



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS



THYAGO NÓBREGA SILVEIRA

**USO DE TANINOS ORIUNDOS DO ANGICO-VERMELHO
(*Anadenanthera macrocarpa*) PARA PRODUÇÃO DE COAGULANTE
ORGÂNICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
HUMANO**

CAMPINA GRANDE – PB
2021

THYAGO NÓBREGA SILVEIRA

**USO DE TANINOS ORIUNDOS DO ANGICO-VERMELHO
(*Anadenanthera macrocarpa*) PARA PRODUÇÃO DE COAGULANTE
ORGÂNICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
HUMANO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Naturais.

Área de Concentração: Engenharia dos Recursos Naturais

Linha de Pesquisa: Tratamento de Água de Abastecimento

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

Coorientadora: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira

S587u

Silveira, Thyago Nóbrega.

Uso de taninos oriundos do angico-vermelho (*Anadanthera macrocarpa*) para produção de coagulante orgânico no tratamento de água de abastecimento humano / Thyago Nóbrega Silveira. - Campina Grande, 2021.

61f. : il. Color

Monografia (Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, Weruska Brasileiro Ferreira".

Referências.

1. Tratamento de Água. 2. Clarificação de Água. 3. Turbidez da Água. 4. Cor Aparente da Água. 5. Absorvância. 6. Sustentabilidade. 7. Coagulante Orgânico. I. Rodrigues, Andréa Carla Lima. II. Ferreira, Weruska Brasileiro. III. Título.

CDU 628.1(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM RECURSOS NATURAIS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES


THYAGO NÓBREGA SILVEIRA

USO DE TANINOS ORIUNDOS DO ANGICO VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa*) PARA PRODUÇÃO DE COAGULANTE ORGÂNICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Mestre Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 10/09/2021


Dr.(a.) Andrea Carla Lima Rodrigues/UFCG (Orientadora PPGEGRN).


Dr.(a.) Weruska Brasileiro Ferreira/UEPB (Co-orientadora).


Dr.(a.) Dayse Luna Barbosa/UFCG(Examinador Interno).


Dr.(a.) Neylliane Costa/UEPB (Examinador Externo).

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus, aquele que se revela por meio da Sua Criação e das Sagradas Escrituras, que encarnou na pessoa de Jesus Cristo, que proveu todos os recursos necessários para a realização deste trabalho, dentre os quais eu cito:

- A fé recebida por favor imerecido, me fazendo dar o melhor de mim em tudo que eu faço através da minha vida enquanto peregrino por esta terra, para Sua glória e Seu louvor;

- A capacidade intelectual, que busquei usar sempre da melhor maneira possível para adquirir mais conhecimento e para a execução deste trabalho;

- À minha família nuclear, que sempre acreditou em mim e se alegrou com minhas conquistas, dando todo suporte possível para que eu concluísse esta etapa da minha vida;

- A minha família de fé, que me apoiou e me encorajou para que eu seguisse firme com os objetivos durante todo o mestrado. Cito em especial o meu pr. Wostenes e a miss. Gleydice, que bem de perto sempre oraram por mim, me encorajando a concluir este trabalho;

- A melhor amiga, parceira, companheira e namorada Letícia Belchior, que sempre orou por mim, me animou, encorajou e renunciou vários momentos juntos para que eu pudesse concluir este trabalho, sempre buscando cuidar de mim, mesmo que de longe, muitas vezes;

- As minhas orientadoras, Dra. Andrea e Dra. Weruska, que foram essenciais para a construção desse trabalho, com suas contribuições e cobranças sempre pertinentes;

- A Universidade Estadual da Paraíba, em especial ao Laboratório Referência de Tecnologia de Águas (LARTECA), responsável por todo o suporte técnico para realização da pesquisa, e ao setor de transportes, que disponibilizou os carros para coleta de água e do material vegetal;

- À toda a equipe LARTECA, que foi amiga e companheira em toda a caminhada do Mestrado, em especial ao pessoal da pós-graduação. Também destaco a equipe de águas, que auxiliou em toda a etapa experimental, sendo essencial para esta pesquisa;

- A CNPq, FUNASA, CAGEPA, BAUMINAS Química, TANAC S. A., instituições que foram fundamentais para execução deste trabalho;

- Ao PPGERN, responsável por agregar conhecimentos chave para a realização deste trabalho;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das principais tecnologias de tratamento de água utilizadas no mundo ..	13
Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa a serem desenvolvidas	23
Figura 3 - Mapa de localização do reservatório Epitácio Pessoa	28
Figura 4 - Gráficos de Pareto dos efeitos padronizados para TST (A), TTC (B), TNT (C) e NS (D)	33
Figura 5 - Teores de Sólidos Totais (TST) em função das variáveis independentes	36
Figura 6 – Teores de Taninos Condensados (TTC) em função das variáveis independentes ..	37
Figura 7 – Teores de Não-Taninos (TNT) em função das variáveis independentes	38
Figura 8 – Número de Stiasny (NS) em função das variáveis independentes.....	39
Figura 9 – Perfis dos valores preditos e a função de desejabilidade considerando todos os parâmetros analisados simultaneamente para o experimento de extração de cascas	40
Figura 10 – Diagramas de Pareto para os coagulantes empregados (1. Sulfato de Alumínio, 2. Tanfloc SL, 3. TECA) para cada uma das variáveis resposta (A. Absorvância 254, B. Cor Aparente e C. Turbidez)	44
Figura 11 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do Sulfato de Alumínio em função das variáveis independentes	46
Figura 12 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do Tanfloc SL em função das variáveis independentes.....	47
Figura 13 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do TECA em função das variáveis independentes	48
Figura 14 – Desejabilidade global para os experimentos com Sulfato de Alumínio	51
Figura 15 – Desejabilidade global para os experimentos com Tanfloc SL.....	52
Figura 16 – Desejabilidade global para os experimentos com TECA	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada.....	13
Tabela 2 - Variáveis e pontos de mínimo, médio e máximo avaliados no planejamento experimental Box-Behnken para a extração de taninos	24
Tabela 3 - Matriz de ensaios obtidos por DBB para a extração de taninos.....	25
Tabela 4 - Pontos de mínimo, médio e máximo para cada variável estudada no planejamento experimental Box-Behnken.....	29
Tabela 5 - Valor dos tempos de decantação para cada velocidade de sedimentação adotada, para $d = 7\text{cm}$	29
Tabela 6 - Matriz de ensaios de tratabilidade obtidos por DBB para o experimento de tratamento de água com os coagulantes utilizados no estudo	29
Tabela 7 - Metodologia utilizada para avaliação da eficiência do tratamento da água.....	30
Tabela 8 - Configurações utilizada no jarrest para os ensaios de tratabilidade.....	30
Tabela 9 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência para a casca	31
Tabela 10 – Resultado do ajuste dos modelos para extração da casca.....	34
Tabela 11 – Valores para a água bruta do Açude Epitácio Pessoa para cada um dos experimentos realizados.....	41
Tabela 12 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Sulfato de Alumínio na tratabilidade de água.....	42
Tabela 13 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Tanfloc SL na tratabilidade de água	42
Tabela 14 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Tanino Extraído da Casca do Angico (TECA) na tratabilidade de água	43
Tabela 15 – Resultado do ajuste dos modelos para cada uma das variáveis resposta para cada coagulante.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos	11
1.1.1. <i>Objetivo Geral</i>	11
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Tratamento da água para abastecimento	12
2.1.1. <i>Modalidades de tratamento</i>	12
2.1.2. <i>Parâmetros operacionais</i>	15
2.1.2.1. <i>Turbidez</i>	15
2.1.2.2. <i>Cor</i>	16
2.1.2.3. <i>Absorvância 254nm</i>	17
2.1.2.4. <i>pH</i>	17
2.2. Coagulantes	18
2.2.1. <i>Coagulantes e polímeros inorgânicos</i>	18
2.2.2. <i>Coagulantes orgânicos</i>	19
2.3. Angico vermelho (<i>Anadenanthera macrocarpa</i>)	20
2.3.1. <i>Potencialidades do angico vermelho</i>	21
2.3.2. <i>Taninos do angico-vermelho</i>	21
3.1. ETAPA 1 – EXTRAÇÃO DE TANINOS	23
3.1.1. <i>Coleta e preparo do material vegetal</i>	23
3.1.2. <i>Extração de Taninos</i>	24
3.1.3. <i>Determinação dos extratos tânicos pelo método de Stiasny</i>	25
3.1.3.1. <i>Determinação do Teor de Sólidos Totais</i>	25
3.1.3.2. <i>Determinação do Teor de Taninos Condensados</i>	26
3.1.3.3. <i>Determinação do Teor de compostos Não-Tânicos</i>	27
3.2. ETAPA 2 – EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA	27
3.2.1. <i>Coleta da água</i>	27
3.2.2. <i>Ensaio de tratabilidade</i>	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. <i>Etapa 1 – Extração de Taninos</i>	31
4.2. <i>Etapa 2 – Tratabilidade</i>	41
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	54
6. REFERÊNCIAS	55

USO DE TANINOS ORIUNDOS DO ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa*) PARA PRODUÇÃO DE COAGULANTE ORGÂNICO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO

RESUMO

Diante do avanço das tecnologias de tratamento de água, este trabalho se propôs a estudar o potencial de tratabilidade de água de taninos extraídos da casca do angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) por meio de planejamento experimental Box-Behnken. Foram avaliadas as melhores condições de extração dos taninos, avaliando a concentração do solvente utilizado (hidróxido de sódio), a temperatura de extração e o tempo em aquecimento, sendo selecionados para a etapa seguinte de tratabilidade. Também utilizando o método estatístico Box-Behnken, foram avaliados os desempenhos do sulfato de alumínio, do Tanfloc SL e do Tanino Extraído da Casca do Angico (TECA), variando a dosagem de coagulante, pH e velocidade de sedimentação como, avaliando mediante as variáveis-resposta absorvância 254, cor aparente e turbidez as melhores condições de aplicação para cada coagulante. Foi utilizada água do açude Epitácio Pessoa, que é uma água de baixa turbidez e baixa cor aparente naturais. Todos os coagulantes foram aplicados sob as mesmas condições experimentais, simulando em escala de bancada por meio de ensaio jarrest. Para a extração, foi verificada uma maior influência da concentração de solvente para o resultado, sendo a solução a 2,5% de NaOH o melhor ponto para extração, com tempo de 60 minutos, a uma temperatura de 100 °C. Quanto à tratabilidade, a dosagem de coagulante foi o fator que mais influenciou linearmente as variáveis dependentes, na maioria das vezes de forma inversamente proporcional. O trabalho obteve modelos significativos para os três coagulantes estudados. O modelo obtido para o TECA obteve desempenho satisfatório na remoção de turbidez na etapa de clarificação, obtendo os melhores valores para tratabilidade em dosagem de 10 mg/L, pH 7,75 e velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min, alcançando valor de remoção de turbidez de 10,18%.

Palavras-Chave: Clarificação, Turbidez, Cor Aparente, Absorvância, Sustentabilidade.

USE OF TANNINS FROM ANGICO VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa*) FOR THE PRODUCTION OF ORGANIC COAGULANT IN THE WATER TREATMENT FOR HUMAN SUPPLY

In view of the advances in water treatment technologies, this work aimed to study the potential of water treatability of tannins extracted from the bark of angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) by means of a Box-Behnken experimental design. The best tannin extraction conditions were evaluated, evaluating the concentration of the solvent used (sodium hydroxide), the extraction temperature and the heating time, being selected for the next step of treatability. Also using the Box-Behnken statistical method, the performance of aluminum sulphate, Tanfloc SL and Tannin Extracted from Angico Peel (TECA) were evaluated, varying the dosage of coagulant, pH and sedimentation rate as, evaluating by the variables absorbance-254 removal, apparent color removal and turbidity removal the best application conditions for each coagulant. Raw water from the Epitácio Pessoa reservoir was used, which is a natural water with low turbidity and low apparent color. All coagulants were applied under the same experimental conditions, simulating on a bench scale using a jarrest. For the extraction, a greater influence of the solvent concentration on the result was verified, with the 2.5% NaOH solution being the best point for extraction, with a time of 60 minutes, at a temperature of 100 °C. As for treatability, coagulant dosage was the factor that most linearly influenced the dependent variables, most often in an inversely proportional way. The work obtained significant models for the three coagulants studied. The model obtained for TECA had satisfactory performance in removing turbidity in the clarification step, obtaining the best values for dependent variables at dosage values of 10 mg/L, pH 7.75 and sedimentation speed of 1.5 cm/min, reaching a removal value turbidity of 10.18%.

Keywords: Clarification, Turbidity, Apparent Color, Absorbance, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito essencial para a existência e continuidade da vida. Devido ao crescimento constante da população mundial e das demandas hídricas cada vez maiores, gradativamente têm-se reduzido a quantidade e a qualidade deste recurso dos mananciais superficiais e subterrâneos disponível para o consumo humano. Com isso, faz-se necessário que novas tecnologias surjam para suprir as demandas da sociedade.

Dentre as diversas tecnologias existentes, destaca-se o tratamento convencional de água, largamente utilizado nas estações de tratamento de água (ETA's) do Brasil. Esta modalidade de tratamento depende fundamentalmente da eficiência da etapa de coagulação, uma vez que todos os processos subsequentes necessitam de uma boa desestabilização das partículas suspensas e coloidais durante este processo (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011). A etapa de coagulação é fundamental para o êxito do tratamento convencional e, por esta razão, os estudos em busca de novos coagulantes estão em evidência.

No Brasil, os agentes coagulantes à base de sais de ferro e alumínio são os mais utilizados no processo de tratamento de água por sua eficácia e baixo custo. Apesar de seus benefícios, estes coagulantes inorgânicos além de gerar nas ETA's um lodo de difícil manuseio e tratabilidade, podem deixar resíduos químicos na água após o tratamento, que podem gerar malefícios à saúde (CRUZ *et al.*, 2005; DI BERNARDO e PAZ, 2008, LIBÂNIO, 2018; McLACHLAN, 1995;).

Devido às desvantagens apresentadas pelos coagulantes inorgânicos, nos últimos anos se tem recorrido à pesquisa acerca de coagulantes que apresentem um baixo custo, gerem menos resíduos e que sejam eficazes no processo de coagulação. Nesse interim, os coagulantes orgânicos têm demonstrado grande potencial para atingir estas expectativas (MANGRICH *et al.*, 2014; SÁNCHEZ-MARTÍN, GONZÁLEZ-VELASCO, BELTRÁN-HEREDIA, 2010). Estes podem ser originados de plantas locais de fácil processamento, dando um caráter potencial de baixos custos operacionais, quando comparados com reagentes químicos inorgânicos utilizados atualmente no tratamento de água.

Os agentes coagulantes orgânicos, além de não gerarem resíduos metálicos na água tratada e serem tão eficientes quanto os agentes coagulantes inorgânicos, são substâncias biodegradáveis e se adequam aos princípios da química verde, sendo de grande valia aprofundar as pesquisas nesta área (MANGRICH *et al.*, 2014).

O uso de coagulantes orgânicos tem ganhado cada vez mais espaço no tratamento de água. Dentre estes, destacam-se os derivados do tanino. Pesquisas relataram casos de sucesso de coagulantes a base de tanino na remoção de metais, redução da toxicidade da água e atuação satisfatória em ampla faixa de pH (4,5 a 8,0) (BONFIM, 2015; HEREDIA; MARTÍN, 2008; MORAES *et al.*, 2007; PIANTÁ, 2008; NEPOMUCENO, 2016; SILVEIRA *et al.*, 2019).

Nesta perspectiva, o angico vermelho (*Anandanthera macrocarpa*) apresenta-se como um vegetal em potencial que pode ser utilizado e viabilizado na área do saneamento, mediante a devida extração dos taninos para seu aproveitamento no tratamento de água. A viabilidade da produção de um coagulante valoriza ainda mais o plantio e o cultivo desta planta de rápido crescimento em regiões áridas, que também é uma das pioneiras na recuperação de áreas degradadas na Caatinga pela sua adaptação, mesmo em condições adversas (LORENZI, 2008).

Visando um maior aproveitamento do angico-vermelho, um uso sustentável dos recursos naturais e uma melhoria na qualidade da água para abastecimento humano, a pesquisa envolve, de forma transdisciplinar, diversas áreas do conhecimento e de relevância não somente científica, mas também social e ambiental.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar a potencialidade dos taninos presentes na casca do angico-vermelho (*Anandanthera macrocarpa*) para a produção de coagulantes orgânicos eficazes no tratamento de água para abastecimento humano.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar as melhores condições de temperatura, tempo de contato e concentração de solvente para extração de taninos viáveis para o tratamento de água pelo método Stiasny mediante planejamento experimental Box-Behnken;
- ✓ Produzir diagramas de Pareto, teste de ANOVA, modelos de regressão linear múltipla e gráficos de superfície para cada uma das variáveis dependentes do método Stiasny;
- ✓ Analisar a viabilidade de tratamento de água do coagulante orgânico produzido a partir das cascas do angico-vermelho;

- ✓ Comparar a eficiência do coagulante orgânico produzido com outros coagulantes comerciais variando pH, dosagem de coagulante e velocidade de sedimentação, mediante planejamento experimental Box-Behnken;
- ✓ Produzir diagramas de Pareto, teste de ANOVA, modelos de regressão linear múltipla e gráficos de superfície para cada uma das variáveis dependentes (cor aparente, turbidez, remoção de matéria orgânica);
- ✓ Verificar as condições ideais de acordo com a legislação vigente e outros estudos da área para cada coagulante estudado mediante as condições de tratamento estabelecidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

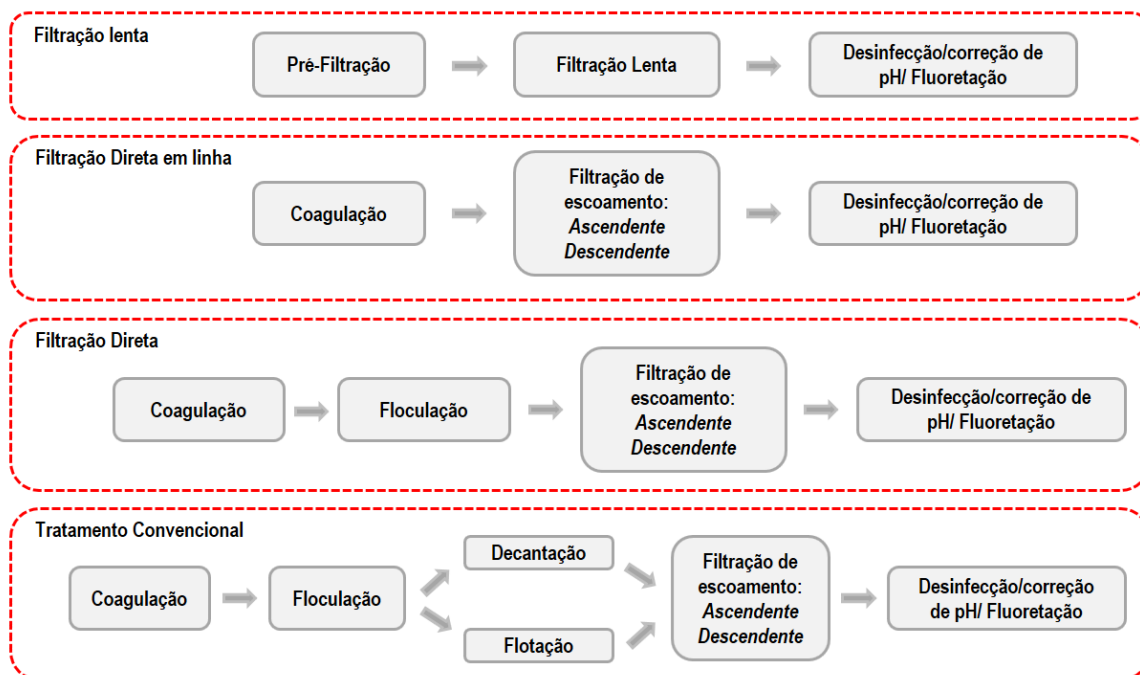
2.1. Tratamento da água para abastecimento

Segundo a Portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021, a água disponível na natureza precisa atender a todos os seus parâmetros para ser considerada como potável, necessitando muitas vezes passar por vários processos de tratabilidade (BRASIL, 2021). Para a aplicação do tratamento mais adequado para cada manancial, é feita a avaliação de critérios, dentre os quais pode-se citar as características da água bruta, custos de implantação, operação e manutenção, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica e características da comunidade, aplicando assim a tecnologia de tratamento mais viável (LIBÂNIO, 2018).

2.1.1. Modalidades de tratamento

As tecnologias de tratamento de água mais utilizadas e conhecidas no mundo são a filtração direta em linha, a filtração lenta, a filtração direta e o tratamento convencional. A Figura 1 esquematiza as principais tecnologias de tratamento. Com exceção da filtração lenta, as demais modalidades de tratamento necessitam da aplicação de agentes coagulantes, gerando uma grande demanda de pesquisa nesta área.

Figura 1 - Esquema das principais tecnologias de tratamento de água utilizadas no mundo



Fonte: Adaptado de Libânio (2018).

Kawamura (2000) apresentou um modelo de aplicação destes tratamentos a partir das características das águas naturais, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada

	Convencional	Filtração Direta	Filtração Lenta*	Filtração Direta em Linha
Turbidez (uT)	< 3000	< 20	< 10	< 5
Cor Aparente (uC)	< 1000	< 20	< 20	< 15
E. coli (NMP/100 mL)	< 10 ⁶	<10 ³	< 10 ³	< 100
Algas (UPA/mL)	< 10 ⁵	< 10 ³	< 250	< 100

Fonte: Kawamura (2000). *Sem pré-filtração.

Libânio (2018) comenta que os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo tentaram implementar estações de tratamento mais simples e a baixo custo, porém, com o tempo, necessitaram mudar para o tratamento convencional devido a deterioração da qualidade da água bruta de seus mananciais.

O tratamento convencional de água, também conhecido como de ciclo completo, consiste no tratamento de água bruta através de um processo de aplicação de coagulante na etapa de mistura rápida, seguido de uma etapa de mistura lenta com o objetivo de formar flocos mais densos para posterior sedimentação (em decantadores) ou flotação (em flotadores). Após esta

etapa denominada de clarificação, a água segue para uma unidade de filtração descendente com material filtrante de granulometria apropriada (DI BERNARDO; PAZ, 2008) e finalizado com a desinfecção. Esta modalidade de tratamento depende fundamentalmente de uma boa eficiência do processo de coagulação, uma vez que todos os processos subsequentes necessitam de uma boa desestabilização das partículas suspensas e coloidais durante este processo (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

A etapa de coagulação ocorre por ação individual e/ou conjunta de quatro mecanismos distintos: compressão da dupla camada elétrica; adsorção e neutralização de cargas; varredura; e formação de pontes químicas. A compressão da dupla camada é o processo de coagulação em que os íons metálicos conseguem suprimir a camada difusa dos sólidos da água, agregando-os e formando flocos mais densos para a sedimentação. O mecanismo de adsorção e neutralização da camada ocorre imediatamente após a dispersão do coagulante na água, por meio das espécies hidrolisadas de carga positiva, sendo adsorvidas pelas partículas. Já o mecanismo de varredura ocorre a partir da aplicação de altas concentrações do agente coagulante, onde as partículas coloidais são adsorvidas e as partículas suspensas são envolvidas pelo precipitado de hidróxido metálico, sendo este mecanismo o mais largamente utilizados nas ETA's brasileiras. Por fim, há a possível formação de pontes químicas na coagulação, que são costumeiramente formadas por polímeros orgânicos, adsorvendo as partículas coloidais em suas longas cadeias (RICHTER, 2009; LIBÂNIO, 2018;).

Após a aplicação do agente coagulante, a água passa por um processo de mistura lenta, comumente denominado de floculação, onde permanecerá, por um período, em baixo gradiente de velocidade de mistura, proporcionando a formação de flocos. Quanto maior a densidade dos flocos formados nesta etapa, maior a eficiência das etapas posteriores do tratamento. Finalizando o processo de clarificação, a etapa de decantação da água em tratamento dá-se com a sedimentação dos flocos formados nas etapas anteriores, promovendo a remoção de boa parte destes.

A filtração, por sua vez, corrige possíveis erros de operação ou ineficiência da clarificação, através de processos físicos, químicos e hidráulicos, aumentando a eficiência da etapa posterior de desinfecção (LIBÂNIO, 2018). Geralmente, as estações de tratamento de água utilizam a modalidade de filtração rápida.

Por fim, a desinfecção vem no final do processo de tratamento, onde através de processos físicos e/ou químicos, tem o objetivo de inativar possíveis patógenos presentes na água e prevenir a formação de biofilmes na rede de abastecimento ((DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

2.1.2. Parâmetros operacionais

As características de qualidade química, física e microbiológica das águas de abastecimento têm forte papel avaliativo nas etapas de tratamento. Variações além das faixas satisfatórias podem dificultar a produção de uma água dentro dos padrões de potabilidade, interferindo no seu tratamento. Os padrões de potabilidade da água para consumo humano são estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021 (BRASIL, 2021)

Dentre as dezenas de parâmetros que a Portaria citada estabelece para considerar a água como potável, destacam-se a cor e a turbidez, usados como parâmetros operacionais. Estes são utilizados como referência para atestar a qualidade do tratamento de água aplicado e vêm sendo utilizados no âmbito da pesquisa como parâmetros operacionais para verificar a eficiência e qualidade das diversas tecnologias de tratamento de água. O pH também é um parâmetro fundamental para definir as melhores condições de tratamento, uma vez que interfere diretamente em suas etapas, por alterar as condições químicas do meio.

Além destes parâmetros, a absorvância-254 avalia o residual de matéria orgânica presente na água, analisando possíveis residuais originados do uso de coagulantes orgânicos.

A seguir são apresentados os parâmetros, cor, turbidez, absorvância 254 e pH na qualidade da água e seus efeitos no processo de potabilização.

2.1.2.1. Turbidez

O termo turbidez é aplicado para águas que contém materiais em suspensão, que interferem na passagem de luz através dela. São geradas comumente por fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada (SAWYER, MCCARTY e PARKIN, 2003).

É um importante parâmetro no âmbito da qualidade de água, que desde o ano de 2001 (Portaria nº 518/2001 do MS) vem sendo valorizado para a avaliação do tratamento. Atualmente, na Portaria GM/MS nº 888 que está em vigor no país, a turbidez apresenta correlação com a presença de protozoários na água, apenas sendo permitido valores de turbidez

para distribuição de água de abastecimento menores que 0,5 uT, decrescendo esse valor para 0,3 uT quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium spp.* for maior ou igual a 3,0 oocistos/L no(s) ponto(s) de captação de água (BRASIL, 2021).

Libânio (2018) ainda afirma que, no Brasil, a turbidez dos mananciais é particularmente alta em regiões com solos mais erodíveis (>100 uT), onde a precipitação acaba carreando partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Boa parte dos rios brasileiros possuem turbidez natural devido às características geológicas das bacias as quais eles pertencem.

2.1.2.2. Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (esta redução ocorre devido a absorção de parte da radiação eletromagnética), sobretudo pela presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal, orgânico e inorgânico (CAVINATTO, 2003). Os principais responsáveis pela cor na água são as substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos), subprodutos da decomposição da matéria orgânica na água, de origem predominantemente vegetal. Além destes, também são grandes contribuintes os íons de ferro e manganês (LIBANIO, 2018).

Quando se discute sobre a presença de cor nas águas, é necessário diferenciar a cor verdadeira da cor aparente. Pode ser definida como cor verdadeira aquela que não recebe interferência das partículas suspensas na água, sendo necessária a filtração ou centrifugação da amostra. Logo, a determinação da cor verdadeira ocorre a partir da remoção da turbidez (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

A cor passou a ter maior importância nos estudos de tratabilidade quando foi identificado que as substâncias húmicas ao reagirem com o cloro residual livre geram compostos cancerígenos, como os trihalometanos, tendo Rook e Bellars *et al.* em 1974 como os primeiros estudiosos a apresentar resultados sobre a formação de subprodutos da desinfecção (GARCIA-VILLANOVA *et al.*, 1997). Estudos recentes apontam forte correlação entre a formação dos trihalometanos com a cor aparente da água (GOMES, 2019; OLIVEIRA, ARAUJO e DUARTE, 2020).

Atualmente, a cor apresenta-se como um importante parâmetro de controle operacional nas estações de tratamento de água, sendo referência para a determinação de dosagens de

coagulantes, tempo de contato e sedimentação de partículas floculadas. Segundo a Portaria GM/MS nº 888, o limite máximo para a cor na rede de distribuição é de 15 uH (BRASIL, 2021).

2.1.2.3. *Absorvância 254nm*

A absorvância de UV a um comprimento de onda a 254 nm é uma técnica bastante utilizada e difundida na área do tratamento de água a fim de averiguar de maneira indireta o percentual de remoção de matéria orgânica natural presente na água. Diversos estudos têm sido realizados a partir de correlações estatísticas a fim de produzir modelos matemáticos para realizar o monitoramento do residual de matéria orgânica (MO) na água, uma vez que sua persistência na água pode interferir diretamente nas etapas do tratamento, principalmente na cor aparente e na formação de subprodutos na desinfecção (CORDEIRO, SILVA, 2018).

Sendo assim, a absorvância 254 nm é uma técnica de menor custo, bem como de menor complexidade quando comparada a técnica de Carbono Orgânico Total (COT), sendo então uma alternativa promissora para realização de análise e acompanhamento rotineiros deste parâmetro.

2.1.2.4. *pH*

O potencial hidrogeniônico (pH) consiste a concentração dos íons H⁺ nas águas e representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do ambiente aquático. Na maioria das vezes, constitui no parâmetro de maior monitoramento na rotina operacional das estações de tratamento, pois este interfere em diversos processos e operações unitárias inerentes a potabilização, a exemplo da coagulação, filtração, desinfecção e controle de corrosão. As águas naturais de superfície apresentam pH variando de 6,0 a 8,5 (LIBÂNIO, 2018).

Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2021). Este amplo intervalo para águas tratadas objetiva reduzir as perspectivas de corrosão em casos de valores de pH muito baixos ou minimizar as incrustações na rede de distribuição para valores de pH elevados.

Coagulantes inorgânicos, durante o processo de hidrólise, tendem a consumir a alcalinidade presente na água, reduzindo o pH da água. Desta forma, é necessário monitorar o pH da água produzida bem como sua alcalinidade inicial e final, pois pode tornar-se um fator limitante no uso dos sais inorgânicos na coagulação, reduzindo a sua eficiência. Por outro lado, os coagulantes orgânicos não apresentam a necessidade de alcalinidade para atuar na água,

sendo estas uma das principais vantagens do uso destes produtos químicos, não alterando o pH final da água produzida (LIBÂNIO, 2018).

2.2. Coagulantes

Coagulante é o termo utilizado para se referir ao agente químico adicionado à água ou efluente que se deseja tratar, para desestabilizar as partículas coloidais presentes e iniciar a formação do floco. Os coagulantes podem ser inorgânicos, orgânicos, sintéticos ou naturais (METCALF e EDDY, 2003).

Os coagulantes, normalmente utilizados nos processos de coagulação, são compostos por cátions polivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , por exemplo) que neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas (CAVALCANTI, 2009). Compostos orgânicos também têm sido desenvolvidos e aplicados no processo de coagulação, ganhando cada vez mais espaço no âmbito do tratamento de água (MANGRICH *et al.*, 2014, NEPOMUCENO, 2017; SANTOS 2017; SILVEIRA *et al.*, 2019).

2.2.1. Coagulantes e polímeros inorgânicos

São compostos químicos de origem inorgânica que possuem as propriedades de aglomerar as impurezas da água através dos íons de elevada carga positiva gerados em sua solubilidade na água quando aplicados a um ponto de elevado gradiente de agitação (METCALF e EDDY, 2003).

Os sais de alumínio são compostos inorgânicos não biodegradáveis com propriedades coagulantes e que acrescentam elementos químicos à água e ao lodo. Como principal desvantagem de seu uso evidencia-se o lodo inorgânico gerado, de difícil manejo por parte das empresas em função de seus grandes volume e teor de umidade. Os sais de ferro também são vastamente utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas das partículas coloidais e geram hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles agem sobre ampla faixa de pH (FARIAS; FERREIRA, 2014).

O sulfato de alumínio é um coagulante inorgânico comercializado de forma sólida (granulado ou em pó) e possui características ácidas quando preparada a solução. Quando adicionado a água na etapa de mistura rápida, o sulfato de alumínio proporciona a formação de grandes espécies polinucleadas. É largamente utilizado nas estações de tratamento de água no

Brasil devido ao seu baixo custo. O cloreto férrico, por sua vez, é um outro coagulante inorgânico, produzido a partir da reação do minério de ferro com o ácido clorídrico concentrado. É geralmente comercializado em estado líquido em solução a 42% e densidade de 1,46. De forma geral, os coagulantes férricos possuem significativa eficiência em uma ampla faixa de pH (LIBÂNIO, 2018; RICHTER, 2009).

Sais de alumínio e ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (BONGIOVANI *et al.*, 2016; JANZ *et al.*, 2020; SILVEIRA *et al.*, 2019; VAZ *et al.*, 2010).

2.2.2. Coagulantes orgânicos

Para minimizar problemas nas estações de tratamento de água e esgotos, e nos grandes projetos de despoluição de rios e lagoas, está sendo proposta a substituição dos sais de alumínio ou ferro pelo uso de coagulantes orgânicos, ou biocoagulantes (MANGRICH *et al.*, 2014, SANTOS, 2017; SILVEIRA, 2019).

Os agentes coagulantes de origem natural quando comparados com os coagulantes inorgânicos, se apresentam bastante vantajosos. Por terem origem orgânica, eles não apresentam alterações na alcalinidade da água, assim como o lodo que é gerado, tem menor volume e menor quantidade de metais pesados (provenientes dos sais metálicos) (VAZ *et al.*, 2010).

Os biocoagulantes ainda se destacam por serem solúveis em água e efetivos numa ampla faixa de pH o que descarta a adição de produtos para ajustes. Além disso, possuem um baixo custo de aquisição devido a simplicidade do processo (LIMA e ABREU, 2018).

Outras vantagens dos coagulantes naturais frente aos inorgânicos e sintéticos incluem a alta disponibilidade da matéria-prima, muitas vezes renovável; baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição; diminuição em até cinco vezes o volume de lodo gerado no processo, que, além de biodegradável, apresenta maior valor nutricional; em geral não apresentam riscos à saúde humana e animal; reduzem custos e perigos nos processos de tratamento de água e estimulam o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Muitas matérias-primas têm sido utilizadas em estudos para o desenvolvimento de coagulantes orgânicos, podendo ser citadas: as sementes de *Moringa oleifera*, o caule do

mandacaru, quitosana, entre outras (ARANTES *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015; ZARA; THOMAZINI; LENZ, 2012).

Uma das substâncias extraídas de vegetais para ser utilizada no tratamento de água são os taninos. De acordo com Cruz *et al.* (2005), taninos são compostos polifenólicos presentes em uma grande variedade de plantas superiores, com características adstringentes e são utilizadas na indústria do couro como agentes de curtimento, um dos mais antigos processos de transformação utilizados pelo homem. Podem ser classificados em taninos hidrolisáveis e taninos condensados (MANGRICH *et al.*, 2014).

Os taninos, quando presentes nas árvores, podem equivaler de 2 a 40% da massa seca da casca de espécies florestais. Dentre as espécies tradicionalmente exploradas para a produção, destacam-se o quebracho (*Schinopsis sp.*) de ocorrência na Argentina e Paraguai, podendo conter até 25% da massa seca de sua madeira de cerne em taninos, e a acácia-negra (*Acacia mollissima* e *Acacia mearnsii*) de ocorrência natural na Austrália (HASLAM, 1966; PANSHIN *et al.*, 1962).

Da acácia-negra, um coagulante orgânico tem sido produzido em escala industrial e utilizado para a finalidade do tratamento de água, o Tanfloc. Destaca-se o uso deste coagulante no último desastre ambiental do rompimento da barragem de Mariana, que foi capaz de remediar de forma satisfatória o impacto dos sólidos em suspensão no rio após a tragédia, reduzindo drasticamente os valores de turbidez superiores a 100.000 uT ao padrão de potabilidade (FRANCO *et al.*, 2016). Além disso, o coagulante orgânico tem sido aplicado comercialmente em várias estações de tratamento de água e esgoto de todo o Brasil (MANGRICH *et al.*, 2014).

No Brasil, há várias espécies produtoras de taninos, porém, os curtumes tradicionais da Região Nordeste que utilizam os taninos vegetais, apesar da diversidade de espécies arbóreas e arbustivas de ocorrência na região, têm no angico vermelho sua única fonte de taninos (DINIZ *et al.*, 2003).

2.3. Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*)

É uma árvore de médio a grande porte, que atinge entre 13 e 20 metros de altura, com tronco tortuoso e alto, podendo chegar a 60 cm de diâmetro; copa alta de folhagem rarefeita (LORENZI, 2008). Apresenta flores milíferas, arredondadas, diminutas e agrupadas em cachos grandes, com um leve aroma (MAIA, 2004). Os frutos são alongados do tipo vagem ou legume,

produzindo anualmente grande quantidade de sementes viáveis. A casca de cor castanho avermelhada, lisa quando jovem, nas árvores mais velhas apresentam espículas (característicos da espécie) que formam cristas que recobrem todo o caule (SILVA, 2000).

As árvores de angico apresentam florescência entre os meses de setembro-novembro e frutifica entre agosto-setembro. Apresenta rebrotação de tocos e regeneração natural por meio das sementes (DOS SANTOS, 2010).

2.3.1. *Potencialidades do angico vermelho*

O angico é uma espécie de muitas utilidades, sendo amplamente utilizado em vários setores. Por sua madeira densa, compacta, de grande durabilidade sob condições naturais, o angico é próprio para a construção civil e naval, para a produção de vigas e assoalhos, na confecção de dormentes, móveis (LIMA, 1989), na marcenaria, carpintaria, para lenha e carvão. Do tronco pode ser extraída uma resina avermelhada que é indicada no tratamento de várias afecções do sistema respiratório, como tosse e bronquite. A casca, embora amarga, é utilizada como remédio no combate a diarreias, dismenorreias e úlceras, além de ser utilizada como anti-inflamatório (LIMA, 1989).

A casca possui grande quantidade de taninos, sendo muito bem empregada na indústria de curtimento de couros. A espécie floresce todos os anos, e sua exuberância a faz ser muito utilizada na arborização de parques e praças. Sua adaptabilidade a terrenos secos, e por sua rusticidade, são bastante utilizadas na recuperação ambiental, crescendo bem em solos pobres e degradados. Suas folhas são ditas como tóxicas para o gado, mas se fenadas ou secas, constituem uma boa forragem (LIMA, 1989).

Também já foi verificada em pesquisa a eficiência antiparasitária de um extrato das folhas do angico vermelho contra o carrapato do boi *Rhipicephalus (Boophilus) micropus*, com eficácia superior a 70% nas amostragens realizadas, sendo esta outra possível potencialidade desta espécie arbórea (DOS SANTOS, 2010). Contudo, na área do tratamento de água não existem estudos para aplicação dos taninos do angico-vermelho, o que aumenta ainda mais a importância da pesquisa, sendo esta de caráter inédito.

2.3.2. *Taninos do angico-vermelho*

Entre as espécies produtoras de taninos se destacam as espécies de angico (*Anadenanthera sp.*), pertencentes à família *Fabaceae*, subfamília *Mimosoideae*. Diversas são

as espécies de angico ocorrentes no Brasil, das quais se extrai, da casca, os taninos (AFONSO, 2008). Segundo o mesmo autor, a casca de angico é um dos principais produtos não madeireiros ocorrentes no Cerrado.

Em estudo avaliativo da potencialidade de taninos em seis diferentes espécies florestais do semiárido brasileiro, o angico vermelho destacou-se com uma quantidade considerável de taninos condensáveis presentes em sua casca, com um teor de 11,89%, determinados pelo método de Stiasny (PAES *et al.*, 2006).

A utilização das cascas de angico-vermelho para extração de taninos é uma alternativa economicamente viável tendo em vista a ampla gama de utilizações possíveis dos taninos. Por se tratar de uma espécie pioneira, de rápido crescimento, promove uma redução nos resíduos da indústria de transformação da madeira e agregação de um maior valor às cascas (SARTORI *et al.*, 2014).

3. METODOLOGIA

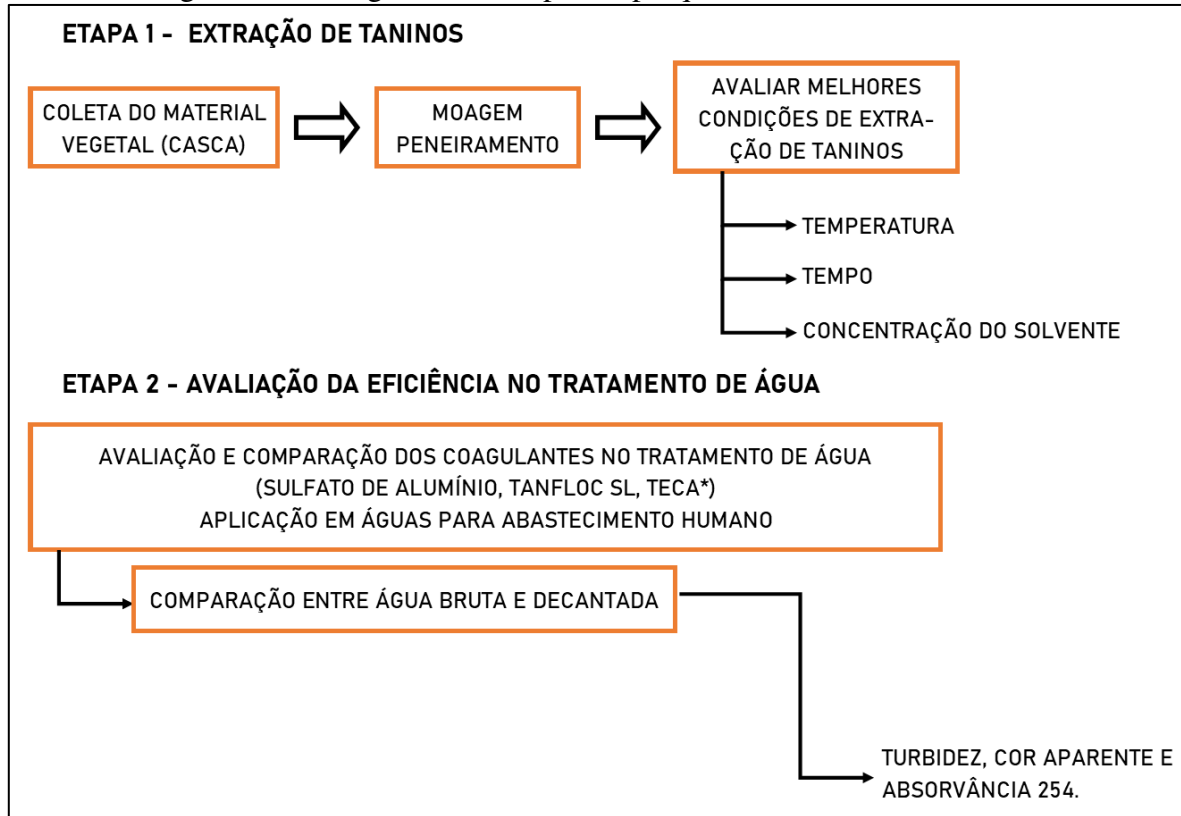
A metodologia proposta visa uma abordagem quali-quantitativa da pesquisa. Do ponto de vista da sua natureza, enquadra-se como aplicada, por objetivar a geração de conhecimentos para a aplicação prática dirigidos a soluções de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos objetivos, a pesquisa se caracteriza como descritiva e exploratória, por propor a observação, registro, análise e correlação das variáveis, além de procurar entender a relação entre elas na pesquisa (CERVO, BERVIAN e SILVA, 2007).

Quanto aos procedimentos é classificada como experimental por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo. Nesse tipo de pesquisa, a manipulação das variáveis proporciona o estudo da relação entre as causas e os efeitos de determinado fenômeno (PRODANOV e FREITAS, 2013).

A Figura 2 apresenta um fluxograma da metodologia da pesquisa que foi executada, que se deu em duas etapas principais, sendo a primeira a extração dos taninos da casca do angico, seguindo a segunda etapa de avaliação dos coagulantes produzidos no tratamento de água. Ambas as etapas foram submetidas à análise de dados estatísticos, buscando otimizar o coagulante produzido.

Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa a serem desenvolvidas



*TECA – Tanino Extraído de Casca de Angico. Fonte: Própria (2021).

3.1. ETAPA 1 – EXTRAÇÃO DE TANINOS

3.1.1. Coleta e preparo do material vegetal

Foram utilizadas cascas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) coletadas de árvores vivas, de duas propriedades privadas, sendo uma localizada no município de Boa Vista, Estado da Paraíba, distante 57 km da cidade de Campina Grande, PB (local da pesquisa) e 180 km de João Pessoa, capital do Estado; e outra, localizada no próprio município de Campina Grande – PB.

A casca foi retirada a partir do corte longitudinal rente ao caule, à distância de 1,0 m do chão, com espessura de 3 – 5 cm, conforme realizado por Paes *et al.* (2013) em pesquisa com a mesma finalidade de quantificação de taninos. As amostras foram colocadas em sacos plásticos separadamente, sendo devidamente identificadas após coleta, com data e natureza do material.

Em seguida, baseado na metodologia utilizada por Santos (2017), as amostras foram secas ao ar livre pelo período de duas semanas, a fim de reduzir a umidade e facilitar o processo de moagem. Após o período de secagem, cada amostra separadamente foi à moagem em moinho

de rotor Willey, da Tecnal, sendo coletado todo material pulverizado. Em seguida, a amostra moída passou por peneiramento, sendo aproveitada a porção que passou na peneira de tela 25 ASTM, 24 mesh (750 mm/μm), e ficou retida na peneira de tela 30 ASTM, 28 mesh (600 mm/μm). Foi utilizado um agitador de peneiras, da Solotest, por um período de 5 minutos em agitação na frequência 4 Hz, a fim de reter sólidos grosseiros e utilizar somente material de baixa granulometria, proporcionando ao material vegetal uma maior área de contato com a solução extratora dos taninos.

3.1.2. Extração de Taninos

Antes de utilizar os taninos extraídos no tratamento da água, três variáveis foram avaliadas para obtenção dos melhores percentuais de extração do agente coagulante das amostras. Os parâmetros “temperatura”, “concentração de solvente” e “tempo de aquecimento” foram estudados através do delineamento Box-Behnken (DDB), que resultaram na realização de quinze experimentos, sendo estes realizados em duplicata. Foram avaliados os pontos de mínimo, médio e máximo das três variáveis (Tabela 2), determinando tais valores a partir da análise de outros trabalhos de extração de taninos de vegetais (MORAIS *et al.*, 2017; PAES *et al.*, 2013; SANTOS, 2017).

Pretendia-se alcançar com cada um dos materiais os maiores valores de Taninos Totais Condensados (TTC), com a maior pureza possível, ou seja, um elevado número de Stiasny (NS), e com o menor Teor de Compostos Não-Tânicos (TNT), sendo estas as condições mais favoráveis para que houvesse um agente coagulante mais eficiente (SANTOS, 2017).

Tabela 2 - Variáveis e pontos de mínimo, médio e máximo avaliados no planejamento experimental Box-Behnken para a extração de taninos

Variáveis	Min.	Méd.	Máx.
Temperatura (° C)	60	90	120
Tempo (min)	60	90	120
Concentração do solvente (%m/v)	0,0*	2,5	5,0

*Concentração de 0,0% corresponde ao uso de água destilada para extração. Fonte: Própria (2021).

A Tabela 3 apresenta os experimentos que foram realizados para a extração a partir do delineamento Box-Behnken. Todos foram executados em duplicata, totalizando 30 ensaios, determinando-se de cada um deles o Teor de Sólidos Totais (TST), o Teor de Taninos

Condensados (TTC), o Número de Stiasny (NS) e o Teor de Não-Taninos (TNT), que são as variáveis dependentes.

Tabela 3 - Matriz de ensaios obtidos por DBB para a extração de taninos

Ensaio	Tempo (min.)	Temperatura (° C)	Solvente (%)
E1	60	60	2,50
E2	120	60	2,50
E3	60	100	2,50
E4	120	100	2,50
E5	60	80	0,00*
E6	120	80	0,00*
E7	60	80	5,00
E8	120	80	5,00
E9	90	60	0,00*
E10	90	100	0,00*
E11	90	60	5,00
E12	90	100	5,00
E13	90	80	2,50
E14	90	80	2,50
E15	90	80	2,50

* Os valores 0,00% de solvente utilizou água destilada como agente extrator. Fonte: Própria (2021).

A extração se procedeu utilizando uma relação de 1:20 (gramas de cascas moídas por mililitro de agente extrator, sendo utilizado neste estudo o hidróxido de sódio). Deste modo, para cada ensaio, o material foi extraído em estufa, utilizando 100 mL de agente extrator para cada 5 g de casca do pó vegetal obtido nas etapas anteriores. Após a extração, o material foi filtrado a vácuo utilizando-se funil de Büchner e kitassato, com papel de filtro comum (ou em um coador de pano, em caso de colmatação do papel de filtro). O filtrado foi separado para determinação de Teor de Sólidos Totais (TST), Teor de Taninos Condensados (TTC), Teor de Não-Taninos (TNT) e Número de Stiasny (NS), também conhecido como Índice de Stiasny (IS), conforme a metodologia de Wissing (1955) e Lelis (1995), descrita abaixo.

3.1.3. Determinação dos extratos tânicos pelo método de Stiasny

A quantificação dos teores extrativos das cascas do angico vermelho foi realizada seguindo a metodologia de Wissing (1955) e Lelis (1995), pelo método de Stiasny, que é utilizado tanto nos trabalhos mais consolidados como nos mais recentes para quantificação de taninos (PAES *et al.*, 2006; PAES *et al.*, 2014; SANTOS, 2017; SARTORI *et al.*, 2014;). O tratamento que apresentou maior rendimento em taninos condensados e menor rendimento em não taninos foi utilizado na extração em grande quantidade para a posterior avaliação da eficiência destes taninos extraídos para o tratamento de água.

3.1.3.1. Determinação do Teor de Sólidos Totais

Para cada ensaio foi separada uma alíquota de 25 mL (do filtrado) com o objetivo de determinar os sólidos totais. Esta foi colocada em uma cápsula de porcelana de massa conhecida e previamente tarada, sendo então submetida ao processo de perda de água em banho-maria, até evaporação do solvente. Posteriormente, a amostra foi submetida à secagem em estufa a 103 ± 2 °C, até obtenção de sua massa anidra e peso constante. O cálculo para a determinação do teor de sólidos totais foi realizado de acordo com a Equação 1:

$$\text{TST\%} = (M_f / M_i) \times 100 \text{ (Eq. 1)}$$

Onde:

TST = Teor de sólidos totais;

M_i = Massa inicial da amostra utilizada na extração em gramas (5g);

M_f = Massa anidra final do resíduo extrapolado para o volume total da solução em gramas.

3.1.3.2. *Determinação do Teor de Taninos Condensados*

Para o cálculo do teor de taninos condensados (TTC), foi separada de cada amostra filtrada, uma alíquota de 50 mL, sendo colocada em um balão de fundo chato com capacidade de 250 mL, no qual foram adicionados 10 mL de formaldeído a 37% e 5 mL de ácido clorídrico. A mistura foi aquecida a 100° C sob refluxo durante 30 minutos. Nessas condições, espera-se que o tanino forme complexos insolúveis, que são separados por filtração a vácuo utilizando-se funil de Büchner, com papel de filtro 103, de massa previamente conhecida. O novo filtrado então é desprezado e o resíduo (tanino) colocado em estufa a 103 ± 2 °C, até peso constante.

Por meio do número de Stiasny (Equação 2) foi possível determinar o teor de taninos condensados (LELIS, 1995; WISSING, 1955), de acordo com a Equação 3:

$$\text{NS} = (M_t / \text{ST}) \times 100 \text{ (Eq. 2)}$$

$$\text{TTC\%} = (\text{TST} \times \text{NS}) / 100 \text{ (Eq.3)}$$

Onde:

NS = Número de Stiasny;

M_t = Massa anidra de taninos extrapolada para o volume total da solução em gramas;

ST = Massa dos sólidos totais extrapolada para o volume total da solução em gramas.

TTC = Teor de taninos condensados;

TST = Teor de sólidos totais;

NS = Número de Stiasny.

3.1.3.3. *Determinação do Teor de compostos Não-Tânicos*

A diferença entre o teor de sólidos totais e o teor de taninos condensados fornece a percentagem de não-taninos, de acordo com a Equação 4:

$$\text{TNT} = \text{TST} - \text{TTC} \text{ (Eq. 4)}$$

Onde:

TNT = Teor de compostos Não-Tânicos;

TST = Teor de Sólidos Totais;

TTC = Teor de Taninos Condensados.

3.2. ETAPA 2 – EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA

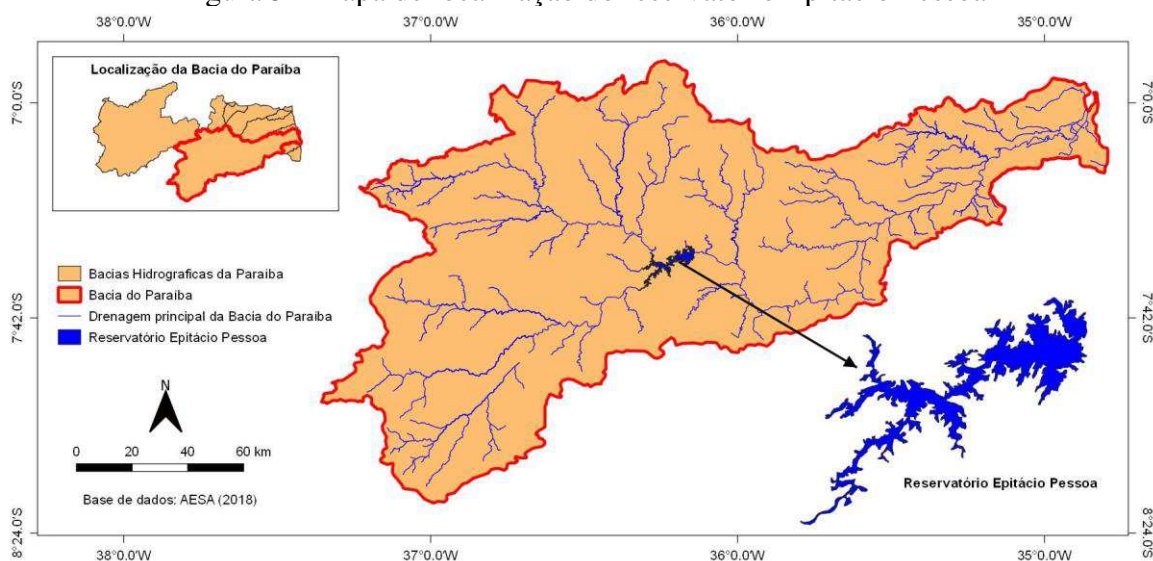
3.2.1. *Coleta da água*

A água para o teste dos agentes coagulantes foi coletada na Estação de Tratamento de Água de Gravatá, logo após a etapa de adução da água bruta do reservatório Epitácio Pessoa, açude de Boqueirão. Este é um importante reservatório do Estado da Paraíba, abastecendo cerca de 20% da população paraibana. Além disso, outros estudos já utilizaram águas deste manancial para o teste de coagulantes orgânicos, que podem ser utilizados com fins comparativos na avaliação dos novos coagulantes produzidos na pesquisa (NEPOMUCENO, 2017; SANTOS, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2019).

Com 466.525.964 m³ de capacidade máxima de armazenamento de água, o reservatório Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Boqueirão (nome do município onde é localizado), é o segundo maior açude da Paraíba na atualidade (AESÁ, 2021). Teve sua construção iniciada em 1952 pelo Departamento Nacional de Obras de Combate à Seca (DNOCS) com o principal objetivo de abastecer o município de Campina Grande e demais

municípios da Borborema (RÊGO *et al.*, 2013), sendo hoje responsável pelo abastecimento de 19 municípios, segundo a empresa de abastecimento local.

Figura 3 - Mapa de localização do reservatório Epitácio Pessoa



Fonte: AESA (2021).

Está localizado na Bacia do Rio Paraíba (Figura, na porção do alto curso desta bacia e inserida na região do semiárido brasileiro, que possui um embasamento cristalino, gerando dureza e alcalinidade elevadas na água, limitando seu uso na indústria e na irrigação. A bacia apresenta média pluviométrica de 600 mm/ano, o que representa uma região com grande severidade para abastecimento de água (SANTOS, 2014). Recentemente (2017), o Epitácio Pessoa passou a receber das águas da Transposição do Rio São Francisco (Eixo Leste), alterando as características da água do reservatório (SILVEIRA *et al.*, 2019). A água do açude Epitácio Pessoa geralmente apresenta baixos valores de turbidez e cor, com exceção dos períodos chuvosos, onde diversos sedimentos são arrastados para seu interior, turvando a água do reservatório.

3.2.2. Ensaios de tratabilidade

Para atender aos objetivos dessa pesquisa foram realizados ensaios comparativos entre os coagulantes estudados, sendo estes o sulfato de alumínio (coagulante inorgânico), Tanfloc SL (coagulante orgânico) e o TECA (Tanino Extraído da Casca do Angico).

Também foram feitos planejamentos experimentais em Box-Behnken para avaliar a interferência das variáveis “dosagem de coagulante”, “pH” e “Velocidade de Sedimentação”, sendo comparados entre si, a fim de se perceber as melhores dosagens e condições de aplicação

de cada coagulante em estudo. A Tabela 4 apresenta os parâmetros de mínimo, médio e máximo para cada variável estudada no planejamento experimental Box-Behnken:

Tabela 4 - Pontos de mínimo, médio e máximo para cada variável estudada no planejamento experimental Box-Behnken

Variáveis	Min.	Méd.	Máx.
Dosagem (mg/l)	10	30	50
Vel. Sedimentação (cm/min)	1,5	2,5	3,5
pH	5,5	7,0	8,5

Fonte: Própria 2021.

Vale ressaltar que a velocidade de sedimentação baixa corresponde a um tempo de decantação mais alto. Como a torneira coletora da água decantada dista 7 cm de altura do nível de água máximo do jarro, o cálculo de tempo foi feito pela Equação 5:

$$V_{sed} = \frac{d \text{ (cm)}}{\text{Tempo (min)}} \text{ (Eq. 5)}$$

Onde:

V_{sed} = Velocidade de sedimentação;

d = Distância a ser percorrida pelo floco;

Tempo = Tempo necessário a ser percorrido pelo floco.

A Tabela 5 apresenta os tempos de decantação utilizados neste ensaio.

Tabela 5 - Valor dos tempos de decantação para cada velocidade de sedimentação adotada, para d = 7cm

Velocidade (cm/min)	Tempo (decimal)	Tempo (min)
1,5	4,6667	4'40''
2,5	2,8	2'48''
3,5	2	2'00''

Fonte: Própria (2021).

A Tabela 6 apresenta os experimentos que foram realizados em laboratório partir do delineamento Box-Behnken para extração em estufa. Todos foram executados em duplicata, totalizando 30 experimentos para cada um dos coagulantes estudados.

Tabela 6 - Matriz de ensaios de tratabilidade obtidos por DBB para o experimento de tratamento de água com os coagulantes utilizados no estudo

Ensaio	Dosagem (mg/l)	pH	Vel. Sed. (cm/s)
E1	10	5,5	2,5

E2	50	5,5	2,5
E3	10	8,5	2,5
E4	50	8,5	2,5
E5	10	7,0	1,5
E6	50	7,0	1,5
E7	10	7,0	3,5
E8	50	7,0	3,5
E9	30	5,5	1,5
E10	30	8,5	1,5
E11	30	5,5	3,5
E12	30	8,5	3,5
E13	30	7,0	2,5
E14	30	7,0	2,5
E15	30	7,0	2,5

Fonte: Própria (2021).

A simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação foi feita em escala de bancada, em aparelho *jartest*. Após esta etapa, foram realizadas as leituras dos parâmetros cor aparente, turbidez e absorvância-254. A Tabela 7 apresenta as metodologias utilizadas para as medições citadas.

Tabela 7 - Metodologia utilizada para avaliação da eficiência do tratamento da água

Parâmetro	Unidades	Metodologia
Cor aparente	uC	Nefelométrico
Turbidez	uT	Nefelométrico
Absorvância 254nm	-	Espectrofotométrico

Fonte: Própria (2021).

A partir dos dados coletados, foi possível averiguar a eficiência do tratamento, bem como o residual de matéria orgânica que porventura tenha sido agregado à água após a adição dos coagulantes com base orgânica. Foram verificados também o atendimento dos parâmetros analisados ao que é preconizado pela Portaria GM/MS N° 888, que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Tabela 8 apresenta as configurações utilizadas no *jartest* para todos os ensaios de tratabilidade, baseadas no funcionamento de uma estação de tratamento de água em escala real, segundo a norma brasileira para projetos de estação de tratamento de água (ABNT NBR 12.216/1992), bem como valores recomendados por Di Bernardo *et al.* (2011).

Tabela 8 - Configurações utilizada no *jartest* para os ensaios de tratabilidade

Etapas	Velocidade de Rotação	Tempo
Mistura Rápida	500 RPM	7 segundos
Mistura Lenta	70 RPM	10 minutos

(Floculação)	40 RPM	10 minutos
	20 RPM	10 minutos
Decantação	0 RPM	Variável (vide Tabela X)
Descarte	-	3 segundos
Coleta	-	20 segundos

Fonte: Própria (2021).

A NBR 12.216 recomenda que, em estações de tratamento de água convencionais, o tempo de mistura lenta esteja compreendido entre 20 e 30 minutos. Em sistemas que utilizam a floculação na modalidade mecânica, tendem a formar caminhos preferenciais (*by-pass*), sendo recomendado pela norma elevar o tempo de mistura lenta. Contudo, estudos apontam que coagulantes orgânicos à base de tanino podem conferir cor à água final quando a água possui um elevado tempo de mistura lenta (SILVEIRA, 2018; TREVISAN, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Etapa 1 – Extração de Taninos

A Tabela 9 apresenta os valores médios obtidos com o extrato de casca de angico para TST, TTC, NS e TNT, com seus respectivos desvios padrão, para as condições delineadas pelo planejamento experimental Box-Behnken:

Tabela 9 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência para a casca

Ensaio	Tempo (min.)	Temp. (° C)	Solv. (%)	TST (%)	TTC (%)	TNT (%)	NS (%)
E1	60	60	2,50	28,56 ± 0,43	14,25 ± 0,22	14,31 ± 0,65	49,90 ± 1,52
E2	120	60	2,50	28,53 ± 1,04	14,34 ± 1,02	14,19 ± 2,06	50,36 ± 5,42
E3	60	100	2,50	31,60 ± 1,66	16,45 ± 0,43	15,16 ± 1,23	52,07 ± 1,38
E4	120	100	2,50	32,43 ± 0,48	16,49 ± 1,44	15,94 ± 1,92	50,88 ± 5,19
E5	60	80	0,00	6,73 ± 0,01	5,93 ± 0,21	0,81 ± 0,23	88,00 ± 3,37
E6	120	80	0,00	6,82 ± 0,03	5,90 ± 0,12	0,93 ± 0,15	86,42 ± 2,14
E7	60	80	5,00	47,91 ± 1,92	17,31 ± 0,20	30,61 ± 2,12	36,16 ± 1,87
E8	120	80	5,00	46,31 ± 1,59	17,83 ± 0,36	28,48 ± 1,23	38,51 ± 0,55
E9	90	60	0,00	7,32 ± 0,50	5,77 ± 0,12	1,55 ± 0,63	79,10 ± 7,13
E10	90	100	0,00	6,89 ± 0,01	6,18 ± 0,05	0,71 ± 0,06	89,68 ± 0,79
E11	90	60	5,00	45,72 ± 5,45	18,17 ± 1,40	27,56 ± 4,05	39,83 ± 1,69
E12	90	100	5,00	46,36 ± 4,87	17,50 ± 0,13	28,87 ± 5,00	37,96 ± 4,27
E13	90	80	2,50	28,37 ± 0,45	15,08 ± 0,28	13,29 ± 0,73	53,16 ± 1,82
E14	90	80	2,50	28,97 ± 0,65	15,13 ± 0,79	13,84 ± 0,14	52,20 ± 1,55
E15	90	80	2,50	28,13 ± 1,83	13,92 ± 0,58	14,21 ± 1,25	49,53 ± 1,16

Fonte: Própria (2021).

Foram observados valores entre 6,73% e 47,91% para o TST, entre 5,77% e 18,17% para o TTC, entre 0,71% e 30,61% para o TNT e entre 36,16% e 89,68% para o NS. Os valores mais

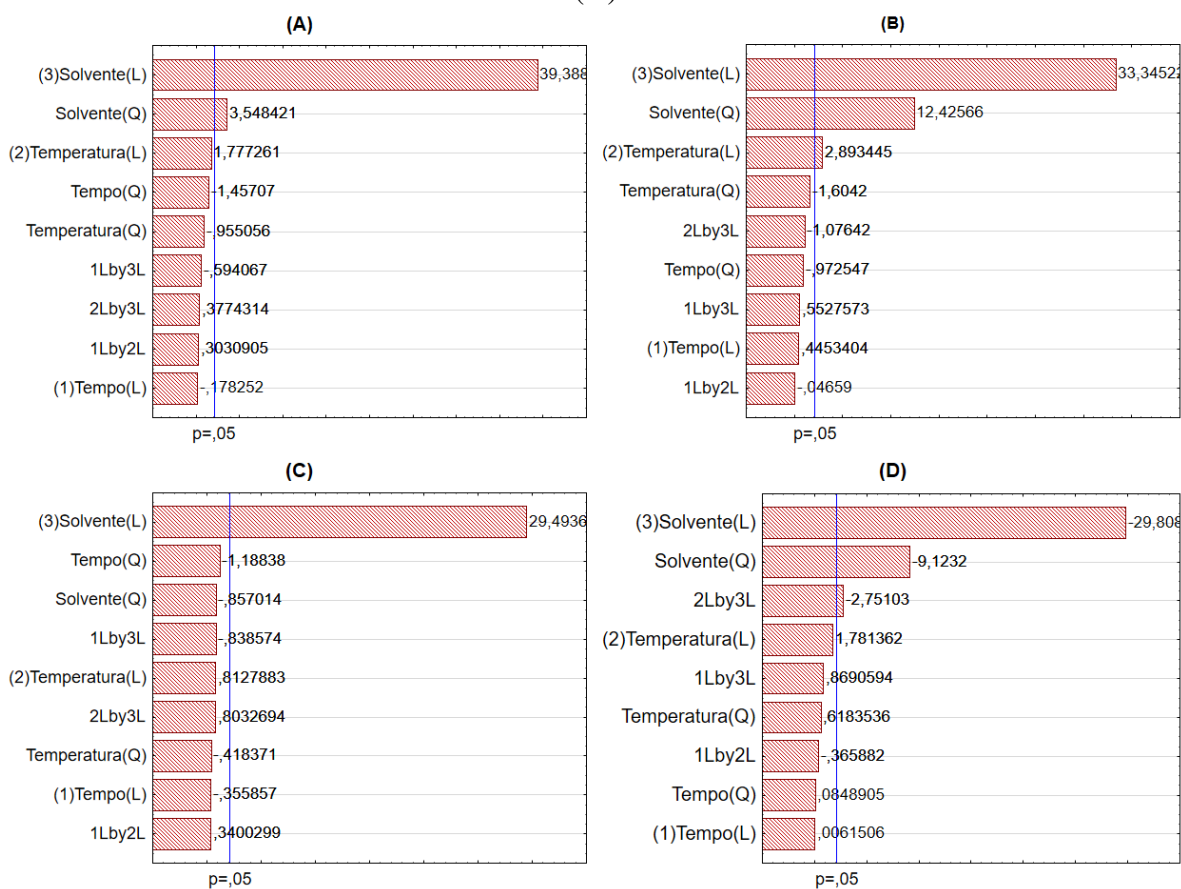
baixos para TTC e TST foram obtidos para a extração apenas com água destilada, menores ou iguais a 6,18% e 6,89%, respectivamente, o que configura um baixo rendimento na extração do tanino mediante o uso da água como agente extrator. Utilizando apenas água destilada, na proporção 1:10, Paes *et al.* (2006) obtiveram 11,89% de TTC, valor superior ao do presente estudo. Contudo, este valor mais alto pode ser justificado pela proporção maior solvente-casca utilizado e maior tempo de contato da água com as cascas. Mais adiante, mediante a análise dos gráficos de Pareto será possível fazer uma análise mais precisa das variáveis dependentes.

Quando a extração ocorreu com o hidróxido de sódio, os valores de TTC foram sempre maiores ou iguais a 13,92%, chegando até 18,17%, o que corresponde aos valores mais próximos aos encontrados na literatura (ANDRADE *et al.*, 2013; PAES *et al.*, 2006; PAES *et al.*, 2013; SARTORI *et al.*, 2014). O rendimento em taninos obtido nesse estudo encontra-se dentro da faixa de variação de 2 e 40 % da massa seca da casca, proposta por Hergert (1962).

Paes *et al.* (2013), usando como solvente o hidróxido de sódio a 3% para extração de taninos em angico vermelho, obtiveram percentuais de 37,16% para TST, 21,46% para TTC, 15,64% para TNT e 57,63 para NS, que são valores relativamente próximos aos obtidos nos experimentos deste estudo. Já Sartori *et al.* (2014), utilizando outro solvente (sulfito de sódio), na proporção 1:15 com as cascas de angico, encontraram teores de 11,34% para TST, 12,76% para TTC, 4,07% para TNT e 75,79% para o NS, sendo estes valores bem próximos aos que foram registrados neste estudo. Estes valores demonstram a diminuição da pureza (NS) dos taninos extraídos quando estes não utilizam água para extração, contudo, um maior potencial tânico. Desta forma, é fundamental a estatística para perceber o ponto ótimo de equilíbrio entre pureza e potencial tânico.

A Figura 4 traz os diagramas de Pareto para a extração de taninos da casca de angico, com significância de cada termo de 5% ($p = 0,05$).

Figura 4 - Gráficos de Pareto dos efeitos padronizados para TST (A), TTC (B), TNT (C) e NS (D)



Fonte: Própria (2021).

Como pode ser visto na Figura 4, o diagrama de Pareto para o Teor de Sólidos Totais (Figura 4.A) é diretamente influenciado pela concentração do solvente em termos lineares e quadráticos. Por sua vez, o Teor de Taninos Condensados (Figura 4.B) teve influência das variáveis “concentração de solvente”, em termos lineares e quadráticos, bem como uma influência linear da temperatura. Para o Teor de Não-Taninos (Figura 4.C), apenas a concentração do solvente em termos lineares foi considerada uma variável que influenciou estatisticamente o processo. Para o Gráfico de Pareto Número de Stiasny (Figura 4.D), também houve influência da concentração de solvente em termos lineares e quadráticos, bem como a interação da temperatura (linear) com a concentração de solvente (linear), mas agora de forma inversamente proporcional para estas variáveis.

Analisando estes gráficos, percebe-se uma influência primordial da concentração de solvente para o processo de extração de taninos do angico-vermelho, uma vez que todas as variáveis-resposta receberam influência deste fator. Para TST, TTC e TNT, houve uma relação diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a concentração do solvente, maiores os teores

de sólidos totais, taninos condensados e não-taninos. Já NS apresentou relação inversamente proporcional, diminuindo o Número de Stiasny com o aumento da concentração de solvente, ou seja, diminuindo-se a sua pureza tânica do extrato. Apesar dos maiores teores de taninos obtidos com a concentração maior do solvente, não se possui uma resposta satisfatória com a pureza destes, bem como a própria elevação dos custos produtivos em uma possível aplicação comercial.

Além disso, a temperatura também foi um fator influente para TTC e NS. Tendo em vista que valores mais elevados de temperatura podem elevar os custos do processo, é importante avaliar estatisticamente o melhor ponto destes fatores a fim de se ter a melhor eficiência.

A Tabela 10 apresenta os valores estatísticos utilizados para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos.

Tabela 10 – Resultado do ajuste dos modelos para extração da casca

MODELO	R ² (%)	R ² Ajustado (%)	F _{calc} /F _{tab} (regressão)	F _{calc} /F _{tab} (falta de ajuste)
TST	98,71	98,12	70,82	0,38
TTC	97,88	96,93	42,86	1,13
TNT	97,92	96,99	43,83	0,16
NS	98,03	97,14	46,19	0,29

Fonte: Própria (2021).

Com base na Tabela 10, todos os modelos foram significativos, com nível de confiança de 95%, pois para a regressão o F_{calc} é maior que o de F_{tab} ($F_{calc} / F_{tab} > 1$), como também apresentaram ajustes satisfatórios ($F_{calc} / F_{tab} \geq 4$) (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2007). Tendo em vista que a falta de ajuste não foi significativa ($F_{calc} / F_{tab} < 1$), os modelos também se classificam como preditivos, exceto o modelo para TTC, que obteve a relação de falta de ajuste $F_{calc} / F_{tab} = 1,13$.

Desta forma, os modelos propostos podem ser utilizados para determinar as condições ótimas de extração de taninos com segurança dentro dos intervalos estudados, uma vez que para o TTC, o modelo não foi preditivo, sendo esta uma das principais variáveis-resposta, não sendo segura a extrapolação para além dos limites estudados para esta variável.

Santos (2017) utilizou modelos de regressão linear múltipla para avaliar as melhores condições de extração de tanino da jurema-preta, obtendo-se resultados satisfatório para seu uso em tratamento de água com remoções de 95% para turbidez e 79% para cor na aplicação do coagulante. Este fato corrobora a utilização dos modelos propostos no presente trabalho para

a determinação das condições ótimas de extração de tanino, desde que estas sejam estabelecidas dentro das faixas de valores estudadas.

Os modelos ajustados para a TST, TTC, TNT e NS foram escritos, respectivamente, de acordo com as Equações 6, 7, 8 e 9.

$$\text{TST} = 27,93313 - 0,08968X_1 - 0,53954X_1^2 + 0,89419X_2 - 0,35365X_2^2 + 41,7580X_3 + 1,31395X_3^2 + 0,21566X_1X_2 - 0,42270X_1X_3 + 0,26855X_2X_3 \text{ (Eq. 6)}$$

$$\text{TTC} = 13,00755 + 0,0785X_1 - 0,12617X_1^2 + 0,51005X_2 - 0,20812X_2^2 + 5,87799X_3 + 1,61206X_3^2 - 0,01161X_1X_2 + 0,13780X_1X_3 - 0,26834X_2X_3 \text{ (Eq. 7)}$$

$$\text{TNT} = 14,92558 - 0,16819X_1 - 0,41337X_1^2 + 0,38414X_2 - 0,14553X_2^2 + 13,93940X_3 - 0,29811X_3^2 + 0,22727X_1X_2 - 0,56050X_1X_3 + 0,53690X_2X_3 \text{ (Eq. 8)}$$

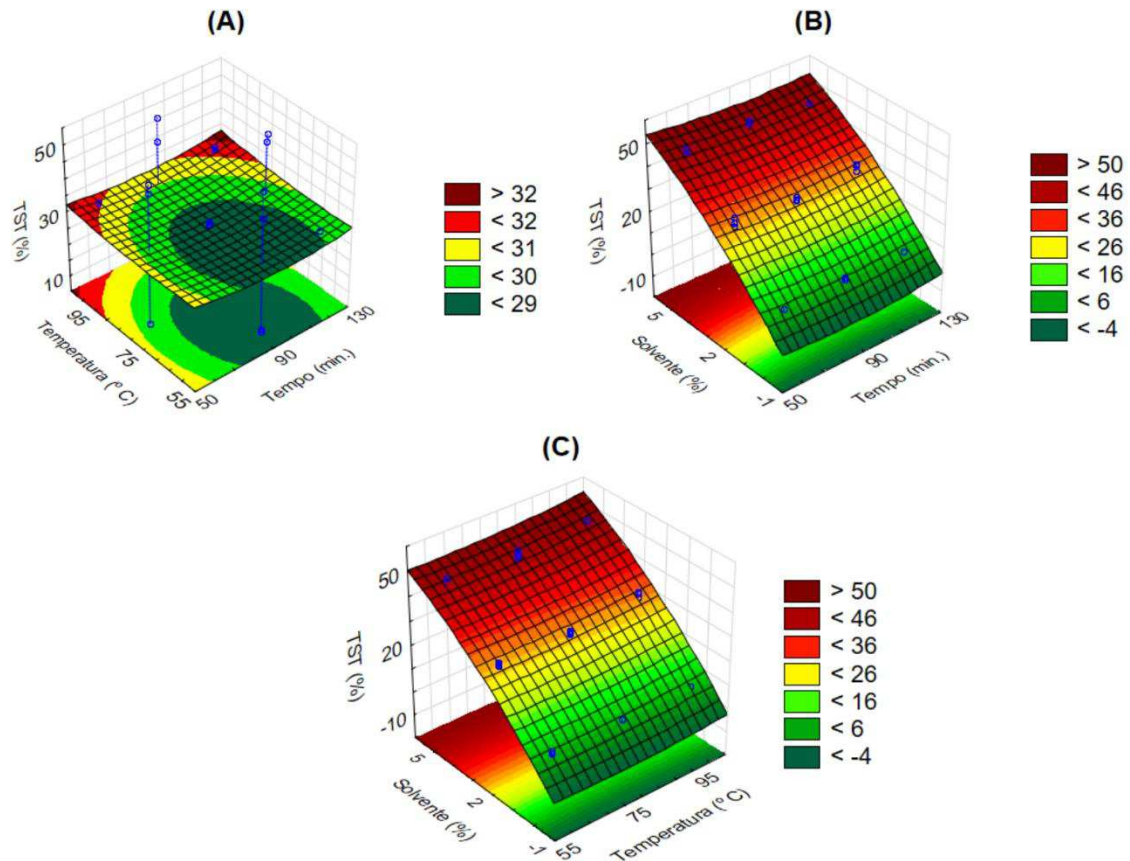
$$\text{NS} = 58,2392 + 0,0049X_1 + 0,0500X_1^2 + 1,4248X_2 + 0,3640X_2^2 - 23,8424X_3 - 5,3706X_3^2 - 0,1439X_1X_2 + 0,9830X_1X_3 - 3,1119X_2X_3 \text{ (Eq. 9)}$$

onde X1, X2 e X3 representam, respectivamente, o tempo de extração (min.), a temperatura de extração (° C) e a concentração de solvente (% m/v).

As variáveis independentes envolvidas no processo de extração também foram analisadas pela metodologia de superfície de resposta, mediante o delineamento experimental Box-Behnken. Todos os gráficos de superfície foram traçados correlacionando duas das variáveis independentes, fixando a terceira variável restante no ponto central, buscando manter o perfil de superfície ao não extrapolar os limites de máximo e mínimo explorados neste estudo.

A Figura 5 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes na extração de compostos tânicos da casca do angico-vermelho no Teor de Sólido Totais.

Figura 5 - Teores de Sólidos Totais (TST) em função das variáveis independentes



Fonte: Própria (2021).

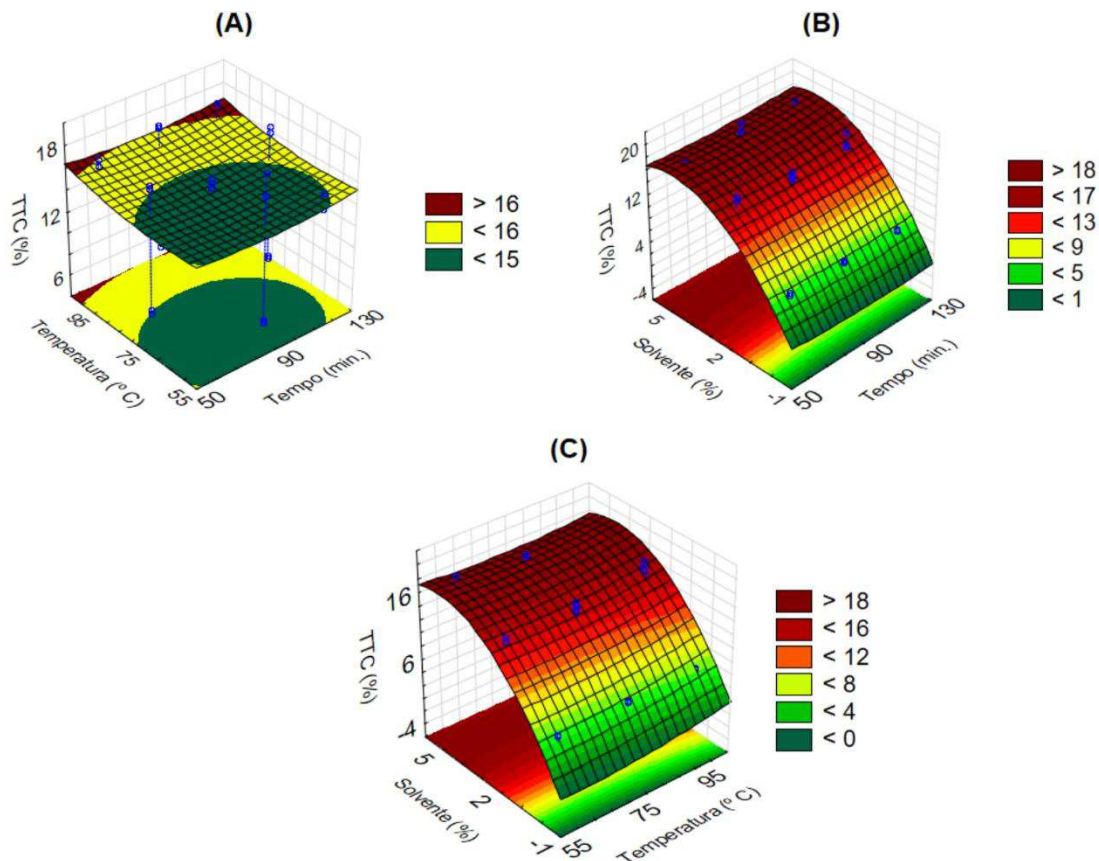
Conforme já apontou a análise do Diagrama de Pareto (Figura 4.A), a concentração de solvente foi a variável que mais apresentou influência no TST, percebendo-se que nas dosagens de 5% de hidróxido de sódio obteve-se maiores teores de sólidos totais, chegando até valores de 49,57%, enquanto os valores com apenas água como solvente não passaram dos 7,68%.

Paes *et al.* (2013) perceberam um acréscimo de 60,17% no TST ao usar o hidróxido de sódio ao invés de água para extração tânica no angico-vermelho. Santos (2017), quantificando TST em jurema-preta também averiguou um maior percentual de TST ao usar outro agente extrator ao invés de somente água destilada. Várias pesquisas comprovam o aumento do teor de compostos extrativos quando é empregado uma solução diferente da água no processo da extração (AIRES, CARVALHO e SAAVEDRA, 2016; LOW, RAHMAN e JAMALUDDIN, 2015).

Apesar da baixa influência, o gráfico de superfície Temperatura x Tempo (Figura 4.A) apresente uma leve tendência para um maior TST em valores de tempo e temperatura mais altos (Figuras 4.B e 4.C).

A Figura 6 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes na extração de compostos tânicos da casca do angico-vermelho no Teor de Taninos Condensados.

Figura 6 – Teores de Taninos Condensados (TTC) em função das variáveis independentes



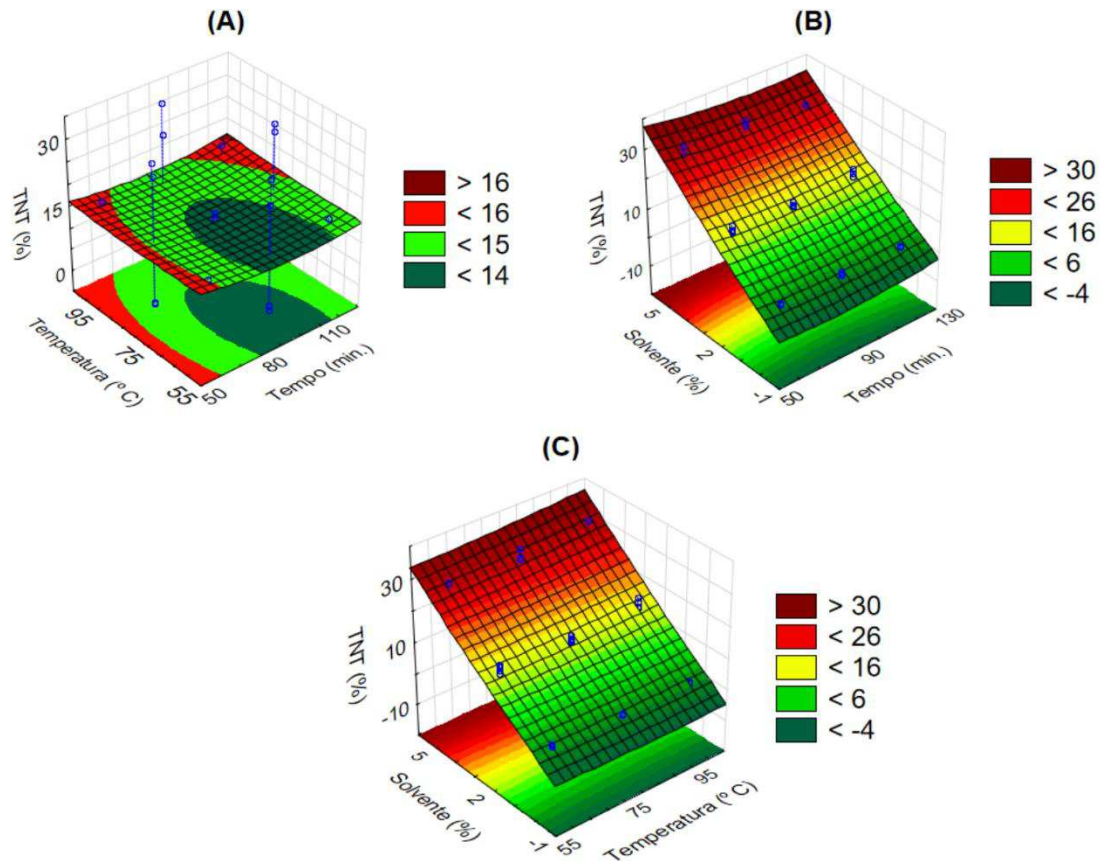
Fonte: Própria (2021).

Observando os padrões dos gráficos na Figura 6, pode-se perceber que o comportamento do TTC acompanhou o mesmo do TST, sendo influenciado consideravelmente pela dosagem de solvente, e de forma sutil pela temperatura e pelo tempo. Contudo, os gráficos 6.B e 6.C apresentaram uma curvatura a partir do ponto central, indicando uma certa estabilidade dos valores a partir de concentração de solvente (2,5%), podendo este ser um valor limite para a otimização dos resultados.

Tempos e temperaturas mais altas também levaram a um sutil aumento do TTC (Figura 6.A). Santos (2017) observou o mesmo comportamento em seus gráficos de superfície de resposta. Vários trabalhos encontrados na literatura mostram que para a extração de taninos a temperatura não ultrapassa 120 °C (AZEVEDO *et al.*, 2015; CALEGARI *et al.*, 2016; DERKYI, 2010; LOPES *et al.*, 2015; PAES *et al.*, 2006; RODRIGUES, 2012;).

A Figura 7 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes na extração de compostos tânicos da casca do angico-vermelho no Teor de Não-Taninos.

Figura 7 – Teores de Não-Taninos (TNT) em função das variáveis independentes

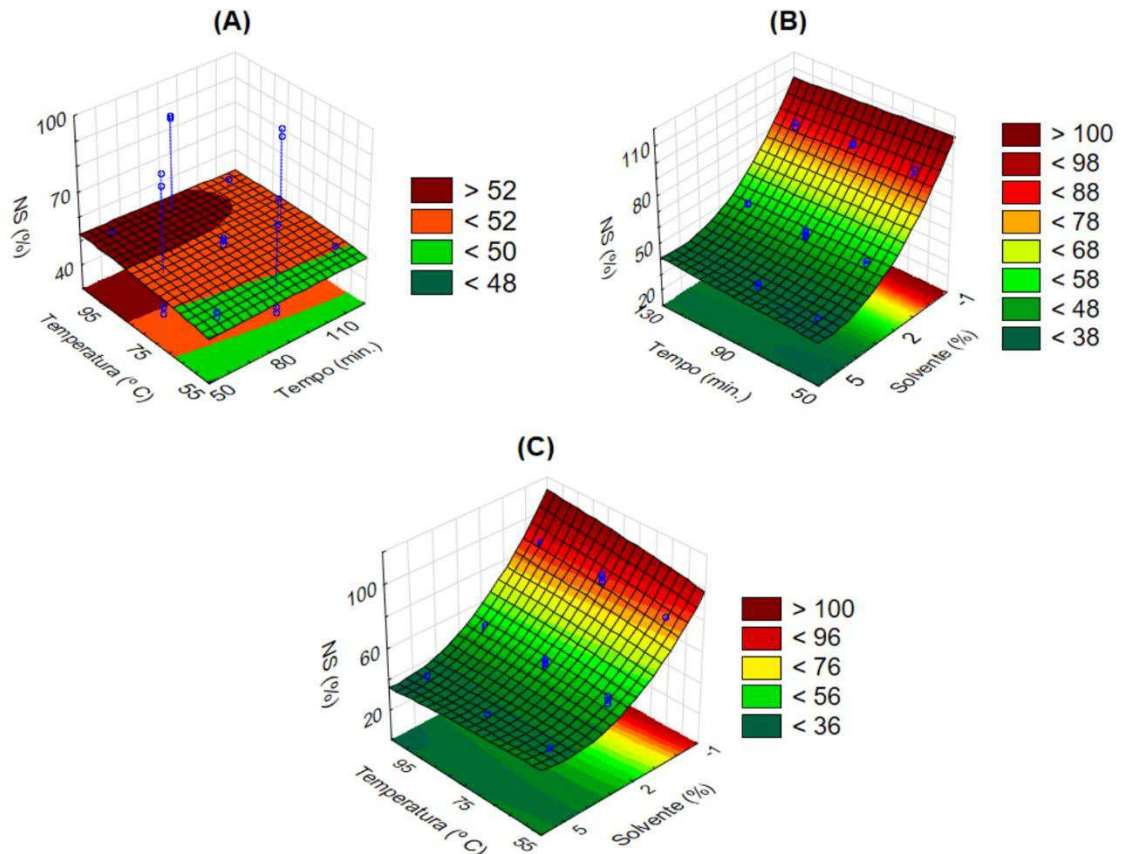


Fonte: Própria (2021).

Conforme fora observado nos gráficos de superfície anteriores, o TNT (Figura 7) também sofre grande influência da concentração do solvente, possuindo gráficos mais semelhantes ao TST, que crescem de forma linear. Juntamente com o TST e o TTC, o TNT também cresce com o uso do hidróxido de sódio com o solvente mais concentrado na extração (Figuras 7.B e 7.C). Em geral, temperaturas e tempos mais elevados levaram sutilmente a uma maior quantidade de TNT (Figura 7.A, 7.B e 7.C), corroborando com o trabalho de Santos (2017).

A Figura 8 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes na extração de compostos tânicos da casca do angico-vermelho no Número de Stiasny.

Figura 8 – Número de Stiasny (NS) em função das variáveis independentes



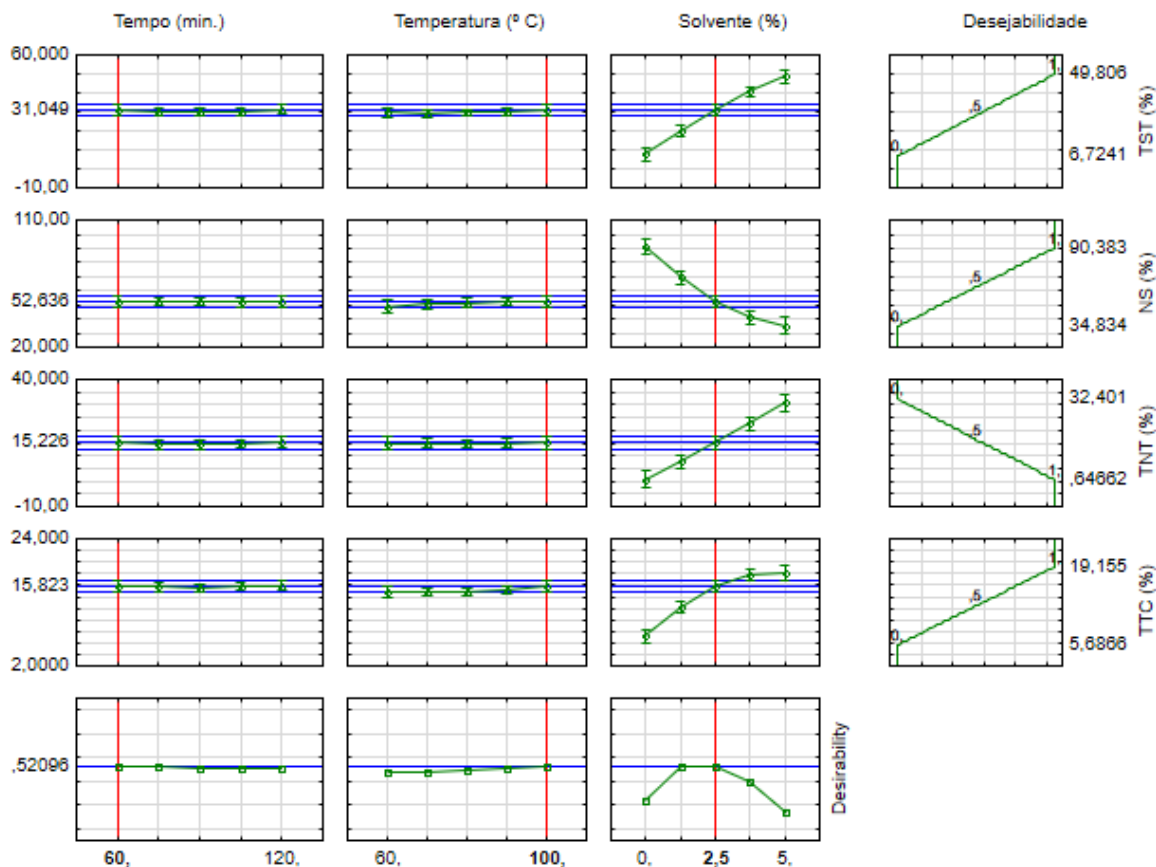
Fonte: Própria (2021).

O NS, por sua vez (Figuras 8.A, 8.B e 8.C), diminui consideravelmente em altos valores de concentração de solvente, indicando um baixo grau de pureza tânica nesse tipo de extração. A água destilada parece ser mais branda neste processo, extraíndo majoritariamente taninos condensados durante o tempo de aquecimento. O hidróxido de sódio, por sua vez, apesar de extrair um maior percentual de taninos, acaba extraíndo também outros elementos não-tânicos do vegetal, elevando o NS, o que compromete a pureza.

Analisando os gráficos de superfície até aqui, percebe-se que, apesar de os maiores valores de concentração de solvente, temperatura e tempo terem sido favoráveis para um maior TST e TTC (Figura 5 e Figura 6, respectivamente), este aumento também acarretou um maior TNT (Figura 7), diminuindo o índice de pureza da solução, ou seja, o NS (Figura 8), sendo essencial a estatística e os modelos delineados para determinar o melhor ponto de extração de taninos. Constatou-se visualmente também a concentração de solvente como a principal variável interferente no processo de extração de taninos.

A partir dos modelos propostos, foi realizado a estimativa das condições ótimas para TST, TTC, TNT e NS em escala de bancada por meio da função de desejabilidade. A Figura 9 ilustra os diagramas da função de desejabilidade que descrevem as condições ideais para o tempo, temperatura e concentração de solvente, dentro dos intervalos avaliados (Tabela 4).

Figura 9 – Perfis dos valores preditos e a função de desejabilidade considerando todos os parâmetros analisados simultaneamente para o experimento de extração de cascas



A desejabilidade global obtida foi de 0,521 para os experimentos de extração de taninos da casca de angico-vermelho, que segundo a escala de Harrington foi aceitável, mas passível de melhorias (RIBARDO; ALLEN, 2003).

Observando a Figura 9, verifica-se que para se atingir a desejabilidade obtida ($D=0,521$) as condições ótimas são um tempo de 60 minutos, aquecido a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando o hidróxido de sódio a 2,5%. Estas condições no experimento obtiveram valores de absolutos de $31,60 \pm 1,66$ para TST, $16,45 \pm 0,43$ para TTC, $15,16 \pm 1,23$ para TNT e $52,07 \pm 1,38$ para NS. Para os valores obtidos, percebe-se estatisticamente que os modelos sugerem um menor tempo de contato do solvente com o material vegetal (casca), em uma temperatura mais alta. A dosagem

de solvente adotada foi a intermediária (2,5%), uma vez que a partir dela percebe-se um teor de TTC semelhante ao de 5%, como previsto na análise dos gráficos de superfície.

4.2. Etapa 2 – Tratabilidade

A Tabela 11 apresenta os valores para a água bruta do açude Epitácio Pessoa para cada um dos ensaios realizados.

Tabela 11 – Valores para a água bruta do Açude Epitácio Pessoa para cada um dos experimentos realizados

Parâmetro	Sulfato de Alumínio	Tanfloc SL	TECA
Cor aparente (uC)	23,4	21,7	23,5
Cor Verdadeira (uC)	18,7	17,9	18,6
Turbidez (uT)	1,07	0,87	0,95
pH	7,1	7,0	7,2
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	61,3	74,0	62,0
Absorvância 254nm	0,152	0,158	0,151

Fonte: Própria (2021).

As coletas do reservatório Epitácio Pessoa aconteceram em um período de estabilidade do manancial (período de estiagem, setembro/outubro de 2020), levando os valores a se manterem próximos entre si e com poucas alterações. A água, de maneira geral, apresentou-se com valores de cor e turbidez baixos, o que justifica sua aparência límpida e cristalina. Os valores de pH obtidos também não apresentaram variações significativas, e mantiveram-se próximo à neutralidade. A cor verdadeira representa cerca de 80% da cor aparente, significando que a maior parte da cor da água é relacionado a substância dissolvidas, o que pode dificultar o tratamento por coagulantes inorgânicos como o sulfato de alumínio (SHEN, 2005).

A Tabela 12 apresenta os percentuais de remoção obtidos para as variáveis dependentes avaliadas nos experimentos com o Sulfato de Alumínio como agente coagulante.

Os valores obtidos para os ensaios com o coagulante sulfato de alumínio não foram satisfatórios. Nenhuma das faixas estudadas apresentou remoção de cor, turbidez ou alcalinidade. Os valores absolutos, no entanto, mantiveram-se relativamente baixos (< 5,14 uT).

Silveira *et al.* (2014) encontraram resultados semelhantes com o Sulfato de Alumínio, onde este obteve apenas valores negativos para a remoção de turbidez e cor aparente utilizando a água do mesmo reservatório. Ferrari *et al.* (2012) em estudo de tratabilidade verificaram que

a turbidez ideal para água pré-filtrada precisa atingir valores menores iguais a 3,0 uT, para que não haja sobrecarga dos filtros.

Tabela 12 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Sulfato de Alumínio na tratabilidade de água

Ensaio	Dosagem (mg/l)	pH	Vel. Sed (cm/s)	Absorvância 254 (%)		Cor Aparente (%)		Turbidez (%)	
E1	10	5,5	2,5	-8,79	± 0,46	-20,47	± 3,93	-95,56	± 4,30
E2	50	5,5	2,5	-48,53	± 5,99	-72,57	± 5,60	-373,8	± 8,59
E3	10	8,5	2,5	-13,03	± 0,92	-12,45	± 2,57	-46,50	± 0,33
E4	50	8,5	2,5	-76,06	± 4,38	-65,09	± 8,93	-260,7	± 11,2
E5	10	7,0	1,5	-15,47	± 4,38	-23,15	± 1,97	-68,46	± 0,99
E6	50	7,0	1,5	-106,0	± 3,92	-100,1	± 6,05	-360,5	± 4,30
E7	10	7,0	3,5	-11,24	± 0,23	-9,88	± 2,87	-66,82	± 28,4
E8	50	7,0	3,5	-73,13	± 10,8	-77,18	± 2,42	-310,9	± 6,94
E9	30	5,5	1,5	-30,78	± 6,22	-51,18	± 9,53	-267,2	± 19,2
E10	30	8,5	1,5	-41,53	± 2,53	-30,31	± 6,35	-103,2	± 9,25
E11	30	5,5	3,5	-49,02	± 3,45	-57,28	± 5,45	-311,9	± 11,6
E12	30	8,5	3,5	-38,27	± 2,99	-30,96	± 2,72	-89,72	± 0,00
E13	30	7,0	2,5	-59,61	± 6,45	-68,40	± 11,80	-250,0	± 7,27
E14	30	7,0	2,5	-65,96	± 2,99	-72,57	± 1,36	-243,2	± 4,96
E15	30	7,0	2,5	-70,85	± 3,92	-65,51	± 1,36	-255,8	± 3,63

Fonte: Própria (2021).

A Tabela 13 apresenta os percentuais de remoção obtidos para as variáveis dependentes avaliadas nos experimentos com o Tanfloc SL como agente coagulante.

Tabela 13 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Tanfloc SL na tratabilidade de água

Ensaio	Dosagem (mg/l)	pH	Vel. Sed (cm/s)	Absorvância 254 (%)		Cor Aparente (%)		Turbidez (%)	
E1	10	5,5	2,5	4,23	± 1,35	-0,96	± 9,30	-43,49	± 7,31
E2	50	5,5	2,5	2,96	± 3,59	-36,73	± 0,16	-118,01	± 2,17
E3	10	8,5	2,5	0,26	± 1,12	-20,69	± 19,91	5,36	± 9,21
E4	50	8,5	2,5	-2,43	± 6,28	-66,15	± 30,02	0,96	± 2,44
E5	10	7,0	1,5	3,44	± 2,02	-8,00	± 4,24	-4,21	± 14,63
E6	50	7,0	1,5	6,29	± 4,71	-26,35	± 1,14	-35,25	± 40,64
E7	10	7,0	3,5	7,88	± 2,47	-4,19	± 26,60	-12,45	± 12,73
E8	50	7,0	3,5	8,99	± 0,90	-65,92	± 8,16	-58,81	± 14,36
E9	30	5,5	1,5	13,74	± 7,62	-22,88	± 17,79	-67,82	± 4,88
E10	30	8,5	1,5	8,51	± 2,02	-36,85	± 19,58	28,16	± 8,40
E11	30	5,5	3,5	10,41	± 6,05	-15,27	± 15,83	-58,05	± 5,15
E12	30	8,5	3,5	5,81	± 0,45	-60,04	± 7,02	6,70	± 9,48
E13	30	7,0	2,5	0,74	± 8,07	-16,08	± 1,96	-36,59	± 12,19
E14	30	7,0	2,5	9,94	± 4,48	-18,96	± 6,36	-40,23	± 5,96
E15	30	7,0	2,5	2,17	± 2,02	-10,54	± 0,98	-45,02	± 4,61

Fonte: Própria (2021).

O Tanfloc SL, por sua vez, apresentou resultados de remoção positiva para turbidez e absorvância na etapa de clarificação, enquanto para a cor aparente, os resultados não foram satisfatórios, com valores negativos de remoção de cor aparente, apresentando um aumento absoluto deste parâmetro. Trevisan (2014) alcançou resultados de remoção de até 99% de cor

aparente pós-filtração com o Tanfloc SG em água bruta de abastecimento, porém utilizando com um tempo de mistura lenta inferior ao adotado neste estudo.

É possível que um alto tempo de floculação não seja ideal para a aplicação de Tanfloc, fazendo com que os flocos formados sejam quebrados, gerando cor para a água. Outro fator que fortalece esta tese é que no mesmo estudo, verifica-se que a medida que aumenta o tempo de sedimentação adotado, menor é a remoção de cor aparente do experimento, sugerindo uma dissolução do floco na água com o passar do tempo.

A Tabela 14 apresenta os percentuais de remoção obtidos para as variáveis dependentes avaliadas nos experimentos com o TECA como agente coagulante.

Tabela 14 - Matriz de ensaios de extração obtidos por DBB e seus respectivos resultados de eficiência do Tanino Extraído da Casca do Angico (TECA) na tratabilidade de água

Ensaio	Dosagem (mg/l)	pH	Vel. Sed (cm/s)	Absorvância 254 (%)	Cor Aparente (%)	Turbidez (%)
E1	10	5,5	2,5	-1,49 ± 1,17	-14,75 ± 0,00	-4,72 ± 3,71
E2	50	5,5	2,5	-13,91 ± 0,47	-62,13 ± 9,03	6,99 ± 1,48
E3	10	8,5	2,5	-5,46 ± 0,70	-22,77 ± 0,30	5,59 ± 1,48
E4	50	8,5	2,5	-16,89 ± 0,94	-88,37 ± 2,21	2,80 ± 4,45
E5	10	7,0	1,5	-3,15 ± 1,17	-18,09 ± 0,70	9,62 ± 1,73
E6	50	7,0	1,5	-12,91 ± 0,94	-67,80 ± 1,00	10,14 ± 0,49
E7	10	7,0	3,5	-4,64 ± 0,00	-19,72 ± 7,22	-3,15 ± 0,49
E8	50	7,0	3,5	-14,90 ± 1,87	-65,25 ± 0,80	7,17 ± 3,71
E9	30	5,5	1,5	-7,95 ± 0,47	-34,75 ± 1,60	2,10 ± 4,45
E10	30	8,5	1,5	-10,26 ± 1,40	-51,63 ± 0,40	6,99 ± 0,00
E11	30	5,5	3,5	-9,60 ± 0,94	-33,40 ± 3,11	12,24 ± 12,36
E12	30	8,5	3,5	-10,93 ± 0,94	-55,96 ± 3,31	1,75 ± 5,93
E13	30	7,0	2,5	-10,10 ± 0,23	-37,16 ± 0,20	9,44 ± 3,46
E14	30	7,0	2,5	-9,11 ± 2,11	-40,92 ± 2,51	7,34 ± 2,97
E15	30	7,0	2,5	-8,44 ± 0,70	-42,62 ± 4,51	11,54 ± 5,93

Fonte: Própria (2021).

Utilizando o TECA, os percentuais de remoção de turbidez foram considerados positivos. Tendo em vista os baixos valores de turbidez da água natural, pequenos percentuais de remoção já podem ser levados em consideração na etapa de clarificação, chegando a até 12,24% com a dosagem central do planejamento (30 mg/L), pH básico (8,5) e alta velocidade de sedimentação (3,5 cm/min). Os valores mais baixos de remoção de turbidez foram identificados nas menores dosagens (E1 e E7, 10 mg/L).

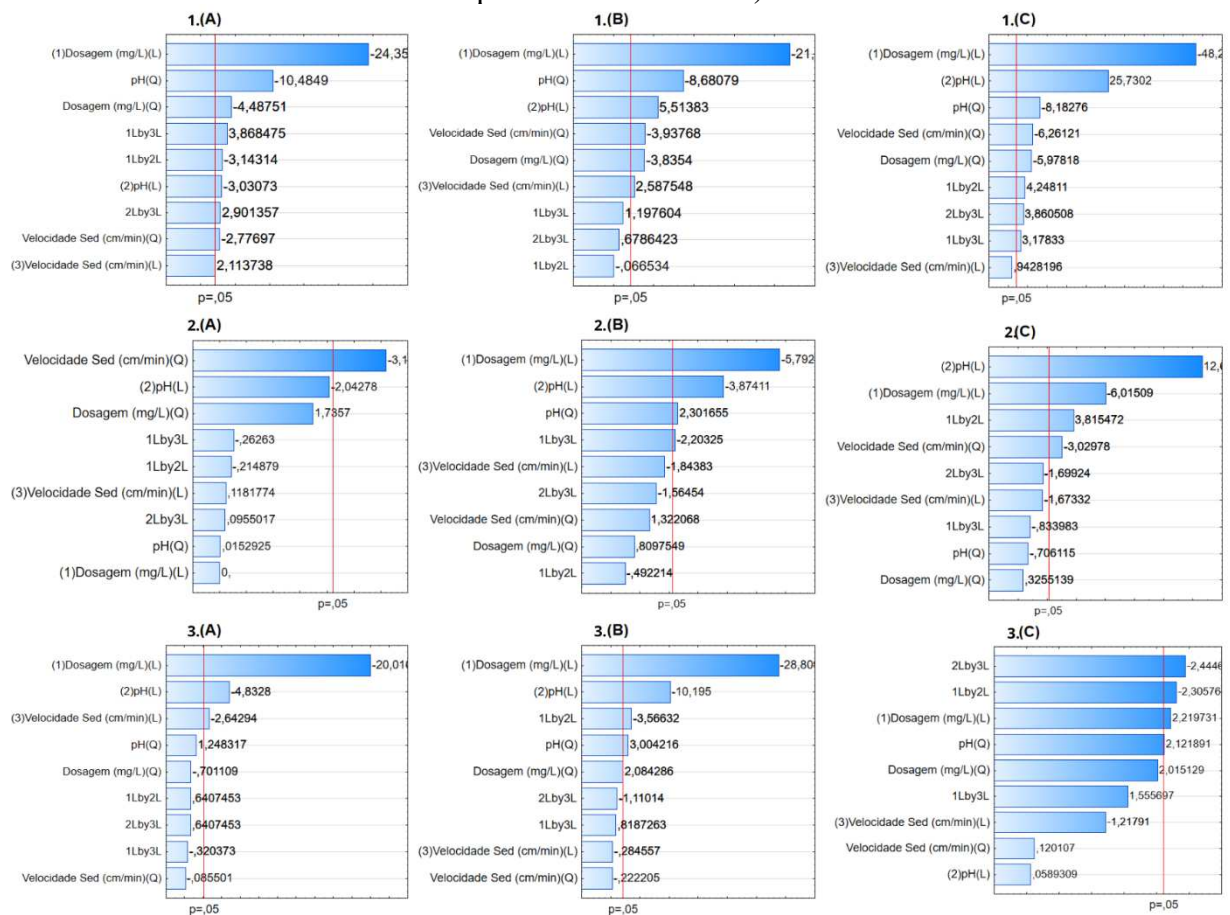
Silveira *et al.* (2014) a partir de coagulantes orgânicos encontraram a faixa de 25 a 50 mg/L e pH mais elevado como a ideal para água de baixa turbidez natural. Já Sánchez-Martín, González-Velasco e Beltrán-Heredia (2010), ao comparar diversos coagulantes (Moringa oleifera, Silvafloc, Tanfloc e sulfato de alumínio) na eficiência de clarificação da água,

observaram que os coagulantes naturais apresentaram maior desempenho na remoção da turbidez com dosagens de 15 mg/L, mas com maiores índices de turbidez natural e pH ácido.

A cor aparente e a absorvância 254 mostraram resultados negativos para remoção, mas irrisórios, contudo, diretamente influenciados pela dosagem. Por ser um coagulante orgânico ainda em fase de desenvolvimento, é possível que algum produto não-tânico da extração esteja contribuindo no aumento dos parâmetros no produto da água floculada.

A Figura 10 apresenta os gráficos de Pareto obtidos para cada um dos coagulantes empregados no estudo.

Figura 10 – Diagramas de Pareto para os coagulantes empregados (1. Sulfato de Alumínio, 2. Tanfloc SL, 3. TECA) para cada uma das variáveis resposta (A. Absorvância 254, B. Cor Aparente e C. Turbidez)



Fonte: Própria (2021).

Em termos de absorvância 254 (Figura 10.1(A); 10.2(A) e 10.3(A)), a dosagem apareceu como um fator influente em termos lineares para os experimentos utilizando Sulfato de Alumínio e o TECA de forma inversamente proporcional, representando que há uma menor

quantidade de absorvância na água decantada com as menores dosagens, o que corrobora com a análise bruta dos dados.

Já para o Tanfloc SL, o fator mais influente para a absorvância foi a velocidade de sedimentação, de forma inversamente proporcional (Figura 10.2(A)). Quanto maior a velocidade de sedimentação adotada, menor a remoção de absorvância da água decantada. Este resultado pode apontar para formação de flocos leves, devido à baixa turbidez da água natural.

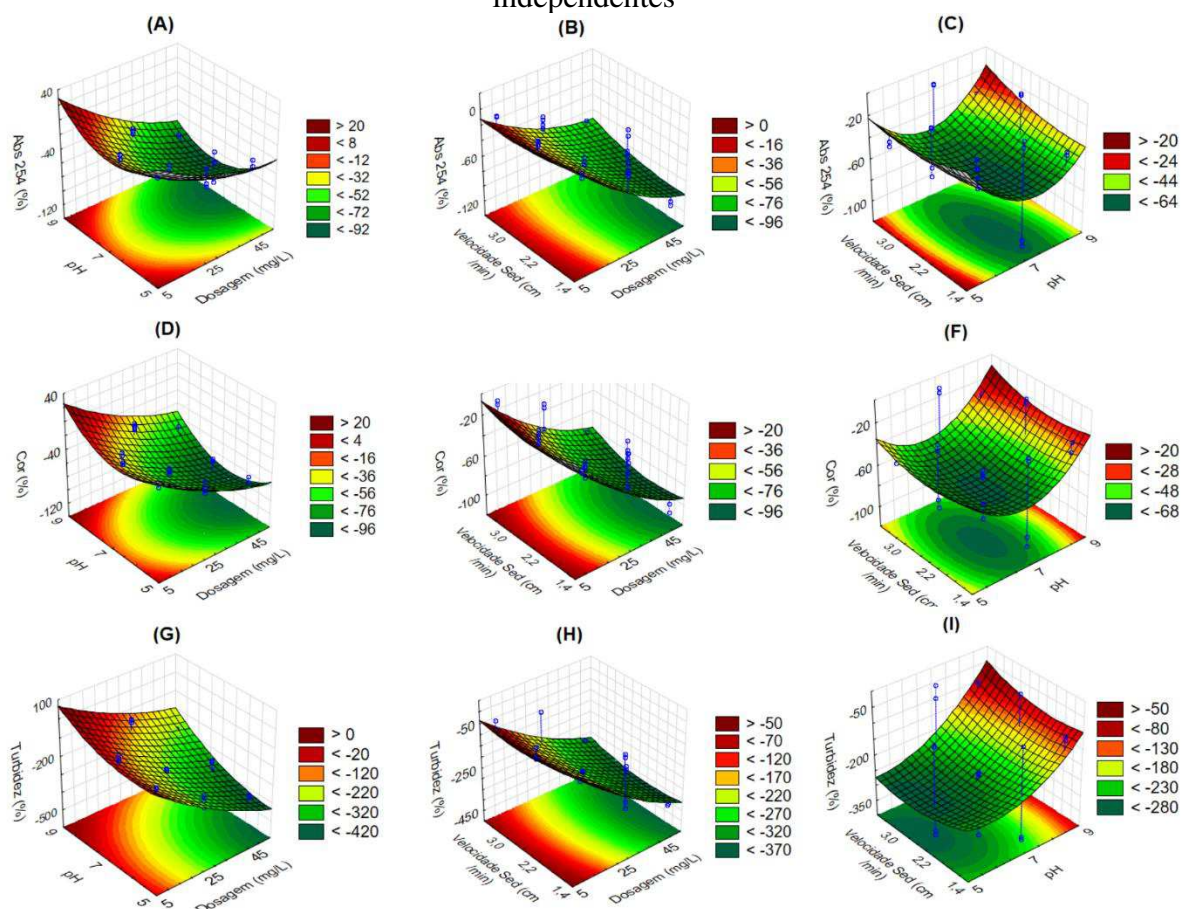
O pH também influenciou de forma inversamente proporcional, ou seja, menor remoção em pH's maiores, corroborando com a pesquisa de Sánchez-Martín, González-Velasco e Beltrán-Heredia (2010), que aponta uma maior facilidade de coagulação em pH's ácidos, mas desde que haja uma maior turbidez inicial na água bruta.

Quanto a cor aparente (Figura 10.1(B), 10.2(B) e 10.3(B)), a dosagem em termos lineares foi o fator mais influente para os três coagulantes estudados, de forma inversamente proporcional. Maiores dosagem contribuíram para o aumento da cor aparente da água decantada. O pH também protagonizou a influência inversamente proporcional na presença de cor aparente nos três coagulantes, sendo de forma linear para o Sulfato de Alumínio e TECA e de forma quadrática para o Tanfloc SL (maior remanescente de cor em pH mais básico), ou seja, os pHs mais ácidos favoreceram a um menor acréscimo de cor ao produto da etapa de clarificação.

A variável Turbidez (Figura 10.1(C), 10.2(C) e 10.3(C)) apresentou influência diversa para cada um dos três parâmetros, sendo a influência da dosagem em termos lineares um fator comum, inversamente proporcional para Sulfato de Alumínio e Tanfloc SL e diretamente proporcional para o TECA, apontando para a necessidade de dosagens maiores para o coagulante do angico-vermelho, enquanto para os outros são necessárias dosagens menores para remoção mais eficiente de turbidez. Vale destacar a influência diretamente proporcional do pH em termos lineares para o Tanfloc SL, apontando para uma maior remoção de turbidez em pHs mais básicos, conforme o estudo de Silveira *et al.* (2014) com as águas do açude Epitácio Pessoa, em características iniciais semelhantes.

A Figura 11 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes para cada uma das variáveis dependentes para o experimento com o Sulfato de Alumínio.

Figura 11 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do Sulfato de Alumínio em função das variáveis independentes



Fonte: Própria (2021).

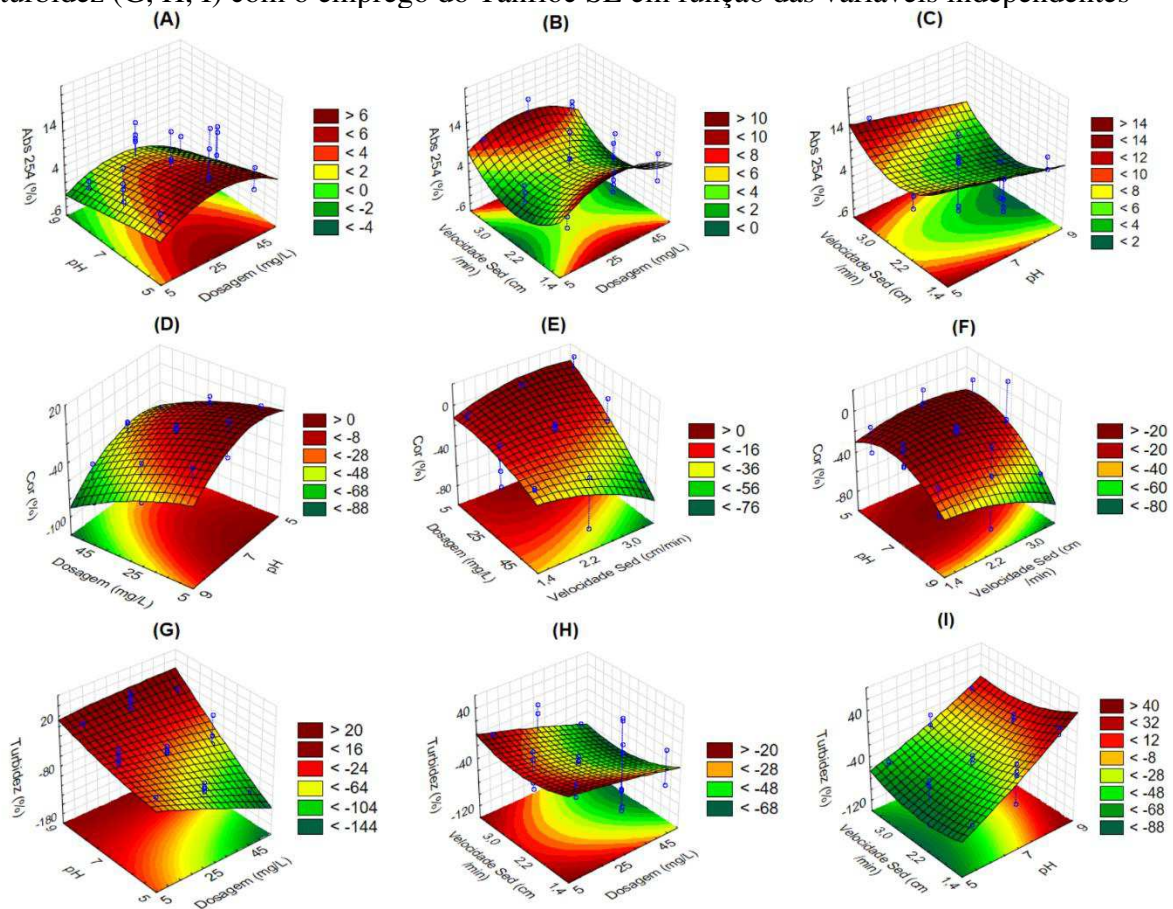
De acordo com a Figura 11, fixando o ponto central da velocidade de sedimentação (2,5 cm/min) e variando o pH e a Dosagem (Figuras 11.A, 11.D e 11.G), percebe-se uma tendência de maiores remoções com baixas dosagens de sulfato de alumínio, com discreta melhora em pH mais elevado, principalmente no que diz respeito as remoções de turbidez.

Por sua vez, as Figuras 11.B, 11.E e 11 G, quando fixado o pH no ponto central (7,0) variando a Velocidade de Sedimentação e a Dosagem, há prevalência das baixas dosagens para melhores percentuais de remoção das variáveis dependentes. A velocidade de sedimentação não pareceu influenciar tanto no processo de remoção para este coagulante, apontando para uma maior influência da dosagem em detrimento do tempo de decantação. Este resultado corrobora com os estudos de Silveira *et al.* (2014), onde os flocos formados na água do Epitácio Pessoa não foram eficientes em dosagens mais altas, apontando para uma não formação de floco, mas apenas diluição do coagulante na água em maiores dosagens na água, elevando os valores absolutos obtidos.

As Figuras 11.C, 11.F e 11.I, fixando o ponto central de dosagem (30 mg/L) e variando a velocidade de sedimentação e o pH, apresentam que o pH mais baixo contribui para uma maior remoção de absorvância-254, contudo, pHs mais básicos promovem uma melhor remoção de cor e turbidez para o sulfato de alumínio.

A Figura 12 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes para cada uma das variáveis dependentes para o experimento com o Tanfloc SL

Figura 12 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do Tanfloc SL em função das variáveis independentes



Fonte: Própria (2021).

Para o Tanfloc SL, as Figuras 12.A, 12.D e 12.G, onde foi fixada a velocidade de sedimentação no ponto central (2,5 cm/min) variando a dosagem e o pH, percebe-se que pHs mais baixos promovem uma melhor remoção de absorvância e cor aparente, contudo para a remoção de turbidez, os pHs mais básicos parecem ser mais ideais.

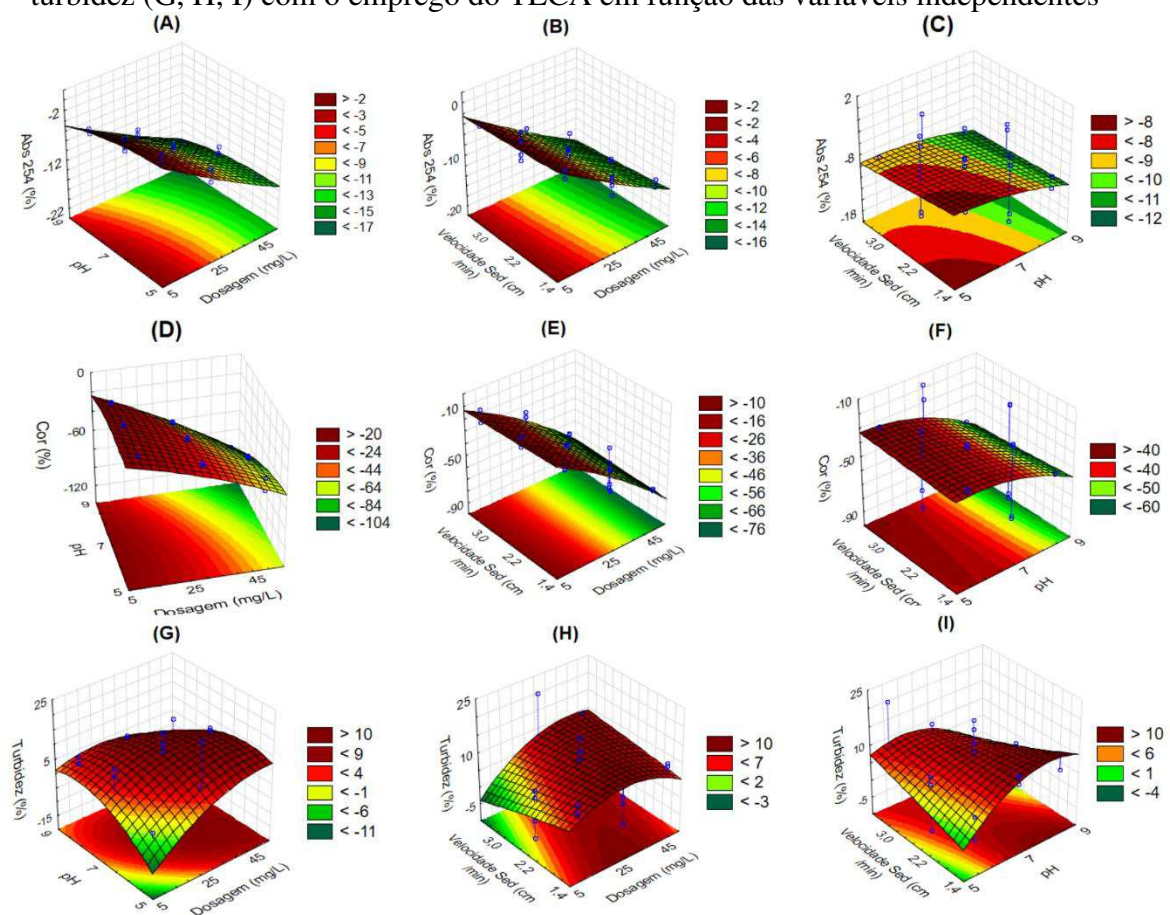
Quando é fixado o pH no ponto central (7,0) e variam-se na superfície de resposta a velocidade de sedimentação e a dosagem (Figuras 12.B, 12.E e 12.H), para remoção de cor e turbidez mais satisfatórias são apontadas as dosagens mais baixas do coagulante Tanfloc SL.

Para a absorvância, no entanto, as dosagens ideais aparecem na faixa intermediária. Quanto à velocidade de sedimentação, os valores mais baixos parecem ser sutilmente melhores para maiores remoções das variáveis dependentes em estudo.

Já as Figuras 12.C e 12.F, fixando o ponto central de dosagem (30 mg/L) e variando a velocidade de sedimentação e o pH, as melhores faixas de remoção de absorvância e cor são visíveis com o pH mais ácido, sem muita interferência da velocidade de sedimentação para as variáveis dependentes. Já para a turbidez (Figura 12.I), foram perceptíveis melhores faixas de remoção com o pH mais elevado, conforme aponta o estudo de Silveira *et al.* (2014), que estudou a tratabilidade de coagulantes orgânicos em águas com baixa turbidez natural.

A Figura 13 ilustra as superfícies de resposta para o efeito combinado das variáveis independentes para cada uma das variáveis dependentes para o experimento com o TECA.

Figura 13 – Eficiência de remoção de absorvância 254 (A, B, C), cor aparente (D, E, F) e turbidez (G, H, I) com o emprego do TECA em função das variáveis independentes



Fonte: Própria (2021).

De acordo com a Figura 13, fixando o ponto central da velocidade de sedimentação (2,5 cm/min) e variando o pH e a Dosagem (Figuras 13.A, 13.D e 13.G), as dosagens mais baixas

do coagulante favoreceram a uma maior remoção de absorvância e cor, contudo, para a turbidez, as dosagens mais altas favoreceram mais a sua remoção. Quanto ao pH, apesar de mais discreto, houve melhores remoções dos parâmetros em pHs mais ácidos, salve para a remoção de turbidez.

Por sua vez, as Figuras 13.B, 13.E e 13 G, quando fixado o pH no ponto central (7,0) variando a velocidade de sedimentação e a dosagem, as dosagens mais baixas também favoreceram aos melhores valores para remoção de absorvância e cor, sendo as dosagens mais altas mais eficientes para remoção de turbidez. A velocidade de sedimentação para estes casos só teve mais interferência na remoção de turbidez, sendo as menores velocidades ideais para os maiores índices de remoção. Este fato pode ser um indicativo de flocos mais leves produzidos pelo coagulante TECA.

As Figuras 13.C, 13.F e 13.I, fixando o ponto central de dosagem (30 mg/L) e variando a velocidade de sedimentação e o pH, percebem-se os melhores resultados em pHs ácidos, com destaque à remoção maior de absorvância com as maiores velocidades de sedimentação.

Sendo assim, constata-se que a dosagem de coagulante é o principal fator do processo. Uma vez que a função deste agente é desestabilizar as cargas dos sólidos coloidais e suspensos presentes na água e permitir que eles se aglomerem, é essencial que a variável seja bem aplicada, levando à formação flocos mais densos, que sedimentem com velocidades elevadas e, assim, sejam removidos no tratamento (LIBÂNIO, 2018).

O pH também foi um fator importante para as taxas de remoção, uma vez que durante a etapa de clarificação, o processo de hidrólise da água é modificado de acordo com o pH, afetando o desempenho do coagulante, sendo dessa forma um importante parâmetro de controle operacional para obtenção dos melhores resultados.

A Tabela 15 apresenta os valores estatísticos utilizados para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos para as variáveis resposta utilizando Sulfato de Alumínio, Tanfloc SL e TECA.

Com base na Tabela 15, todos os modelos foram significativos, com nível de confiança de 95%, pois para a regressão o F_{calc} é maior que o de F_{tab} ($F_{\text{calc}} / F_{\text{tab}} > 1$), como também apresentaram ajustes satisfatórios ($F_{\text{calc}} / F_{\text{tab}} \geq 4$) (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2007), exceto para a Absorvância 254 do Tanfloc SL. Tendo em vista que a falta de ajuste não foi significativa ($F_{\text{calc}} / F_{\text{tab}} < 1$), os modelos também se classificam como preditivos para TECA,

exceto os modelos para o Sulfato de Alumínio, que obtiveram a relação de falta de ajuste $F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}} > 1$ para todas as variáveis-resposta estudadas.

Tabela 15 – Resultado do ajuste dos modelos para cada uma das variáveis resposta para cada coagulante

COAGULANTE	MODELO	R ² (%)	R ² Ajustado (%)	F _{CALC} /F _{TAB} (regressão)	F _{CALC} /F _{TAB} (falta de ajuste)
Sulfato de Alumínio	Abs 254	91,26	87,33	9,70	5,88
	Cor A.	92,32	88,86	11,16	3,55
	Turbidez	95,57	93,57	20,01	13,52
Tanfloc SL	Abs 254	47,61	24,03	0,84	0,28
	Cor A.	79,01	69,57	3,50	0,07
	Turbidez	92,77	89,51	11,91	0,07
TECA	Abs 254	95,05	92,83	17,85	0,58
	Cor A.	97,58	96,49	37,48	0,71
	Turbidez	53,79	32,99	1,08	0,75

Fonte: Própria (2021).

Apesar disso, pode-se dizer que os modelos propostos (com exceção do modelo de Absorvância 254 para o Tanfloc SL) podem ser utilizados para determinar as condições ótimas para aplicação dos coagulantes com segurança dentro dos intervalos estudados. Afinal, modelos com R² maior que 0,60 (60%) podem ser utilizados para indicar tendência como também para fins preditivos (BARROS NETO, SCARMINIO e BURNS, 2007).

Os modelos obtidos mediante o delineamento Box-Behnken para cada uma das variáveis resposta podem ser vistos nas Equações 10, 11 e 12 para o Sulfato de Alumínio; nas Equações 13, 14 e 15 para o Tanfloc SL; e nas Equações 16, 17 e 18 para o TECA, onde X₁, X₂ e X₃ são as variáveis independentes, a saber: dosagem de coagulante (mg/L), pH e velocidade de sedimentação (cm/min), respectivamente.

$$\text{Abs254\% (SA)} = -42,6574 - 31,9014X_1 - 4,3261X_1^2 - 3,9699X_2 - 10,1079X_2^2 + 2,7687X_3 - 2,6771X_3^2 - 5,8225X_1.X_2 + 7,1661X_1.X_3 + 5,3746X_2.X_3 \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{CorAp\% (SA)} = -45,8809 - 31,1207X_1 - 4,0121X_1^2 + 7,8370X_2 - 9,0808X_2^2 + 3,6778X_3 - 4,1191X_3^2 - 0,1337X_1.X_2 + 2,4073X_1.X_3 + 1,3641X_2.X_3 \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\text{Turbidez\% (SA)} = -196,3006 - 128,5923X_1 - 11,7212X_1^2 + 68,5456X_2 - 16,044X_2^2 + 2,5117X_3 - 12,2761X_3^2 + 16,0047X_1.X_2 + 11,9743X_1.X_3 + 14,5444X_2.X_3 \quad (\text{Eq. 12})$$

$$\text{Abs254\% (TSL)} = 5,8404 + 1,4997X_1^2 - 2,3983X_2 + 0,0132X_2^2 + 0,1387X_3 - 2,6823X_3^2 - 0,3568X_1.X_2 - 0,4360X_1.X_3 + 0,1586X_2.X_3 \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\text{CorAp\% (TSL)} = -30,3365 - 20,1635X_1 + 2,0745X_1^2 - 13,4856X_2 + 5,8966X_2^2 - 6,4183X_3 + 3,3870X_3^2 - 2,4231X_1.X_2 - 10,8462X_1.X_3 - 7,7019X_2.X_3 \text{ (Eq. 14)}$$

$$\text{Turbidez\% (TSL)} = -29,7414 - 19,5402X_1 + 0,7783X_1^2 + 41,0680X_2 - 1,6882X_2^2 - 5,4358X_3 - 7,2438X_3^2 + 17,5287X_1.X_2 - 3,8314X_1.X_3 - 7,8065X_2.X_3 \text{ (Eq. 15)}$$

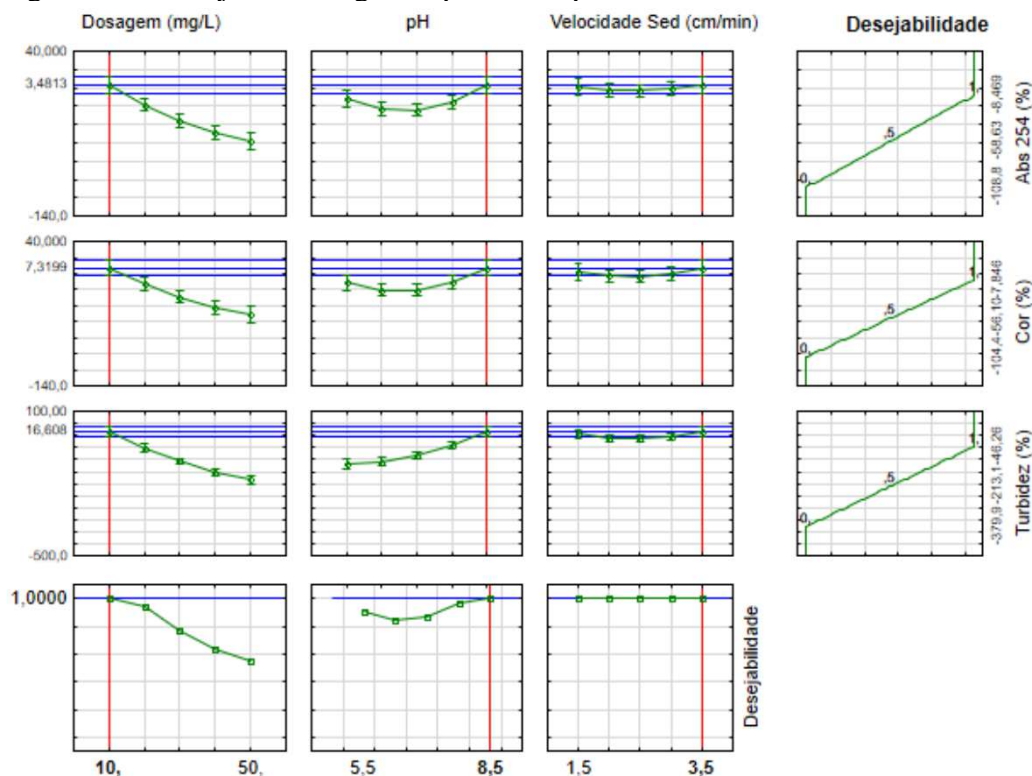
$$\text{Abs254\% (TECA)} = -9,3405 - 5,4843X_1 - 0,1414X_1^2 - 1,3245X_2 + 0,2518X_2^2 - 0,7243X_3 - 0,0172X_3^2 + 0,2483X_1.X_2 - 0,1242X_1.X_3 + 0,2483X_2.X_3 \text{ (Eq. 16)}$$

$$\text{CorAp\% (TECA)} = -44,5508 - 26,0284X_1 + 1,3859X_1^2 - 9,2110X_2 + 1,9976X_2^2 - 0,2571X_3 - 0,1478X_3^2 - 4,5567X_1.X_2 + 1,0461X_1.X_3 - 1,4184X_2.X_3 \text{ (Eq. 17)}$$

$$\text{Turbidez\% (TECA)} = 4,7931 + 2,4694X_1 + 1,6499X_1^2 + 0,0656X_2 + 1,7373X_2^2 - 1,3549X_3 + 0,0983X_3^2 - 3,6276X_1.X_2 + 2,4476X_1.X_3 - 3,8462X_2.X_3 \text{ (Eq. 18)}$$

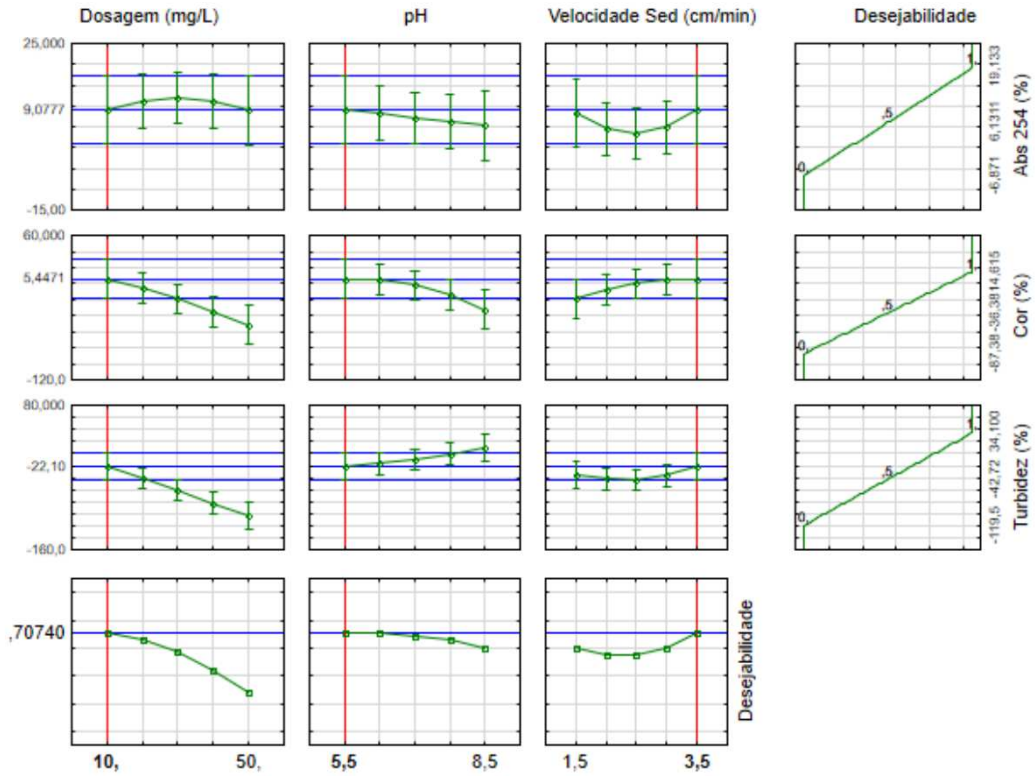
A Figura 14, 15 e 16 apresentam, respectivamente, os modelos preditivos de deseabilidade para as variáveis-resposta para cada um dos coagulantes Sulfato de Alumínio, Tanfloc SL e TECA.

Figura 14 – Desejabilidade global para os experimentos com Sulfato de Alumínio



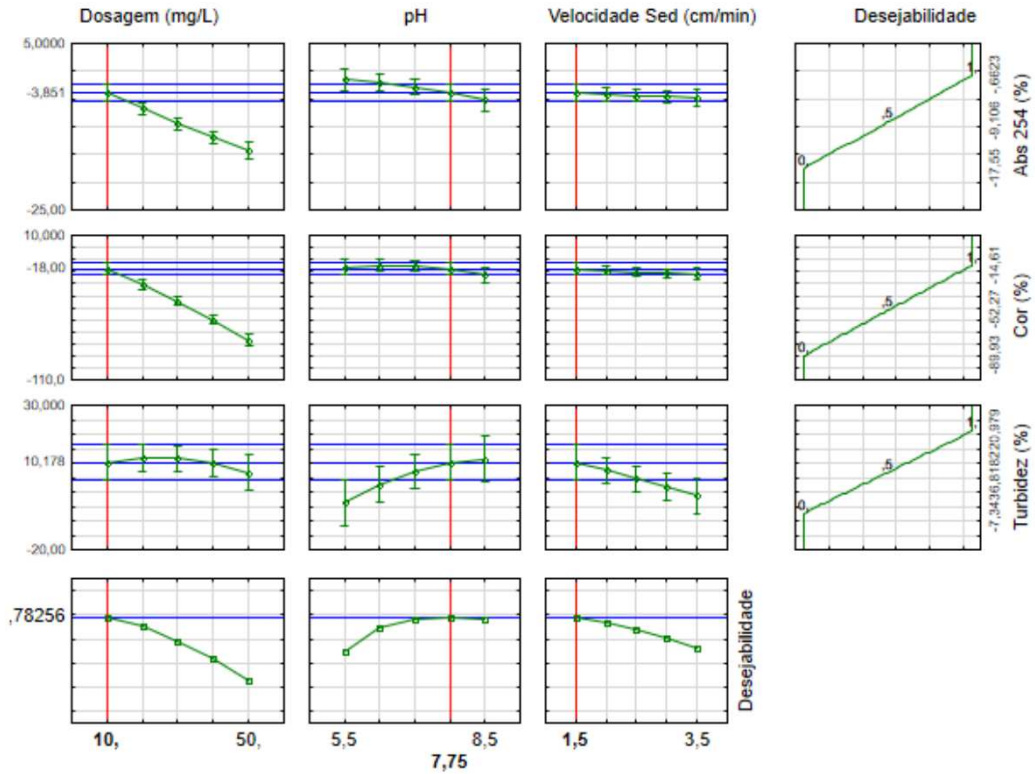
Fonte: Própria (2021).

Figura 15 – Desejabilidade global para os experimentos com Tanfloc SL



Fonte: Própria (2021).

Figura 16 – Desejabilidade global para os experimentos com TECA



Fonte: Própria (2021).

A desejabilidade global obtida foi para o Sulfato de Alumínio (Figura 14) foi de 1,000 para os experimentos de tratabilidade da água com o Sulfato de Alumínio, que segundo a escala de Harrington foi ideal, o máximo em satisfação e qualidade (uma melhoria além deste ponto não teria valor apreciável) (RIBARDO; ALLEN, 2003).

Já a desejabilidade global para o Tanfloc SL e para o TECA (Figuras 15 e 16, respectivamente) foram de 0,70740 e 0,78526, que segundo a escala de Harrington é considerada aceitável e boa (RIBARDO; ALLEN, 2003)

Observando a Figura 14, verifica-se que para se atingir a desejabilidade obtida ($D=1,000$) as condições ótimas são uma dosagem de 10 mg/L de Sulfato de Alumínio, com pH 8,5 e Velocidade de Sedimentação 3,5 cm/min. Já para o Tanfloc SL (Figura 15), verifica-se que os valores ótimos são uma dosagem de 10 mg/L do coagulante, pH 5,5 e 3,5 cm/min de velocidade de decantação. Já para o TECA (Figura 16), a desejabilidade aponta um ponto ótimo de dosagem em 10 mg/L do agente coagulante, pH da água bruta em 7,75 e velocidade de sedimentação em 1,5 cm/min.

Aplicando os valores de desejabilidade do Sulfato de Alumínio nas Equações 10, 11 e 12, obtém-se uma remoção percentual de Absorvância 254, Cor Aparente e Turbidez de 3,48%, 7,320% e 16,61%, respectivamente, o que é equivalente a valores absolutos de 0,147, 21,7 uC e 0,89 uT. Fazendo o mesmo processo para o Tanfloc SL, aplicando as condições ótimas, obtém-se uma remoção percentual de Absorvância 254, Cor Aparente e Turbidez de 9,0777%, 5,447% e -22,102%, respectivamente, equivalente a valores absolutos de 0,145, 20,51 uC e 1,06 uT. Já para o TECA, obtém-se os valores de remoção percentual de Absorvância 254, Cor Aparente e Turbidez de -3,85%, -17,998% e 10,1781%, respectivamente, o que corresponde a valores absolutos de 0,157, 27,73 uC e 0,85 uT.

Os resultados obtidos com o Sulfato de Alumínio foram aqueles que apresentaram maior remoção, estatisticamente. De acordo com as condições de desejabilidade, seria necessário o ajuste do pH com alcalinizantes para obtenção do pH ideal, com uma baixa dosagem de coagulante, requerendo um menor tempo de decantação para obtenção dos valores de remoção positivos.

Já os resultados para o Tanfloc SL foram positivos para absorvância 254 e cor aparente, contudo houve valor de remoção negativa para a turbidez. Vale salientar que o modelo estatístico da turbidez não foi estatisticamente confiável, o que pode ter gerado este resultado

negativo. O TECA, por sua vez, apresentou resultados positivos para a remoção de turbidez na água, mas ainda negativos para a cor aparente e absorvância 254 nm. Além disso, foi requerido um maior tempo de decantação ($V_{sed} = 1,5$ cm/min) para o valor ótimo de desejabilidade.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, pode-se verificar que os resultados correspondem ao que é encontrado nos artigos acadêmicos, apontando para uma possível viabilidade dos usos dos taninos provenientes do angico-vermelho no tratamento de água.

Para a extração de taninos a partir da casca do angico-vermelho, a concentração de solventes foi a principal variável independente a interferir no processo de extração, refletindo influência nas quatro variáveis-resposta estudadas. Dessa forma, recomenda-se que em estudos futuros sejam estudados outros agentes extratores a fim de aperfeiçoar o coagulante extraído a partir da casca do angico vermelho.

Os modelos obtidos mediante regressão linear múltipla se mostraram satisfatórios para predição de resultados dentro da faixa estudada, uma vez que satisfizeram as condições estatísticas para tal. Os gráficos de superfície gerados foram fundamentais para a interpretação dos resultados obtidos e na percepção da influência de cada variável independente nas variáveis-resposta, obtendo-se as condições ótimas para a extração de taninos conforme a desejabilidade global obtida neste estudo ($D = 0,5201$), sendo estas a de extração em tempo de 60 minutos, a uma temperatura de 100° C, com uma concentração de hidróxido de sódio a 2,5%, sendo esta desejabilidade considerada satisfatória, mas passível de melhorias.

Averiguou-se uma dificuldade da parte dos três coagulantes para interagir com a água do reservatório Epitácio Pessoa, tendo em vista sua baixa turbidez e baixa cor naturais, sendo verificado a partir dos diagramas de Pareto que a dosagem em termos lineares foi a variável que mais interferiu nos resultados para os coagulantes estudados, para a maioria das variáveis resposta.

Mediante a análise das superfícies de resposta geradas no trabalho, foi possível verificar a interação entre as variáveis independentes e sua influência na água clarificada. Por vezes, condições ótimas divergiram para as variáveis resposta (pH ácido ideal para remoção de cor aparente e pH básico para remoção de turbidez, por exemplo), o que pode explicar os resultados de remoção negativos quando aplicados às condições de desejabilidade final.

Foram gerados modelos representativos para cada um dos coagulantes estudados, mas que não foram preditivos para além dos limites utilizados na pesquisa. Contudo, foram considerados como seguros para estabelecer valores ótimos dentro dos intervalos estudados.

Os coagulantes não obtiveram um bom desempenho de remoção percentual da cor aparente, possivelmente devido a boa qualidade da água bruta utilizada, o que torna mais dificultoso o seu tratamento. Contudo, os valores se mantiveram abaixo do que é recomendado para a faixa de água clarificada. Dentro do escopo do estudo, foi possível perceber que o TECA obteve um resultado satisfatório para a remoção de turbidez, equivalente aos outros coagulantes estudados que já são consolidados no tratamento de água, apontando para uma possível viabilidade de aplicação.

Sugere-se para que, em estudos futuros, sejam realizadas pesquisas concentradas em outras variáveis, condições e metodologias de extração a fim de aperfeiçoar o potencial coagulante do TECA, além de estudos com águas de diferentes características naturais, a fim de perceber a atuação dos coagulantes de forma mais ampla. Além disso, pode ser feito um estudo de custo-benefício em escalas maiores (piloto) para se verificar o potencial de aplicação comercial deste.

6. REFERÊNCIAS

AIRES, A.; CARVALHO, R.; SAAVEDRA, M. J. Valorization of solid wastes from chestnut industry processing: Extraction and optimization of polyphenols, tannins and ellagitannins and its potential for adhesives, cosmetic and pharmaceutical industry. **Waste Management**, v. 48, p. 457 – 464, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.216/1992. **Projeto de Estação de Tratamento de Água para abastecimento público**, 1992.

AESA, 2021. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Nota Técnica AESA/GEMOH: 001/2019**. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2020/03/NOTA-T%C3%89CNICA-AESA-%E2%80%93-GEMOH-001-2019.pdf> >. Acessado em: maio, 2020.

AFONSO, S. R. **Análise socioeconômica da produção de não-madeireiros no cerrado brasileiro e o caso da cooperativa de pequi em Japonvar, MG**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ANDRADE, B. G. de; CARNEIRO, A. de C. O; VITAL, B. R.; SOUZA, A. L de; COELHO, D. J. da S. Determinação do potencial tanífero em povoamentos de angico. **Ci. Madeira**. Pelotas, v. 04, n. 02, p. 139-151, 2013.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; TATEOKA, M. S. S.; SILVA, G. K. E. Uso de coagulantes naturais a base de Moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**. Sociedade Brasileira De Engenharia Agrícola, v. 34, n. 4, p. 780 - 788, 2014.

AZEVÊDO, T. K. B. de; PAES, J. B. CALEGARI, L. NASCIMENTO, J. W. B. Qualidade dos taninos de jurema-preta (*Mimosa Tenuiflora*) para a produção de adesivo tanino formaldeído. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 507 – 514, 2015.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 3. ed. Campinas: UNICAMP, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888 de maio de 2021**. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021.

BONFIM, A. P. dos S. **Avaliação dos coagulantes Tanfloc em comparação aos coagulantes inorgânicos a base de alumínio no tratamento de água**. Dissertação de Mestrado. Ribeirão Preto: Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto, 2015.

BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; COLDEBELLA, P. F.; VALVERDE, K. C.; NISHI, L. BERGAMASCO, R. Removal of natural organic matter and trihalomethane minimization by coagulation/flocculation/filtration using a natural tannin. **Desalination and Water Treatment**, Maringá, v. 57, n. 12, p. 5406–5415, 2016.

CALEGARI, L.; LOPES, P. J. G; OLIVEIRA, E.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M. Quantificação de taninos nas cascas de jurema-preta e acácia-negra. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 61 – 69, 2016.

CAVALCANTI, J.E.W; **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. Brasil, 2009.

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar**. São Paulo: Moderna, 2003.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. DA. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CORDEIRO, A. C. de S.; SILVA, D. M. Remoção de matéria orgânica natural em água para consumo humano por processo de Fenton Homogêneo. **Sistema & Gestão**. V. 13, n. 3, p. 311 – 320, 3 set. 2018.

CRUZ, J. G.; MENEZES, J. C. S. S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, I. A. H. Aplicação de coagulante vegetal a base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande, 2005. **Anais**. Campo Grande: CBESA, 2005.

DERKYI, N. S. A. **Optimization of Polyphenols Extraction Using Response Surface Methodology and Application of Near Infrared Spectroscopy to Phenolic Content**

Analysis of Pine Bark. 2010. 193 p. Thesis (Chemical Engineering) — Faculty of Chemical and Materials Engineering.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. Tecnologias de Tratamento, Processos e Operações. In:_____. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2011. p. 97-153.

DI BERNARDO, L; PAZ L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: Editora LDiBe, 2008. v. 2. 1560 p.

DINIZ, C. E. F.; PAES, J. B.; MARINHO, I. V.; LIMA, C. R. Avaliação do potencial tanífero de seis espécies florestais de ocorrência no semiárido brasileiro. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais.** São Paulo: SBS/SBEF, 2003.

DOS SANTOS, P. B. **Contribuição ao estudo químico, bromatológico e atividade biológica de angico *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Var. *cebil* (Gris.) Alts e pereiro *Aspidosperma pyrifolium* Mart.** Dissertação de Mestrado. Patos, PB. Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

FARIAS, F. A.; FERREIRA, R. L. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p 86 - 104, 2014.

FERRARI, T. N.; DE JULIO, M.; DE JULIO, T. S.; SOUSA JÚNIOR, W. C. Estudos de tratabilidade das águas do Rio Paraíba do Sul que abastecem o município de São José dos Campos/SP. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2012.

FRANCO, L. C. G; CARVALHO, A. F. de; SOUZA, H. P. de F.; CORRÊA, K. Q.; AGOSTINI, O. D.; SANTANA, H. C. Comparativo dos tratamentos de água do Rio Doce após o rompimento da barragem da SAMARCO. **Anais.** XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2016.

GARCIA-VILLANOVA, R. J. *et al.* Formation, evolution and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: I. at the municipal treatment utilities. **Water Research**, vol. 31, n. 6, p. 1299-1308, 1997.

GOMES, J. M. M. **Influência de parâmetros operacionais na formação de trihalometanos em águas residuais desinfetadas com cloro.** Dissertação de Mestrado. Lisboa, Portugal. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa, 2019.

HASLAM, E. **Chemistry of vegetable tannins.** London: Academic, 1966. 170 p.

HEREDIA, J. B.; MARTÍN, J. S.; BLANCO, G. F. Schinopsisbalansa e tannin-based flocculant in removing sodium dodecyl benzene sulfonate. **Separation and Purification Technology**, Espanha, n. 67, p. 295-303, 2008.

HERGERT, H.L. Economic importance of flavonoid compounds; wood and bark. In: The chemistry of flavonoid compounds. New York: The Macmillan company, 1962, p. 553-595.

JANZ, F. J. L.; PEREIRA, E. R.; RIBEIRO, T.; VIZIBELLI, D.; BORGES, J. C. A.; ANDRADE, M. C. Comparação entre coagulantes orgânicos e sulfato de alumínio no pós-tratamento do efluente de indústria cervejeira. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 25857-25864, 2020.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

LELIS, R. C. C. **Zur Bedeutung der Kerninhaltsstoffe obligatorisch verkernter Nadelbaumarten bei der Herstellung von feuchtbeständigen und biologisch resistenten Holzspanplatten, am Beispiel der Douglasie (Pseudotsuga menziesii Mirb. 1995. 249 p.** Tese (Forest Sciences) — Universität Göttingen, Alemanha.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP. Editora Átomo, 2018. 4ª edição.

LIMA, D. A. **Plantas da Caatinga**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989. 243p.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**. v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018.

LOPES, P. J. G.; CALEGARI, L.; CALEGARI, C. C. A.; OLIVEIRA, E. de; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A. Produtividade em cascas e taninos condensados de jurema-preta. **Nativa**, v. 3, n. 2, p. 95 – 101, junho 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP. 5. ed. Editora Plantarum, 2008, v. 1, 384 p.

LOW, J. H.; RAHMAN, W. A. W.; JAMALUDDIN, J. The influence of extraction parameters on spent coffee grounds as a renewable tannin resource. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 222 – 228, 2015.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação, 2004, 413 p.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acácia mearnsii. **Revista Virtual de Química**. Niterói, v. 6, n. 1, p. 2 – 15, 2014.

McLACHLAN, C. R. D. Aluminum and the Risk for Alzheimer disease. **Environmetrics**, v. 6, issue 3, pp, 233 - 275, 1995.

METCALF & EDDY, Inc.; TCHOBANOGLOUS, George (revisor); BURTON, Franklin L. (revisor); STENSEL, David H. (revisor). **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MORAIS, Y. C. R.; CONEGLIAN, A.; D'ABADIA, K. L.; ARAÚJO, M. da S.; OLIVEIRA, L. R. de. Manejo da casca de *Stryphnodendron adstringens* em diferentes tipos extração. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG. **Anais**, 2017.

MORAES, L. C. K. *et al.* **Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como agente coagulante os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 24, [s.l.], 2007. p. 1-6, ref. I-178.

NEPOMUCENO, T. C. **Estudo de aplicabilidade de coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento de água para abastecimento público.** 169f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2017.

OLIVEIRA, R. R. de; ARAUJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 315-322, Mar. 2020.

PAES, J. B.; DINIZ, C. E. F.; MARINHO, I. V.; LIMA, C. R. de. Avaliação do potencial tanífero de seis espécies florestais de ocorrência no semiárido brasileiro. **Cerne, Lavras**, v. 12, n. 3, p. 232-238, jul./set. 2006.

PAES, J. B.; DINIZ, C. E. F.; LIMA, P. de M. B.; NETO, P. N. de M. Taninos condensados da casca de Angico-Vermelho (*Anadenanthera colubrina* var. *Cebil*) extraídos com soluções de hidróxido e sulfito de sódio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 3, p. 22 – 27, Jul.– set., 2013

PANSHIN, A. J.; HARRAR, E. S.; BETHEL, J. S.; BAKER, W. J. **Forest products: their sources, production, and utilization.** 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1962. 538 p.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso de sulfato de alumínio no tratamento de água.** 2008. 78 f. Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **METODOLOGIA DO TRABALHO CINETÍFICO: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; VIEIRA, Z. M. C. L.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; SOUZA, J.A. **Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – o caso do açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no cariri paraibano.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

RIBARDO, C.; ALLEN, T. T. An alternative desirability function for achieving “six sigma” quality. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 19, n. 3, p. 227–240, 2003.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blucher, 2009. 340p,

RODRIGUES, N. D. **Extração de taninos da casca de Pinus oocarpa e otimização de suas propriedades adesivas**. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GONZÁLEZ-VELASCO, M.; BELTRÁN-HEREDIA, J. Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho (*Schinopsis balansae*). **Chemical Engineering Journal**, v. 165, n. 3, p. 851–858, 2010.

SANTOS, A. N. dos. **Desenvolvimento de um coagulante orgânico catiônico preparado com extrato de *Mimosa tenuiflora* para tratamento de água**. Dissertação. Campina Grande, PB. Centro de Ciência e Tecnologia. Programa de pós-graduação em Química. Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

SANTOS, J. A. dos. **Caracterização socioeconômica e hídrica dos municípios da bacia do Alto Curso do Rio Paraíba - PB**. 2014. 45f. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SARTORI, C. J.; MORI, F. A.; VALLE, M. L. A.; MENDES, L. M.; PROTÁSIO, T. de P. Rendimento gravimétrico em taninos condensados nas cascas de *Anadenanthera peregrina* em diferentes classes diamétricas. **Cerne, Lavras**, v. 20, n. 2, p. 239-244, abr./jun. 2014

SAWYER, C. N.; MCCARTY P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science**. 5. Ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 752 p.

SHEN, Y. H. Treatment of low turbidity water by sweep coagulation using bentonite. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 80, p. 581-586, 2005. DOI: 10.1002/jctb.1244

SILVA, L. M. B.; BARBOSA, D. C. Crescimento e sobrevivência de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Leguminosae), em Uma área de caatinga, Alagoinha, PE. **Acta Botânica**, v. 14, p. 251-261, 2000.

SILVA, T. E. M. da; SILVA, L. F. da; LIMA, R. B. C. de; YÁSKARA, F. M. M. Aplicação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: um estudo de caso. p. 1122-1128. In: **Anais do V Encontro Regional de Química & IV Encontro Nacional de Química**. São Paulo: Blucher, 2015.

SILVEIRA, T. N. **Uso de diagramas de coagulação como ferramenta de avaliação de desempenho de coagulantes orgânicos e inorgânicos em águas naturais de características distintas**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2018.

SILVEIRA, T. N.; SANTOS, W. B. dos; PEQUENO, L. A. B.; BARBOSA, M. G. N.; FERREIRA, W. B. Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 16-25, 2019. ISSN: 2317-563X.

TEIXEIRA, M. R.; CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matterwater treatment using natural based products. **Journal of Cleaner Production**. v. 162, p. 484-490, 2017.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc sg como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA cafezal**. 2014, 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

VAZ, L. G.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBEIRO, T. A.; BERGAMASO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Revista Eclética Química**. São Paulo, v. 35, n 4, 2010.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the Stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extractives. **Svensk Papperstidning**, v. 58, n. 20, p. 745 – 750, 1955.

ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 75-83, 2012. ISSN: 1983-1501.