

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL - CAMPUS FELIZ**

ANA CAROLINE MÜLLER PEREIRA

**ANÁLISE DO POTENCIAL COAGULANTE DO EXTRATO PIROLENHOSO NO
TRATAMENTO FÍSICO DE EFLUENTE INDUSTRIAL ORGÂNICO**

FELIZ

2022

ANA CAROLINE MÜLLER PEREIRA

**ANÁLISE DO POTENCIAL COAGULANTE DO EXTRATO PIROLENHOSO NO
TRATAMENTO FÍSICO DE EFLUENTE INDUSTRIAL ORGÂNICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Matheus Felipe Pedrotti

Prof. Flavia Dagostim Minatto

ORIENTADOR

Prof.Me. Eduardo Echevengúá Barcellos

Feliz, 15 de dezembro de 2022.

AGREDECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, minha irmã e meus avós por me incentivarem a estudarem, e estavam sempre ao meu lado. Amo vocês.

Agradeço à minha companheira e meus amigos, os quais participam constantemente das minhas conquistas nessa jornada da vida.

Agradeço, aqui, a minha melhor amiga Ellen pela amizade, companheirismo durante a graduação, irmã que levarei para a vida.

Agradeço às minhas amigas Juliana e Fernanda, por sempre estarem me apoiando, vocês foram fundamentais nessa trajetória.

Agradeço as pessoas da instituição IFRS Campus - Feliz, em especial ao meu orientador Eduardo Barcellos, que me auxiliou nesse trabalho para que fosse possível executá-lo.

Dedico esse trabalho ao meu avô Luiz Pereira (*in memoriam*), que sempre me apoiou nessa escolha da graduação e sempre esteve disposto em me ajudar.

RESUMO

O extrato pirolenhoso é um líquido proveniente do processo da carbonização ou pirólise da queima de materiais vegetais (casca de arroz, material de poda, serragem e madeira), sendo um dos diversos subprodutos obtidos na produção do carvão vegetal, o qual contém misturas complexas na sua composição, como o ácido carboxílico, compostos fenólicos, frações de celulose, hemicelulose e lignina. Recentemente, esse produto vem despertando o interesse de pesquisadores em diversas áreas, como na agricultura e aditivos em rações. Há estudos também sobre o uso do extrato na área de tratamento de efluentes, atividade obrigatória para organizações atenderem a legislação ambiental e na prevenção ou minimização dos impactos ambientais, decorrentes do lançamento em corpo hídrico receptor. Com isso, o objetivo do presente trabalho consiste em analisar o potencial coagulante do extrato pirolenhoso, como alternativa para o tratamento físico-químico do efluente industrial de característica orgânica, de tal modo, constatar um uso alternativo dos coagulantes convencionais, que causam toxicidade ao meio ambiente e à saúde humana, devido a presença de componentes metálicos e férricos. Além disso, pesquisar e compreender o uso do extrato em diferentes aplicações e seus estudos por outros pesquisadores. Nessa perspectiva, o presente estudo empregou o extrato pirolenhoso obtido de uma carvoaria da região e um destilado que foi adquirido comercialmente, ambos foram aplicados como coagulante no efluente residual do ramo alimentício, localizado em Bom Princípio - RS. Os ensaios foram realizados no equipamento Teste de Jarros, simulando as etapas de coagulação e floculação. Previamente, foram efetuados ensaios preliminares para encontrar as melhores condições experimentais, tais como, a definição da quantidade de extrato empregado nos jarros e gradiente de velocidade. Além disso, foram realizadas análises dos parâmetros (análise visual, pH e turbidez) antes e após, para verificar a eficiência da coagulação. Com base nos resultados obtidos no ensaio conclusivo, foi possível notar que o líquido pirolenhoso atuou como coagulante durante o ensaio 4, a presença de flocos foi observada nas seguintes condições de operação: o pH do efluente ajustado para 8,63, 12 mL de extrato adicionado, velocidade rápida (160 por 3 min); velocidade lenta (30 por 15 min) e 6 min de decantação. Por fim, foi observada a presença de flocos, entretanto, os resultados foram parcialmente satisfatórios, visto que não decantaram totalmente, abrindo para a possibilidade de aprofundamento dos aspectos analisados em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Extrato pirolenhoso. Coagulação. Processo. Efluente.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	Objetivos	10
2.1	Objetivo geral	10
2.2	Objetivos específicos	10
3.	REVISÃO DA LITERATURA	11
3.1	Efluentes	11
3.2	Métodos de tratamento	12
3.2.1	Coagulação	12
3.3	Extrato pirolenhoso	14
3.3.1	Extrato pirolenhoso no esgoto	17
3.4	Teste de jarros	18
3.4.1	Estudos de simulação do Teste de jarros	18
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1	Amostras	21
4.2	Materiais e equipamentos	22
4.3	Métodos	25
4.3.1	Ensaio preliminares	25
4.3.2	Ensaio conclusivo	28
5.	RESULTADOS	31
6.	SUGESTÕES	35
7.	CONCLUSÕES	36

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais causados pelo crescimento populacional e das atividades industriais são diversos. Entre eles, os efluentes despejados nos corpos receptores sem tratamento adequado, que podem causar alteração na qualidade do corpo hídrico e conseqüentemente a poluição ambiental (MARTINS; ROCHA; SANTANA, 2018).

Neste contexto, diversas técnicas e materiais são desenvolvidos para que o efluente tratado retorne ao meio ambiente, sem causar maiores danos. De acordo com Albornoz (2015), atualmente, a demanda para efetuar o tratamento de efluentes não é somente visando cumprir a legislação ou devido as fiscalizações ambientais, mas também, visa conscientizar a população, relatando a importância da saúde coletiva ao erradicar as doenças causadas pelo descarte incorreto do efluente.

Dentre as tecnologias de tratamento existentes, a etapa de coagulação se destaca, devido pesquisas e desenvolvimentos de coagulantes naturais, como uma alternativa para a tecnologia ambiental. Estes são considerados materiais projetados para causar menores danos, e assim também visam participar do conceito de química verde¹ (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

Embora os coagulantes convencionais sejam amplamente aplicados no tratamento de água e efluentes, eles podem apresentar desvantagens, como o policloreto de alumínio (PAC) descrito na patente por Truchlaeff (2020). Sua síntese envolve o uso de substâncias corrosivas e voláteis que, além de serem obtidas por eletrólise que envolve alto gasto de energia, os coagulantes a base de alumínio e ferro, acabam gerando resíduos como hidróxidos metálicos que não são biodegradáveis (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Os coagulantes tipicamente empregados no processo de coagulação são: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$); sulfato ferroso (FeSO_4); cloreto férrico (FeCl_3); sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), aluminato de sódio (NaAlO_2), entre outros (BRASIL, 2014).

Santos Neto *et. al* (2020), estudaram e avaliaram diversos artigos sobre a presença de alumínio na água, onde os pesquisadores concluíram que, através da

¹ De acordo com Gomes *et al.*, (2018) a Química Verde, definida como planejamento, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos, tendo como objetivo reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas.

revisão, as concentrações existentes podem ser um fator de risco para o desenvolvimento da Doença de Alzheimer. No mesmo sentido, Richer (2009) comenta que Martin *et. al* (1989) associaram os sais de alumínio do coagulante com a doença de Alzheimer, sendo assim, recomenda-se o cuidado com a dosagem.

Como alternativa aos coagulantes convencionais, tem-se os coagulantes a base de tanino, extraídos da casca de árvore e madeira. Esse extrato orgânico contém compostos de polifenol. Oliveira *et. al* (2021), estudaram o potencial deste coagulante no efluente orgânico e concluíram que apresentou grande eficiência na clarificação do efluente, na remoção de cor aparente e turbidez. Outro coagulante que apresenta diversas pesquisas é a *Moringa Oleifera* à base da semente da planta, Santos *et. al* (2021), avaliaram a eficiência desse coagulante, e como resultado obtiveram a redução de cor aparente do efluente industrial.

A partir disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do extrato pirolenhoso como alternativa para o tratamento do efluente do ramo alimentício, com o intuito de verificar a remoção da turbidez. As condições avaliadas nos ensaios foram a velocidade e o tempo de mistura, concentração do extrato e o pH do efluente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o potencial coagulante do extrato pirolenhoso no tratamento físico-químico de efluente orgânico de uma indústria de alimentos de ramo variado (chocolate, lácteos, frutas e conservas).

2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral acima, será necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Simular o processo de coagulação pelo equipamento Teste de Jarros;
- Analisar a utilização do extrato pirolenhoso em diferentes concentrações;
- Determinar as condições ótimas de operação: pH do efluente, gradiente de velocidade e a quantidade de extrato.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo, contém a revisão bibliográfica, abordando os métodos de tratamento do efluente industrial e enfatizando a etapa de coagulação através da simulação no Teste de jarros.

3.1 Efluentes

Os efluentes podem ser líquidos ou gasosos, gerados pelas indústrias ou por resíduos domésticos (IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015). Cavalcanti (2016), descreve que os efluentes gerados pela indústria são conhecidos como despejo industriais ou águas residuais, sendo correntes líquidas ou suspensões oriundas de processos e operações. As características dos despejos industriais variam conforme o ramo da indústria e o processo produtivo (VON SPERLING, 1996).

Dentre os possíveis contaminantes presentes no efluente, pode-se citar os sais inorgânicos, gases, compostos orgânicos dissolvidos, óleo e graxas, partículas em suspensão e microrganismos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

As características dos efluentes da indústria alimentícia, foco deste estudo, variam de acordo com o processamento do alimento. Entretanto, a carga é considerada orgânica, podendo estar na forma dissolvida. Os principais elementos da matéria orgânica são o carbono, nitrogênio e oxigênio. Além disso, podem ser encontradas substâncias químicas como soda cáustica (NaOH), empregada para descascar os vegetais por lixiviação, ou mesmo detergentes e lubrificantes que são utilizados nos equipamentos. Por questões sanitárias, os equipamentos e pisos são frequentemente limpos, produzindo águas residuais de composições variáveis (CAMPBELL-PLATT, 2015; NUNES, 2012).

No Estado do Rio Grande do Sul, a legislação que estabelece os padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais é descrita pela Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 355/2017 (CONSEMA, 2017), a qual define, entre outros, o padrão de emissão do pH entre 6 e 9. Cavalcanti (2016) comenta que os efluentes necessitam de tratamento para serem despejados em corpos receptores (águas superficiais ou sistema de esgoto público) de modo que atenda os padrões de normas e legislações específicas.

3.2 Métodos de tratamento

A seleção da tecnologia mais apropriada para o tratamento de efluentes é descrita por diversos autores. Libardi Junior (2020), afirma que se deve considerar principalmente os aspectos técnicos e econômicos para a utilização dessas ferramentas. Em contrapartida, Mierzwa e Hespanhol (2005), comentam que esta escolha depende da análise dos contaminantes presentes nos efluentes e suas características. Cabe mencionar que a escolha do método de tratamento e equipamentos do processo é do gerador do efluente com base na melhor tecnologia disponível e considerando sua capacidade econômica, não do órgão ambiental de controle ou da Resolução do CONSEMA que apenas estabelece os padrões de lançamento.

Assim sendo, a remoção dos contaminantes ocorre através de métodos físicos, biológicos e físico-químicos que envolvem processos e operações unitárias. O tratamento físico consiste no tratamento preliminar, através de métodos físicos, com a remoção de sólidos grosseiros utilizando grades, peneiras, equalização e separação de fases (CAVALCANTI, 2016). Já o tratamento biológico, ocorre por meio da degradação biológica pela ação dos microrganismos para remover materiais orgânicos e nutrientes através dos processos aeróbios, anóxicos e anaeróbios (CAVALCANTI, 2016).

Os processos convencionais de tratamento físico-químico utilizam os mecanismos de coagulação e floculação, removendo a carga orgânica e outras substâncias (CAVALCANTI, 2016). Sendo assim, é indicado para remoção de poluentes orgânicos e poluentes específicos (metais pesados, cianeto, arsênio, boro, fósforo, entre outros), materiais inorgânicos, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis e em suspensão (CAVALCANTI, 2016; NUNES, 2012).

Neste processo, o coagulante biod vem se destacando por suas inovações, as quais apresentam vantagens aos coagulantes convencionais, como biodegradabilidade, ser renovável e inocuidade ao meio ambiente (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

3.2.1 Coagulação

A coagulação consiste na adição de coagulantes no efluente, com a finalidade de agregar as partículas coloidais, de modo que ocorra as colisões entre essas impurezas, permitindo a formação de flocos (floculação). Nesse processo, a

suspensão gerada pode decantar ou flotar, ou até mesmo ambos (CAVALCANTI, 2016; RICHTER, 2009).

Davis e Masten (2016) descrevem que, para as partículas se unirem umas às outras ao se colidirem, é necessário que a mistura do líquido seja intensa. No entanto, essa mistura excessiva pode auxiliar no rompimento das partículas, diminuindo o seu tamanho.

Quando acontece a mistura entre o efluente e o coagulante, são geradas as hidrólises², polimerizações³ e reações com a alcalinidade, formando íons positivos na solução. Os coloides são partículas com dimensão de aproximadamente (0,001 a 1 mm) e sólidos em suspensão possuem carga negativa, portanto, a presença dos íons na mistura promove uma desestabilização, possibilitando a ocorrência da coagulação. Ou seja, ocasiona a aglomeração das partículas e na sequência leva a formação dos flocos. Os flocos gerados podem ser separados por decantação, filtração ou flotação (NUNES, 2012). O autor Libânio (2010, p.154) comenta sobre a finalidade da coagulação “[..] espera-se remover especialmente turbidez, matéria orgânica coloidal, substâncias tóxicas de origem orgânica e inorgânica, e outras possíveis de conferir odor e sabor à água, microrganismos em geral [..]”.

A turbidez é ocasionada pela presença de partículas suspensas, coloidais e diversas outras substâncias presentes no efluente. Em análises laboratoriais, para realizar a medição e determinar o valor da turbidez, o equipamento empregado é o turbidímetro, além dele, pode se utilizar a metodologia nefelométrica, que consiste em comparar a luz que atravessa a amostra em condições estabelecidas, com a intensidade da luz atravessada por um padrão (formazina), sob as mesmas condições. O resultado é expresso em NTU (unidades nefelométricas de turbidez) (BRASIL, 2014; EDDY; METCALF, 2015; PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011)

A eficiência do processo de coagulação para a remoção da matéria orgânica depende de alguns fatores, como a concentração das substâncias presentes no efluente, a quantidade de coagulante empregado e do pH ótimo de coagulação.

Desse modo, o potencial hidrogeniônico que mede a diferença do potencial elétrico entre o eletrodo e a solução. Corresponde à atividade dos íons de hidrogênio

² A hidrólise é a reação da água com os cátions ou ânions provenientes da dissociação iônica de um sal (NUNES,2012).

³ A polimerização é descrita por Callister (2021), como a síntese dos polímeros, que consiste em agregação de diversos monômeros repetidos.

(H⁺), possibilitando indicar a condição de acidez, neutralidade e alcalinidade presente na amostra, através da faixa do pH entre 0 a 14, a medição ocorre através do pHmetro ou pelo método colorimétrico. Sendo assim, os valores desviados da neutralidade afetam no ecossistema aquático e na taxa de crescimento de microrganismos, o pH baixo pode acarretar corrosividade e, em contrapartida, o valor elevado propicia a precipitação de metais e a formação de incrustações. Desse modo, a variação do pH interfere no equilíbrio de componentes químicos (RICHTER, 2009; VON SPERLING, 1996).

O tratamento físico-químico por coagulação e floculação é empregado nos processos industriais, precedendo o tratamento biológico, a fim de reduzir a carga orgânica. Além disso, pode ser aplicado no tratamento da água bruta, com o objetivo de reduzir impurezas no estado coloidal e suspensões, para na sequência serem removidos em decantadores (NUNES, 2012).

O coagulante deve ser capaz de produzir precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação no meio aquoso, capazes de desestabilizar ou envolver as partículas suspensas ou coloidais. Entretanto, o cloreto de sódio, ao dissociar-se na água, gera os íons (Na⁺ e Cl⁻) que atuam como cargas localizadas, impossibilitando a formação de espécies hidrolisadas que são essenciais para a etapa de coagulação (LIBÂNIO, 2010).

Os produtos tipicamente usados como coagulantes incluem cloreto férrico, cloreto de polialumínio, cloreto de poliferro e cloreto de polidialil-dimetilamônio (EDDY E METCALF, 2015). Ao aplicar coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro, é possível obter resíduos com hidróxidos metálicos (não biodegradáveis), apresentando toxicidade ao meio ambiente e à saúde humana (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018; OLADOJA *et al.*, 2017). Em consequência disso, diversos coagulantes naturais são pesquisados devido às suas vantagens, como a alta disponibilidade da matéria prima, serem biodegradáveis, renováveis, apresenta baixa corrosividade, diminuem o lodo gerado no processo, baixo custo e em geral não apresentarem risco à saúde (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

3.3 Extrato pirolenhoso

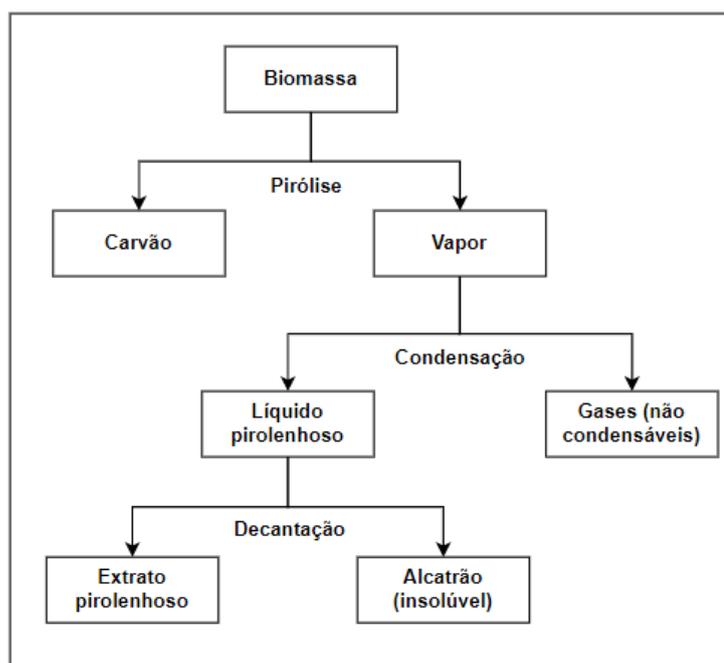
O extrato pirolenhoso (EP), é o líquido obtido a partir da condensação da fumaça de diferentes materiais orgânicos (casca de arroz, material de poda, serragem

e madeira) e pode ser denominado de ácido pirolenhoso, vinagre de madeira, licor pirolenhoso, fumaça líquida ou bio óleo (CAMPOS, 2007).

A matéria-prima comumente empregada para se adquirir o extrato pirolenhoso é a madeira, principalmente durante o processo da produção do carvão vegetal. A obtenção do líquido pirolenhoso ocorre através do aquecimento e da condensação de vapores, durante o processo de pirólise, que consiste na ausência de oxigênio. O processo da carbonização da madeira ocorre com o aquecimento entre 450 e 550 °C (CAMPOS, 2007; SANTOS; HATAKEYAMA, 2012).

Após a obtenção do extrato bruto, as reações de polimerização continuam entre os componentes do extrato. Sendo assim, o líquido deve ser mantido em repouso (decantação) por cerca de 3 a 6 meses, a fim de cessar as reações e estabilizar os componentes (CAMPOS, 2007). Na Figura 1, está representado o esquema das etapas para obtenção do extrato pirolenhoso a partir da madeira. Os gases não condensáveis são constituídos por dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), hidrogênio (H_2) e hidrocarbonetos (BECIDAN; SKREIBERG; HUSTAD, 2007). Campos (2018, p.1) descreve que o “líquido de pirólise, pode ser produzido por diversos processos, cada um com o seu próprio método e características particulares, dependendo da finalidade a que se destina.”

Figura 1 - Fluxograma da obtenção do extrato pirolenhoso



Fonte: Adaptado de Rocha, Pérez e Cortez (2004); Diniz (2005).

Ao se obter o extrato pirolenhoso é recomendado realizar o processo de destilação, buscando eliminar as substâncias tóxicas, como o alcatrão, que contém componentes cancerígenos, como benzopirenos e outros (CAMPOS, 2007). O alcatrão insolúvel possui coloração escura, é denso e viscoso, de caráter fenólico e ácidos orgânicos, compostos oxigenados e hidrocarbonetos (CETEC, 1981). Algumas empresas utilizam o alcatrão como combustível, componente para produção de borracha, indústria farmacêutica e veterinária, pavimentação, produção de tintas e vernizes (BRITO, 1990; CETEC, 1982). Além disso, durante a obtenção do extrato pirolenhoso é recomendado remover o alcatrão devido aos seus componentes cancerígenos e poluentes (CAMPOS, 2007).

São diversas as substâncias que podem ser encontradas no extrato pirolenhoso. Zanetti *et al.* (2003), relata que o extrato contém mais de 200 componentes químicos diferentes, destacando os principais que são: o ácido acético, água, metanol e acetona. A composição química do extrato pirolenhoso é descrita por Campos (2007) como um ácido carboxílico, que pode ser alterado à medida da necessidade da produção.

Colabora neste sentido Campos (2018), que descreve que a composição é constituída de ácido carboxílico de mistura complexa, devido às reações químicas dos componentes do material (celulose, hemicelulose, lignina, compostos fenólicos, entre outros), cabe salientar que, dependendo da biomassa empregada e do processo realizado, compostos indesejados podem ser removidos, melhorados ou produzidos. Desse modo, diversos pesquisadores buscam caracterizar o extrato pirolenhoso obtido de biomassas distintas, assim como seus componentes podem coincidir como os fenóis, cetonas entre outros. Na Tabela 1, podem ser vistas as diferentes composições que caracterizam o extrato.

Tabela 1 – Composição do extrato pirolenhoso

Componentes	Espécie	Autores
Ácido carboxílico, álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, éteres, fenóis	Endocarpo do coco, endocarpo do dendê, endocarpo da macaúba, endocarpo do ouricuri, eucalipto e semente de açaí	Vieira (2019)
Ácidos, fenóis e cetonas	Serragem de abeto chinês, talo de algodão e serragem de bambu	Wu Q (2015)
Fenóis, ácidos orgânicos, guaiacol, cresol e siringol	<i>Eucalyptus Grandis</i>	Vieira <i>et. al</i> (2015)
Aldeídos, furanos, guaiacol e 2-metoxi-4-metilfenol, siringol e 1,2,3-trimetoxibenzeno	<i>Eucalyptus sp</i>	Souza, Ré-Poppi e Raposo (2012)
Ácido acético, metanol, alcatrão solúvel	Madeira	CETEC (1981)

Fonte: Autora (2022)

O produto final pode apresentar coloração avermelhada a amarelada, com odor característico semelhante ao defumado, e pH variado entre 1,3 e 3,0. Atualmente, os principais países fabricantes do extrato pirolenhoso são o Japão, a China, a Indonésia, a Malásia, o Brasil, o Chile (CAMPOS, 2007).

Diversas pesquisas são desenvolvidas para disseminar a potencialidade do extrato pirolenhoso, dentre os estudos, Zeferino, Lima e Vieira (2018), aplicaram doses do extrato na germinação de sementes de três espécies de plantas daninhas que apresentaram função adjuvante de herbicida em todas as plantas. Em relação às propriedades antimicrobianas do ácido pirolenhoso, Campos (2018) menciona que isso se deve aos compostos fenólicos presentes.

O extrato é aplicado na composição de adubos orgânicos, na compostagem e na pulverização de plantas, permitindo melhorar a durabilidade e se tornarem ainda mais vigorosos no tamanho, sabor e cor (ENGASP, 2014).

3.3.1 Extrato pirolenhoso no esgoto

O estudo de Zhang *et al.* (2019), foi aplicado o extrato pirolenhoso sobre os biopolímeros no esgoto doméstico, em um reator em batelada sequencial (SBR). Como resultado, se obteve que o ácido aumentou significativamente a produção dos bio polímeros, entretanto, apresentou impacto negativo na floculação, sedimentação

e desempenho na desidratação do lodo ativado. Basso (2021), avaliou o potencial do extrato pirolenhoso obtido do *Eucalyptus Durni* em diferentes dosagens no lodo de esgoto. Os resultados foram promissores, apresentando potencial anti-hélmico e permitindo ser empregado como agente saneante em lodo de esgoto estabilizado.

3.4 Teste de jarros

O teste de jarros permite simular as condições desejadas a partir de um ensaio de coagulação/floculação, através dos procedimentos em escala de bancada e piloto, possibilitando avaliar a variedade do tipo e doses de coagulantes. O equipamento pode ser constituído de 3 a 6 jarros com misturadores em seu interior. A geometria do jarro é quadrada, a fim de evitar o fluxo de vórtices; além disso, é constituído por um sistema de agitação que opera de modo constante, sendo possível variar de 15 a 600 rpm, podendo simular misturas rápidas e lentas (HOWE *et al.*, 2012; CAVALCANTI, 2016).

De acordo com Cavalcanti (2016), durante o processo de coagulação-floculação, inicialmente, ocorre a coagulação através da agitação rápida com o gradiente de velocidade elevado e após isso se realiza o processo de floculação com gradientes reduzidos. Os flocos podem decantar e as amostras são colhidas a partir do sobrenadante. A finalidade da velocidade rápida é melhorar o contato do coagulante com o poluente, enquanto a velocidade baixa permite a formação dos flocos. Após estas etapas, a amostra fica em repouso para que as partículas possam sedimentar/decantar até o fundo do recipiente (Santos *et al.*, 2021).

Os ensaios de teste de jarros determinam os tipos de coagulantes adequados para determinados efluentes. Além da concentração dos produtos empregados, os testes possibilitam avaliar os efeitos da temperatura e o pH ótimo de floculação, tempos de decantação, gradientes de velocidade e a potência necessária para a geração dos flocos, os tempos de reação dos produtos químicos adicionados, entre outros (CAVALCANTI, 2016).

3.4.1 Estudos de simulação do Teste de jarros

Nesse contexto, diversas análises avaliam a tratabilidade dos efluentes através dos ensaios simulados com Teste de jarros e seus respectivos coagulantes. Alguns destes estudos são apresentados a seguir.

As pesquisas de Joaquin, Nirmala e Kanakasabai (2021), avaliam o uso de coagulantes naturais obtidos a partir de sementes de melancia e melão no tratamento de efluentes de esgoto. No estudo, os pesquisadores utilizaram a mistura rápida (150 rpm por 1 min), e em seguida a mistura lenta (50 rpm por 30 min). Por fim, foi realizado o repouso por 1 h. Os resultados revelaram que o coagulante obtido da semente da melancia em comparação com a do melão, apresentou melhor eficácia na redução do percentual de sólidos suspensos e na demanda química de oxigênio.

Já Elsayed *et al.* (2020), estudaram o desempenho dos coagulantes naturais extraídos de sementes de feijão, feijão de lima, lentilha e feno grego, e comparava-os ao alúmen, aplicados em água turva sintética. Durante o experimento, os procedimentos foram mistura rápida (150 rpm por 10 min), mistura lenta (80 rpm por 20 min) e para a sedimentação (10 min). Como resultado, foi constatado que dentre as sementes, o feno-grego se destacou, apresentando o melhor desempenho: removeu 98% da turbidez enquanto o alúmen foi de 85%.

Nos estudos de Santos *et. al* (2021), foi avaliada a eficiência da *Moringa Oleífera* e do sulfato de alumínio no tratamento de água residuária industrial. Os experimentos foram realizados em triplicata, para isso, foram determinadas as seguintes condições: o tempo de mistura rápida (160 rpm por 3 min), tempo de mistura lenta (30 rpm por 15 min) e tempo de decantação (30 min), os quais foram pré-estabelecidos durante a pesquisa bibliográfica. Os resultados obtidos mostraram que o desempenho e eficácia dos coagulantes, em que o sulfato de alumínio reduziu 99,7% e *Moringa oleífera* 98,6% da cor aparente da água residuária de beneficiamento de vidro.

Cordeiro *et al.* (2016), analisaram e compararam os coagulantes policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e cloreto férrico empregados na remoção de turbidez em águas superficiais de uso para abastecimento público. Os parâmetros e valores adotados foram mistura rápida (300 rpm por 5 min), floculação (60 rpm por 20 min) e a sedimentação (20 min), os quais são baseados na norma NBR 12.216/1992. Dentre os coagulantes avaliados, o Policloreto de alumínio apresentou os melhores resultados, principalmente pela eficiência nas formações de flocos, na remoção de turbidez com cerca de 92% de eficiência, possibilitando, ainda, a menor dosagem do produto.

Gonçalves, Menezes Filho e Oliveira (2021), analisaram e compararam a eficiência de remoção de turbidez e alteração do pH, aplicando os coagulantes sulfato

de alumínio e cloreto férrico nas amostras sintéticas residuárias têxteis. A metodologia foi baseada em Ritcher (2009) com algumas alterações, onde as etapas seguidas foram a homogeneização (100 rpm por 10 min), mistura rápida (140 rpm, por 1 min e 40 seg), mistura lenta (40 rpm por 15 min) e a sedimentação (30 min). Os resultados obtidos variaram de acordo com a concentração da mistura dos poluentes, em que o sulfato de alumínio apresentou maior eficiência de clarificação com os valores de corante/caulim 1:3 e 2:2 (m/m). Para o cloreto férrico, o melhor desempenho foi na proporção corante/caulim 2:4 (m/m).

Asadollahfardi *et al.* (2018) estudaram os diferentes tipos de coagulantes, tais como lúmen, hidróxido de cálcio, sulfato ferroso, cloreto ferroso e cloreto de bário, a fim de selecionar o mais adequado para tratar o efluente da fábrica têxtil. Para isso, inicialmente agitaram a mistura com o coagulante (100 rpm por 3 min), em seguida a mistura lenta (30 rpm por 15 min) e por fim realizaram a decantação (30 min). Com este estudo, concluíram que o hidróxido de cálcio obteve o melhor resultado dentre os demais, removendo 92,9% de sólidos suspensos totais, 70% de corante e 30% de demanda química de oxigênio.

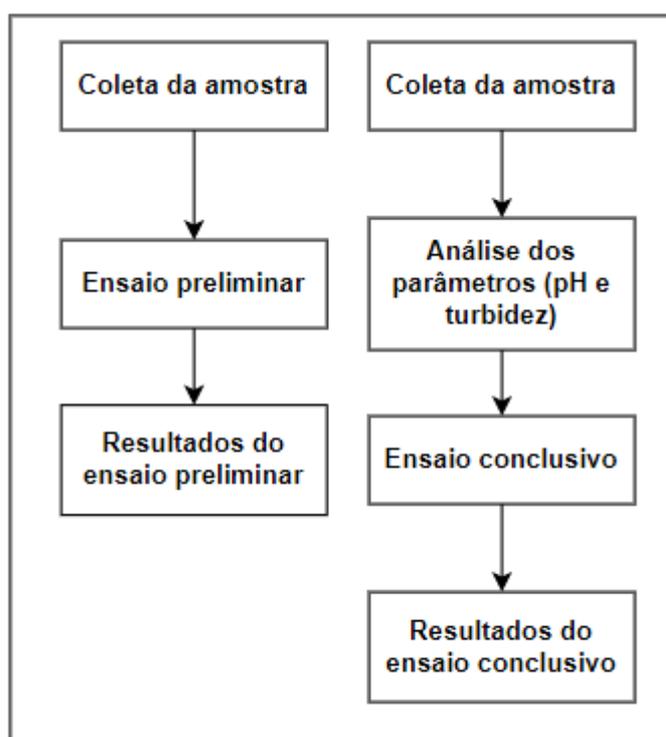
No estudo de Alvim e Marques (2019), foi avaliada a eficiência de remoção de poluentes do efluente de laticínio empregando o coagulante policloreto de alumínio. Para a realização dos ensaios, foi determinada a mistura rápida (200 rpm por 1 min), a floculação (150 rpm por 1 min) e a sedimentação (10 min). Além disso, na floculação foi utilizado o polímero aniônico. Os resultados obtidos foram satisfatórios, nos quais as melhores concentrações de policloreto de alumínio e de polímero aniônico foram de 0,1 % foi de 1 mL e de 5 mL, respectivamente.

A partir desses estudos foi possível verificar que as inovações sustentáveis e renováveis vêm avançando nos últimos anos, assim como as pesquisas de coagulantes/floculantes naturais, que apresentam diversas vantagens em comparação aos coagulantes/floculantes tradicionais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo contém os materiais e métodos empregados para realizar o tratamento do efluente orgânico, com a finalidade de avaliar o extrato pirolenhoso obtido de um carvoeiro e outro adquirido comercialmente, em diferentes quantidades, aplicado como coagulante. Além disso, contém os parâmetros avaliados e a descrição dos procedimentos experimentais. O fluxograma a seguir, na Figura 2 representa as principais etapas utilizadas na metodologia do estudo.

Figura 2 - Fluxograma das etapas desenvolvidas



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.1 Amostras

O efluente utilizado foi obtido em uma indústria do ramo alimentício da cidade de Bom Princípio, localizada no estado do Rio Grande do Sul. A amostra foi coletada em galões de 5 e 10 L na Entrada da Estação de Tratamento (ETE) da fábrica, logo após a retirada dos sólidos grosseiros através de uma peneira rotativa, armazenadas em temperatura ambiente e transportadas para o Laboratório de Química e Meio ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Feliz, para a realização dos testes. As coletas foram realizadas em

diversos dias, sempre no mesmo horário e as análises foram realizadas em seguida. A variabilidade das amostras é devido ao processo produtivo do local escolhido, os produtos desenvolvidos são separados por áreas (chocolate, lácteos, frutas e conservas).

A ETE da fábrica é composta pelas etapas de retirada de sólidos grosseiros por uma peneira rotativa, medição de vazão, tanque de aeração, decantação e regulação de pH e por fim, dispersão em solo. Repita-se que a coleta de amostras foi realizada após a retirada de sólidos grosseiros, na calha de parshall, antes da aeração, para que não haja interferência do tratamento atual nas amostras. O local da coleta pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Local da coleta do efluente orgânico, A) ETE da fábrica, B) Tanque de aeração, C) Peneira rotativa e D) Calha Parshall, local de coleta da amostra



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Cabe salientar que é praticamente inviável conservar completamente as amostras dos efluentes, visto que não se consegue adquirir estabilidade completa de cada constituinte. Portanto, as técnicas de preservação possibilitam o retardamento das reações, mas, as reações acontecem após a coleta das amostras (CAVALCANTI, 2016). Após a coleta do material, as amostras foram transportadas até o laboratório, como informado anteriormente. Antes do procedimento de teste de jarros, uma alíquota da amostra foi utilizada para a medição do pH e turbidez inicial.

4.2 Materiais e equipamentos

O extrato pirolenhoso decantado foi obtido proveniente da madeira da acácia negra, fornecido por um produtor carvoeiro da região do Vale do Caí, no Rio Grande

do Sul. Convém salientar que não se tinha o conhecimento do funcionamento do sistema de coleta do extrato pirolenhoso, causando incertezas na garantia de qualidade do produto e até mesmo de sua composição

O extrato pirolenhoso destilado foi adquirido comercialmente pela empresa SP Pesquisa e Tecnologia. Segundo as informações contidas na ficha técnica do produto, a matéria prima do extrato pirolenhoso é a casca de arroz submetida ao processo de pirólise no reator de leito de arraste, com temperatura controlada de 350 °C. O pH do extrato pirolenhoso era de 2,54. Os materiais e equipamentos utilizados nas análises e testes são apresentados a seguir. Na Figura 4 pode ser visto, o extrato decantado e destilado.

Figura 4 – Extrato pirolenhoso decantado e destilado

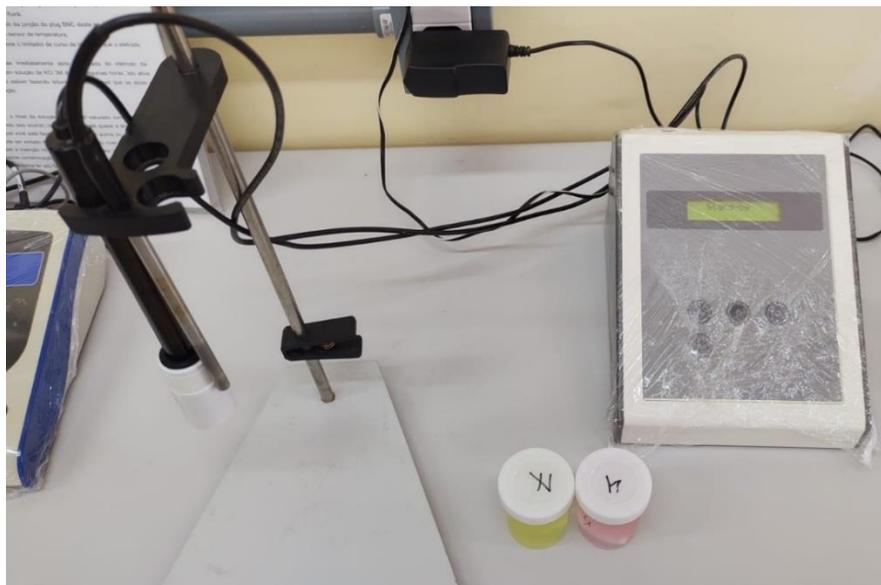


Fonte: Autora (2022).

Os equipamentos e vidrarias utilizados no procedimento experimental foram disponibilizados pelo laboratório de Química e Meio Ambiente do IFRS Campus Feliz e os parâmetros avaliados neste trabalho foram pH e turbidez.

Para a determinação do pH foi realizada, inicialmente, a calibração do pHmetro MPA que pode ser visto na Figura 5, com soluções padrão (pH 4,00 e pH 7,00) onde posteriormente foram seguidas as metodologias descritas no manual do equipamento.

Figura 5 – pHmetro MPA



Fonte: Autora (2022).

O equipamento usado para a medição da turbidez (Hanna, Hi98703), foi utilizado para a realização da calibração, seguindo o método descrito no manual do fabricante. Os padrões de calibração utilizados foram: < 0.1 NTU, 15 NTU, 100 NTU e 750 NTU, fornecido no equipamento. Após, as amostras do efluente foram adicionadas na cubeta de vidro incolor e inseridas no turbidímetro para efetuar a leitura, o equipamento pode ser visto na Figura 6.

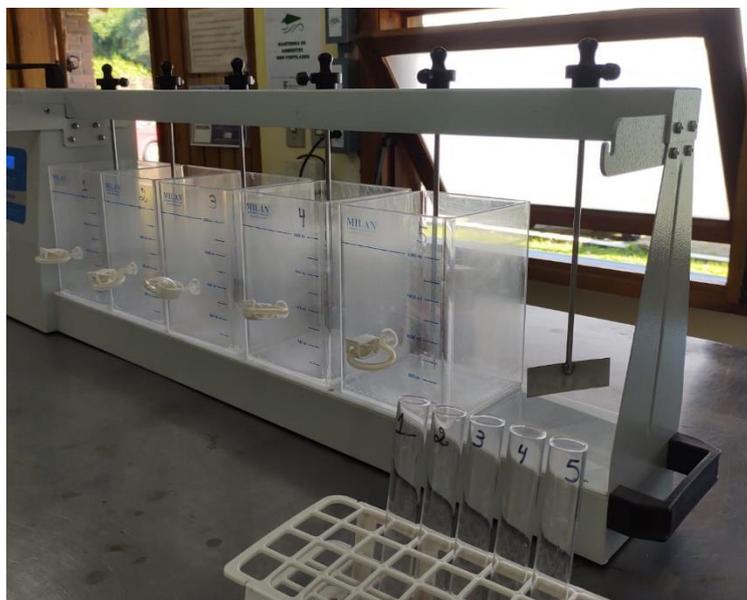
Figura 6 – Equipamento turbidímetro utilizado para medir a turbidez



Fonte: Autora (2022).

Os ensaios ocorrem através do equipamento Teste de Jarros (JT303M6, Milan Equipamentos Científicos, Brasil) do laboratório do Campus Feliz, composto por 6 jarros, com capacidade de até 2 L cada, pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Equipamento Teste de Jarros



Fonte: Autora (2022).

4.3 Métodos

Para a realização do trabalho foram necessários os estudos de alguns métodos por meios de ensaios experimentais realizados em laboratório. Os ensaios realizados a seguir, buscaram avaliar os parâmetros e determinar condições favoráveis à coagulação.

4.3.1 Ensaios preliminares

Nessa primeira etapa foram realizados alguns ensaios iniciais para investigar a melhor condição, visto que os seguintes parâmetros já mencionados neste trabalho (concentração do coagulante, tempo e velocidade de mistura) influenciam no processo de coagulação e floculação.

Para efetuar o ensaio no Teste de Jarros, foi necessário determinar as velocidades e tempos de misturas, os quais foram baseados nas pesquisas dos autores descritos abaixo, conforme pode ser visto na Tabela 2. Dentre as rotações máximas, foi selecionada a rotação intermediária para ser utilizada no experimento,

neste caso, foi 160 rpm por 3 min (Santos *et al.*, 2021). Para a rotação mínima optou-se aplicar 30 rpm (SANTOS *et al.*, 2021; ASADOLLAHFARDI *et al.*, 2018) por cerca de 15 minutos (GONÇALVES, MENEZES FILHO, OLIVEIRA, 2021; SANTOS *et al.*, 2021; ASADOLLAHFARDI *et al.*, 2018). Por fim, a decantação foi efetuada com o tempo de 30 min (GONÇALVES, MENEZES FILHO, OLIVEIRA, 2021; SANTOS *et al.*, 2021; ASADOLLAHFARDI *et al.*, 2018). Observa-se que a determinação das velocidades e tempos indicam o total de 48 minutos para cada ensaio.

Tabela 2 - Dados de base para a simulação do teste de jarros

Autores / Data da publicação	Rotação máxima	Rotação mínima	Decantação	Método baseado
Joaquin; Nirmala; Kanakasabai (2021)	150 rpm para 1 min	50 rpm por 30 min	1 h	-
Elsayed <i>et al.</i> (2020)	150 rpm para 10 min	80 rpm por 20 min	10 min	Saritha, Karnena e Dwarapureddi (2019)
Gonçalves; Menezes Filho; Oliveira (2021)	140 rpm por 1 min e 40 s	40 rpm por 15 min	30 min	Ritcher (2009), com alterações
Santos <i>et al.</i> (2021)	160 rpm por 3 min	30 rpm por 15 min	30 min	Pré-estabelecidos durante a pesquisa bibliográfica
Cordeiro <i>et al.</i> (2016)	300 rpm por 5 min	60 rpm por 20 min	20 min	NBR 12.216/1992
Asadollahfardi <i>et al.</i> (2018)	100 rpm por 3 min	30 rpm por 15 min	30 min	ASTM D2035-13
Alvim e Marques (2019)	200 rpm por 1 min	150 rpm por 1 min	10 min	Cavalcanti (2009) e Lemos <i>et al.</i> , (2017)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Após a determinação dos parâmetros, foi efetuado o ensaio preliminar com as seguintes condições determinadas anteriormente, como a velocidade e tempo das rotações com base nos autores de referência, foi escolhida uma faixa ampla da quantidade de extrato para verificar a melhor atuação do mesmo. No jarro 6 foi realizado o ensaio do branco, utilizando 2 mL de sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ como controle, verificando se de fato iria acontecer a coagulação nos testes, o pH coagulante convencional era de 2,40 e o extrato pirolenhoso era de 2,96.

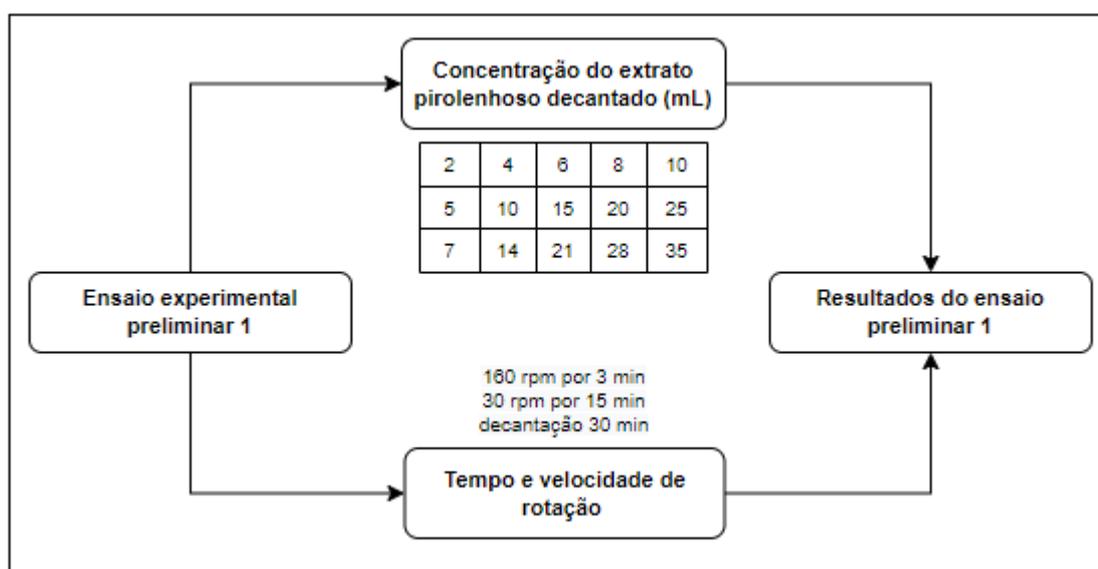
Tabela 3 – Ensaio preliminar 1

Ensaio preliminar 1	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6	Rotação máx	Rotação mín	Decantação
	Extrato decantado (mL)					Sulfato de alumínio (mL)			
Teste 1	2	4	6	8	10	2	160 rpm por 3 min	30 rpm por 15 min	30 min
Teste 2	5	10	15	20	25	2	160 rpm por 3 min	30 rpm por 15 min	30 min
Teste 3	7	14	21	28	35	2	160 rpm por 3 min	30 rpm por 15 min	30 min

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir disso, os testes (1, 2 e 3) foram realizados sem a correção do pH do efluente que era de 4,76. Sendo assim, na sequência foram iniciados os experimentos em que foi inserido 1,5 L do efluente orgânico alimentício em cada jarro e seguindo os parâmetros controlados dispostos na Tabela 3, a fim de observar visualmente a formação de flocos. Todos os testes foram realizados em duplicata, o esquema experimental do ensaio preliminar 1 está ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Esquema do ensaio preliminar 1

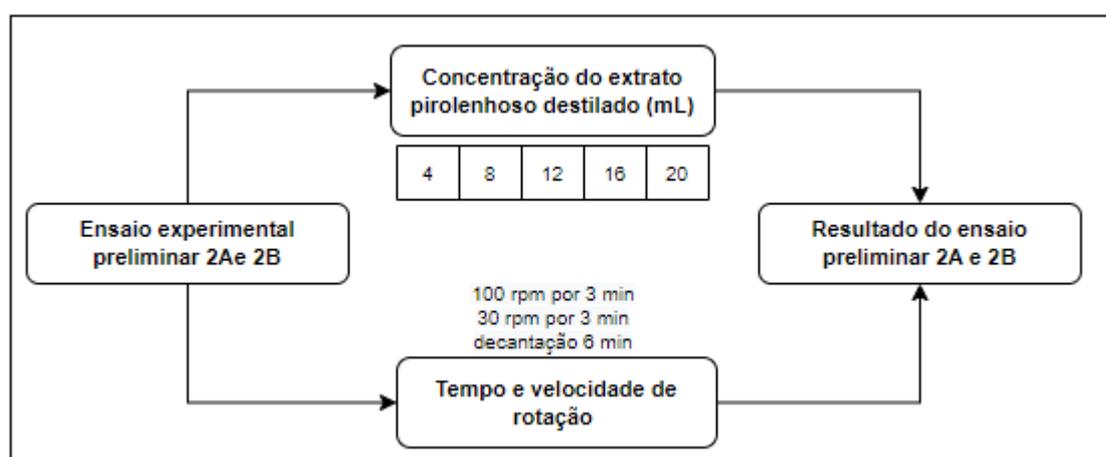


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os próximos ensaios preliminares buscaram-se aprimorar a etapa anterior, visto que Cavalcanti (2016), comenta que o Teste de Jarro, permite determinar variáveis como gradientes de velocidade e potência necessária para a geração dos flocos. Para tanto, é necessário realizar testes variando os parâmetros.

O ensaio preliminar 2 foi dividido em duas partes, visto que o pH do efluente apresentava variação. Entretanto, os parâmetros foram alterados assim como a quantidade de extrato, com o intuito de possibilitar analisar e repetir os testes com maior frequência. Além disso, a velocidade da mistura rápida foi alterada para 100 rpm por 3 min, e a lenta foi de 30 rpm por 3 min e por fim a decantação por 6 min, permitindo verificar se os flocos não se quebrariam com a agitação, a fim de manter condições favoráveis para a sua união. Com estas alterações, o tempo total de cada ensaio foi reduzido para 12 min, o que permite um número maior de ensaios, na Figura 9 pode ser visto o esquema experimental determinado.

Figura 9 – Ensaio preliminar 2A e 2B



Fonte: Autora (2022).

Do mesmo modo que no ensaio preliminar foi colocado 1,5 L da amostra do efluente orgânico em cada jarro, foram ajustados os tempos e velocidades de rotação no equipamento e adicionados as quantidades do extrato destilado prescritas anteriormente. O pH do efluente não foi ajustado, entretanto, durante a coleta da amostra foi notado despejos de produtos químicos, interferindo nos resultados dos parâmetros avaliados. Por fim, foi observado os seguintes resultados dispostos a seguir.

4.3.2 Ensaio conclusivo

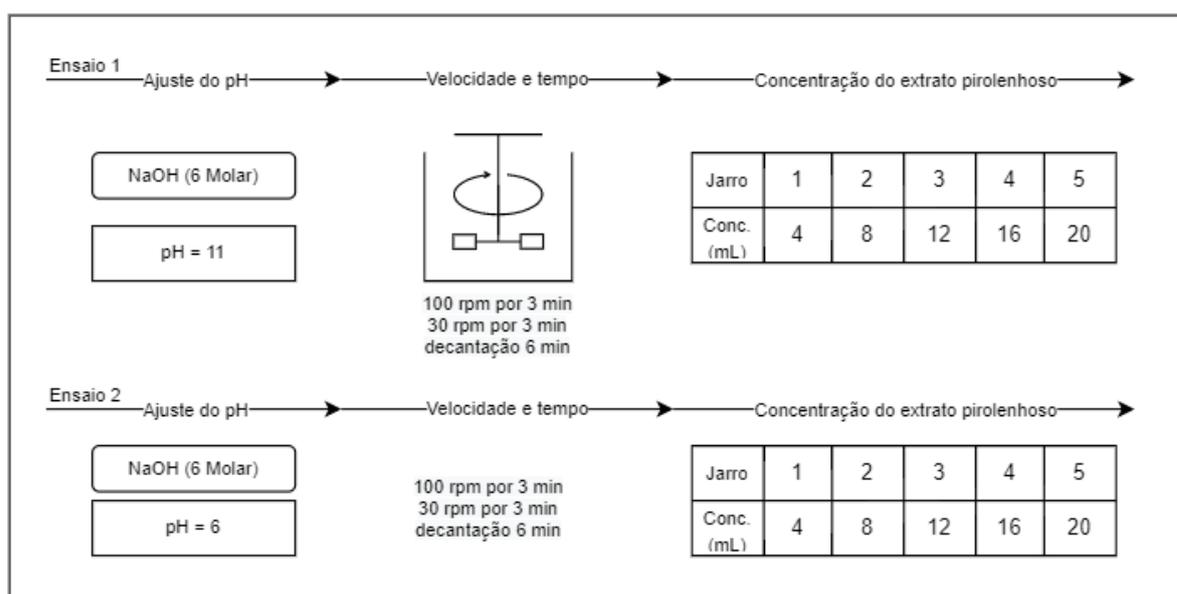
O ensaio conclusivo teve como intuito aplicar os parâmetros ajustados e determinados anteriormente, assim como, utilizar o extrato pirolenhoso destilado e verificar a sua eficiência. Do mesmo modo que os ensaios preliminares, foram inseridos 1,5 L das amostras do efluente orgânico em 5 jarros, porém, o pH da amostra

variava em cada jarro, sendo necessário ajusta-lo. Como descrito por Nunes (2012 p. 117), "A necessidade de correção de pH do efluente decorre do fato de a coagulação exigir valor ótimo, quando ocorre a formação dos flocos".

Desse modo, se optou por ajustar o pH com hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl), dependendo do pH inicial do efluente bruto, a fim de buscar a melhor faixa de atuação do coagulante. O experimento foi realizado com 4 ensaios distintos, variando o pH e a concentração, visto que ambas interferem na coagulação e floculação.

A seguir, como pode ser visto na Figura 10, a sequência experimental em que se ajustou o pH para básico (ensaio 1) e ácido (ensaio 2), na fase de agitação rápida. O equipamento operou com 100 rpm por 3 min e na agitação lenta foi de 30 rpm por 3 min. Após, foi aguardado o tempo de decantação de 6 min, para verificar a eficiência do processo.

Figura 10 – Ensaio de coagulação 1 e 2

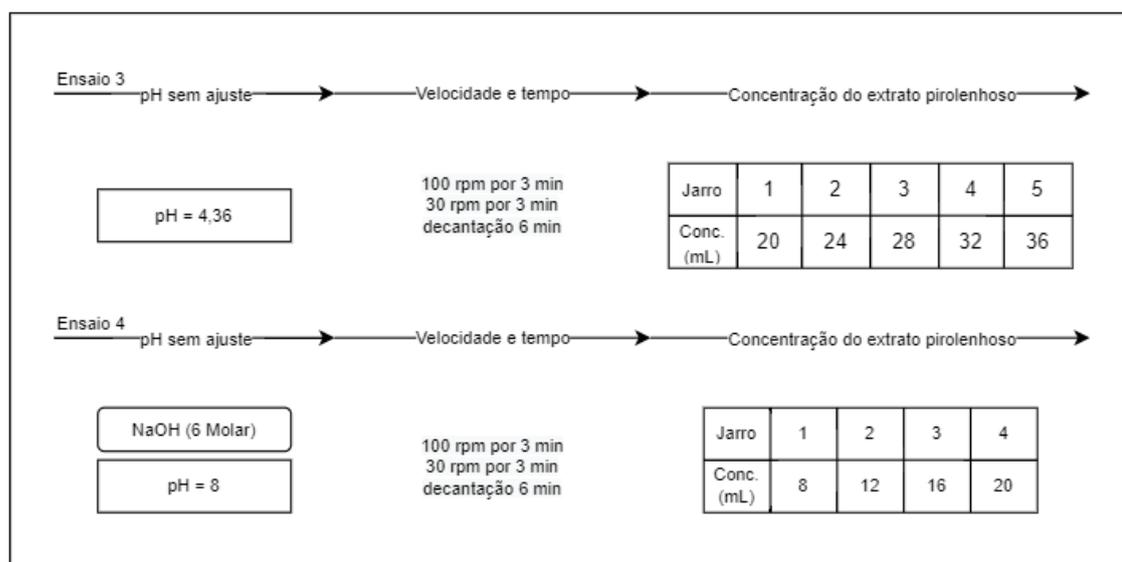


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os ensaios 3 e 4 foram diferentes do ensaio anterior, como consta no esquema experimental ilustrado na Figura 11. Conforme dito anteriormente, o ensaio de coagulação e floculação através do teste de jarros, simula condições determinadas e permite comparar os diferentes planos. Assim sendo, no ensaio 3 foi alterada a quantidade de extrato pirolenhoso, mas não foi realizado o ajuste de pH do efluente bruto. No ensaio 4 foi alterado a faixa de quantidade do extrato, e o pH foi ajustado

entre 8 e 9. Por fim, foram realizadas as análises dos parâmetros como pH, turbidez e análise visual, caso ocorresse a coagulação e floculação.

Figura 11 - Ensaio de coagulação 3 e 4

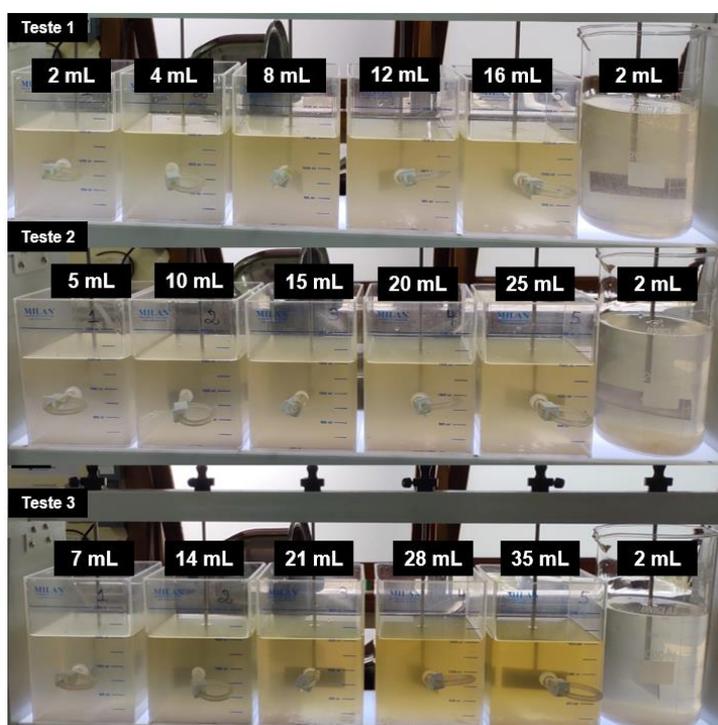


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

5 RESULTADOS

Os resultados do experimento do ensaio preliminar 1 com o coagulante decantado da carvoaria foram insatisfatórios. Não apresentou flocos decantados durante as etapas de coagulação e floculação. Na Figura 12, pode ser visto o resultado final dos testes (1, 2 e 3) realizados com o aumento gradativo do coagulante. A presença de flocos com tamanhos grandes não foi notada, entretanto, a amostra comparativa que aplicou o coagulante convencional foi eficiente, promovendo a coagulação e floculação em instantes.

Figura 12 – Resultado ensaio preliminar 1



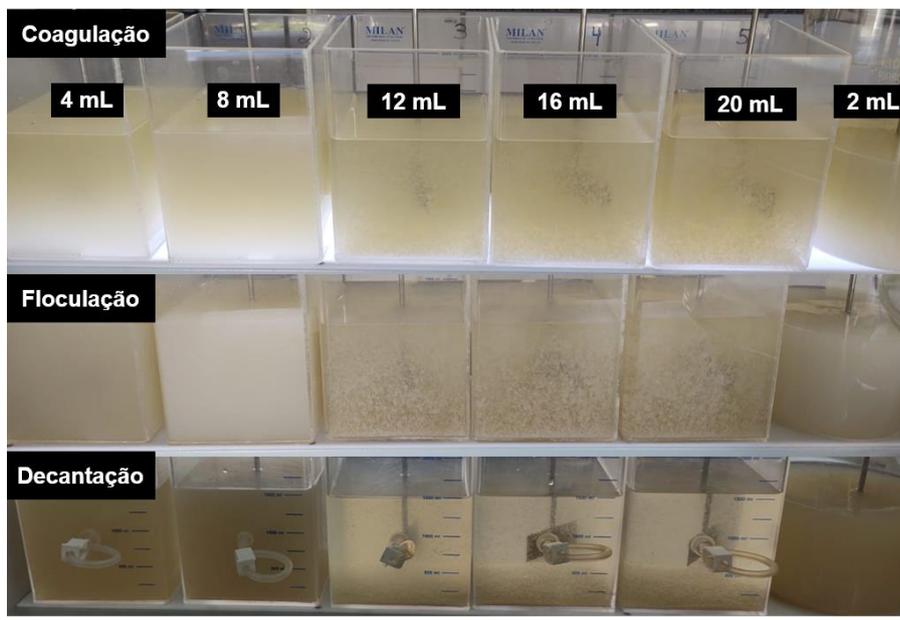
Fonte: Autora (2022).

Nos ensaios preliminares 2A e 2B, onde foi alterada a quantidade de extrato e o gradiente de velocidade de rotação, é relevante mencionar que no momento da coleta do efluente, ocorreu o despejo de produtos químicos pela empresa, deste modo, as amostras possuíam substâncias como hidróxido de sódio e desincrustantes. Sendo assim, o ensaio 2A apresenta o efluente com substâncias químicas, e o 2B representa o efluente bruto. Ambos os ensaios não foram ajustados os pH, e no jarro 6 foi realizado a amostra comparativa com sulfato de alumínio.

Durante o ensaio preliminar 2A foi possível notar o momento em que ocorre a coagulação, floculação e decantação com a adição do extrato pirolenhoso destilado.

Entretanto, os 2 mL do sulfato de alumínio não aconteceu a coagulação, os resultados podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13 – Resultado ensaio preliminar 2A do efluente com produtos químicos



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após os 6 minutos de decantação, foi possível notar a eficiência do coagulante através da análise visual, onde os flocos decantaram nos jarros 3, 4 e 5, contendo 12, 16 e 20 mL respectivamente, de extrato pirolenhoso, entretanto, alguns ficaram suspensos no efluente, podendo ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Resultado da etapa de decantação do ensaio preliminar 2A



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Diferentemente dos resultados apresentados acima, quando realizado ensaio preliminar 2B utilizando efluente sem a presença de produtos químicos e utilizando o mesmo método (sem regulação de pH, mesma concentração de extrato e mesma velocidade e rotação nos jarros) não foi possível observar a formação de flocos capazes de decantar, portanto, foram obtidos resultados insatisfatórios. Cabe mencionar que o pH inicial das amostras estavam em 6,14 em média, ou seja, próximo ao pH apresentado no ensaio anterior. O resultado visual na formação dos flocos deste segundo ensaio pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Resultado do ensaio preliminar 2B na etapa de decantação



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Após os ensaios preliminares descritos, foi possível determinar as condições a serem avaliadas no presente trabalho. Entretanto, o ajuste de pH não havia sido feito durante os testes, podendo ser um fator influenciador nos resultados dos ensaios preliminares. De acordo com Cunha (1946), o pH inadequado compromete a eficiência do processo, resultando no maior consumo de coagulantes e falha na remoção de cor e turbidez. A partir disso, o ensaio conclusivo seguiu o método descrito no ensaio preliminar 2 com algumas alterações descritas no próximo capítulo desse trabalho.

Em virtude do extrato pirolenhoso decantado não apresentar eficiência na coagulação, foi necessário buscar um produto padronizado e com operações estabelecidas.

Os resultados dos ensaios conclusivos foram estabelecidos em quatro testes com base nas adaptações metodológicas do ensaio preliminar, medindo os parâmetros iniciais do efluente em cada ensaio (pH e turbidez). A sensibilidade do pHmetro estava 98,31%. O efluente coletado para os ensaios era bruto, não apresentava a presença de produtos químicos, somente despejos do processo industrial. Entretanto, sua composição é extremamente variável, sendo observado que

o efluente, apesar de ter sido coletado instantaneamente, apresentava pH diferente em cada amostra.

Os ensaios 1, 2 e 3, de coagulação e floculação (adaptados), não apresentaram resultados satisfatórios, pois os flocos formados apresentaram tamanhos pequenos. Apesar dos ajustes de pH para 11 e 6, e no ensaio 3 manteve o pH do efluente bruto de 4,36, não foi possível verificar a presença de flocos por análise visual, além de que a turbidez não teve alteração significativa. Desse modo, não foram realizadas as análises dos parâmetros finais, visto que não ocorreu eficiência do processo.

Todavia, no ensaio 4 foi alterada a quantidade de extrato e o pH foi ajustado, conforme pode ser visto na Tabela 4 a seguir. Após a etapa de decantação, foi possível notar a presença de flocos no jarro 2, onde alguns decantaram enquanto outros ficaram em suspensões, apresentando resultados parcialmente satisfatórios.

Tabela 4 – Dados do ensaio 4

Jarro	1	2	3	4
Extrato pirolenhoso (mL)	8	12	16	20
pH	7,99	8,63	9	9,09

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A boa formação de flocos ocorre quando se emprega a dosagem ideal do coagulante que sofre interferência do pH, entre outros fatores. Em baixas dosagens, não é possível atingir o ponto isoelétrico, entretanto, altas dosagens de coagulante podem reverter os sinais das cargas (NUNES, 2012).

6 SUGESTÕES

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser realizados ajustes nos gradientes de velocidades, visto que os flocos podem quebrar com a agitação elevada durante a coagulação e floculação. Estudar e avaliar a possibilidade do extrato pirolenhoso como coagulante em diferentes efluentes orgânicos, podendo variar a quantidade do efluente e verificar a presença de taninos (coagulante natural) no extrato pirolenhoso. Assim como, aprimorar o estudo desenvolvido, caracterizando o efluente e o extrato, projetar um impulsor diferente para o equipamento e comparar com o usual, como também empregar o planejamento fatorial nos testes preliminares. Por fim, este estudo pode ser utilizado como material didático de aulas práticas em disciplinas de Tratamento de Águas e Efluentes e de Laboratório de Engenharia Química.

7 CONCLUSÕES

Neste estudo, foi possível analisar o extrato pirolenhoso como coagulante natural. Entretanto, a partir da sua ação nesse processo, foi possível obter resultados parcialmente satisfatórios, visto que não foi possível obter informações precisas sobre a sua origem, o que ocasiona incertezas em relação a sua composição e a presença do alcatrão. Além disso, o efluente utilizado apresenta variação em sua composição, influenciando na eficácia da coagulação. As análises mais aprofundadas sobre a composição do efluente e do extrato não foram realizadas, devido a questão de tempo, as coletas das amostras foram limitadas as regras da empresa e a falta de acesso aos equipamentos de caracterização.

Por fim, esta pesquisa foi importante para compreender as etapas de tratamento de efluentes, especificamente a coagulação, possibilitando estudar e analisar o subproduto desvalorizado, permitindo agregar conhecimentos para a experiência profissional além de ampliar essa visão de diversidade nas áreas que podemos atuar, como no tratamento de efluentes. Este presente trabalho possibilitou buscar alternativas para subprodutos naturais, visando propostas para maior aproveitamento de matérias primas.

REFERÊNCIAS

ALVIM, Charles da Silva; MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POLUENTES DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIO POR MEIO DE JARTEST. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 209-223, 17 dez. 2019. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p209>.

ASADOLLAHFARDI, Gholamreza; ZANGOUEI, Hossein; MOTAMEDI, Vahid; DAVOODI, Mostafa. Selection of coagulant using jar test and analytic hierarchy process: a case study of mazandaran textile wastewater. **Advances In Environmental Research**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 25 mar. 2018. 테크노프레스. <http://dx.doi.org/10.12989/AER.2018.7.1.001>.

BASSO, Sabrine. **O uso do licor pirolenhoso como agente saneante em lodo de esgoto estabilizado**. 2021. 58 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

BECIDAN, Michaël; SKREIBERG, Øyvind; HUSTAD, Johan E. Products distribution and gas release in pyrolysis of thermally thick biomass residues samples. **Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis**, v. 78, n. 1, p. 207-213, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2006.07.002>

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 116 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidad+e+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BRITO, José Otavio. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. 1990. DOCUMENTOS FLORESTAIS. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/carvao2_000g7z6ywwc02wx5ok00c38ulf53stu1.pdf. Acesso em: 03 jan. 2022

CAMPBELL-PLATT, Geoffrey. **Ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo: Manole, 2015. 549 p.

CAMPOS, Ângela Diniz. **Informação Técnica sobre Extrato Pirolenhoso.** 2018. Circular Técnica, 177. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178670/1/Circular-177-final.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.

CAMPOS, Ângela Diniz. **Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola.** 2007. Circular Técnica, 65. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30826/1/Circular-65.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.

CAVALCANTI, José Eduardo W. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais.** 3. ed. São Paulo: Técnica Ltda, 2016. 52

CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais -. **Gaseificação de madeira e carvão vegetal.** Belo Horizonte: Cetec, 1981. 131 p.

CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte: Cetec, 1982. 395 p.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). Resolução nº 355/2017: Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017.

CORDEIRO, Juvanilde Sousa do Esperito Santo et al. **ANÁLISE COMPARATIVA DE COAGULANTES COM AUXILIAR DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM JAR-TEST.** Porto Alegre, 2016. 14 p. Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental.

CUNHA, Alvaro. Determinação do pH ótimo de floculação e dosagem mínima de coagulantes. **Dae**, p. 116-125, 1946. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_17_n_1079.pdf. Acesso em: 07 nov. 2022.

DAVIS, Mackenzie L.; MASTEN, Susan J. **Princípios de engenharia ambiental.** 3. ed. Porto Alegre: Amgh, 2016. 858 p.

DINIZ, Juraci. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente.** 2005. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4152>. Acesso em: 30 dez. 2021.

ELSAYED, E. M.; EL-DEN, A.A. Nour; ELKADY, M. F.; ZAATOUT, A. A.. Comparison of coagulation performance using natural coagulants against traditional ones. **Separation Science and Technology**, v. 56, n. 10, p. 1779-1787, 21 jul. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01496395.2020.1795674>.

ENGASP. **Estudo para o aproveitamento dos extratos pirolenhosos e as suas aplicações agrícolas**. 2014. Projeto n.º 34001 Ibero Massa Florestal, Lda. Disponível em: <https://www.imflorestal.com/docs/1.6.-Estudo-para-o-aproveitamento-dos-extractos-pirolenhosos-e-as-suas-aplicac%CC%A7o%CC%83es-agri%CC%81colas.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2021

GOMES, Rachel Novaes; LIMA, Paula e Siqueira; KURIYAMA, Sergio Noboru; FIDALGO NETO, Antonio Augusto. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, p. 80-89, 2018.

GONÇALVES, Igor Luz; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de; OLIVEIRA, Cassiano Rodrigues. **Análise comparativa dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no processo de clarificação de água residuária têxtil**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 1, n. 1, p. 71-78, fev. 2021.

HOWE, Kerry J.; HAND, David W.; CRITTENDEN, John C.; TRUSSELL, R. Rhodes; TCHOBANOGLOUS, George. **Princípios de Tratamento de Água**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

IBRAHIN, Francini Imene Dias; IBRAHIN, Fábio José; CANTUÁRIA, Eliane Ramos. **Análise Ambiental: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes**. São Paulo: Érica, 2015.

JOAQUIN, Arlene; NIRMALA, Gnanasundaram; KANAKASABAI, Panchanathan. Response Surface Analysis for Sewage Wastewater Treatment Using Natural Coagulants. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 30, n. 2, p. 1215-1225, 20 jan. 2021. HARD Publishing Company. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/120515>.

JUNIOR, Nelson Libardi. **Sistemas de tratamento para águas e efluentes**. Curitiba: Contentus, 2020. 55 p

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Nao Sei: Átomo, 2010. 494 p.

LIMA JÚNIOR, Raimundo N.; ABREU, Flávia O. M. da S. Natural Products Used as Coagulants and Flocculants for Public Water Supply: a review of benefits and

potentialities. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180052>.

MARTINS, Ana Beatriz de Carvalho; ROCHA, Jhogenes Pereira; SANTANA, Claudemir Gomes de. Análise dos impactos causados pelo lançamento de efluentes domésticos não tratados e sua relação com a capacidade de autodepuração de um corpo hídrico. **Ceds**. p. 1-15. ago. 2018. Disponível em: <http://sou.undb.edu.br/public/publicacoes/analise-dos-impactos-causados-pelo-lancamento-de-efluentes-domesticos-nao-tratados-e-sua-relacao-com-a-capacidade-de-autodepuracao-de-um-corpo-hidrico-ana-beatriz-jhogenes-pereira-e-claudemir-gomes.pdf>. Acesso em: 02 ago. 202

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Porto Alegre, 2015.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

NUNES, Alves José. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Aracaju. Gráfica editora J. Andrade, 2012.

OLADOJA, N.A.; SALIU, T.D.; OLOLADE, I.A.; ANTHONY, E.T.; BELLO, G.A. A new indigenous green option for turbidity removal from aqueous system. **Separation And Purification Technology**, v. 186, p. 166-174, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2017.05.054>

OLIVEIRA, Danielle Martins Cassiano de; PEREIRA, Edilaine Regina; YADA JUNIOR, George Mitsuo; COSTANZI, Ricardo Nagamine. Potencialidade do tanino no tratamento de efluente gerado em posto de gasolina analisado por DCCR/ Potentiality of tanine in the treatment of effluent generated in gas station analyzed by CCRD. **Brazilian Journal Of Development**, v. 7, n. 4, p. 34285-34294, 4 abr. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n4-064>.

PARRON, L.M; MUNIZ, H. de F; PEREIRA, C. M.. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 2011. Embrapa Florestas. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/921050/manual-de-procedimentos-de-amostragem-e-analise-fisico-quimica-de-agua>. Acesso em: 04 nov. 2022.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009. 330 p.

ROCHA, J.D.; PÉREZ, J.M. Mesa; CORTEZ, L.A.B. **Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa**. 2004. Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool”.

SANTOS, Erickson Oliveira dos; RIBAS, Priscila Pauly; COSTA, Cleideane Cunha; GONZÁLES, Pedro Luis Sosa. Resíduo da agroindústria como coagulante natural em estação de tratamento de efluente. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 189-200, fev. 2021.

SANTOS, Sueli de Fátima de Oliveira Miranda; HATAKEYAMA, Kazuo. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Production**, v. 22, n. 2, p. 309-321, 6 mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132012005000010>.

SOUZA, João Batista G.; RÉ-POPPI, Nilva; RAPOSO JUNIOR, Jorge Luiz. Characterization of pyroligneous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, p. 610-617, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-50532012000400005>.

TRUCHLAEFF, Claudio. **PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO POLICLORETO DE ALUMÍNIO - PAC, TENDO COMO MATÉRIAS-PRIMAS O ÁCIDO CLORÍDRICO, ALUMÍNIO METÁLICO E ALUMINA**. BR n. 0601081-4 B1. Depósito: 24 mar. 2007. Concessão: 10 mar. 2020. p. 1-12.

VIEIRA, Wedja Timóteo. **Caracterização cromatográfica e avaliação da atividade antimicrobiana do extrato pirolenhoso obtido a partir de biomassas residuais**. 2019. 140 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/6051>. Acesso em: 04 nov. 2022.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

WU, Qiaomei; ZHANG, Shouyu; HOU, Baoxin; ZHENG, Hongjun; DENG, Wenxiang; LIU, Dahai; TANG, Wenjiao. Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 98-103, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.026>.

Zanetti *et al.* USO DE SUBPRODUTOS DE CARVÃO VEGETAL NA FORMAÇÃO DO PORTAENXERTO LIMOEIRO 'CRAVO' EM AMBIENTE PROTEGIDO. **Rev. Bras. Frutic**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, dez. 2003.

ZEFERINO, Indiará; LIMA, Edson Alves de; VIEIRA, Elisa Serra Negra. **Uso do extrato pirolenhoso como adjuvante de herbicida**. 2018. COMUNICADO TÉCNICO. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191243/1/CT-429-1660-final2.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ZHANG, Fang; YANG, Haiping; GUO, Dabin; ZHANG, Shihong; CHEN, Hanping; SHAO, Jing'AI. Effects of biomass pyrolysis derived wood vinegar (WVG) on extracellular polymeric substances and performances of activated sludge. **Bioresource Technology**, v. 274, p. 25-32, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.064>.