

II - 1511 - USO DE COAGULANTE NATURAL A BASE DE PÓ DE CAFÉ VERDE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS: UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

Nathalia Cardoso dos Santos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Beatriz Tiradentes Pani⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Francisco de Assis Ferreira⁽³⁾

Técnico em Química pelo Colégio Salesiano Nossa Senhora da Vitória. Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental pela Universidade Norte do Paraná. Especialista em Gestão e Educação Ambiental pelo Centro Universitário Multivix Vitória. Mestre em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Atua como Técnico em Química no Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo Campus São Mateus (Ufes).

Raquel Machado Borges⁽⁴⁾

Bacharel e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo. Pós-doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora titular do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Paola Angélica Dias dos Santos⁽⁵⁾

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Licenciada em Química e Especialista em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Atua como Técnica nos laboratórios de Ensino e Pesquisa em Química no Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória (Ifes).

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - Espírito Santo - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: (27) 3331-2237 - e-mail: nathcardoso.10@hotmail.com

RESUMO

A produção de café do Brasil representa cerca de um terço da produção mundial, resultando na geração de quantidades significativas de resíduos ao longo do seu processo produtivo. Dentre as diferentes etapas de processamento do café conilon, o processo de rebeneficiamento é o responsável pela geração do resíduo denominado pó de café verde, ou, GCP, do inglês *green coffee powder*.

Paralelamente ao desenvolvimento acelerado da agroindústria do café, percebe-se maior poluição dos corpos hídricos pelo despejo inadequado de efluentes oriundos de processos industriais, com destaque para aqueles atrelados ao uso indiscriminado do óleo mineral. Levando em consideração o potencial poluidor do óleo emulsionado em água, em razão de sua baixa degradabilidade, e os consequentes prejuízos à saúde humana, é de suma importância o aumento de esforços direcionados para o tratamento desses efluentes, focados na remoção de óleo com a aplicação de um tratamento físico-químico adicional.

No âmbito da economia circular, o estudo proposto visou avaliar a viabilidade do uso do pó de café verde, gerado por uma agroindústria de rebeneficiamento de café conilon, como coagulante orgânico alternativo no tratamento de efluentes oleosos.

Estudos prévios da caracterização físico-química do GCP, sinalizaram que o resíduo é constituído por uma estrutura lignocelulósica apresentando uma alta afinidade por substâncias apolares, podendo ser um grande aliado no tratamento de efluentes contendo poluentes hidrofóbicos.

Os resultados obtidos até o momento indicaram que há grande potencial de uso do resíduo GCP como coagulante alternativo para o tratamento de efluentes oleosos, já que o resíduo oleoso contido no efluente sintetizado resultou em uma remoção satisfatória do óleo emulsionado da fase aquosa.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de Café Verde, Coagulante Orgânico, Efluente Oleoso, Economia Circular.

INTRODUÇÃO

A atividade produtiva industrial é, via de regra, grande geradora de efluentes oleosos, independentemente de sua tipologia. Isto se deve em grande parte à necessidade de lubrificação de máquinas e equipamentos do próprio processo produtivo, à lavagem de veículos ou mesmo à existência de oficinas mecânicas na área, para manutenção e troca de óleo da frota industrial.

Os padrões legais de lançamento de efluentes para óleos minerais estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) são mais restritivos que aqueles estabelecidos para óleos vegetais e gorduras animais pelo fato de que os óleos minerais, em geral contêm metais pesados, ao contrário da maioria dos contaminantes orgânicos, não são biodegradáveis e tendem a se acumular nos seres vivos, causando toxicidade e problemas de saúde se lançados no ambiente sem o tratamento adequado.

O tratamento convencional de efluentes oleosos é composto por sistemas separadores água e óleo, onde a remoção do óleo livre é realizada por gravidade. No entanto, a remoção do óleo emulsionado requer a aplicação de um tratamento físico-químico adicional, como por exemplo, a coagulação química, que consiste na desestabilização das partículas (suspensas, coloidais e matéria dissolvida) pela adição de um coagulante químico ou natural (PADILHA et al., 2011).

O aproveitamento de resíduos orgânicos da agroindústria para a produção de coagulantes alternativos tem sido uma prática cada vez mais adotada no contexto da economia circular. Com o aumento da atividade produtiva e a escassez de recursos, torna-se imperativo contrabalançar a produção elevada do segmento agrícola com uma alternativa consciente no tratamento de efluentes industriais oleosos, como o aproveitamento sustentável dos seus subprodutos (FERREIRA, 2023).

Dados divulgados pelo terceiro levantamento da safra de grãos realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento estimam uma colheita de 50,4 milhões de sacas de café beneficiado na safra de 2022 no Brasil (CONAB, 2022). Dentre as diferentes etapas de processamento do café, o processo de rebeneficiamento é responsável pela geração do resíduo denominado pó de café verde, ou, do inglês, green coffee powder (GCP). O referido processo consiste na seleção e classificação dos grãos, quando se objetiva obter grãos de qualidade superior e maior valor comercial (FERREIRA, 2023).

Nesse contexto, percebe-se a possibilidade da utilização de um modelo econômico de produção circular, que vise o equilíbrio entre a economia e o meio ambiente, buscando o reaproveitamento do GCP de forma mais eficiente, reduzindo a necessidade da utilização de produtos inorgânicos no tratamento de efluentes oleosos e do descarte inadequado desse resíduo agroindustrial.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade do uso do pó de café verde (GCP), gerado por uma agroindústria de rebeneficiamento de café conilon, para utilização como coagulante orgânico e sustentável no tratamento de efluentes oleosos. De forma mais específica, objetivou-se produzir um coagulante alternativo a base de GCP, para em seguida definir os parâmetros operacionais que contribuiriam para a eficiência do coagulante orgânico para avaliar, por meio de determinações analíticas, o seu desempenho e a sua eficiência no tratamento de efluentes oleosos.

METODOLOGIA UTILIZADA

O resíduo GCP é proveniente do processo de rebeneficiamento do café Conilon e foi cedido para a pesquisa por uma agroindústria. Para a análise microscópica do GCP foi utilizado o microscópio óptico digital Rohs com magnificação de 1000x. Dados secundários de caracterização do resíduo, como análise dos grupos funcionais obtidos de pesquisas prévias (FERREIRA, 2023) foram analisados conjuntamente, para melhor embasamento das discussões.

O objetivo inicial do estudo foi definir as condições adequadas para o tratamento do efluente oleoso emulsionado manualmente em laboratório em concentrações conhecidas, para que fosse possível obter o conhecimento prévio sobre o comportamento do GCP como coagulante orgânico. Após a realização de testes de bancada, definiu-se

que o coagulante alternativo seria utilizado em sua forma *in natura* e constatou-se que a análise do pH interfere diretamente na eficiência do processo.

Em paralelo à análise do coagulante, foi necessária a realização da varredura espectrofotométrica para a determinação do comprimento de onda de maior absorbância do óleo lubrificante semissintético presente na solução oleosa sintetizada. A partir desse comprimento de onda, foi construída uma curva de calibração, que será utilizada para a determinação das concentrações de óleo presentes na solução antes e após o tratamento com o coagulante a base de GCP (VIEIRA, 2022).

A determinação do teor de óleos e graxas (TOG) foi adaptada do método colorimétrico 5520 do livro Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Para a determinação do TOG, foi necessária a extração do óleo com hexano da solução aquosa emulsionada antes e após o tratamento e a leitura das respectivas concentrações no espectrofotômetro utilizando a curva de calibração já definida, para que fosse possível determinar o percentual do teor de óleos e graxas (%TOG) após o tratamento e a viabilidade do coagulante em questão para a remoção do óleo emulsionado (VIEIRA, 2022).

Como os óleos e graxas presentes nos efluentes da atividade produtiva industrial são provenientes de óleos lubrificantes compostos por óleos minerais e óleos sintéticos, foi utilizado para esse experimento o óleo lubrificante semissintético SAE 15W40 da marca MOTRIO®. Para a preparação da solução emulsionada (óleo lubrificante + água destilada + emulsificante), foi necessária sua agitação contínua utilizando o agitador magnético modelo SL-92 da marca SOLAB®. Utilizou-se nas pesagens balança analítica modelo M254-Ai com INMETRO da marca WEBLABOR® e nas medidas de absorbância, espectrofotômetro Cary 60 UV-Vis da AGILENT TECHNOLOGIES®, modelo G6860A. Os ensaios experimentais de coagulação foram conduzidos em escala de bancada. As etapas do estudo serão descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA: VARREDURA E CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE

Primeiramente realizou-se uma varredura espectral, para verificar o comprimento de onda de máxima absorbância e posteriormente a construção de uma curva de calibração. Pesou-se 0,025 g de óleo lubrificante semissintético em um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com hexano até o menisco, de modo a se obter uma solução padrão de 250 mg/L (ppm). A curva de calibração foi preparada pelo método de padrão externo, em meio hexano.

A partir dessa solução padrão realizou-se 9 diluições, preparando-se novas soluções com concentrações de: 0, 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160 e 200 mg/L em balões volumétricos de 25 mL para cada nova concentração. Dessa forma, obteve-se um conjunto de 10 pontos de diferentes concentrações. Para a varredura, utilizou-se a amostra de menor concentração (5 mg/L). A solução foi transferida para uma cubeta de quartzo para a verificação do comprimento de onda de máxima absorbância (na faixa de 200 nm a 800 nm, em um passo de 1 nm). O procedimento foi realizado em duplicata.

Em seguida, conhecendo o comprimento de onda de máxima absorbância, as soluções diluídas também foram transferidas para uma cubeta de quartzo e as absorbâncias medidas no espectrofotômetro para a confecção da curva de calibração. O procedimento foi realizado em triplicata. Essa metodologia utilizada para a realização da varredura e curva de calibração foi uma adaptação da metodologia utilizada por Vieira (2022).

SEGUNDA ETAPA: TESTE DE COAGULAÇÃO

Para o preparo da solução sintética oleosa com concentração de 200 mg/L (ppm), foram transferidos para um bquer: 0,4 g de óleo lubrificante; 0,04 g de emulsificante TWEEN 80 e 2 L de água destilada. Para obtenção da emulsão, a amostra foi submetida a agitação contínua por 20 minutos em aproximadamente 870 RPM, utilizando-se o agitador magnético. Essa será a amostra “mãe” do processo.

Com o objetivo de definir as condições adequadas para o tratamento do efluente oleoso emulsionado, a solução oleosa emulsionada foi distribuída em béqueres de mesmas dimensões e diferentes cenários foram analisados, além da possibilidade de interferência de alguns parâmetros no processo. Definiu-se que o coagulante alternativo seria utilizado em sua forma *in natura*, apresentado na Figura 1.



Figura 1: Resíduo bruto.

A sequência das análises do teste de coagulação está representada na Figura 2.

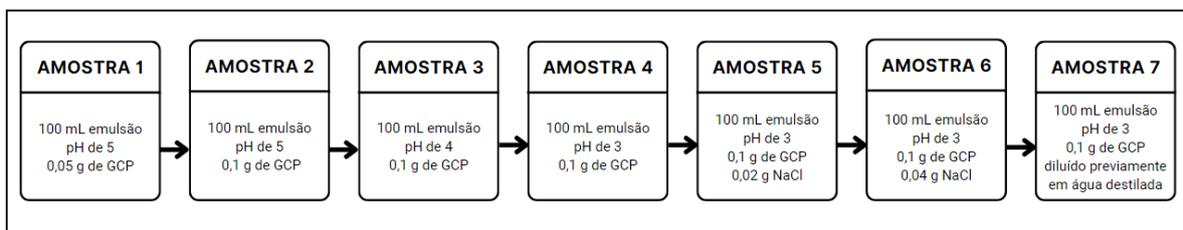


Figura 2: Sequência dos critérios utilizados para definir as análises do teste de coagulação.

Para a simulação do teste de coagulação, os ensaios foram conduzidos simultaneamente em agitadores magnéticos. Os detalhes operacionais para o processo de coagulação analisados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Detalhes operacionais utilizados para o processo de coagulação.

Tempo de mistura rápida	2 minutos
Tempo de mistura lenta	20 minutos
Tempo de sedimentação/flotação	24 horas

TERCEIRA ETAPA: DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS

Para a determinação do TOG extraiu-se a fase orgânica utilizando o solvente hexano. Foram transferidos 50 mL da amostra para um funil de separação de 125 mL, em sequência 5 mL de hexano foram adicionados. Agita-se o funil por 2 minutos, abrindo a torneira periodicamente, a fim de reduzir a pressão interna. Em seguida, o funil é colocado em repouso por 10 minutos em suporte universal, até que haja a separação de fases. A fase aquosa é removida em um bquer e a fase orgânica (óleo + hexano) é filtrada em funil com papel filtro contendo 1 g de sulfato de sódio (Na_2SO_4) para um balão volumétrico de 25 mL. Com o propósito de extrair um percentual de óleo remanescente, é realizado o processo de extração novamente. Após a segunda extração, avolumou-se o balão volumétrico com hexano até o menisco. Esse processo de extração foi realizado na amostra emulsionada (solução “mãe”) e nas amostras, após o tratamento com GCP, que obtiveram os melhores resultados (VIEIRA, 2022).

Após a extração, a amostra do balão volumétrico é transferida para uma cubeta de quartzo para que seja realizada a leitura da absorbância no espectrofotômetro (na faixa de 200 nm a 800 nm, em um passo de 1 nm). Esse processo de leitura também foi realizado para a amostra emulsionada (solução “mãe”) e para as amostras após o tratamento com o GCP que obtiveram os melhores resultados. As leituras foram realizadas em triplicata e a partir do modelo linear resultante da curva de calibração, foram lidas as suas respectivas concentrações (VIEIRA, 2022).

O percentual de remoção do TOG foi calculado através da seguinte equação (Equação 1):

$$\%TOG = \frac{TOG_{inicial} - TOG_{final}}{TOG_{inicial}} \times 100$$

Equação (1)

Em que: %TOG representa o percentual de remoção do teor de óleos e graxas, $TOG_{inicial}$ concentração inicial de óleo na solução emulsionada antes do tratamento e TOG_{final} concentração de óleo após o tratamento com o GCP.

Esse método utilizado para determinação do TOG foi uma adaptação da metodologia utilizada por Vieira (2022).

RESULTADOS OBTIDOS DA PRIMEIRA ETAPA

O valor de máxima absorvância da amostra de óleo lubrificante semissintético diluído em hexano (5 mg/L) verificado na leitura espectrofotométrica foi no comprimento de onda de 262 nm, apresentado na Figura 3.

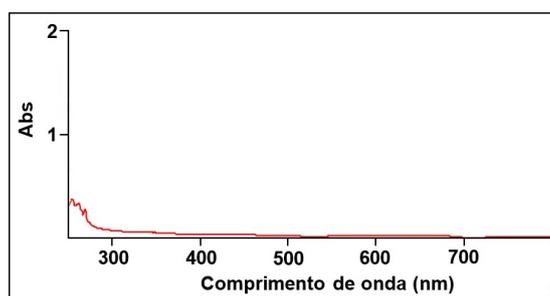


Figura 3: Espectro de varredura em comprimentos de onda de 200 a 800 nm para o óleo lubrificante semissintético de uma solução de 5 mg L⁻¹ diluído em hexano.

A Figura 4 apresenta a curva de calibração obtida para as soluções do óleo lubrificante semissintético diluídas em hexano e cujas concentrações variam entre 0 mg/L e 250 mg/L, onde cada ponto corresponde à média obtida de três medições (leitura em triplicata). O coeficiente de correlação foi igual a 0,99865. Já a equação da regressão linear foi (Equação 2):

$$Abs = 0,00190 * Conc + 0,33172$$

Equação (2)

Onde: Abs representa a absorvância e Conc a concentração da amostra.

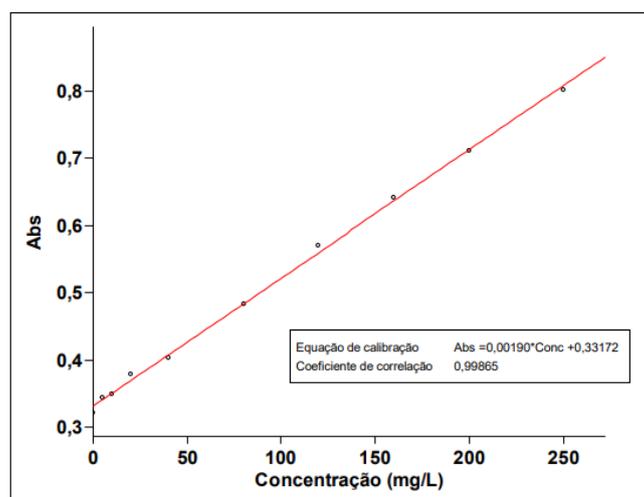


Figura 4: Curva de calibração construída com soluções do óleo lubrificante semissintético diluídas em hexano e cujas concentrações variam entre 0 mg L⁻¹ e 250 mg L⁻¹. Comprimento de onda = 262 nm.

RESULTADOS OBTIDOS DA SEGUNDA ETAPA

Os ensaios de coagulação realizados nos agitadores magnéticos, seguiram os parâmetros operacionais expostos na Tabela 1. Os testes realizados com a variação da dosagem de coagulante (Figura 2) permitiram identificar três níveis de respostas visuais com relação à coagulação e sedimentação nas amostras:

- (A) floco bem definido, com excelente sedimentação e visualmente uma boa separação água/óleo da amostra emulsionada (amostra 4);
- (B) floco intermediário, com excelente sedimentação e visualmente uma separação intermediária água/óleo da amostra emulsionada (amostra 1); e
- (C) não formação de flocos ou formação de flocos de tamanho insuficiente para permitir a observação visual, com excelente sedimentação e visualmente nenhuma separação água/óleo da amostra emulsionada (amostras 2, 3, 5, 6 e 7).

Os resultados obtidos na simulação de uma unidade de coagulação são apresentados na Figura 5.

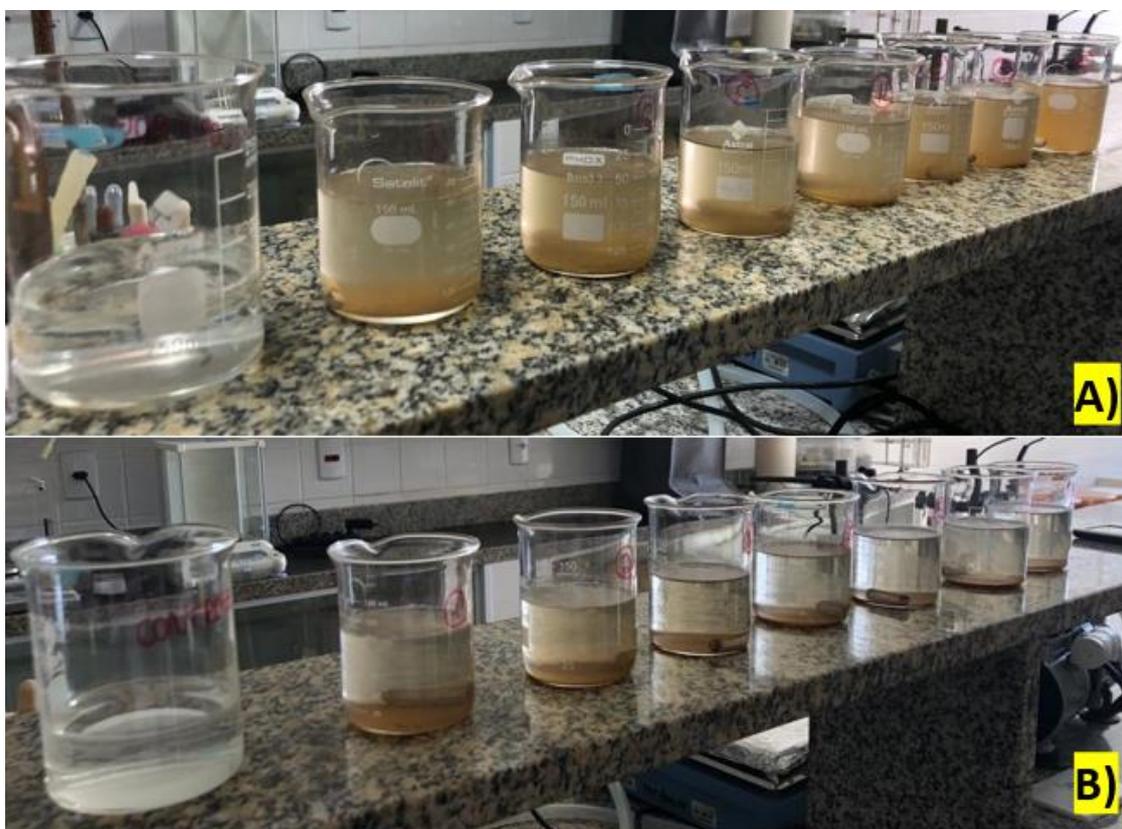


Figura 5: A) Teste de coagulação imediatamente após o tratamento com o GCP (da esquerda para a direita: amostra “mãe”, amostra 1, amostra 2, amostra 3, amostra 4, amostra 5, amostra 6 e amostra 7); B) Teste de coagulação decorrido o período de 24 horas de repouso após o tratamento com o GCP (da esquerda para a direita: amostra “mãe”, amostra 1, amostra 2, amostra 3, amostra 4, amostra 5, amostra 6 e amostra 7).

RESULTADOS OBTIDOS DA TERCEIRA ETAPA

Para a determinação do TOG, as leituras no espectrofotômetro foram realizadas para a amostra emulsionada (solução “mãe”) e para as amostras após o tratamento com o GCP que obtiveram os melhores resultados (amostras 1 e 4). As leituras foram feitas em triplicata e suas respectivas concentrações foram determinadas a partir do modelo linear resultante da curva de calibração realizada na primeira etapa.

A partir dos resultados espectrofotométricos obtidos das concentrações de óleo para as amostras 1 e 4, que obtiveram os melhores resultados de respostas visuais nos testes de bancada, calculou-se, através da Equação 1, o resultado do percentual de remoção do TOG após o tratamento com o GCP.

Essa análise se baseia nos valores da amostra “mãe” do efluente sintético pós-tratamento. Era esperado que na leitura da amostra “mãe” houvesse uma concentração maior de óleo e que o efluente sintético, após ser tratado, apresentasse concentração menor do que a anterior, comprovando assim a capacidade do GCP como coagulante alternativo e os resultados alcançados foram apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos do percentual de remoção do TOG das amostras que obtiveram os melhores resultados de respostas visuais nos testes de bancada.

AMOSTRA	TOG _{inicial}	TOG _{final}	%TOG
Amostra 1	18,4 mg/L	9,5 mg/L	48,37%
Amostra 4	18,4 mg/L	4,3 mg/L	76,63%

Os resultados observados referem-se às eficiências obtidas na remoção de óleos e graxas e mostram o potencial do resíduo GCP como um coagulante orgânico alternativo a ser utilizado no tratamento de efluentes oleosos. O comportamento observado sugere que houve afinidade intermolecular entre os grupos funcionais do GCP e do resíduo oleoso contido no efluente sintetizado, resultando em uma remoção satisfatória do óleo emulsionado da fase aquosa. Vale ressaltar que o resíduo agroindustrial é formado por matéria orgânica e o pH utilizado nos ensaios que obtiveram os melhores resultados estava situado entre 3 e 5. Uma investigação acerca do pH para o processo de coagulação química com o uso do resíduo GCP será conduzida nas próximas etapas do trabalho.

Destaca-se que o GCP possui uma natureza complexa e rica em grupamentos orgânicos, é constituído por uma estrutura lignocelulósica em que a lignina e a holocelulose, formadas por polímeros aromáticos e policíclicos, compõem 87% em massa do composto. Sua estrutura lignocelulósica provou apresentar uma alta afinidade por substâncias apolares, podendo ser um grande aliado no tratamento de efluentes contendo poluentes hidrofóbicos (FERREIRA, 2023).

CONCLUSÕES

O estudo em questão está inserido no contexto da economia circular e abrange temas relacionados a sustentabilidade ambiental: como o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e o tratamento de efluentes oleosos industriais. Sendo assim, a procura de sistemas eficientes para o tratamento de efluentes oleosos industriais, baseados no uso de tecnologias limpas e insumos biodegradáveis, é de grande relevância.

Os coagulantes orgânicos alternativos surgem como uma tecnologia promissora no setor de saneamento ambiental. A possibilidade de aplicação do resíduo em questão, constitui-se como uma opção sustentável para o desenvolvimento de processos químicos e ambientais, visando a valorização de matérias primas abundantes ou subutilizadas no agronegócio. Dito isso, é possível afirmar que o estudo mostrou, que existe um grande potencial de reaproveitamento do resíduo agroindustrial (GCP) no campo de tratamento de efluentes industriais e especificamente na coagulação.

No entanto, a despeito da viabilidade técnica, cabe ressaltar que as iniciativas de aproveitamento de resíduos no tratamento de efluentes, especialmente com vistas ao reuso deste, são de grande valia para se trazer à tona as discussões sobre a importância de se implantar de fato nas indústrias uma gestão, pautada na economia circular e na recuperação de recursos. Ressalta-se que quando bem explorados, esses agentes multifuncionais podem permitir a redução do custo operacional do tratamento de efluentes oleosos.

Como perspectivas futuras para esta pesquisa, recomenda-se uma avaliação mais abrangente do estudo do desempenho do coagulante alternativo em comparação ao desempenho obtido pelo coagulante convencional, sulfato de alumínio. Cabe ressaltar que ainda que a dosagem do coagulante alternativo requerida para o tratamento possa ser superior, o subproduto do tratamento estará isento de alumínio e, portanto, com menor toxicidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 430/2011. Brasília, 2011.
3. CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: café: Safra 2022 - 3º Levantamento. Brasília, v. 9, n. 3, p. 1-65, 2022.
4. FERREIRA, F. A. Caracterização do pó de café Conilon verde e perspectivas para seu aproveitamento sustentável, 2023. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis-Instituto Federal do Espírito Santo, 2023.
5. PADILHA, D. J. et al. Análise da utilização de três diferentes coagulantes na remoção da turbidez de água de manancial de abastecimento. Encontro Internacional de Produção Científica, 2011.
6. VIEIRA, D. Análise da aplicação de ferritas de cobalto em processo de eletrocoagulação para tratar emulsões oleosas residuais, 2022. Dissertação de Mestrado em Energia-Centro Universitário Norte do Espírito Santo-Universidade Federal do Espírito Santo, 2022.