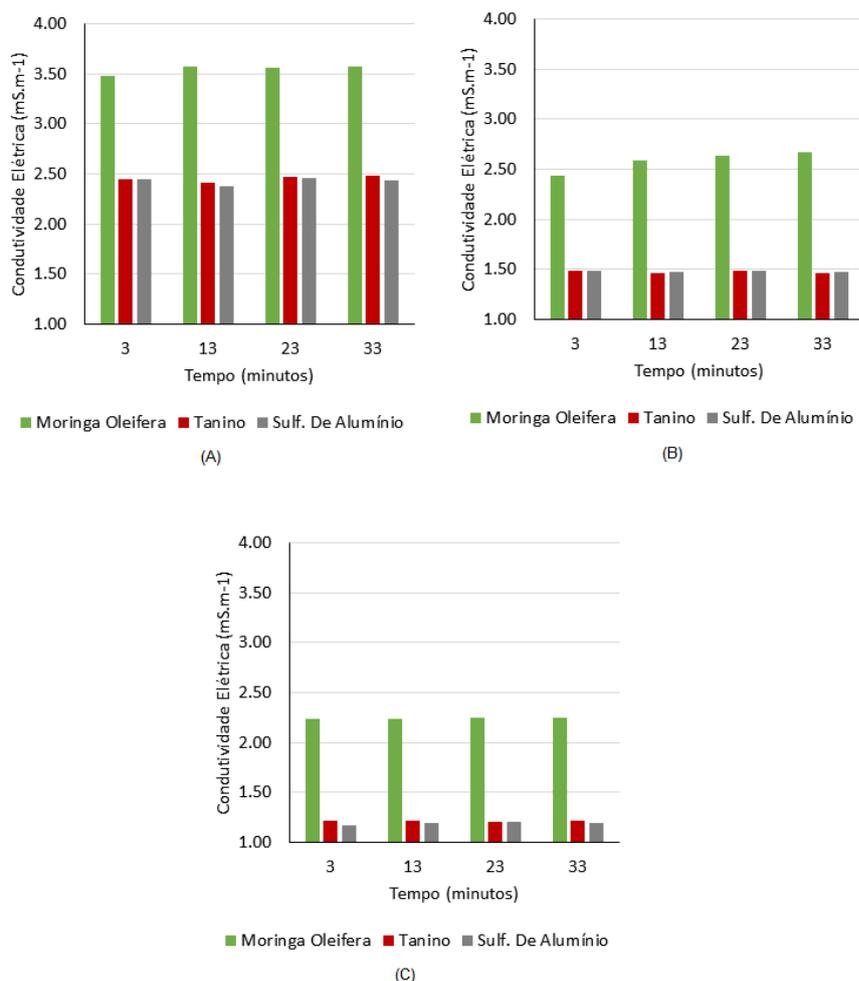
Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 28 os resultados da comparação entre coagulantes (letras minúsculas, analisadas por coluna) demonstrou que somente os coagulantes Tanino e *Moringa oleifera* são iguais nas três primeiras coletas, porém no último tempo de coleta todos coagulantes são diferentes entre si. Já na comparação de médias entre os tempos (letras maiúsculas, analisadas por linha) somente o Tanino apresentou diferença significativa.

5.6 Condutividade elétrica

Na Figura 16 são apresentados os resultados do parâmetro condutividade elétrica dos três diferentes pontos de coleta do efluente.

Figura 16 – Gráficos do parâmetro condutividade elétrica nos três diferentes pontos de coleta.



Fonte: Autor próprio (2018)

Os valores de condutividade elétrica nos efluentes brutos foram de 2,50 mS.m⁻¹ no efluente do ponto A, 1,52 mS.m⁻¹ no efluente do ponto B e o efluente do ponto C com 1,22 mS.m⁻¹.

Ao analisar a Figura 16 observa-se que a solução de *Moringa oleifera* apresentou aumento da condutividade elétrica no efluente dos três pontos de coleta, isso ocorre devido a solução coagulante ser salina, dessa forma a aplicação da solução aumenta a quantidade de sais no meio. A solução coagulante de *Moringa oleifera* é feita utilizando-se o NaCl pois nessa condição ocorre uma maior eficiência, isso devido ao fato que a solução salina é um solvente melhor do que a água pura na quebra da proteína-proteína ou proteína-polissacarídeo, assim aumentando a solubilidade da proteína da *Moringa Oleifera* (Okuda et al., 1999)

Os resultados obtidos para os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio são próximos aos valores obtidos na caracterização do efluente, assim indicando que ambos os tratamentos não influenciam na quantidade de sais presentes no efluente. Ao analisar o efeito dos três coagulantes ao decorrer do tempo de sedimentação observa-se que ocorrem pouca variação nos valores, sendo assim o tempo não interfere na condutividade elétrica.

O parâmetro condutividade elétrica não é abordado pelas legislações do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) e pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente do Paraná (CEMA), desta forma não existe valor para comparação.

A análise estatística de variância da condutividade elétrica referente ao ponto de coleta A é apresentada na Tabela 29, do ponto de coleta B na Tabela 30 e do ponto de coleta C na Tabela 31.

Tabela 29 – Resultados da análise de variância para condutividade elétrica do ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.0149	0.005	1.34	0.3284
Erro a	8	0.0296	0.0037		
Coagulante	2	9.7349	4.8675	936.3	2.00E-16
Tempo*Coagulante	6	0.0242	0.004	0.78	0.5993
Erro b	16	0.0832	0.0052		
Total	35	9.8868			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 30 – Resultados da análise de variância para condutividade elétrica do ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.023	0.0077	2.36	0.147
Erro a	8	0.026	0.0032		
Coagulante	2	9.7241	4.8621	1166.51	2.00E-16
Tempo*Coagulante	6	0.0751	0.0125	3	0.0368
Erro b	16	0.0667	0.0042		
Total	35	9.9149			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 31 – Resultados da análise de variância para condutividade elétrica do ponto C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	3	0.0016	0.0005	1.0	0.4301
Erro a	8	0.0042	0.0005		
Coagulante	2	8.6637	4.3319	10061.1	2.00E-16
Tempo*Coagulante	6	0.0018	0.0003	0.7	0.6638

Erro b	16	0.0069	0.0004
Total	35	8.6782	

Fonte: Autor próprio (2018)

As Tabelas 29 e 31 apresentaram p-valores menores do que 0,05 para os coagulantes, assim indicando que ocorre diferença significativa entre os coagulantes nesses pontos. Para as fontes de variação tempo e interação tempo*coagulante os p-valores não indicaram diferenças significativas. Deste modo, se fez necessário a comparação das médias pelo Teste de Tukey.

Na Tabela 30 o p-valor da interação tempo*coagulante e do fator de variação coagulante foram menores do que 0,05 indicando que ocorre diferença significativa. A partir disso realizou-se teste de Tukey fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa.

Na Tabela 32 é demonstrado o resultado da comparação das médias do ponto A.

Tabela 32 – Comparação das médias de condutividade elétrica referente ao ponto A.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	3.546667 a
Tanino	2.455833 b
Sulfato de Alumínio	2.431667 b

Fonte: Autor próprio (2018)

A letras demonstraram que os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio possuem médias iguais, enquanto a *Moringa oleifera* apresenta média diferente das demais.

A comparação das médias da condutividade do ponto de coleta C é apresentada na tabela 33.

Tabela 33 – Comparação das médias de condutividade elétrica referente ao ponto B.

Coagulante	Tempo			
	3	13	23	33
<i>Moringa oleifera</i>	2.437 aA	2.587 aB	2.637 aB	2.670 aB
Sulfato de Alumínio	1.493 bA	1.473 bA	1.483 bA	1.477 bA
Tanino	1.493 bA	1.470 bA	1.487 bA	1.463 bA

Fonte: Autor próprio (2018)

Observa-se através das letras minúsculas apresentadas na tabela 33 que ao analisar as comparações entre coagulantes que em todos os casos os coagulantes

Tanino e Sulfato de Alumínio são estatisticamente iguais, enquanto a *Moringa oleifera* é diferente dos demais. A *Moringa oleifera* é a única a apresentar diferença significativa ao analisar as letras maiúsculas, demonstrando que o primeiro tempo (3 minutos) tem diferença significativa dos demais.

A Tabela 34 apresenta os resultados da comparação de médias da condutividade elétrica com efluente coletado no ponto C.

Tabela 34 – Comparação das médias de condutividade elétrica referente ao ponto C.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	2.244167 a
Tanino	1.216667 b
Sulfato de Alumínio	1.190833 c

Fonte: Autor próprio (2018)

A Tabela 34 demonstra que através das comparações de médias que todos os coagulantes possuem diferença significativas entre si, dessa forma nenhum coagulante é igual ao outro.

5.7 Sólidos totais

Na Tabela 35 são demonstrados os valores de sólidos totais medidos no efluente inicial e no final de cada tratamento utilizado, sendo apresentado valores médios das triplicatas em mg.L⁻¹.

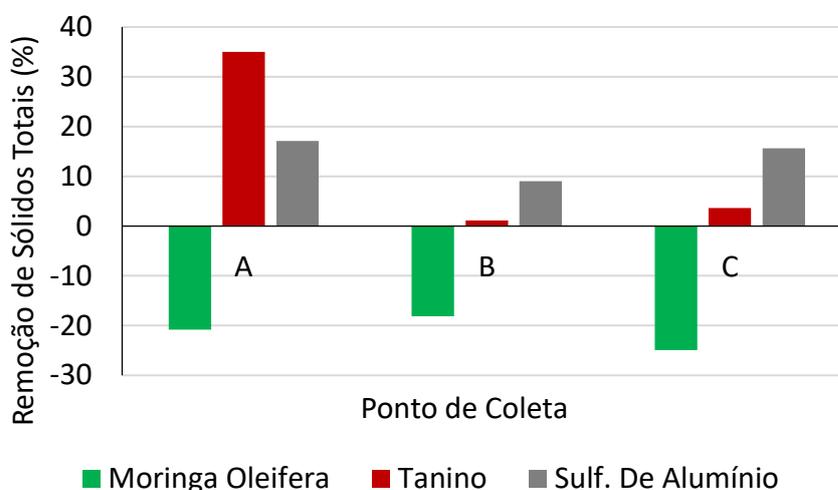
Tabela 35 – Valores de sólidos totais do efluente antes e após o uso de coagulante em mg.L⁻¹.

Coagulante	Efluente		
	A	B	C
Bruto	2420	2320	1660
<i>Moringa oleifera</i>	2923	2740	2073
Tanino	1573	2293	1600
Sulfato De Alumínio	2006	2110	1400

Fonte: Autor próprio (2018)

A partir dos valores da Tabela 35 foi possível calcular a porcentagem de remoção de sólidos totais proveniente de cada tratamento apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Gráficos de porcentagem de remoção de sólidos totais nos três diferentes pontos de coletas.



Fonte: Autor próprio (2018)

Ao analisar o gráfico do efluente do ponto A observa-se que a solução coagulante *Moringa oleifera* apresentou resultados negativos, assim indicando que a quantidade de sólidos totais aumentou com o uso deste tratamento, enquanto os demais tratamentos demonstraram eficiência de remoção. O Tanino foi qual apresentou melhores resultados, reduzindo de 2420mg.L^{-1} para 1573mg.L^{-1} , sendo uma eficiência 35% de remoção de sólidos totais, seguido pela solução coagulante de Sulfato de Alumínio com remoção de 17% de sólidos totais, com valores finais de 2006mg.L^{-1} .

No efluente do ponto B a carga de sólidos totais era de 2320mg.L^{-1} , sendo que a solução coagulante com melhor eficiência de remoção foi o Sulfato de Alumínio com 9%, seguido pela solução coagulante de Tanino (1%) e por fim a solução coagulante de *Moringa oleifera* com -18% de remoção de sólidos totais.

A quantidade de sólidos totais encontrados no efluente coletado no ponto C era a menor entre os efluentes, devido ao fato de ser coleta ao final do processo de tratamento, porém apresentava 1660mg.L^{-1} . Com o uso da solução coagulante de Sulfato de Alumínio obteve-se o menor valor com 1400mg.L^{-1} (16% de remoção), seguido pela solução de Tanino com 1600mg.L^{-1} (4% de remoção) e por fim a solução coagulante de *Moringa oleifera* com 2073mg.L^{-1} de sólidos totais (-25% de remoção).

O uso da solução coagulante de *Moringa oleifera* apresentou ineficiência em todos os tipos de efluente utilizado no estudo, esse resultado era esperado devido ao

fato que essa solução coagulante apresenta grande quantidade de sólidos suspensos. O Tanino teve maior destaque quando aplicado no efluente A, pois apresentou o dobro de eficiência do Sulfato de Alumínio, e nos efluente B e C observou-se que o coagulante com melhores resultados foi o Sulfato de Alumínio

Nas Tabelas 36, 37 e 38, observa-se que os p-valores são menores do que 0,05, indicando que os coagulantes possuem diferença significativa entre si. Portanto, as comparações de médias foram realizadas através do teste de Tukey.

Tabela 36 – Resultados da análise de variância para remoção de sólidos totais no ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	48,7E+2	24,3E+2	22,4571	0,0023
Erro a	6	650,229	108,371		
Total	8				

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 37 – Resultados da análise de variância para remoção de sólidos totais no ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	11,7E+2	585,261	7,4983	0,0237
Erro a	6	468,316	78,053		
Total	8				

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 38 – Resultados da análise de variância para remoção de sólidos totais no ponto C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	26,0E+2	13,0E+2	11,5424	0,0094
Erro a	6	676,683	112,780		
Total	8	107320			

Fonte: Autor próprio (2018)

Nas Tabela 39, 40 e 41 são apresentados resumos das comparações de médias dos pontos A, B e C, respectivamente.

Tabela 39 – Comparação das médias de remoção de sólidos totais para o ponto A.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	-20,7989 B
Tanino	34,9862 A
Sulfato de Alumínio	17,0799 A

Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados apresentados na Tabela 39 demonstrou que os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio são estatisticamente iguais, enquanto a *Moringa oleifera* se mostrou diferente dos demais.

Tabela 40 – Comparação das médias de remoção de sólidos totais para o ponto B.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	-18,1034 A
Tanino	1,1494 AB
Sulfato de Alumínio	9,0517 B

Fonte: Autor próprio (2018)

Na Tabela 40 as comparações de média dos coagulantes demonstraram que somente o Sulfato de Alumínio e a *Moringa oleifera* são estatisticamente diferentes, já as demais combinações são consideradas iguais.

Tabela 41 – Comparação das médias de remoção de sólidos totais para o ponto C.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	-24,8996 B
Tanino	3,6145 A
Sulfato de Alumínio	15,6627 A

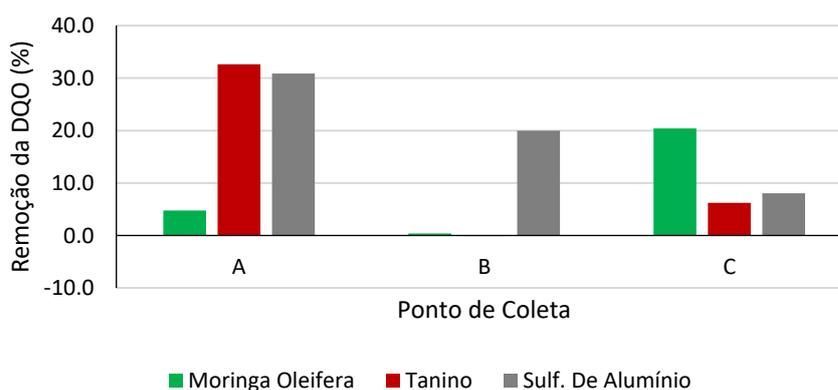
Fonte: Autor próprio (2018)

Os resultados apresentados na Tabela 41 demonstraram que a *Moringa oleifera* é estatisticamente diferente dos demais os coagulantes, já os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio são estatisticamente iguais.

5.8 Demanda química de oxigênio

Na Figura 8 é apresentada a remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) de todos os tratamentos, sendo demonstrado apenas os valores referentes ao último tempo de análise. Optou-se por medir apenas os valores iniciais e finais de cada tratamento devido à falta de recursos para análises de todas as amostras.

Figura 18 – Gráficos de porcentagem de remoção da DQO nos três diferentes pontos de coletas.



Fonte: Autor próprio (2018)

O efluente A em sua condição bruta apresentava valores de 1406mg.L^{-1} de demanda química de oxigênio, sendo que com o uso dos coagulantes propostos foi obtido a redução do mesmo. Ao analisar os dados do efluente coletado no ponto A na Figura 18 observou-se que a melhor remoção desse parâmetro foi obtida com o uso da solução coagulante de Tanino, pois esse tratamento oferece redução de 33%, assim após o tratamento apresentou-se uma demanda química de oxigênio de 948mg.L^{-1} . O resultado apresentado pela solução de Sulfato de Alumínio foi semelhante ao encontrado com o uso de Tanino, sendo que a solução inorgânica apresentou remoção de 31% com demanda química de oxigênio de 972mg.L^{-1} . A solução coagulante de *Moringa oleifera* foi qual apresentou o menor valor de remoção, obtendo apenas 5% de redução da demanda química de oxigênio.

O coagulante com maior destaque no efluente coletado no ponto B foi o coagulante inorgânico Sulfato de Alumínio (Figura 6), sendo que esse apresentou redução de 20% na demanda química de oxigênio, passando de 839mg.L^{-1} para 671mg.L^{-1} . O uso das soluções de coagulante orgânicos no efluente do ponto B apresentaram poucas mudanças na demanda química de oxigênio, sendo que a *Moringa oleifera* reduziu em 1% a demanda de química de oxigênio e o Tanino aumentou em 1%.

No efluente do ponto C a demanda química de oxigênio antes do tratamento era de 736mg.L^{-1} , sendo que entre os tratamentos propostos os melhores resultados foram obtidos utilizando a solução coagulante de *Moringa oleifera* (586mg.L^{-1}), conseguindo assim a redução de 20% na demanda química. As demais soluções coagulantes também apresentaram redução na demanda química de oxigênio, sendo que o Sulfato de Alumínio encerrou com o segundo melhor resultado, apresentando 8% (677mg.L^{-1}) de redução e a menor redução foi apresentada pelo Tanino com 6% (690mg.L^{-1}).

Nas Tabelas 42, 43 e 44, observa-se que os p-valores são menores que 0,05, indicando que os coagulantes possuem diferença significativa, a 5% de significância. Para realizar as comparações entre as médias foi realizado o teste de Tukey.

Tabela 42 – Resultados da análise de variância para remoção da DQO no ponto A.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	14,6E+2	730,682	16,4841	0,0044
Erro a	6	265,959	44,326		
Total	8	1725,959			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 43 – Resultados da análise de variância para remoção da DQO no ponto B.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	788,420	394,210	144,9301	0,0001
Erro a	6	16,320	2,720		
Total	8	804,740			

Fonte: Autor próprio (2018)

Tabela 44 – Resultados da análise de variância para remoção da DQO no ponto C.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tempo	2	356,412	178,206	5,2900	0,0474
Erro a	6	202,123	33,687		
Total	8	107320			

Fonte: Autor próprio (2018)

Nas Tabela 45, 46 e 47 são apresentados resumos das comparações de médias entre coagulantes.

Tabela 45 – Comparação das médias de remoção da DQO para o ponto A.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	4,7431 B
Tanino	32,6200 A
Sulfato de Alumínio	30,8406 A

Fonte: Autor próprio (2018)

Conforme apresentado na Tabela 45 observa-se que os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio obtiveram as maiores médias e letras iguais, assim indicando que esses coagulantes possuem resultados considerados estatisticamente iguais, já a *Moringa oleifera* mostrou-se diferente dos demais coagulantes.

Tabela 46 – Comparação das médias de remoção da DQO para o ponto B.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	0,4000 A
Tanino	-0,1000 A
Sulfato de Alumínio	20,0000 B

Fonte: Autor próprio (2018)

A Tabela 46 demonstra que o Sulfato de Alumínio apresentou a maior média e obteve letra diferente dos demais coagulantes, enquanto os coagulantes Tanino e *Moringa oleifera* obtiveram as menores médias e letras iguais, assim indicando que esses coagulantes possuem resultados considerados estatisticamente iguais.

Tabela 47 – Comparação das médias de remoção da DQO para o ponto C.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	20,3914 A
Tanino	6,2232 A
Sulfato de Alumínio	8,0411 A

Fonte: Autor próprio (2018)

A comparação das médias da DQO do ponto C (Tabela 47) através do teste de Tukey demonstrou que todos os coagulantes são estatisticamente iguais, contrariando a análise de variância realizada anteriormente.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no trabalho demonstraram que a aplicação de coagulantes acompanhados de um sistema de sedimentação pode ser uma alternativa para o tratamento do efluente gerado pelas indústrias cervejeiras, uma vez que esses coagulantes conseguem reduzir a quantidade de cor aparente, de turbidez, de sólidos totais e da demanda química de oxigênio presente no efluente.

Os parâmetros pH e temperatura sofrem pouca influência quando aplicados os coagulantes analisados durante o estudo, enquanto o parâmetro condutividade elétrica sofre influência apenas do coagulante *Moringa oleifera*.

Dentre os pontos de coletas analisados durante o estudo pode-se observar que os melhores resultados ocorrem quando aplicados os coagulantes no efluente coletado no ponto A, sendo esse um efluente tratado apenas por tratamento preliminar da indústria.

A partir do estudo recomenda-se a aplicação do tratamento com coagulante Tanino no ponto de coleta A uma vez que o coagulante conseguiu obter resultados semelhantes aos demais nos parâmetros cor aparente e turbidez, porém destacou-se dos demais na remoção da demanda química de oxigênio e sólidos totais, não influenciando nos demais parâmetros.

REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed. Washington, 2012.
- ARRUDA, C. S. C. de et al. Pós-tratamento de efluente cervejeiro com coagulantes naturais. **Interfacehs: Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 10, n. 1, p.2-12, jun. 2015.
- BELTRAMELLI, M. **Cervejas, brejas & birras: um guia para desmistificar a bebida mais popular do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Leya Brasil, 2015. 320p.
- BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, Valéria G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 22, n. 2, p.295-299, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362004000200026>.
- BONGIOVANI, M. C. et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.0-1, 12 jul. 2010. Universidade Estadual de Maringá.
<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.8238>.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 de abr. 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 23 de abr. 2019.
- CARDOSO, Karina Cordeiro et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 30, n. 2, p.11-23, 20 out. 2008. Universidade Estadual de Maringá.
<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>
- CARVALHO, M. 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, Maringá, 2008.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **MANUAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS**. 2. ed. São Paulo: Abes, 2009. 453 p.

CERVBRASIL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA **Anuário 2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.cervbrasil.org.br/paginas/index.php?page=anuario-2015>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

CETESB. Secretaria do Meio Ambiente. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Cervejas e Refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 24 nov. 2017.

CRUZ, J. G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. di B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005. 792 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo da Acácia-Negra**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/01_importancia_soc_econ_ambiental.htm>. Acesso em: 01 dez. 2017.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p.106-109, 2006.

JANZ, F. J. L. et al. Treatment of Residual Waters of the Brewery Industry through the Flocculation Process with the Use of Inorganic and Organic Coagulants. Flocculation: Processes and Applications. Nova York: Nova Science Publishers, 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 6. ed. São Paulo: Abes, 2011. 969 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 496 p.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO –MAPA. **A cerveja no brasil**. 2018. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/a-erveja-no-brasil> >. Acesso em: 20 maio 2018.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju: J. Andrade, 2012. 315 p.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringaoleifera* seed. **Water Res.** v.33, n.15, p.3373-3378. 1999.

PALEARI, T. H. **Coagulantes naturais e coagulante químico para o tratamento de efluente de indústria de café solúvel**. 2014. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2014.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação Da *Moringa Oleifera* No Tratamento De Água Para Consumo Humano: Remoção de poluentes por coagulação-floculação**. 2010. 69p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2010.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) –Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SCHOENHALS, M. **Avaliação Da Eficiência Do Processo De Flotação Aplicado Ao Tratamento Primário De Efluentes De Abatedouro Avícola**. 87f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999.85f. Tese (Mestrado, Área de Saúde Pública) –Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

THEODORO, J. D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

VAZ, L. G. de L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento o efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

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

VON SPERLING, M. **Pincípios 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.

WORLD BANK GROUP (Ed.). **Pollution Prevention and Abatement Handbook.** Washington: World Bank Group, 1998. 471 p.