

## CARACTERIZAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA LAVAGEM DE CAJUS: UMA TRATATIVA DE REÚSO NO SERIDÓ-RN

ISANDRA DE FRANÇA MEDEIROS<sup>1</sup>; VANESSA RIANI OLMI SILVA<sup>2</sup>; ELIANE MAURÍCIO FURTADO MARTINS<sup>3</sup>; ROSELIR RIBEIRO DA SILVA<sup>4</sup>; ANDRÉ NARVAES DA ROCHA CAMPOS<sup>5</sup> E FRANCISCO PIO DE SOUZA ANTAS<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Mestra, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, IF Sudeste MG campus Rio Pomba, Av. Dr. Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP: 36.180-000, Rio Pomba MG, Brasil e e-mail:isandramde@gmail.com

<sup>2</sup>Prof<sup>a</sup> Doutora, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, IF Sudeste MG campus Rio Pomba, Av. Dr. Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP: 36.180-000, Rio Pomba MG, Brasil e e-mail vanessa.riani@ifsudestemg.edu.br

<sup>3</sup>Prof<sup>a</sup> Doutora, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, IF Sudeste MG campus Rio Pomba, Av. Dr. Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP: 36.180-000, Rio Pomba MG, Brasil e e-mail eliane.martins@ifsudestemg.edu.br

<sup>4</sup>Prof. Doutor, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, IF Sudeste MG campus Rio Pomba, Av. Dr. Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP: 36.180-000, Rio Pomba MG, Brasil e e-mail roselir.silva@ifsudestemg.edu.br

<sup>5</sup>Prof. Doutor, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, IF Sudeste MG campus Rio Pomba, Av. Dr. Sebastião da Paixão s/n, Bairro Lindo Vale, CEP: 36.180-000, Rio Pomba MG, Brasil e e-mail andre.campos@ifsudestemg.edu.br

<sup>6</sup>Prof. Doutor, Departamento de química, IFRN campus Currais Novos, Rua Manoel Lopes Filho 773, Bairro Valfredo Galvão, CEP: 59.880-000, Currais Novos RN, Brasil, e e-mail pio.antas@ifrn.edu.br

### 1 RESUMO

A região do Seridó no Rio Grande do Norte enfrenta escassez hídrica devido às baixas precipitações pluviométricas e estiagens prolongadas. Assim, é importante buscar estratégias de gestão que fortaleçam a iniciativa de preservar e reutilizar a água. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi propor tratamentos a serem executados em três agroindústrias processadoras de cajus localizadas na região do Seridó a fim de viabilizar o reúso de suas águas residuárias. Para isso, as águas residuárias da lavagem dos cajus foram quantificadas e caracterizadas. Parâmetros foram avaliados em três repetições. Para a demanda bioquímica de oxigênio e os sólidos sedimentáveis, o padrão de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução Conama N° 430/2011 não foi atendido. Apenas os dados de condutividade elétrica apresentaram diferença significativa entre as agroindústrias avaliadas. Os modelos elaborados por regressão linear múltipla balizam o uso de sulfato de alumínio no processo de clarificação em 5.000 mg/L. Por fim, os resultados indicam que as águas residuárias tratadas podem ser reutilizadas em lavagens externas e na irrigação de pomares de cajueiro. Dessa forma, tem-se um mecanismo de produção mais limpa em virtude da minimização do lançamento de efluentes no meio ambiente, com forte ação na tríade: social, ambiental e econômica.

**Palavras-chave:** agroindústrias, efluentes, legislação, água, reúso.

**MEDEIROS, I. F.; SILVA, V. R. O.; MARTINS, E. M. F.; SILVA, R. R.; CAMPOS, A. N. R.; ANTAS, F. P. S.**

**CHARACTERIZATION AND TREATMENT PROPOSITION OF WASTEWATER FROM CASHEW WASHING: A REUSE ADJUSTMENT IN SERIDÓ-RN**

## **2 ABSTRACT**

The Seridó region in Rio Grande do Norte faces water scarcity because I am experiencing low rainfall and prolonged droughts. Therefore, it is important that I seek management strategies that strengthen the initiative to preserve and reuse water. In this context, the aim of this work was to propose treatments that I am carrying out in three cashew processing agroindustries located in the Seridó region to enable the reuse of wastewater. To this end, the wastewater from cashew washing was quantified and characterized. The parameters were evaluated in three replicates. For biochemical oxygen demand and settleable solids, the effluent discharge standard established by Conama Resolution N° 430/2011 was not met. Only the electrical conductivity data revealed a significant difference among the agroindustries evaluated. The models developed via multiple linear regression use aluminum sulfate in the clarification process at concentrations of up to 5,000 mg/L. Finally, the results indicate that the treated wastewater can be reused for external washing and for irrigation of cashew orchards. In this way, there is a cleaner production mechanism because the discharge of effluents into the environment is minimized, with strong action in the triad: social, environmental, and economic.

**Keywords:** agro-industries, effluents, legislation, water, reuse.

## **3 INTRODUÇÃO**

A água é um bem vital, indispensável à sobrevivência humana, cujo desperdício e forma de utilização podem definir a respeito de sua disponibilidade (CASARIN; SANTOS, 2018). Seu acesso é essencial, um patrimônio da humanidade, que traduz prosperidade, sendo considerada um bem público (DAMASCENO, 2023).

O Brasil ocupa o primeiro lugar em relação à produção de cajus no mundo, numa representatividade de 90% da produtividade mundial. O caju tem importância nutricional e econômica (XAVIER et al., 2022). As atividades relacionadas à cajucultura, agrícolas ou industriais, trazem desenvolvimento às regiões produtoras. A região do Semiárido Nordeste apresenta elevados índices produtivos de caju ao mesmo tempo em que se verifica grandes desperdícios do fruto (NEVES *et al.*, 2020).

Além do desperdício do fruto, é importante destacar as necessidades hídricas do cajueiro, que é variável conforme o clima, a fase da cultura (idade), o método de irrigação e o processo de evapotranspiração, podendo ser bastante elevada. De acordo com a demanda de evapotranspiração regional e a idade da cultura, o volume de utilização de água nos cajueiros pode variar entre 11 e 153 L/dia (MIRANDA; GONDIM; OLIVEIRA, 2013).

No Brasil, o consumo de água aumenta gradativamente ao longo dos anos, tendo contribuições significativas da demanda de indústrias de transformação, que causam impactos significativos e crescentes. No ramo industrial alimentício, os recursos hídricos são utilizados como matéria-prima, fluído de aquecimento ou resfriamento e também na lavagem e higienização, estando presente desde a etapa

de transformação até o produto final (FERREIRA; TARGA; LABINAS, 2019).

Na etapa de lavagem, observa-se expressiva demanda hídrica para a retirada das sujeiras grosseiras, aplicação de solução de hipoclorito de sódio, remoção da carga bacteriana presente no pseudofruto e enxague (ARAÚJO, 2019).

No Nordeste brasileiro, novos direcionamentos relacionados ao uso da água vêm sendo dados com o objetivo de mitigar os problemas gerados, mais precisamente, na região semiárida (MENDONÇA *et al.*, 2021). Nesse sentido, as indústrias passaram a ser fortemente cobradas e necessitam iniciar processos que venham a contornar danos gerados e que compactue para o desenvolvimento de um planeta sustentável (MELLO; MELLO, 2018).

Políticas adequadas de gestão de recursos hídricos, como a captação de água considerável durante o curto período chuvoso, o armazenamento em poço profundo, barragens subterrâneas e o reúso de águas residuárias, podem ser alternativas para uma melhor convivência com os períodos de estiagem (COSTA *et al.*, 2021).

Uma alternativa sustentável para driblar esta carência de água, é o reúso, que traz ao agronegócio das regiões semiáridas, a oportunidade de prolongar o ciclo da água no empreendimento, que pode fazer adequações viáveis para o reaproveitamento de efluentes líquidos ao invés de prosseguir com o seu descarte após o uso (SOUSA, 2018). Segundo Jerônimo (2022), aplicar água residuária, por meio da irrigação, proporciona aumento da massa fresca do caju e economia de água.

De acordo com Silva e Pereira (2019), atividades em prol da agricultura e da indústria são as que consomem mais água. Para Bezerra *et al.* (2019), a agricultura irrigada na região sob condições de crescente escassez é um fator limitante do recurso. Assim, atenção deve ser dispensada na tentativa de reúso.

A legislação nacional estabelece que o reúso direto não potável de água abrange as modalidades de reúso para fins urbanos, agrícolas, florestais, ambientais, industriais e para a aquicultura. Devendo ser responsabilidade do produtor, distribuidor ou usuário da água de reúso direto não potável, a obtenção de licença ambiental quando essa fizer parte das exigências legais e o atendimento às demais obrigações pertinentes (BRASIL, 2005). A região do Seridó do Rio Grande do Norte apresenta situação de seca e presença de longas estiagens. Nesse contexto, reservatórios extremamente importantes para o desenvolvimento humano (social) secam.

Dadas estas condições adversas, a população inquieta busca por fontes alternativas de abastecimento como estratégia de convivência (MEDEIROS *et al.*, 2020). Mediante as condições regionais apresentadas, o objetivo deste trabalho foi propor tratamentos a serem executados em três agroindústrias processadoras de caju localizadas na região do Seridó, RN, a fim de viabilizar o reúso de suas águas residuárias, promovendo, assim, sistemas de produção sustentáveis e melhorias sociais, ambientais e econômicas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da pesquisa e local de coleta das amostras

A pesquisa foi realizada em parceria entre o Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba, instituição proponente do projeto, o Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Currais Novos, e agroindústrias localizadas no Seridó, RN. A caracterização das águas residuárias e as simulações dos tratamentos a serem aplicados posteriormente nas agroindústrias em maiores escalas foram desenvolvidas no laboratório do IFRN - campus Currais Novos.

As coletas de amostras foram realizadas no período de setembro de 2021 a fevereiro de 2023 em agroindústrias privadas ou em cooperativa que funcionaram como sistemas de estudo. As agroindústrias localizavam-se no interior do Rio Grande do Norte, mais precisamente na região do Seridó. Foram selecionadas três agroindústrias para as avaliações, sendo definidas como A, B e C.

#### 4.2 Mensuração da água da lavagem de caju nas agroindústrias

Para quantificar a água gasta no processo de lavagens da matéria prima, utilizou-se um balde volumétrico graduado com capacidade 18 litros. Durante o enchimento do balde, verificou-se o tempo transcorrido com o auxílio de um

cronômetro, em seguida, foi realizada a quantificação da massa de cajus lavados no período por meio do uso de uma balança eletrônica de precisão (marca Marte) com capacidade para aferir até 100 Kg. De posse dessas informações, calculou-se a quantidade de água utilizada por unidade de tempo e por massa de caju processada em cada unidade produtiva.

#### 4.3 Caracterização físico-química

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com as metodologias estabelecidas por APHA, AWWA e WEF (2012), a fim de caracterizar preliminarmente a água residuária e verificar posteriormente (pós-tratamento) a melhoria da sua qualidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Parâmetros físico-químicos avaliados e métodos utilizados

Parâmetro	Metodologia
pH	Direto, Potenciométrico, 4500 B
Temperatura (°C)	Termômetro Infravermelho, SKILL-TEC
Turbidez (NTU)	Tubidímetro, Método Nefelométrico, 2130 B
DQO (mg/L)	Refluxo Fechado por colorimetria, 5220 D
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Método DBO <sub>5</sub> , 5210B
Condutividade elétrica	Método direto, condutivímetro, Método 2510 B
Cor aparente	Método Espectrofotométrico, 2120 B
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Método Titulométrico, 2310
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Método Titulométrico, 2320 B
Sólidos Sedimentáveis (SSed)	Método Volumétrico, 2540F

**Fonte:** Autoria própria (2021). DQO = Demanda Química de Oxigênio; DBO<sub>5</sub> = Demanda Bioquímica de oxigênio.

#### 4.4 Caracterização microbiológica

Nas determinações microbiológicas, foram utilizados os métodos convencionais contidos no manual de Silva *et al.* (2017), no qual consta a técnica dos tubos múltiplos, utilizada para determinar coliformes totais a 35°C e coliformes termotolerantes a 44,5°C.

A técnica identifica e quantifica bactérias do grupo coliformes em águas. Para os coliformes a 35°C, realizou-se o teste presuntivo em meio de cultura Lauril Sulfato Triptose (LST), o qual inibe o crescimento de bactérias acompanhantes e enriquece o meio que favorece o desenvolvimento dos microrganismos do

grupo coliformes. Após 48h de incubação, na temperatura ideal, deu-se continuidade, realizando-se o teste confirmativo. No teste confirmativo, alçadas foram passadas dos tubos positivos (resultados do teste presuntivo) para o Caldo Verde Brillante Bile 2% (VB) para incubação por 24h a 35,5°C. Após esse período, foi realizada a quantificação dos coliformes a 35°C.

Ainda na etapa confirmativa, agora para a presença de coliformes termotolerantes, selecionou-se os tubos positivos para coliformes totais a 35°C, dos quais foram passadas alçadas para tubos contendo Caldo *E. coli* (EC), que, em seguida, foram incubados em banho-maria por 24h a 44,5°C. Após esse período, foi realizada a quantificação dos coliformes a 44,5°C. O crescimento (positividade) nas

três etapas é observado por meio da turvação do meio presente nos tubos de ensaio, assim como mediante à produção de gás em mais de dois terços do tubo de Durham invertido contido nos tubos de ensaio. Com o auxílio da tabela do Número Mais Provável (NMP), determina-se o NMP em cem mililitros (100mL), NPM/100mL, partindo-se do número de tubos positivos.

#### 4.5 Tratamento da água de lavagem

Após a caracterização da água residuária, técnicas de tratamento foram empregadas de acordo com cada realidade agroindustrial verificada. Para essa finalidade, utilizou-se um simulador denominado Jar Test, modelo JTC, de três provas (Figura 1).

**Figura 1.** Simulador de tratamentos em pequena escala (Jar Test)



**Fonte:** Autoria própria (2023)

Os experimentos foram realizados por meio de coletas esporádicas, em dias alternados, das quais foram ensaiados no Jar Test (Figura 1), três testes por dia de coleta, utilizando-se diferentes concentrações de coagulante para cada agroindústria. Seguindo as recomendações de Silva (2021), o tempo de mistura rápida adotado foi de 2 (dois) minutos, com velocidade de 120 rpm, já para o tempo de mistura lenta, adotou-se 20 minutos e velocidade de 25 rpm. O tempo para sedimentação (repouso) adotado foi de 20 minutos.

O sulfato de alumínio tem eficiência quando o pH está na faixa de 6,0 a 8,5;

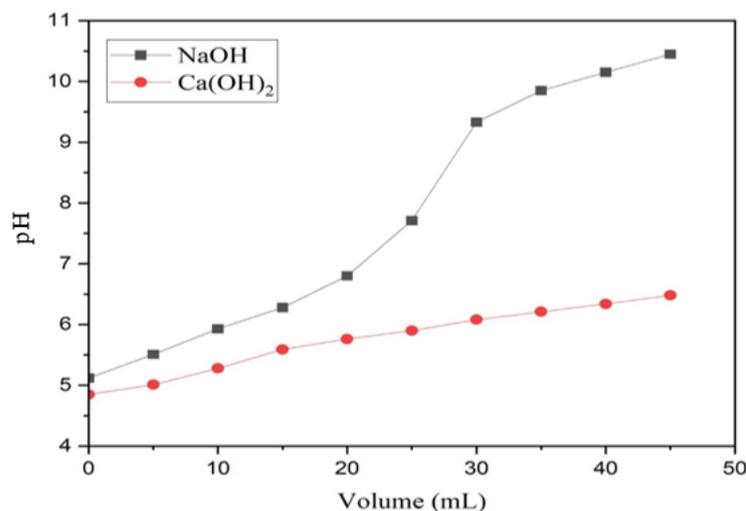
portanto, quando o pH esteve fora dessa faixa, utilizou-se uma solução de cal hidratada com concentração de 10.000 mg/L para o ajuste. O sulfato de alumínio, um poderoso coagulante, foi empregado na clarificação das amostras de água residuária, já que, de acordo com Eguchi e Arantes (2022), é usual fazer uso de coagulantes para a desestabilização das partículas em suspensão dissolvidas, visto que eles promovem a formação de flocos que poderão ser removidos por meio do processo de sedimentação.

A fim de manter o pH dos tratamentos com sulfato de alumínio, entre

5,0 e 8,0, foi construída uma curva de titulação com NaOH (Hidróxido de sódio) e

Ca(OH)<sub>2</sub> (cal hidratada) a 10.000 mg/L (Figura 2).

**Figura 2.** Curva de titulação de alcalinizantes



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023). NaOH = concentração da solução igual a 10.000 mg/L; Ca(OH)<sub>2</sub> = concentração da solução igual a 10.000 mg/L.

A curva indicou a melhor opção, e que a cal hidratada fornece um aumento linear e contínuo da alcalinidade, favorecendo o controle do pH pelas empresas. Além disso, esse é um alcalinizante de preço acessível, trazendo aplicabilidade financeira às agroindústrias.

O tratamento proposto foi o convencional devido a seus custos reduzidos e maior facilidade de implantação. Para Ferreira Filho (2020), o tratamento convencional é um conjunto de processos físico-químicos que necessitam de químicos para acelerar o tratamento e para ajustar o pH. Nele há a aplicação de coagulante nas etapas de coagulação/floculação, posteriormente, prossegue-se com a etapa de decantação, promovendo, assim, a clarificação da água. Quando necessário, continua-se o processo de tratamento por meio da adição das etapas de filtração, desinfecção e fluoretação.

No processo de clarificação para posterior decantação, a aplicação dos produtos (reagentes químicos) foi realizada em quantidades proporcionais à água residuária avaliada. O uso do Jar Test

possibilitou a execução das operações de forma unitária, o que permitiu a determinação do tratamento mais eficiente para cada caso, com a obtenção de modelos de regressão linear múltipla para cada agroindústria.

Após cada ensaio, foi coletado o sobrenadante e realizadas as análises de pH, turbidez e cor aparente para a verificação da eficiência do tratamento e melhoria da qualidade da água nas três concentrações diferentes do coagulante.

#### 4.6 Análise estatística

A análise estatística dos tratamentos ocorreu no nível de confiança de 95%, utilizando-se o programa Statistica 13.0 (TIBCO, 2017). Primeiro, avaliou-se a normalidade dos dados, sendo eles: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), alcalinidade, pH, sólidos sedimentáveis, condutividade, temperatura, cor aparente, turbidez e acidez. Os dados que apresentaram distribuições normais foram submetidos ao teste F de comparação de

médias. Enquanto aqueles que não apresentaram distribuições normais foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis.

No que concerne aos resultados dos tratamentos simulados, esses, foram tratados estatisticamente com intervalo de confiança de 95%, em seguida, procedeu-se com a determinação de modelos de regressão linear múltipla, nos quais se correlacionou a quantidade de sulfato de alumínio, igual a 5.000 mg/L, com os parâmetros cor e turbidez, o que traz maior aplicabilidade industrial. A geração dos modelos se deu no programa Jamovi, versão 2.3.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Demanda de água por agroindústria utilizada na lavagem dos frutos

Este trabalho apresenta uma estimativa da capacidade máxima de produção exequível e desejada por cada agroindústria, sendo resultado de um cenário favorável, com presença de safra boa e contínua por quatro meses consecutivos, capacidade de operação industrial perfeita e mercado consumidor absorvendo a produção. Também reflete a relação de cada agroindústria com a água no momento das lavagens do caju.

A agroindústria A é de pequeno porte e processa caju uma vez por semana. O presente estudo indicou que ela utiliza 2,86 litros de água para lavar cada quilograma de caju processado. Como essa empresa processa um máximo de 6,4 toneladas por safra, estimou-se para ela o uso de 18,286 m<sup>3</sup> de água por safra. Já a agroindústria B, é de porte médio e processa caju duas vezes por semana. Constatou-se que ela utiliza 0,17 litros para lavar cada quilograma de caju processado. Devido ao fato dela possuir capacidade máxima de produção igual a 100 toneladas por dia, chegando a 3.200 toneladas por safra, estimou-se que a mesma pode utilizar até 5,486 x 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> de água por

safra. Por fim, a agroindústria C é MEI, ou seja, pertence a um microempreendedor individual, processa caju ocasionalmente, uma vez por mês. Para ela, verificou-se o uso de 1 litro para lavar cada quilograma de caju processado. Sua capacidade máxima por safra é de 0,8 toneladas. Dessa forma, estimou-se sua demanda hídrica como sendo igual a 0,8 m<sup>3</sup> por safra. A agroindústria C é a de menor porte, enquanto a B é a de maior porte. A agroindústria B já otimizou bastante o seu processo de lavagem e é quem apresenta menor gasto de água utilizado por Kg de fruta beneficiada, porém há um elevado consumo de água utilizada, visto o seu maior funcionamento e maior capacidade de processamento. Já a agroindústria A foi a que apresentou maior gasto de água por Kg de fruta processada.

Moraes (2019) observou em uma unidade industrial que produz polpa de fruta, que sua demanda hídrica era de 1.000 litros de água por dia, e incluía nesse volume, o consumo relacionado às atividades de produção e higienização do ambiente. Esses mil litros representam a quantidade diária de água residuária gerada, e por meio dela, pode-se estimar uma produção de 252 mil litros de água residuária por ano, excluindo-se os finais de semana do cálculo.

Devido a diferença de consumo entre o presente estudo e o de Moraes (2019), fica claro que a quantidade demandada de água para o funcionamento industrial e lavagem de matérias primas depende da rotina de cada agroindústria, do seu porte e tempo de funcionamento.

### 5.2 Caracterização físico-química da água residuária

A Tabela 2 apresenta as médias relativas aos parâmetros alcalinidade, DQO e DBO. Esses dados apresentaram distribuição normal e, por isso foram comparados pelo teste F, em que a análise estatística acontece por meio de teste paramétrico. Verificou-se que para esses dados não houve diferenças

estatisticamente significantes entre as agroindústrias avaliadas ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 2.** Valores (média  $\pm$  desvio padrão) dos parâmetros: alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das águas residuárias provenientes da lavagem de cajus nas agroindústrias A, B e C

Agroindústria	Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> /L)	Parâmetros	
		DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)
A	61,26 $\pm$ 24,55a	461,37 $\pm$ 68,45a	284,41 $\pm$ 44,19a
B	88,22 $\pm$ 58,94a	1.990,97 $\pm$ 1.049,67a	1.178,30 $\pm$ 628,33a
C	106,77 $\pm$ 60,86a	2.725,94 $\pm$ 1.235,94a	1.603,11 $\pm$ 727,04a

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023). Médias providas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

A alcalinidade é uma variável importante dentro da caracterização de efluentes e deve ser quantificada para a proposição do tratamento adequado, já que influencia diretamente o êxito do processo de clarificação por meio da ação do coagulante utilizado (Silva, 2021).

Dentro dos valores encontrados, para uma melhor ação do sulfato de alumínio na formação dos flóculos a fim de obter-se boa clarificação, é necessário que haja uma equivalência de 0,5 mg de alcalinidade para 1,0 mg de sulfato de alumínio (produto ativo), visto que essa relação foi considerada ideal para o alcance de altos valores de eficiência no tratamento das águas residuárias das agroindústrias estudadas (Tabela 2).

O presente estudo encontrou valores médios de alcalinidade que variaram de 61,26 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Agroindústria A) a 106,77 mg CaCO<sub>3</sub>/L (Agroindústria C), não sendo observada diferença estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) entre as agroindústrias avaliadas (Tabela 2). Ressalta-se que a legislação nacional vigente que define os padrões de qualidade para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) N° 430 de 13 de maio de 2011,

não estabelece valor limite para esse parâmetro (BRASIL, 2011).

A agroindústria C apresentou maior média para o parâmetro alcalinidade, o que pode ter sido resultante da sua ação de adicionar sanificante, que é alcalino, durante o processo de lavagem dos cajus. Enquanto a agroindústria B apresentou a segunda maior média e a agroindústria A apresentou a menor média para esse parâmetro (Tabela 2). Ambas, as agroindústrias A e B, não fazem uso de sanificantes durante a lavagem dos cajus, sendo a alcalinidade resultante das características da água de abastecimento utilizada.

Sobre a quantificação do material orgânico presente nas amostras, representada pelo parâmetro DQO (Tabela 2), observou-se grande variabilidade dos dados (valores de desvio padrão altos), que possivelmente foi influenciada pelo tipo de lavagem (imersão ou aspersão), a constituição da fruta e sua integridade (estágio de maturação e condições físicas), recepção e manejo dos cajus, forma de colheita (direto na planta ou no chão), as regiões fornecedoras, cidades do Seridó do RN e cidades do Piauí, dadas as distâncias, o desprovisionamento da castanha e até mesmo a adição de sanitizantes. Os dados de DQO variaram de 461,37mg O<sub>2</sub>/L (Agroindústria A) a 2.725,94 mg O<sub>2</sub>/L (Agroindústria C), o

que provavelmente se deve ao contato da água com o material orgânico inerente ao próprio fruto e aos adquiridos durante os procedimentos nele executados.

A resolução Conama N° 430 de 2011 também não estabelece valor limite para o parâmetro DQO. Não sendo possível; portanto, estabelecer-se comparação ao padrão de qualidade disposto pela referida resolução. Dessa forma, baseado exclusivamente na sua análise, pode-se afirmar que as águas residuárias das agroindústrias A, B e C apresentam matéria orgânica passível de ser degradada por processos químicos de tratamento, como o apresentado no presente estudo. Além disso, a matéria orgânica presente na água residuária é interessante para o reúso agrícola na irrigação de pomares de cajueiros por permitir o aumento de material orgânico no solo.

Feio, Girard e Mendonça (2014) determinaram para águas residuárias advindas do processamento de açaí, valores de DQO bem superiores aos encontrados neste trabalho. A DQO chegou a 7.720 mg O<sub>2</sub>/L, tendo os autores atribuído como causa o fato dos frutos de açaí serem triturados durante seu processamento.

A média da DBO variou de 284,41 mg O<sub>2</sub>/L (Agroindústria A) a 1.603,11 mg O<sub>2</sub>/L (Agroindústria C) (Tabela 2). Esses valores quando comparados ao valor

máximo de DBO, igual a 120 mg O<sub>2</sub>/L, estabelecido pela resolução Conama N° 430 de 2011 como padrão para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (Brasil, 2011), são maiores, logo, estão em desacordo com esse padrão da referida resolução. Destaca-se que de maneira geral, observou-se que o contato da água com os caju trouxe uma elevação do conteúdo de material orgânico principalmente na agroindústria que trabalhou com o fruto desprovido da castanha (Agroindústria B) e na que fez adição de sanitizante (Agroindústria C).

Feio e Mendonça (2021) encontraram valor médio de DBO elevado, igual a 3.022 mg O<sub>2</sub>/L, para o efluente bruto proveniente do beneficiamento de açaí, estando esse valor bem superior às médias obtidas para as águas residuárias advindas da lavagem de caju nas agroindústrias A, B e C (Tabela 2). Tal constatação pode ter ligação com o fato de que, no processamento do açaí, há o contato do fruto na forma triturada com a água utilizada no processo, aumentando, conseqüentemente, a carga orgânica.

Os dados da relação DQO/DBO, pH, turbidez e cor (Tabela 3) não apresentaram distribuição normal, e suas médias, segundo o teste de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ), não diferiram estatisticamente de forma significativa entre as agroindústrias.

**Tabela 3.** Valores da relação demanda química de oxigênio (DQO)/ demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e dos parâmetros pH, turbidez e cor (média  $\pm$  desvio padrão) das águas residuárias provenientes da lavagem de caju nas agroindústrias A, B e C

Agroindústria	Parâmetros			
	Razão DQO/DBO	pH	Turbidez (NTU)	Cor (mg/L de Pt-Co)
A	1,65 $\pm$ 0,04a	7,43 $\pm$ 0,29a	7,40 $\pm$ 3,64a	178,21 $\pm$ 15,17a
B	1,70 $\pm$ 0,01a	6,24 $\pm$ 0,24a	39,89 $\pm$ 19,14a	416,00 $\pm$ 44,74a
C	1,70 $\pm$ 0,00a	6,41 $\pm$ 1,29a	23,46 $\pm$ 24,46a	352,44 $\pm$ 194,02a

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023). Médias providas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; Pt-Co = Escala Platina-Cobalto.

As médias da relação DQO/DBO para as agroindústrias A, B e C foram baixas ( $< 2,5$ ), ficando no intervalo de 1,65 (Agroindústria A) a 1,70 (Agroindústrias B e C), o que, segundo Von Sperling (2014), dá indicação para o uso de tratamento biológico devido à fração biodegradável da água residuária ser elevada. Apesar da análise dessa relação indicar que o tratamento biológico deveria ser adotado, optou-se por permanecer com a indicação do tratamento físico-químico proposto, pois ele apresenta viabilidade empresarial (financeira e econômica), principalmente por possuir menores custos de implantação.

A média do parâmetro pH, o qual foi aferido *in loco*, variou entre 6,24 (Agroindústria B) e 7,43 (Agroindústria A) (Tabela 3). Sua variação (redução) com o passar do tempo, muito provavelmente, se dá em função da presença de resíduos do suco e da polpa, que possuem tendência natural à acidificação. Feio e Mendonça (2021) determinaram uma variação de 5,3 a 5,8 no pH do efluente bruto advindo do processamento de açaí, enquanto Machado (2023) ao avaliar o efluente procedente do processamento de frutos de cafeeiros, encontrou pH médio de 4,27. Nesse contexto, percebe-se que os valores de pH variam conforme o fruto a ser processado e que os estudos supracitados apresentaram menores valores em comparação aos resultados médios encontrados no presente trabalho. É importante destacar que a legislação nacional para o lançamento de efluentes (Conama N° 430/2011), preconiza o padrão de pH na faixa de 5,0 a 9,0, dessa forma, os valores médios de pH encontrados no presente estudo para as águas residuárias oriundas da lavagem de cajus nas agroindústrias A, B e C estão em conformidade com a exigência legal.

A turbidez média variou de 7,40 NTU (Agroindústria A) a 39,89 NTU (Agroindústrias B) (Tabela 3). Esses resultados podem ser considerados baixos

em comparação com a turbidez de águas residuárias oriundas do processamento de outros frutos, exemplificando, Machado (2023) e Gardiman Júnior (2018) ao avaliarem as águas residuárias originadas no processamento de frutos de café, encontraram, respectivamente, os valores médios de 1.629,50 e 1.008,00 NTU para turbidez. Já Feio e Mendonça (2021) ao analisarem amostras de águas residuárias originadas no processamento de frutos do açaizeiro, observaram turbidez média igual a 7.900 NTU. Atribui-se como causa para essa diferença, o fato de as águas residuárias avaliadas no presente estudo serem provenientes apenas do processo de lavagem dos frutos, enquanto nos estudos mencionados as águas residuárias foram provenientes dos processos de lavagem, descascamento ou despolpa dos frutos.

Com relação à turbidez e à cor (Tabela 3), que estão associadas à presença de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos, respectivamente, é válido destacar que a agroindústria A apresentou as menores médias, iguais a 7,40 NTU para turbidez e 178,21 mg/L de Pt-Co para a cor. Essa agroindústria faz a lavagem dos frutos por aspersão e, dentre as agroindústrias avaliadas, é a que demanda a maior quantidade de água no processo de lavagem para cada quilo de caju processado, tal comportamento pode ter contribuído para a diluição dos sólidos provenientes do processo de lavagem. Além disso, o fato de o caju se encontrar íntegro e ser colhido à mão justifica uma menor passagem de suco e polpa à água residuária, assim como, para uma menor aderência de sujeiras ao fruto, tais fatores também contribuem com a não elevação da turbidez e cor na água residuária originária do processo de lavagem.

Para as agroindústrias B e C, as médias para a cor corresponderam a 416,00 e 352,44 mg/L de Pt-Co, respectivamente. Valores relativamente próximos e muito inferiores ao verificado por Machado (2023)

nas análises de águas residuárias oriundas dos processos de lavagem, descascamento ou despolpa dos frutos do cafeeiro, cuja média foi igual a 1.404,00 mg/L de Pt-Co. Essa diferença nas médias para o parâmetro cor entre os estudos pode estar relacionada ao fato de que no presente trabalho, a água residuária analisada foi proveniente apenas do processo de lavagem dos frutos de caju.

Os dados dos parâmetros acidez, temperatura, sólidos sedimentáveis e condutividade não apresentaram distribuição normal e quando as médias das agroindústrias A, B e C foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis, não diferiram significativamente entre si ( $p > 0,05$ ), exceto para o parâmetro condutividade (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores de acidez, temperatura, sólidos sedimentáveis e condutividade (média  $\pm$  desvio padrão) das águas residuárias provenientes da lavagem de cajus nas agroindústrias A, B e C

Agroindústria	Parâmetros			
	Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Temperatura (°C)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Condutividade (S.m <sup>-1</sup> )
A	21,11 $\pm$ 24,30 a	14,15 $\pm$ 1,69 a	0,93 $\pm$ 0,15 a	474,86 $\pm$ 60,14 ab
B	149,38 $\pm$ 139,50 a	27,08 $\pm$ 0,54 a	0,31 $\pm$ 2,10 a	375,72 $\pm$ 44,54 a
C	58,88 $\pm$ 12,79 a	25,93 $\pm$ 2,12 a	5,06 $\pm$ 3,70 a	992,83 $\pm$ 274,33 b

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023). Médias providas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). S.m<sup>-1</sup> = Siemens por metro.

Para acidez, a agroindústria B apresentou a maior média, igual a 149,38 mg de CaCO<sub>3</sub>/L, enquanto a agroindústria A apresentou a menor média, igual a 21,11 mg de CaCO<sub>3</sub>/L (Tabela 4). Isso pode ser justificado pelas distâncias percorridas, visto que na agroindústria B o caju demora mais tempo para ser processado em relação às agroindústrias A e C, o que permite a acidificação natural do fruto. Além disso, a agroindústria B recebe caju sem o provimento de castanhas, enquanto as agroindústrias A e C recebem cajus providos de castanhas, o que pode contribuir com a obtenção de valores mais baixos de acidez.

Em relação à temperatura, todas as agroindústrias apresentaram média inferior a 40 °C, sendo elas iguais a 14,15 °C, 25,93 °C e 27,08 °C para as agroindústrias A, C e B, respectivamente (Tabela 4). Dessa forma, elas atenderam ao padrão de qualidade preconizado pela resolução Conama N° 430/2011 para o

lançamento de efluentes. Destaca-se que a temperatura é um fator que influencia o crescimento e a reprodução de organismos aquáticos, por isso seu monitoramento é importante.

Para os sólidos sedimentáveis, as agroindústrias A e B apresentaram médias inferiores a 1 mL/L, sendo elas, respectivamente, iguais a 0,93 e 0,31 mL/L. Já a agroindústria C apresentou média superior a 1 mL/L, sendo ela igual a 5,06 mL/L (Tabela 4). A Resolução Conama N° 430/2011 prevê o valor máximo de 1 mL/L para esse parâmetro, logo, a agroindústria C foi a única que não apresentou conformidade com a referida norma. Nas agroindústrias A e B, a lavagem dos frutos de caju ocorre por aspersão, enquanto na C ela ocorre por imersão. A quantidade de fruta processada, imersa na água, pode levar à concentração de sólidos, aumentando os sólidos sedimentáveis na água residuária. Feio e Mendonça (2021)

determinaram para o efluente do açaí, média de 4,75 mL/L para os sólidos sedimentáveis, tal valor corrobora com o resultado encontrado para a agroindústria C.

As médias encontradas para as agroindústrias A, B e C para a condutividade foram: 474,86, 375,72 e 992,83 S.m<sup>-1</sup>, respectivamente. Verifica-se que a média da agroindústria A não diferiu de forma estatisticamente significativa das médias das agroindústrias B e C, por outro lado, a média da agroindústria B diferiu de forma estatisticamente significativa da média da agroindústria C ( $p < 0,05$ ) (Tabela 4). As diferenças observadas para esse parâmetro podem ser resultantes da forma como é efetuada a lavagem e sanitização dos caju e em virtude da presença ou não de castanha. As agroindústrias A e B efetuam a lavagem por aspersão, enquanto a agroindústria C a efetua por imersão. As agroindústrias A e C recebem caju provido de castanha, enquanto a agroindústria B o recebe sem castanhas. A ausência de castanha favorece uma maior liberação de sólidos e eletrólitos. Por fim, as agroindústrias A e B não utilizam desinfetantes, enquanto a agroindústria C

utiliza o desinfetante hipoclorito de sódio. Gardiman Júnior (2018) encontrou para águas residuárias oriundas do processamento de café, média para condutividade igual a 1.430 ds.cm<sup>-1</sup>, o que equivale a 0,143 S.m<sup>-1</sup>. Esse valor é bem inferior aos encontrados no presente trabalho para as agroindústrias avaliadas (Tabela 4), e pode ser resultante do manejo dos frutos, que são diferentes, no processo de lavagem. Salienta-se que a condutividade é um parâmetro de qualidade que reflete a capacidade da água residuária em conduzir corrente elétrica, sendo que a dissolução de eletrólitos contribui para o aumento da condutividade.

### 5.3 Parâmetros microbiológicos

Para coliformes a 35 °C (Tabela 5), nenhuma agroindústria apresentou resultado negativo. As agroindústrias A e B apresentaram contagem alta, com médias iguais a 20,66 e 23,00 NMP/100 mL, respectivamente. Já a agroindústria C apresentou baixa contagem, apresentando média igual a 2,30 NMP/100 mL.

**Tabela 5.** Valores para os parâmetros microbiológicos (média  $\pm$  desvio padrão) das águas residuárias provenientes da lavagem de caju nas agroindústrias A, B e C

Agroindústria	Parâmetros	
	Coliformes a 35°C (NMP/100mL)	Coliformes a 45°C (NMP/100mL)
A	20,66 $\pm$ 4,04	Ausente
B	23,00 $\pm$ 0,00	14,67 $\pm$ 2,31
C	2,30 $\pm$ 3,98	Ausente

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023)

Apesar de não haver um padrão de coliformes totais definido especificamente para águas residuárias oriundas do processo de lavagem de frutos em agroindústrias, segundo Ceará (2016), a simples presença de coliformes totais pode não ter relação com a contaminação de origem fecal, mas tal fato

deve servir de alerta, e nunca deve ser negligenciado.

Para coliformes a 45°C, houve ausência para as agroindústrias A e C, sendo que apenas a agroindústria B apresentou contagem, com média igual a 14,67 NMP/100 mL (Tabela 5). Cabe ressaltar que nas lavagens dos frutos de caju nas

agroindústrias A e B não há adição de agente desinfetante. Em contrapartida, a agroindústria C aplica agente sanificante durante o processo de lavagem. Diante do exposto, a ausência de coliformes a 45 °C na agroindústria A pode ter relação com o fato de os frutos de caju serem menos manipulados e por eles não serem apanhados do chão, pois sua colheita se dá diretamente no cajueiro.

#### 5.4 Simulação de tratamento da água de lavagem em laboratório

Nove tratamentos foram simulados e avaliados para a agroindústria A (Tabela 6), nove para a agroindústria B (Tabela 7) e seis para a agroindústria C (Tabela 8).

**Tabela 6.** Parâmetros cor e turbidez avaliados antes e após o tratamento com a aplicação de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  a 5.000 mg/L) em diferentes volumes na água residuária gerada pela agroindústria A

Volume (mL) de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ a 5.000 mg/L	Parâmetros			
	Cor inicial	Cor final	Turbidez inicial	Turbidez final
25,0	175	15	5,04	2,85
50,0	175	36	5,04	4,51
75,0	175	41	5,04	4,99
18,5	165	8	5,57	4,68
37,0	165	9	5,57	4,14
55,5	165	20	5,57	4,44
2,4	288	186	11,6	4,26
4,2	288	188	11,6	5,08
6,0	288	178	11,6	6,00

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

**Tabela 7.** Parâmetros cor e turbidez avaliados antes e após o tratamento com a aplicação de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  a 5.000 mg/L) em diferentes volumes na água residuária gerada pela agroindústria B

Volume (mL) de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ a 5.000 mg/L	Parâmetros			
	Cor inicial	Cor final	Turbidez inicial	Turbidez final
1,5	163	70	4,63	5,0
3,3	163	80	4,63	5,21
5,1	163	87	4,63	5,43
6,2	403,6	250	54,13	8,04
12,6	403,6	275	54,13	8,79
18,6	403,6	373	54,13	12,3
32,0	385	31,6	16,9	5,95
77,6	385	59	16,9	4,81
123,0	385	55	16,9	4,47

Fonte: Dados da pesquisa, (2023)

**Tabela 8.** Parâmetros cor e turbidez avaliados antes e após o tratamento com a aplicação de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  a 5.000 mg/L) em diferentes volumes na água residuária gerada pela agroindústria C

Volume (mL) de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ a 5.000 mg/L	Parâmetros			
	Cor inicial	Cor final	Turbidez inicial	Turbidez final
1,50	424,6	120	10,60	4,79
7,05	424,6	118,3	10,60	5,03
12,06	424,6	127	10,60	5,70
3,0	424	342	11,20	6,29
7,8	424	322	11,20	7,01
7,8	424	322	11,20	7,01
12,6	424	353	11,20	6,71

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Essas simulações permitiram a geração de equações por meio de regressão linear múltipla a fim de limitar a quantidade de coagulante a ser utilizada no tratamento físico-químico. O volume de água residuária utilizada para cada tratamento foi de 1,5 L,

que era a capacidade média do jarro do Jar Test.

Para todas as agroindústrias (Tabelas 5, 6 e 7), percebe-se uma limitação quanto ao emprego do coagulante sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ) em relação ao seu uso no tratamento da água residuária

com baixa turbidez, visto que ao aumentarmos a concentração do coagulante, a turbidez permaneceu praticamente inalterada. Pedretti e Medeiros (2022) verificaram essa mesma limitação, e ainda apontaram que altas concentrações de coagulante pode, inclusive, conferir cor à água a ser tratada.

Por meio do tratamento com a aplicação do coagulante sulfato de alumínio, obteve-se melhoria da qualidade da água residuária proveniente da lavagem de caju em todas as agroindústrias avaliadas (Tabelas 5, 6 e 7). Verificando-se que o volume de coagulante capaz de produzir o melhor resultado foi variável entre as agroindústrias e entre os parâmetros avaliados. Para a agroindústria A, o volume de 2,4 mL de sulfato de alumínio na concentração de 5.000 mg/L produziu o melhor resultado para o parâmetro turbidez, enquanto o volume de 18,5 mL produziu o melhor resultado para o parâmetro cor (Tabela 6). Para a agroindústria B, o volume de 6,2 mL de sulfato de alumínio na concentração de 5.000 mg/L produziu o melhor resultado para o parâmetro turbidez, enquanto o volume de 32 mL produziu o melhor resultado para o parâmetro cor (Tabela 7). Já para a agroindústria C, o volume de 1,5 mL de sulfato de alumínio na concentração de 5.000 mg/L produziu o melhor resultado para o parâmetro turbidez, enquanto o volume de 7,05 mL produziu o melhor resultado para o parâmetro cor (Tabela 8).

A Lei N° 11.332 de 30 de dezembro de 2022 do estado do Rio Grande do Norte estabelece em seu artigo 12 que o reúso de água residuárias para fins não potáveis, como é o caso do reúso para lavagem de

áreas externas e irrigação de pomares de cajueiros, depende de caracterização prévia do efluente tratado, sendo definido no parágrafo único desse artigo que os critérios e parâmetros de qualidade específicos para a modalidade do reúso não potável deverão ser discriminados em regulamento, observadas as regras definidas pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONEMA) (Rio Grande do Norte, 2022). Portanto, o primeiro passo para a garantia do reúso das águas residuárias provenientes da lavagem de caju nas agroindústrias A, B e C, que é a caracterização prévia do efluente tratado, já foi realizado no presente estudo, o que irá colaborar com a tomada de decisão quanto a viabilidade da prática do reúso.

Para Schorr (2022), o tratamento requerido depende fortemente das características da água ou efluente e das suas finalidades de uso, pois ambos direcionarão as etapas e ações necessárias para o alcance da qualidade desejada.

### **5.5 Proposição de tratamento industrial e destino das águas tratadas**

Com os resultados dos tratamentos efetuados na água residuária gerada pelas agroindústrias A e B, gerou-se, por meio de regressão linear múltipla, os modelos apresentados nas Equações 1 e 2 de acordo com Jamovi (2022), que representam as características das agroindústrias A e B, respectivamente. Esses modelos podem auxiliar as referidas agroindústrias na definição do volume de sulfato de alumínio, na concentração de 5.000 mg/L, a ser aplicado com base nos valores de cor e turbidez que desejam alcançar com o tratamento.

$$Y = 0,26884 X_1 + 10,05912 X_2 + 4,973467 \quad (1)$$

Em que:

Y= volume de sulfato de alumínio (concentração de 5.000 mg/L) em mL;

X<sub>1</sub> = cor final; e

$X_2$  = turbidez final.

$$Y = -0,05081 X_1 - 3,50667 X_2 + 61,70745 \quad (2)$$

Em que:

Y= volume de sulfato de alumínio (concentração de 5.000 mg/L) em mL;

$X_1$  = cor final; e

$X_2$  = turbidez final.

Para a agroindústria C, não foi gerado modelo para o direcionamento do tratamento da água residuária com adição de sulfato de alumínio em virtude da sua baixa demanda hídrica para o processo de lavagem dos frutos de caju (0,8 m<sup>3</sup> por safra). Ela é uma empresa pequena, é gerida por um microempreendedor individual, faz o processo de lavagem por imersão e apresenta infraestrutura reduzida. Assim, a agroindústria C dará continuidade ao

lançamento da sua pequena quantidade de efluente na rede de esgoto pública até que seja assinado um contrato com uma empresa terceirizada.

Os resultados obtidos mostraram variabilidade, por isso para o tratamento de águas residuárias provenientes da lavagem de frutos de caju, propõe-se este protótipo cujas especificações devem ser criteriosamente seguidas:

#### *Coagulação → Floculação → Decantação → Filtração → Desinfecção*

**Coagulação:** inicia a partir da aplicação do sulfato de alumínio, devendo-se obedecer a proporção indicada na equação de regressão linear múltipla obtida a partir da correlação da cor e turbidez na perspectiva de justificar a quantidade de solução sulfato de alumínio aplicada.

**Floculação/Sedimentação:** após a adição do coagulante sulfato de alumínio, deve-se aguardar de 1 a 2 horas para a formação dos flocos e sua sedimentação.

**Filtração:** deve-se separar o sobrenadante (água tratada) dos sólidos por meio de um filtro. Essa etapa acontecerá caso haja necessidade, visto que em testes laboratoriais a mesma não precisou ser executada.

**Desinfecção:** deve-se aplicar hipoclorito de sódio 10 a 12% para a eliminação de possíveis microrganismos patogênicos.

É extremamente importante que o tratamento seja realizado no mesmo dia da geração da água residuária, evitando-se, assim, uma maior demanda de trabalho e a

utilização de uma maior quantidade de agente químico para alcalinizar o meio, visto que, em um período de 24 horas, há o abaixamento do pH de forma significativa.

#### **5.5.1 Destino das águas residuárias**

As agroindústrias A e C têm destinado as suas águas residuárias industriais à rede de esgoto pública, enquanto a agroindústria B as destinam para uma lagoa de estabilização. O reúso dessas águas residuárias industriais em regiões com predominância de escassez hídrica, como é o caso da região do Seridó do RN, é uma ação em prol do desenvolvimento sustentável capaz de produzir benefícios econômicos, sociais e ambientais. Segundo Bittencourt e Paula (2018), a água de reúso pode ser uma boa fonte hídrica para fins menos nobres, diminuindo a pressão sobre os recursos hídricos.

Nesse contexto, caso as águas residuárias tratadas nas agroindústrias sejam reutilizadas na lavagem de áreas externas e

na irrigação de pomares de cajueiro, tem-se a não utilização da água potável para essas finalidades. Magalhães, Martins e Medeiros (2019) verificaram que plantas cultivadas com água residuária tratada apresentaram melhoria no crescimento devido ao aumento da matéria orgânica como fonte de nutrição para as plantas. Diante do exposto, percebe-se que o reúso das águas residuárias tratadas nas agroindústrias para a irrigação, além de proporcionar economia de água, também pode proporcionar economia no uso de fertilizantes.

A Lei 11.332 de dezembro de 2022, que dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Rio Grande do Norte, define a modalidade de reúso para fins industriais como a utilização de água residuária tratada em processos, atividades e operações industriais (RIO GRANDE DO NORTE, 2022). Todavia, é importante destacar que essa lei não comunica a respeito dos padrões analíticos a serem cumpridos para cada modalidade de reúso.

Mediante as observações experimentais e da legislação em vigor, a agroindústria A, que apresenta pomar, após conhecer as características da água residuária, percebeu-a como uma excelente alternativa para a irrigação, visto que ela apresentou matéria orgânica e esteve isenta de desinfetantes. Já a agroindústria B fará reúso em modalidades diversas. Devendo destinar suas águas residuárias tratadas à agricultura, visto que a cooperativa tem intenção de plantar em 2023. Também pretende destiná-las à primeira lavagem dos frutos de caju, que é considerada menos crítica em virtude da execução, na sequência, de outras duas lavagens com água potável.

Dessa maneira, haverá uma redução do volume de água residuária destinado à lagoa de estabilização, minimizando impactos ambientais. Conforme mencionado anteriormente, a agroindústria C, dada a pequena quantidade de água utilizada

durante a safra, não observou viabilidade na adoção do reúso.

Lucena *et al.* (2018) apontam que as secas e estiagens são os tipos de desastre de maior recorrência no Brasil, representando 54% do total de desastres registrados, sendo a Região Nordeste a mais afetada. Diante desse cenário, o tratamento para melhoria da qualidade da água residuária, a fim de reutilizá-la, precisa ser uma ação de sustentabilidade pertinente. Com isso, as agroindústrias estudadas poderão ser incluídas entre aquelas que trabalham com sucesso na tríade: econômica, social e ambiental.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho chegou a um protótipo de tratamento convencional para águas residuárias provenientes da lavagem de caju a partir da caracterização da água residuária e de simulações de tratamento em laboratório.

As análises físico-químicas e microbiológicas apresentaram relevância na proposição do tratamento convencional, visto que a caracterização da água residuária influencia diretamente o tipo de tratamento indicado.

No que concerne à viabilização da aplicação de tecnologias de tratamento para retirada e/ou inativação de possíveis substâncias ou contaminantes, verificou-se que é possível tornar a água residuária própria para reúso para fins não potáveis, reduzindo-se, assim, a pressão sobre os recursos hídricos.

O estudo trouxe perspectivas de reciclagem da água dada a indicação das possibilidades para o reúso das águas residuárias tratadas por adição do coagulante sulfato de alumínio nas demandas das agroindústrias, o que incluiu o uso em lavagens externas e na irrigação de pomares.

Para estudos futuros, recomenda-se investigar se o emprego da água residuária

tratada na primeira lavagem dos frutos de caju, quando essa é seguida por lavagens com água potável, é uma proposição viável de reúso.

É importante a definição pelos órgãos competentes do estado do Rio Grande do Norte dos padrões analíticos a serem cumpridos em cada modalidade de reúso conforme previsto pela legislação estadual vigente.

## 7 REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012. 1360 p.

ARAÚJO, F. H. R. **Elaboração do livro didático: Geografia do Seridó potiguar**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28580>. Acesso em: 21 dez. 2021.

BEZERRA, D. E. L.; LIMA FILHO, P.; PEREIRA JÚNIOR, E. B.; AZEVEDO, P. R. L.; SILVA, E. A. Reúso de água na irrigação de mudas de mamoeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 14, n. 1, p. 5-11, 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7083445>. Acesso em: 8 abr. 2023.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de Água e Efluentes Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2018.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a

classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, mar. 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 12 ago. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 92, 16 maio 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 18 mai. 2023.

CASARIN, F.; SANTOS, M. **Água: o ouro azul, usos e abusos dos recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Garamond, 2018.

CEARÁ (estado). Lei n° 16.033, de 20 de junho de 2016. Dispõe sobre a política de uso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 jun. 2016. Disponível em: <http://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2015/12/Lei-Estadual-n%C2%BA16.033-2016-Disp%C3%B5e-sobre-a-Pol%C3%ADtica-de-Re%C3%BAso-de-%C3%81gua-N%C3%A3o-Pot%C3%A1vel-no-Estado-do-Cear%C3%A1.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

COSTA, F. X.; MENDONÇA, A. M. G. D.; SANTOS, N. R.; MEDEIROS, M. B.; MEDEIROS, S. S. Água Residuária e biossólido na agricultura: um enfoque no semiárido brasileiro. *In*: COSTA, F. X.; MENDONÇA, A. M. G. D.; FERREIRA, V. B.; MEDEIROS, S. S. (org). **Alternativa de disponibilidade e uso dos**

**recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável do Seridó.** 1. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2021. p. 315-341.

DAMASCENO, J. B. Água: Bem vital, direito essencial e de apropriação incondicional. **Revista da EMERJ**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 40-54, 2023.

Disponível em:

<https://ojs.emerj.com.br/index.php/revistadaemerj/article/view/521/266>. Acesso em: 19 mai. 2023.

EGUCHI, C. S. Y.; ARANTES, C. C. Clarificação de água superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente utilizando extrato de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 4, n. 2, p. 190-199, 2019. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt>

- BR&as\_sdt=0%2C5&q=Clarifica%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1gua+superficial+com+baixos+valores+de+turbidez+e+cor+a+parente+utilizando+extrato+de+sementes+d+e+Moringa+ole%C3%ADfera+e+sulfato+d+e+alum%C3%ADnio&btnG=. Acesso em: 7 jun. 2023.

FEIO, V. F.; GIRARD, L.; MENDONÇA, N. Problemática da geração de efluentes oriundos do processamento de açaí na região metropolitana de Belém-PA. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 3, p. 3335-3340, maio/ago. 2014.

Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/13370/pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

FEIO, V. F.; MENDONÇA, N. M. Ensaio para tratabilidade de efluente oriundo do beneficiamento de açaí. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, Paragominas, v. 14, n. 2, p. 1-14, 2021. Disponível em:

<https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/71476>. Acesso em: 21 nov. 2022.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água concepção, projeto e operação de estações de tratamento.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

FERREIRA, W. R.; TARGA, M. S.; LABINAS, A. M. O uso da água na indústria de transformação. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, Taubaté, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://ipabhi.org/repositorio/index.php/rca/article/view/35/45>. Acesso em: 14 nov. 2022.

GARDIMAN JÚNIOR, B. S. **Tratamento eletrolítico da água residuária do café: otimização e modelagem.** 2018. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018. Disponível em: [http://sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11346/Tese\\_Benvindo%20Sirtoli%20Gardiman%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11346/Tese_Benvindo%20Sirtoli%20Gardiman%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 11 jun. 2023.

JERÔNIMO, O. **Reúso de águas residuais na agricultura:** revisão sistemática. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/17149>. Acesso em: 15 abr. 2023.

LUCENA, C. Y. S.; SANTOS, D. J. R.; SILVA, P. L. S.; COSTA, E. D.; LUCENA, R. L. O reúso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 4, número especial, p. 1-17, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/art>

icle/view/13321/9436. Acesso em: 21 nov. 2022.

MACHADO, J. C. S. **Aplicação de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro sobre latossolo vermelho amarelo em colunas de percolação**. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal do Espírito Santo, Ibatiba, 2023.

MAGALHÃES, A. G.; MARTINS, E. L.; MEDEIROS, S. S. Análise do crescimento de *Mimosa caesalpiniaefolia Benth* irrigada com água residuária em região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 28334-28342, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5097/4659>. Acesso em: abr. 2022.

MEDEIROS, I. F.; COELHO, R. M. D.; FÉLIX, I. A. M.; LEITE, A. I. N.; VIEIRA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L. S. Qualidade microbiológica de águas de fontes alternativas de abastecimento do Seridó (RN). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 14, n. 1, p. 139-142, 2020. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/7779/7450>. Acesso em: 25 jun. 2021.

MELLO, M. F.; MELLO, A. Z. Uma análise das práticas de Responsabilidade Social e Sustentabilidade como estratégias de empresas industriais do setor moveleiro: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 81-93, 2018. Disponível em <https://www.scielo.br/j/gp/a/d6wz9MLMSBP37W55m7G8FQn/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 05 jun. 2021.

MENDONÇA, A. M. G. D.; COSTA, M. B.; MEDEIROS, S. S.; SANTOS, N. R. Importância do aproveitamento de água de

chuva no Semiárido brasileiro. *In*: COSTA, F. X.; MENDONÇA, A. M. G. D.; FERREIRA, V. B.; MEDEIROS, S. S. (org.). **Alternativa de disponibilidade e uso dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável do Seridó**. 1. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2021. p. 15-39.

MIRANDA, F. R.; GONDIM, R. S.; OLIVEIRA, V. H. **Irrigação em cajueiro-anão-precoce**. 2. ed. rev. ampl. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. (Documentos, 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/981663/1/DOC13006.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

MORAES, A. G. **Análise do processo produtivo de polpa de fruta em agroindústria no município de Lagoa Seca**. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/6831/ALDANIZA%20GON%20ALVES%20DE%20MORAE%20-%20DISSERTA%20%20PPGSA%20PROFISSIONAL%202019.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2022.

PEDRETTI, A.; MEDEIROS, R. C. Evaluation of the potential of coagulant recovered from WTP sludge for use in low and high turbidity water. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 6, p. 1177-1188, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/JrmpzpGJM4vDjsn7RLvVkvB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2023.

NEVES, W. B. P.; HOLANDA JÚNIOR, L. M.; MELO, R. P. F.; OLIVEIRA, M. N. M.; CARMO, S. K. S. Produção e

caracterização físico-química do fermentado de caju. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 68106-68120, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16563/13534>. Acesso em: 07 abr. 2023.

RIO GRANDE DO NORTE (estado). **Lei nº 11.332, de 30 de dezembro de 2022**. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Rio Grande do Norte. Porto Alegre: Governo do Estado Rio Grande do Norte, dez. 2022. Disponível em: <https://www.al.rn.leg.br/storage/legislacao/2023/xyly141mlwrywqdfstisurxdpdlicmh.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

SCHORR, A. S. **Tratamento de águas e efluentes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 2022.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Sergipe, v. 10, n. 3, p. 263-280, 2019. Disponível em: <https://sustenera.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.003.0023/1707>. Acesso em: 7 abr. 2023.

SILVA, F. N. **Sistemas de Abastecimento e Tratamento de água para técnicos: Conteúdos ambientais**. 1. ed. Campinas: UICLAP. 2021.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M.; IAMANAKA, B. T. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 6. ed. São Paulo: Livraria Blucher, 2017.

SOUSA, F. C. F. **Reúso de água na agroindústria como estratégia de convivência no semiárido paraibano**.

2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2018.

Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/2668/FERNANDO%20CHAGAS%20DE%20FIGUEIREDO%20SOUSA%20e2%80%93%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20PPGSA%20PROFISSIONAL%202018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2021.

THE JAMOVI PROJECT. **Jamovi**. Version 2.3. Sidney: Jamovi Project, 2022.

Disponível em: <https://www.jamovi.org>.

Acesso em: 08 jun. 2023.

TIBCO. **Statistica**. Data Science Workbench, version 13. Santa Clara: Cloud Software Group, 2017. Disponível em: <http://statistica.io>. Acesso em: 07 jun. 2023.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: DESA: UFMG, 2014.

XAVIER, C. R.; GUERRA, C. S.; SILVA, F. S. N.; SAMPAIO NETO, O. Z.

RODRIGUES, L. J.; TAKEUCHI, K. P.

Aspectos produtivos da cajucultura e aproveitamento integral de derivados de caju no processamento agroindustrial.

**Revista Científica Multidisciplinar**,

Jundiaí, v. 3. n. 8, p. e381792, 2022.

Disponível em:

<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1792/1400>. Acesso em: 15 jun. 2023.