



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Avaliação da utilização da *Moringa oleifera* Lam no tratamento de efluentes da produção de biodiesel**

**Kelvin Costa de Araújo**



**João Pessoa – PB - Brasil  
Julho/2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**



**Kelvin Costa de Araújo (CAPES)**

**Dissertação apresentada como  
requisito para obtenção do título  
de Mestre em Química pela  
Universidade Federal da  
Paraíba.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ilda Antonieta Salata Toscano  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Maria da Conceição**

***João Pessoa – PB - Brasil  
Julho/2019***

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A671a Araújo, Kelvin Costa de.

Avaliação da utilização da Moringa oleifera Lam no tratamento de efluentes da produção de biodiesel / Kelvin Costa de Araújo. - João Pessoa, 2019.

61 f.

Orientação: Ilda Antonieta Salata Toscano.

Coorientação: Marta Maria da Conceição.

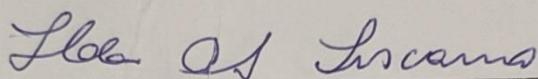
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Moringa. 2. Adsorção. 3. Biodiesel. 4. Efluente. I. Toscano, Ilda Antonieta Salata. II. Conceição, Marta Maria da. III. Título.

UFPB/BC

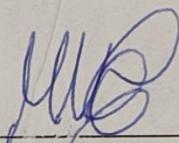
# Avaliação da utilização da *Moringa oleifera* Lam no tratamento de efluentes da produção de biodiesel.

Dissertação de Mestrado apresentada pelo aluno Kelvin Costa de Araújo e aprovada pela banca examinadora em 26 de julho de 2019.



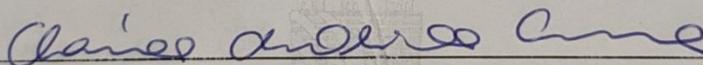
---

Profa. Dra. Ilda Antonieta Salata Toscano  
Orientadora/Presidente



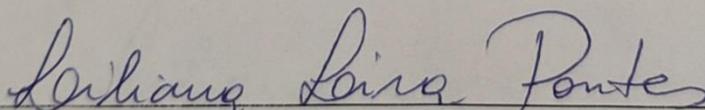
---

Profa. Dra. Marta Maria da Conceição  
2ª. Orientadora



---

Profa. Dra. Claudia de Oliveira Cunha  
Examinadora



---

Profa. Dra. Liliansa de Fátima Bezerra Lira de Pontes  
Examinadora

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais: Maria Aparecida e Natércio e a sociedade brasileira, contribuidora de impostos, que visa o desenvolvimento da ciência em nosso país.*

## AGRADECIMENTOS

*À Deus, por crer que suas mãos sempre estão envoltas a mim, possibilitando a impulsão em busca do caminho do bem.*

*À vida, que através de cada ensinamento moldou e me tornou em quem sou.*

*À minha mãe, guerreira e exemplo de inspiração para seguir sonhos, a única que sempre acreditou no meu sonho. À tia Rosa, primeira pessoa da família a conseguir o tão sonhado diploma e sempre demonstrou complacência nos meus estudos. Ao meu pai, que mesmo distante sempre esteve presente. Aos demais familiares, que acompanharam toda esta jornada.*

*À minha orientadora Ilda, que muito me ensinou durante este percurso, à sua amizade e paciência de atuar muitas vezes como psicóloga nas orientações semanais. Exemplo de profissional, com grande conhecimento e enorme humanidade. Obrigado pela repreensão no momento exato, pela compreensão no momento exato, sua orientação foi o parâmetro mais significativo nesta jornada.*

*À minha coorientadora Marta, pela sua excelência em transmissão de conhecimentos e companheirismo.*

*À professora Cláudia, que se mostrou presente em toda essa jornada e todo o carinho demonstrado para com os LEQIANOS.*

*À Gabi, e a importante amizade que construímos nesta etapa da vida.*

*Aos amigos LEQIANOS, Isla, Kátiusca, Hebert e Jaqueline, que juntos formamos esta família. Obrigado por me escutarem, confortar, cantar, inspirar nos momentos ruins, compreender e por todos os momentos de felicidades na hora do almoço.*

*Aos amigos e colegas da pós, pelo companheirismo desenvolvido em cada disciplina e nos corredores do DQ.*

*Aos professores, que exerceram a importante tarefa de transmissão de conhecimento com sucesso, além disto, estiveram disponíveis em todos os momentos.*

*Ao grande Marcos Pequeno.*

*À Marileuza, Patrícia, Rita e demais profissionais que cuidam da limpeza de nossos ambientes, sua função é inestimável.*

*À CAPES, pelo incentivo e bolsa concedida.*

*Muito obrigado!*

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que,  
com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo  
de arriscar”

William Shakespeare

**TÍTULO:** Avaliação da utilização da *Moringa oleifera* Lam no tratamento de efluentes da produção de biodiesel

**AUTOR:** Kelvin Costa de Araújo

**ORIENTADORA:** Ilda Antonieta Salata Toscano

**COORIENTADORA:** Marta Maria da Conceição

## **RESUMO**

No ano de 2018, o Brasil bateu recorde em relação ao biodiesel, com uma produção de 5.350.000 m<sup>3</sup>. Em sua síntese, faz-se necessário um processo de purificação, que entre outros, resulta na geração de efluente. Há estimativas que para cada litro de biodiesel produzido são gerados 3 litros de efluente. Em geral, o efluente do biodiesel apresenta características que estão em desacordo com a legislação brasileira para sua disposição. Tendo em vista que o Brasil é um dos maiores produtores de biodiesel do mundo, com grande volume de efluente gerado, o objetivo do presente estudo foi propor o tratamento desse efluente avaliando as potencialidades da utilização da *Moringa oleifera* Lam, como adsorvente natural. Para este propósito três amostras de efluentes foram estudadas, usando planejamento experimental com a variação de três componentes, sendo eles a concentração da semente de moringa, diluição em água e tempo de contato. Os resultados das determinações dos parâmetros avaliados apresentaram que, exceto em relação à turbidez das amostras L1 e L2, estavam acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP) na resolução CONAMA 430/2011, que dispõe sobre efluentes em corpos hídricos. Após os ensaios previstos no planejamento experimental observou-se adequação das amostras, em relação a legislação, com exceção do pH da amostra L1 que permaneceu abaixo de 5,0. Os valores obtidos para DQO mostraram redução de até 97%, assim como a turbidez que apresentou redução superior a 99%. Diante dos resultados, pode-se considerar eficiente o uso da moringa como adsorvente natural para o tratamento de efluente da produção de biodiesel.

**PALAVRAS-CHAVE:** Moringa; Adsorção; Biodiesel; Efluente.

**TÍTULO:** Evaluation of the use of *Moringa oleifera* Lam in the treatment of effluents from biodiesel production

**AUTOR:** Kelvin Costa de Araújo

**ORIENTADORA:** Ilda Antonieta Salata Toscano

**COORIENTADORA:** Marta Maria da Conceição

## **ABSTRACT**

In 2018, Brazil broke a record in relation to biodiesel, with a production of 5.350.000 m<sup>3</sup>. In its synthesis, it is necessary a purification process, which among others, results in the generation of effluent. There are estimates that for each liter of biodiesel produced 3 liters of effluent are generated. In general, the biodiesel effluent presents characteristics that are in disagreement with the Brazilian legislation for its disposal. Given that Brazil is one of the largest biodiesel producers in the world, with a large volume of effluent generated, the aim of the present study was to propose the treatment of this effluent by evaluating the potential use of *Moringa oleifera* Lam as a natural adsorbent. For this purpose three effluent samples were studied using experimental design with the variation of three components, namely the concentration of moringa seed, dilution in water and contact time. The results of the determinations of the evaluated parameters showed that, except in relation to the turbidity of the samples L1 and L2, they were above the Maximum Permitted Values (MPV) in CONAMA Resolution 430/2011, which provides for effluents in water copor. After the tests foreseen in the experimental planning it was observed adequacy of the samples, in relation to the legislation, except for the pH of the sample L1 that remained below 5.0. The values obtained for COD showed a reduction of up to 97%, as well as turbidity that presented a reduction of over 99%. Given the results, it can be considered efficient the use of moringa as a natural adsorbent for the effluent treatment of biodiesel production.

**Keywords:** Moringa; Adsorption; Biodiesel; Effluent.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01-</b>	Reação de transesterificação do biodiesel.....	04
<b>Figura 02-</b>	a) Árvore da espécie <i>Moringa oleifera</i> ; b) Vargens com as sementes.....	13
<b>Figura 03-</b>	Carga superficial da Albumina 2S, extraída da <i>Moringa Oleifera</i> Lam. Azul, branco e vermelho representam as cargas positivas, neutras e negativas, respectivamente.....	14
<b>Figura 04-</b>	Principais usos da <i>Moringa Oleifera</i> Lam: Folha, flor, vagem e madeira.....	15
<b>Figura 05-</b>	Amostras das águas residuais da purificação do biodiesel, do CETENE.a) primeira lavagem com ácido acético; b) segunda lavagem com água; c) Água de lavagem feita no LEQA.....	19
<b>Figura 06-</b>	Coleta da moringa em Sousa - PB.....	21
<b>Figura 07-</b>	Material usado como adsorvente. a) Moringa com casca; b) amêndoa moringa e c) triturada e com granulometria de 14 mesh.....	21
<b>Figura 08-</b>	Valores de pH no decorrer do teste de PCZ para a moringa.....	27
<b>Figura 09-</b>	Gráficos de Pareto demonstrando o efeito de significância das variáveis na alteração de pH nas amostras – a) L1, b) L2 e c) L3 após tratamento.....	30
<b>Figura 10-</b>	Superfície de resposta para o pH, em função da concentração de moringa e da diluição. Amostras - a) L1; b) L2; c) L3.....	31
<b>Figura 11-</b>	Gráficos de Pareto demonstrando a significância das variáveis para a Efc-DQO nas amostras a) L1, b) L2 e c) L3 após tratamento.....	34
<b>Figura 12-</b>	Superfície de resposta para a Efc-DQO, em função da concentração de moringa, diluição e tempo de contato.....	35
<b>Figura 13-</b>	Comparação da turbidez para os ensaios. a) L1, b) L2 e c) L3...	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01-</b>	Avanço das misturas de biodiesel em diesel.....	05
<b>Tabela 02-</b>	Características de quimissorção e fisissorção.....	12
<b>Tabela 03-</b>	Matriz do planejamento 23, com a variação da concentração da moringa, diluição em água e tempo de contato.....	22
<b>Tabela 04-</b>	Características físicas e químicas das amostras de lavagem do biodiesel, antes do tratamento.....	24
<b>Tabela 05-</b>	Valores de pH após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.....	28
<b>Tabela 06-</b>	Valores de eficiência de redução de DQO após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.....	33
<b>Tabela 07-</b>	Turbidez nas amostras após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	-	Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
LEQA	-	Laboratório de Estudo em Química Ambiental
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
pH	-	Potencial hidrogeniônico
B100	-	100% Biodiesel
NTU	-	Unidades Nefelométricas de Turbidez
B10	-	10% de Biodiesel
CONAMA	-	Conselho Nacional de Meio Ambiente
PCZ	-	Ponto de Carga Zero
Efc-DQO	-	Eficiência na redução de DQO
VMP	-	Valores máximos permitidos
MO	-	Matéria orgânica
L1	-	Amostra cedida referente a primeira lavagem
L2	-	Amostra cedida referente a segunda lavagem
L3	-	Amostra sintetizada em laboratório

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	01
2.	OBJETIVOS.....	03
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	03
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	04
3.1	BIODIESEL.....	04
3.2	EFLUENTES.....	06
3.2.1	Água e efluentes.....	06
3.2.2	Efluente de biodiesel.....	07
3.3	TRATAMENTOS PARA EFLUENTE AQUOSO DE BIODIESEL.....	08
3.3.1	Coagulação e floculação.....	08
3.3.2	Eletrocoagulação.....	09
3.3.3	Tratamento biológico.....	10
3.4	ADSORÇÃO.....	11
3.4.1	Definição.....	11
3.4.2	Fatores que afetam a adsorção.....	12
3.5	MORINGA.....	12
3.6	PLANEJAMENTO FATORIAL.....	16
4.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	18
4.1	AMOSTRAS.....	18
4.1.1	Efluentes do biodiesel.....	18
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE.....	19
4.3	OBTENÇÃO DO ADSORVENTE NATURAL.....	21
4.5	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE.....	24
5.2	AVALIAÇÃO DA SEMENTE DE MORINGA COMO ADSORVENTE.....	27
6.	CONCLUSÕES.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se como um dos países mais limpos do mundo, no que refere-se à questão energética. Em 2018, 45,3% da energia gerada no país proveio de fontes renováveis, com destaque as energias oriundas da biomassa de cana, que representaram 17,4%. No mesmo ano, o biodiesel produzido no país constituiu 1,45% da toda energia gerada (EPE, 2019).

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira deu-se no ano de 2004, em caráter experimental, através da mistura com diesel no teor de 2% (v/v). A partir da lei de nº11.097 de 2005, a mistura com diesel tornou-se obrigatória desde 2008. Após uma década de sua implementação, em 2018, essa mistura alcançou o teor de 10% (v/v) de biodiesel em diesel (ANP, 2018).

No último ano foram produzidos 5.350.000 m<sup>3</sup> de biodiesel colocando o Brasil entre os maiores produtores mundiais (ANP, 2018). Durante a síntese do biodiesel, por via catálise homogênea, faz-se necessário um processo de purificação, em que uma das etapas consiste de lavagem aquosa. Esta lavagem pode ser realizada com água pura e/ou com a adição de um ácido fraco, o que resulta na geração de grande volume de efluente. Este efluente, em geral, possui características impróprias para lançamento em corpos hídricos, segundo a legislação brasileira. Portanto, seu descarte sem tratamento pode causar alterações significativas no ambiente aquático. Isso caracteriza-se como um relevante problema ambiental, podendo interferir no abastecimento público, e gerar insuficiência para produção agrícola, pecuária e industrial (MOURA *et al.*, 2016).

A inviabilização de qualquer recurso hídrico, através do descarte incorreto de efluentes é preocupante e o Brasil dispõe de legislação que reje normas para o descarte adequado. As indústrias produtoras de biodiesel não informam as características deste efluente, nem qual o tratamento realizado para seu descarte, sendo estas informações encontradas apenas na literatura, citando principalmente processos de coagulação e floculação.

Como alternativa de tornar o processo menos oneroso, as técnicas de adsorção ganharam destaque para o tratamento de efluentes devido à boa relação custo-benefício e pela disponibilidade de vários compostos que podem ser usados como adsorventes, tanto naturais como sintéticos (FURLAN, 2008).

A semente da *Moringa oleífera* Lam possui características potenciais para uso

como um adsorvente natural e renovável, uma vez que já vem sendo utilizada na clarificação de água. As folhas e o caule da moringa apresentam diversas outras utilidades, que vão desde fonte alimentícia à efeito antidiabético (AL-MALKI *et al.*, 2015; SÁNCHEZ-MACHADO *et al.*, 2015; KWAAMBWA *et al.*, 2015).

Diante do exposto, esse trabalho tem por objetivo avaliar o uso da semente de moringa como adsorvente natural no tratamento de efluentes da produção de biodiesel. No cenário científico tal aplicação da matéria prima não foi estudada para este determinado fim. O estudo contou com 3 tipos de efluentes, sendo 2 provenientes de uma usina de biodiesel e outra sintetizada em laboratório. A eficiência do tratamento foi acompanhada pela variação da Demanda Química de Oxigênio, Turbidez e pH.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a utilização da semente da *Moringa oleifera* Lam como adsorvente natural no tratamento de efluentes provenientes da produção de biodiesel.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar um planejamento experimental para avaliar a aplicação das variáveis: concentração de moringa, diluição em água e tempo de contato da semente;
- Caracterizar as amostras de efluentes, em relação ao pH, DQO, turbidez e óleos&graxas;
- Aplicar a semente de moringa no processo de adsorção.

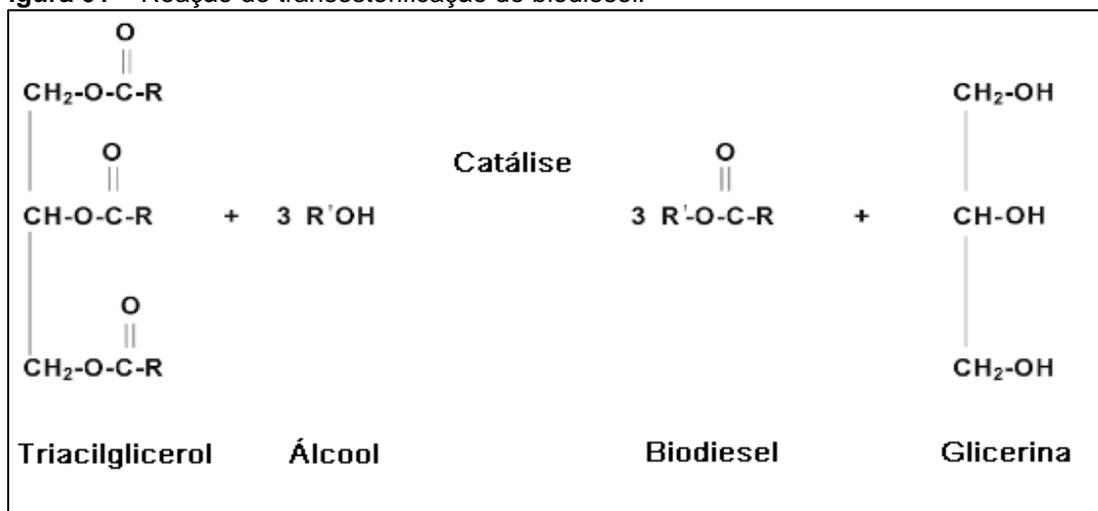
### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. BIODIESEL

Biodiesel é um combustível obtido a partir de uma biomassa renovável e que pode ser utilizado em motores de ignição por compressão. O processo utilizado em sua produção é denominado transesterificação, a via mais utilizada no Brasil é a catálise alcalina homogênea. Nesta, os triglicerídeos contidos na matéria-prima reagem com um álcool gerando dois produtos, éster (biodiesel) e glicerina (usado na indústria de cosmético, farmacêutica, produção de sabão, entre outros). Os álcoois geralmente utilizados são o metanol e etanol, devido ao fato de serem mais reativos (comparados aos de cadeias mais longas) e economicamente viáveis (ANP, 2016; BITTENCOURT *et al.*, 2018;).

A reação ocorre espontaneamente com a adição dos componentes, porém o uso de um catalisador reduz o tempo reativo consideravelmente. O hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e metóxido de sódio (NaOCH<sub>3</sub>) são comumente utilizados para tal síntese. O éster, para ser comercializado como biodiesel, passa por um processo de purificação que tem o intuito de adequá-lo para o uso em motores de ignição por compressão, ou seja, que façam parte do ciclo diesel (BITTENCOURT *et al.*, 2018; MACIEL, 2018). A reação de transesterificação pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 01 – Reação de transesterificação do biodiesel.



Fonte: Adaptada de Knothe *et al.*, 2015.

Várias matérias-primas podem ser usadas na produção de biodiesel, entretanto, destacam-se os óleos vegetais obtidos do cultivo de canola, soja, mostarda, coco e palma. Outras fontes, para a síntese do éster, são o sebo bovino, gorduras animais e óleos residuais. No Brasil, a soja é a oleaginosa mais utilizada, porém o uso de gordura animal vem ganhando espaço nos últimos anos (EPA, 2008; GONÇALVES, 2015; ANP, 2019).

Comparado ao diesel, obtido do petróleo, o biodiesel é biodegradável, não tóxico, essencialmente livre de compostos sulfurados, aromáticos e possui o ponto de ignição mais elevado, com isto induzindo a menos perigos em seu transporte, manuseio e armazenamento. O biodiesel pode ser utilizado puro (B100) ou em misturas com diesel, isto é possível devido a sua semelhança ao diesel em qualquer proporção (BRAGA, 2012; VELJKOVIĆ *et al.*, 2013).

A Lei Nº 11.097/2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, instituiu a mistura de 2% de biodiesel ao diesel (v/v), com obrigatoriedade a partir de 2008. A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) é o órgão responsável por promover a regulação do uso biodiesel no país e demonstra o avanço da mistura com o diesel, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

**Tabela 01** – Avanço das misturas de biodiesel em diesel.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Proporção Biodiesel (%)</b>
2003	Facultativo
Jan/2008	2
Jul/2008	3
Jul/2009	4
Jan/2010	5
Ago/2014	6
Nov/2014	7
Mar/2018	10

Fonte: Adaptado de ANP, 2019.

Em 2008 o país deixou de importar 1,1 bilhão de litros de óleo diesel e em 2010 o aumento no percentual de 2% para 5%, da mistura com diesel, resultou no aumento da produção brasileira de oleaginosas, colocando o Brasil entre os quatro maiores produtores de biodiesel do mundo (ANP, 2010; NEVES, 2011).

A purificação do biodiesel é realizada basicamente com uma lavagem aquosa, podendo adicionar-se um ácido. Nesta etapa há a geração dos efluentes que são ricos em matéria orgânica, óleos&graxas, entre outros (GONÇALVES, 2015).

## **3.2. EFLUENTES**

### **3.2.1. Água e efluentes**

A água é indispensável para todas as formas de vida, mas não é encontrada com a mesma disponibilidade ao redor do mundo. Além de seu consumo pelos seres vivos, grande parte do componente é gasto em atividades industriais e na irrigação de culturas agrícolas. Entretanto, 97% das águas estão situadas nos oceanos e são saturadas em sais, o que resulta em sua inviabilização para a agricultura e consumo pelos demais seres vivos, não marinhos (BAIRD, 2011).

Vale ressaltar, que diversas pesquisas vêm sendo realizadas na dessalinização de águas marinhas, porém o processo de osmose reversa, mais utilizado no tratamento, gera altas porcentagens de salmoura que apresenta elevada salinidade. Acrescido a isto, é um processo de alto custo (GONZÁLES *et al.*, 2014; BELILA *et al.*, 2016; JEONG *et al.*, 2016). Dos 3% da água doce, três quartos estão contidos em geleiras e calotas polares. Do restante, cerca de 60% está concentrada em apenas 10 países, sendo o Brasil um deles com 12% deste total (LENZI, 2009).

Dentro deste contexto, políticas públicas foram instauradas para colaborar em sua preservação. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da resolução de nº 357 de 2005, complementada pela de nº 430 de 2011, dispõe sobre a classificação e as condições de lançamento de efluentes em corpos receptores. Segundo o CONAMA as águas podem ser classificadas em 3 categorias gerais: doce, salina e salobra. As águas doces podem ser classificadas em 5 classes:

Classe especial - águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Classe 1 - águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe 2 - águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aqüicultura e à atividade de pesca.

Classe 3 - águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; à dessedentação de animais.

Classe 4 - águas que podem ser destinadas à navegação; à harmonia paisagística (BRASIL, 2005).

Os lançamentos de efluentes, em corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento, alteram alguns parâmetros essenciais para a vida aquática. Tendo isto em vista, o conhecimento das características do efluente é essencial para a determinação dos tratamentos que serão utilizados, bem como na determinação da fonte poluidora. Diversos parâmetros físicos e químicos são monitorados para caracterizar efluentes, em geral os mais importantes são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Oxigênio Dissolvido (OD), turbidez, cor, entre outros (BELTRAME *et al.*, 2016).

### **3.2.2. Efluente de biodiesel**

Os estudos sobre biodiesel estão concentrados em sua produção, potencial energético, estabilidade química, condições ideais de armazenamento, entre outros. Ainda são reduzidos, comparado aos citados, os estudos que investigam o efluente do biodiesel, bem como formas de tratamento (GONÇALVES, 2015).

O efluente é gerado no processo de purificação do biodiesel, este é realizado através de 3 etapas: decantação, lavagem e secagem. A lavagem aquosa tem por objetivo a extração de traços restantes de glicerina, catalisador e álcool. Em geral, a primeira lavagem apresenta uma fase aquosa opaca, enquanto que as seguintes são límpidas e transparentes (DAUD *et al.*, 2015).

Em métodos tradicionais, para cada litro de biodiesel produzido são gerados 3 litros de água de lavagem. É difícil avaliar o impacto ambiental causado por este efluente, porém o mesmo possui elevada carga orgânica apresentando indícios de alto grau de poluição e como resultado, não pode ser lançado em corpos hídricos receptores sem causar alterações significativas (DE BONI *et al.*, 2007; NEVES, 2011).

Além da elevada carga orgânica, com consequente consumo de oxigênio do meio aquático, o efluente de biodiesel possui altos valores de pH, quando proveniente de catálise alcalina, ou valores de pH baixos, oriundos do excesso de ácido adicionado na lavagem (ATADASHI, 2015).

Outro método de purificação para o biodiesel é a lavagem a seco realizada com a adição de adsorventes, em destaque a amberlite, magnesol, purolite, argila ativada, trisilo e carvão ativado. O processo consiste no emprego desses adsorventes em filtros, nos quais o biodiesel entra em contato através de um sistema em fluxo. Além da remoção dos resíduos, o processo apresenta zero geração de efluentes líquidos (ATADASHI, 2015; DEMIR *et al.*, 2016).

### **3.3 TRATAMENTOS PARA EFLUENTES DE BIODIESEL**

Acerca de lançamentos de efluentes o CONAMA, especificamente a resolução de nº430 de 2011, em seu artigo 16, afirma que “*Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis*”.

Portanto, é necessário que se faça algum tratamento neste efluente, dentre os mais utilizados estão os tratamentos químicos com coagulação e floculação, eletrocoagulação e biológico.

#### **3.3.1. Coagulação e floculação**

O processo de coagulação atua na desestabilização da emulsão, que resulta no favorecimento da agregação dos compostos e a formação dos flocos devido a forças de Van der Waals. A formação de flocos é responsável pela remoção de contaminantes tais como metais, resíduos tóxicos e outros componentes que estão

atrelados a parâmetros como DQO, DBO e turbidez. Geralmente utilizam-se sais metálicos no processo de coagulação, os quais destacam-se o sulfato de alumínio e de ferro, que depois de adicionados permitem a formação de precipitados de hidróxidos metálicos (GUIMARÃES, 2013; DAUD, 2015).

Santos (2014) observou que, no tratamento do efluente de biodiesel, o coagulante sulfato de ferro apresenta eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO de 86%, 97% e 30%, respectivamente. Ayoola *et al.*, (2016) encontraram que a melhor eficiência do sulfato de alumínio é alcançada em pH na faixa entre 6 e 7. Os autores obtiveram, após ajuste de pH, redução de 37,6% da DQO e 65,1% de DBO. Além destes, Guimarães (2013) relatou que nos processos de coagulação há a formação de uma grande quantidade de lodo, que necessita de descarte adequado.

### **3.3.1. Eletrocoagulação/floculação**

Técnicas eletroquímicas vêm sendo utilizadas no tratamento de diversos efluentes, aplicadas especialmente em esgotos sanitários, na remoção de óleos&graxas de efluentes industriais, em tratamentos de efluentes provenientes de indústrias têxteis, entre outros (SALA *et al.*, 2014; BOCOS *et al.*, 2015; GARCÍA-MONTOYA *et al.*, 2015; MA *et al.*, 2018).

O processo de eletrocoagulação, em que um reator eletroquímico realiza a coagulação, possui grande potencial de uso, pois apresenta como vantagens a rápida sedimentação dos flocos eletrogerados, menor tempo de retenção e menor produção de lodo. O processo parte da formação do coagulante que ocorre através da oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício, seguida da desestabilização dos contaminantes que permanecem em suspensões, agregando-se para formar os flocos (MOLLAH *et al.*, 2004; KOBYA *et al.*, 2006).

Aplicado em efluentes de biodiesel mostrou-se eficiente na redução de carbono orgânico total, com 60% em 4 horas e 71,5% em 6 horas determinado por Fernandes *et al.*, (2018), estes também observaram pequena formação de lodo. Valores similares foram também encontrados por Chavalparti *et al.*, (2009).

Bittencourt *et al.*, (2018), ao realizarem o tratamento com eletrofloculação, demonstraram a ineficiência na alteração de pH, já que este permaneceu com valores acima do VMP, estipulado em legislação. Em relação à DQO, os autores

determinaram uma redução máxima de 58%. Em outro teste de eletrofloculação, Palomino-Romero *et al.*, (2012) obtiveram 90% de redução de DQO.

### **3.3.3. Tratamento biológico**

Neste tipo de tratamento microrganismos são inseridos no efluente, acrescidos de nutrientes a base de nitrogênio, e controle de pH. O processo pode ser aeróbio e/ou anaeróbio, dependendo do valor da demanda química de oxigênio, sendo que em valores baixos, inferior a 100.000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, o processo pode ser aeróbio, e em valores mais altos (>100.000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) o processo deve ser anaeróbio (VELJKOVIĆ *et al.*, 2013).

Suehara *et al.*, (2011) utilizaram como microrganismo a *Rhodotorula mucilaginosa*, fungo da família dos Basidiomicetos. Foi observado que em efluentes com alto teor de sólidos totais, superior a 2,14 g L<sup>-1</sup>, os microrganismos não proliferavam. Sassi (2016) realizou o tratamento, do efluente de biodiesel, com 11 diferentes espécies de microalgas e avaliou o potencial de crescimento das microalgas. A autora observou que das 11 espécies, somente 3 proliferaram no efluente, *Monoraphidium contortum*, *Ankistrodesmus sp* e *Chlorococcum sp*, estas mostraram-se eficientes no tratamento de alguns parametros, obtendo 31,2% de redução de DQO.

No entanto, este tipo de tratamento ainda não mostra-se muito eficiente, tendo em vista que o efluente aquoso de biodiesel não contém nitrogênio, constituinte primordial para o crescimento de microorganismo.

## **3.4. ADSORÇÃO**

### **3.4.1. Definição**

O termo sorção é utilizado para processos em que ocorrem acúmulo de substâncias através da migração de uma fase para outra, onde no geral a fase receptora é sólida. Com isto, dois processos incluem a sorção de componentes: absorção e adsorção. A adsorção é caracterizada pela interação das moléculas com

a superfície do sólido, enquanto que na absorção as moléculas penetram no adsorvente (RUTHVEN, 1984; SCHWARZENBACH *et al.*, 2003).

A adsorção é constituída de 3 componentes, sendo eles o adsorvente, composto sólido onde ocorre o processo, adsorvato, a substância que será retirada do meio e solvente, meio onde o processo ocorre (MANAHAN, 2013)

Este processo pode acontecer de duas formas: adsorção química, também chamada de quimissorção, e adsorção física, fisissorção. Acerca disto, Nascimento *et al.*, (2014) afirmam que:

Dependendo da natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química. No caso de adsorção física, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular. Diferentemente, a quimissorção, a qual envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa nova ligação química e, portanto, bem mais forte que no caso da fisissorção (Nascimento *et al.*, 2014).

A quimissorção e a fisissorção ainda diferem em algumas características, como calor de adsorção, velocidade, entre outros. Estas características podem ser observadas na Tabela 02.

**Tabela 02** – Características de quimissorção e fisissorção.

<b>Quimissorção</b>	<b>Fisissorção</b>
Alto calor de adsorção	Baixo calor de adsorção
A superfície do adsorvente sofre modificação	Não há modificação na superfície do adsorvente
Ocorre em monocamada	Possível em monocamadas e multicamadas
Possível em grandes faixas de temperatura	Somente em baixas temperaturas
Reação lenta e irreversível	Rápida e reversível
Faz-se necessária ativação	Não necessita de ativação
Pode haver transferência de elétrons	Não há transferências de elétrons

Fonte: Adaptada de Borsato, 2018.

### **3.4.2. Fatores que afetam a adsorção**

A adsorção é resultado da combinação das forças que estão envolvidas, sejam física ou química. Sendo assim, vários fatores podem influenciar no processo como concentração inicial do adsorvato, interação com o solvente, a área superficial do adsorvente, temperatura, entre outros (NOMURA *et al.*, 2014; HU *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2019)

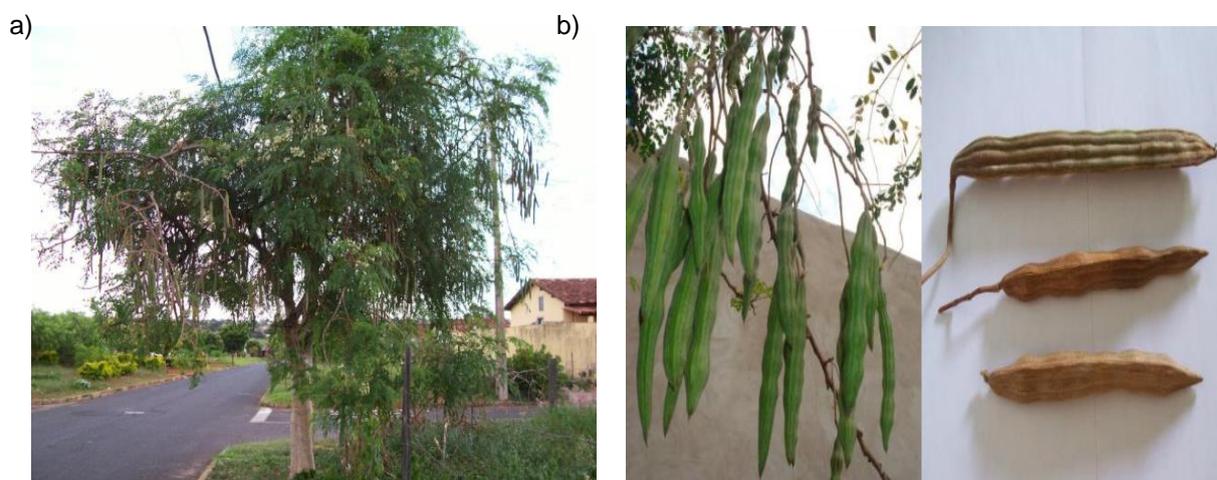
A concentração inicial do adsorvato afeta a velocidade de adsorção, tendo em vista que quanto maior a sua concentração, maior será o número de moléculas em competição para se adsorverem. A adsorção depende da interação do solvente, onde de maneira geral, ela se processa melhor em solventes de menor polaridade. A constante de velocidade de adsorção é afetada pela temperatura, em que o seu aumento favorece o incremento da difusão das moléculas na superfície do adsorvente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

### **3.5. MORINGA**

A *Moringa oleifera*, uma árvore da espécie *Moringaceae*, é nativa da Índia, sendo distribuída mundialmente com destaque na Ásia. A árvore pode alcançar 12 metros de altura e se desenvolve em condições variadas, desde semiáridos (precipitação de 250mm a 1500mm) à regiões com clima úmido (precipitação maior que 3000mm), com 6 meses de cultivo já é possível coletar as vagens com as sementes (LILLIEHÖÖK, 2005).

Os elementos majoritários da semente foram observados por Santana *et al.*, (2010), que ao realizarem uma caracterização, determinaram altas concentrações de enxofre, potássio e cálcio com 3,8, 2,3 e 0,9%, respectivamente. Além disso, a semente é constituída de 33% de lipídios, sendo cerca de 70% de ácido oleico. O alto percentual de ácido oleico indica potencial da semente para uso na produção de biodiesel. A Figura 02 ilustra a árvore e vagem.

**Figura 02** – a) Árvore da espécie *Moringa oleifera*. b) Vagem com as sementes.

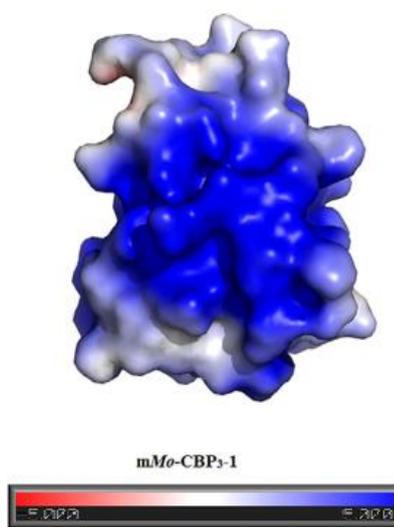


Fonte: ALMEIDA, 2010.

A espécie vem sendo utilizada em diversos programas sociais ao redor do globo, em destaque em regiões de desenvolvimento baixo, com problemas de potabilidade de água. A aplicação da moringa na clarificação de águas turvas já é conhecida, isso ocorre, pois a moringa contém proteínas de baixo peso molecular que em contato com a água adquirem cargas positivas, resultando na atração das moléculas de carga oposta. (ALMEIDA, 2009; VASCONCELOS, 2013).

As maiores frações de proteínas determinadas na semente de moringa estão atreladas a globulina e albumina, com 53 e 44%, respectivamente. A globulina é uma proteína solúvel em soluções salinas, enquanto a albumina apresenta solubilidade em água (Baptista *et al.*, 2017). A solubilidade das proteínas está atrelada a extração do agente coagulante da semente, que em geral é realizada em solução salina. A Figura 03 demonstra a carga superficial da Albumina 2S.

**Figura 03** – Carga superficial da Albumina 2S, extraída da *moringa oleífera* Lam. Azul, branco e vermelho representam as cargas positivas, neutras e negativas, respectivamente.



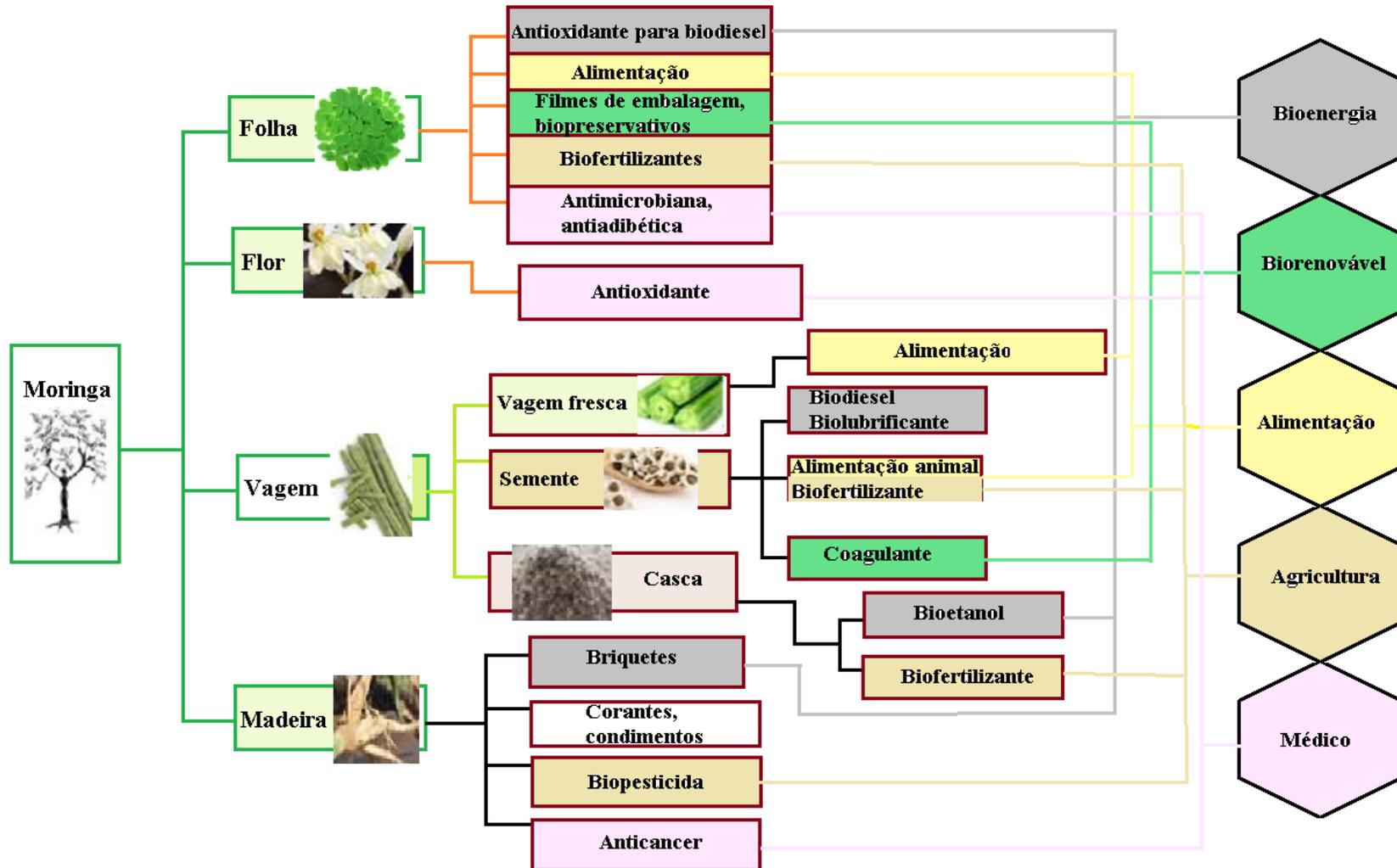
Fonte: Adaptada de ULLAH *et al.*, (2015).

As folhas, frutos verdes e sementes possuem potencial valor alimentar como fonte proteica, com 33,8%. Somados a isto, as folhas apresentam alto teor de vitaminas A, B e C, ferro e minerais (SGOBI *et al.*, 2015). Al-Malki e El Rabey (2015) observaram que a moringa possui efeito antidiabético, em que baixas doses da semente demonstraram eficiência no tratamento de diabetes tipo 1 em ratos. Neste teste foram avaliadas massas de moringa que variaram entre 50 e 100mg de sementes em relação ao peso do rato. A menor massa de moringa mostrou-se mais eficiente no procedimento.

Além de efeito antidiabético, a semente de moringa vem demonstrando atividade antioxidante, anti-inflamatória (JAJA-CHIMEDZA *et al.*, 2017),

antimicrobiana, citotóxica em tumores mamários e hepatoprotetoras (LEONE *et al.*, 2016). As principais utilizações da moringa podem ser vista na Figura 04.

Figura 04 – Principais usos da *Moringa Oleifera* Lam: Folha, flor, vagem e madeira.



Fonte: Adaptada de Raman *et al.*, (2018).

Em relação ao efeito de clarificação, Lima (2015) observou que a concentração de  $1 \text{ mg mL}^{-1}$  da semente foi suficiente para o tratamento de amostras aquosas com elevada turbidez, reduzindo para valores  $\sim 3 \text{ NTU}$ , além disto a autora demonstra que a moringa é biodegradável, ao contrário dos coagulantes químicos comumente usados, o que a torna mais vantajosa.

Contudo, o uso da semente como coagulante e/ou adsorvente apresenta resultados diferentes. Seu uso como coagulante faz-se através de extração, realizada através de solução salina. O tempo de tratamento está atrelado a eficiência de cada espécie, em que para tratamentos de curto período de tempo o coagulante mostra-se mais eficiente, enquanto que em uma maior faixa de tempo o uso da semente como adsorvente apresentou maior remoção de turbidez (ARANTES *et al.*, 2015).

### 3.6 PLANEJAMENTO FATORIAL

O principal interesse, para quem realiza um experimento, é avaliar a influência do conjunto de fatores que estão envolvidos. Estes podem ser qualitativos e quantitativos, e, em geral, são as variáveis que podem ser controladas. Com isso, são analisados pelo menos dois níveis: inferior (-) e superior (+), o comportamento da resposta é acompanhado com a variação dos fatores. Portanto, um experimento de  $k$  fatores e dois níveis, resulta no planejamento fatorial  $2^k$  (BARROS NETO *et al.*, 2007).

Esse modelo de planejamento é ideal para estágios iniciais do experimento, haja vista que é possível investigar um maior número de variáveis. O planejamento fatorial fornece o menor número de ensaios, com os quais pode avaliar os  $k$  fatores (CALADO *et al.*, 2003).

Utilizando um planejamento  $2^2$ , Medeiros *et al.*, (2017) realizaram um estudo sobre a influência da razão combustível/oxidante e da potência do micro-ondas na formação da  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Em 4 ensaios, observaram que o combustível apresentou a maior significância (comparado a potência), com o maior nível. Em relação a potência do micro-ondas a significância foi encontrada no menor nível.

Peloi *et al.*, (2016) realizaram um planejamento fatorial  $2^{4-1}$ , para otimizar a determinação da capacidade oxidante e doseamento de flavonoides em *Verbena minutiflora*, espécie de flor miúda. Em 8 ensaios os autores avaliaram os efeitos do

pH, líquido extrator (utilizado na extração do oxidante), método de extração (do oxidante) e o tempo de extração. Obtiveram que, na faixa estudada, a variação do pH não mostrou significância (pH 1-5), o líquido extrator foi significativo (com a mistura água/etanol). Em relação ao método de extração, o vórtex mostrou maior significância e, por fim, ao tratar o tempo de extração, o maior nível (15 min) apresentou o melhor resultado.

## **4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Todos os procedimentos experimentais foram desenvolvidos no Laboratório de Estudos em Química Ambiental – LEQA, da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Campus I. Os ensaios foram realizados com água residual de lavagem produzida no LEQA e também com amostras cedidas por uma usina piloto de produção de biodiesel, do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE, da cidade de Caetés, PE.

### **4.1. AMOSTRAS**

#### **4.1.1. Efluentes do biodiesel**

Três tipos de amostras de efluentes foram utilizadas no estudo. Duas foram cedidas pela usina e uma sintetizada em laboratório. As amostras fornecidas pela usina foram denominadas: L1 (amostra referente à 1ª lavagem) e L2 (amostra resultante da 2ª lavagem). Enquanto que a amostra produzida em laboratório foi denominada L3.

A produção do biodiesel na usina piloto foi realizada a partir do óleo de algodão através da rota metílica e catálise homogênea alcalina, com hidróxido de potássio (KOH). A purificação do biodiesel contou, primeiramente, com lavagem ácida (L1), usando ácido cítrico, e em seguida somente com adição de água (L2). Foram fornecidos 20 L de cada lavagem.

O biodiesel produzido no LEQA foi obtido através da reação de transesterificação de óleo de soja comercial, seguindo a metodologia de catálise homogênea alcalina descrita por Rosenhaim (2009), utilizando metanol (MeOH) e KOH. Com este método foram obtidos 500 mL de biodiesel, que foram purificados através de lavagens sucessivas, com água de torneira, até a completa retirada do KOH, que era acompanhada através da adição de fenolftaleína. Com este procedimento foram gerados 1,7 L de água de lavagem (L3) composta por uma amostra mista. As amostras podem ser visualizadas na Figura 05.

**Figura 05** – Amostras de efluentes de biodiesel: a) Amostra cedida pela usina, resultante da primeira lavagem com ácido cítrico; b) Amostra cedida pela usina, segunda lavagem com água; c) Amostra sintetizada em laboratório.

a) L1



b) L2



c) L3



Fonte: o autor.

A amostra L3 tem a aparência bem distinta das águas fornecidas pela usina, em que a amostra da primeira lavagem possui coloração alaranjada, a amostra L2 apresenta partículas em suspensão, de óleos e resíduos de ácidos graxos, e a amostra L3 é opaca e de coloração branca.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE

Todas as amostras foram submetidas à determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, turbidez, óleos&graxas.

### 4.2.1. pH

Para medida de pH foi utilizado um equipamento da marca ALFAKIT modelo AT – 355. Foi realizada prévia calibração no equipamento com 3 espécies de padrões: pH 4, pH 7 e pH 10. A calibração resultou em 99,3% de precisão nas medições.

#### **4.2.2. Turbidez**

A turbidez foi determinada utilizando turbidímetro modelo AP 2000-IR, POLICONTROL, com 3 faixas de suspensões padrão: 10, 100 e 1000 unidades nefelométricas de turbidez (NTU). A amostra L3 foi diluída com água destilada na razão 1:100 (v/v), as demais amostras não necessitaram de diluição.

#### **4.2.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO foi determinada através do método de refluxo fechado, onde 2,5 mL da amostra são adicionados a um frasco contendo 1,5 mL da solução de digestão, que é composta majoritariamente por dicromato de potássio e 3,5 mL da solução catalisadora, preparada com sulfato de prata e ácido sulfúrico concentrado. Em seguida o frasco foi fechado e transferido para o bloco digestor de modelo *Spectroquant* TR 420, MERCK, onde permaneceu por duas horas a 150 °C. Após isto, foi realizada titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal, conforme o método 5220 C, APHA (1999).

#### **4.2.4. Óleos&graxas**

O teor de óleos&graxas foi determinado através do método gravimétrico por meio de extração líquido-líquido. Em funil de separação as amostras foram dispostas em contato com éter e submetidas à agitação por cinco minutos. Depois de observada a separação das fases, o solvente foi transferido para uma coluna de carbonato de cálcio, a fim de retirar o resíduo aquoso. Em seguida a fase orgânica foi colocada em uma cápsula de porcelana, previamente preparada, que foi levada a estufa de secagem a 70 °C para a evaporação do solvente. Após resfriamento em dessecador, a cápsula foi transferida e novamente pesada. O teor de óleos e graxas foi calculado pela diferença de massa, antes e após o procedimento de extração.

### 4.3. OBTENÇÃO DO ADSORVENTE NATURAL

A coleta do material foi realizada em 2018 no sertão paraibano, na cidade de Sousa (Figura 06), no mês de novembro, durante o período da estiagem em 3 árvores.

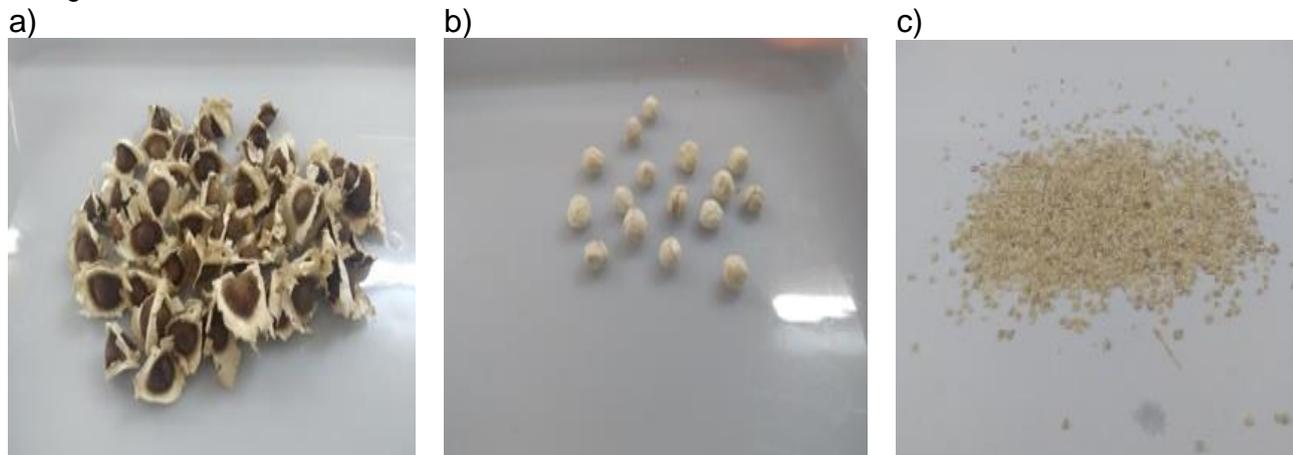
**Figura 06** – Coleta da moringa em Sousa - PB.



Fonte: o autor

Para os ensaios, a moringa foi beneficiada, com a separação da casca e amêndoa, e em seguida a amêndoa foi triturada com o auxílio de pistilo (Figura 07). A granulometria da moringa foi controlada, utilizando uma peneira em 14 mesh, para garantir a uniformidade das partículas a serem utilizadas nos experimentos.

**Figura 07** – Material usado como adsorvente. a) Moringa com casca; b) amêndoa moringa e c) triturada e com granulometria de 14 mesh.



Fonte: o autor.

### 4.3.1. Ponto de Carga Zero

A moringa foi submetida a avaliação do ponto de carga zero (PCZ). O experimento foi realizado com 10 pontos, partindo de solução de pH 2 até pH 11. As soluções foram preparadas com cloreto de sódio (NaCl) 0,1 mol L<sup>-1</sup> e o pH controlado com adição de ácido clorídrico (HCl) e/ou hidróxido de sódio (NaOH), ambos com concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A massa de moringa utilizada foi fixada em 50 mg, com tempo contato com as soluções de 24 horas sob agitação constante, em mesa agitadora orbital.

## 4.4. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi planejado a partir da variação de 3 componentes: concentração de moringa (1,3, 4 e 6,6 g L<sup>-1</sup>), diluição das amostras em água pura (10, 30 e 50%) e tempo de contato da moringa com as amostras (30, 60 e 90 min), sob agitação constante em mesa orbital a 81 RPM.

Para o planejamento experimental foi usado o *software* STATISTICA da StatSoft, na ordem de 2<sup>3</sup> (2 níveis e 3 variáveis) com ponto central em triplicata, todos os ensaios foram repetidos em triplicata e sua matriz pode ser visualizada na tabela 03.

**Tabela 03** – Matriz do planejamento 2<sup>3</sup>, com a variação da concentração da moringa, diluição em água e tempo de contato.

Variáveis	Níveis		
	(-)	0	(+)
Conc. Moringa (g L <sup>-1</sup> )	1,3	4,0	6,6
Diluição em água (%)	10	30	50
Tempo de contato (min)	30	60	90

Os valores para a concentração de moringa utilizada no estudo foram determinados através de otimização, partindo de uma correlação das concentrações

mais utilizadas de adsorventes/coagulantes para o efluente de biodiesel e de moringa em outros efluentes, que vão da faixa de 5,5 a 15,0 g L<sup>-1</sup> (PITAKPOOLSIL *et al.*, 2014, VALVERDE *et al.*, 2018).

A importância da diluição é expressa na literatura para evitar a saturação do adsorvente no processo, com isso, as diluições de 10 e 50% expressam a concentração da amostra após a diluição. Logo, 10 e 50% significa a percentagem da amostra naquela diluição.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE EFLUENTE

A Tabela 04 apresenta os resultados da caracterização das amostras. Essas demonstram características bem distintas, que pode ser explicado pelos diferentes procedimentos utilizados na purificação do devido às diferentes técnicas utilizadas na purificação do biodiesel.

**Tabela 04** – Características físicas e químicas das amostras de lavagem do biodiesel, antes do tratamento.

Parâmetro	Amostras		
	L1	L2	L3
pH	2,1	3,2	10,5
DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	21.969	6.364	25.757
Turbidez (UNT)	6,6	15,9	2.140
Óleos e graxas (mg L <sup>-1</sup> )	920	1.765	1.530

#### 5.1.1. pH

É possível observar que as amostras L1 e L2 apresentam baixos valores de pH, de 2,1 e 3,1, respectivamente. Isso é justificado pela adição de ácido cítrico no processo de purificação, que resultou as amostras. O menor valor de pH, da amostra L1 pode ser devido à adição do ácido, a qual é realizada na primeira lavagem, enquanto a L2 é resultado da segunda lavagem é realizada somente com água, mas que ainda apresenta caráter ácido devido o arraste do excesso da primeira lavagem.

Da mesma forma, Ngamlerdpokin *et al.*, (2011), Cordeiro *et al.*, (2015) e Barcelar (2012), que aplicaram lavagem ácida em suas amostras, encontraram pH nos valores de 2,5, 3,1 e 3,5, respectivamente. O intuito da lavagem ácida é evitar o processo de saponificação, resultado da hidrólise básica dos ésteres de ácidos graxos, onde estes reagem com o catalisador alcalino formando sabão e água ao

invés de biodiesel, o que leva à redução do rendimento da reação (RINALDI *et al.*, 2007; JARUWAT *et al.*, 2010).

A amostra oriunda do biodiesel produzido no LEQA possui alto valor de pH, 10,5, porque a lavagem foi realizada somente com água, sem a adição de ácido. Da mesma maneira, Grangeiro *et al.*, (2018), Suehara *et al.*, (2005) e Rinna *et al.*, (2017) encontraram valores entre 6,4 e 11,0, para efluentes de lavagem somente com água.

Independente do modo de purificação do biodiesel, o efluente gerado nesta etapa, apresenta pH em não conformidade com o que prevê a legislação brasileira, que estabelece valores de pH entre 5 e 9, para lançamento de efluentes em sistemas aquáticos (BRASIL, 2011).

### **5.1.2. Turbidez**

As amostras L1 e L2 apresentaram baixos valores de turbidez, 6,56 e 15,9 NTU, respectivamente (Tabela 04), em contraste com os valores da amostra L3, com turbidez de 2.140 UNT. Isto ocorre, porque a adição do ácido no processo de lavagem e a saponificação estão diretamente relacionadas com a turbidez presente neste tipo de amostra, visto que o sabão formado na ausência do ácido, permanece em suspensão e eleva a turbidez. Estes dados eram esperados uma vez que as amostras que apresentaram menor turbidez, L1 foram L2, da lavagem ácida, enquanto a L3 continha sabão e conseqüentemente maior turbidez.

Este efeito também é reportado na literatura por Grangeiro *et al.*, (2018) e Gonçalves *et al.*, (2017), que relataram turbidez entre 1.125 e 1.752 UNT para amostras de água de lavagem sem adição de ácido. Enquanto Cordeiro *et al.*, (2015) encontraram 68,4 UNT como resultado de lavagem ácida.

### **5.1.3. Demanda Química de Oxigênio**

O maior valor obtido de Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi para a amostra L3 (Tabela 04), com 25.757 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, seguida das amostras L1 e L2 com 21.969 e 6.364 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, respectivamente. Altos valores de DQO em amostras similares à L1 e L3, foram também encontrados por Berrios (2008), Braga (2012) e Gonçalves *et al.*,

(2017) que reportaram 18.362, 25.140 e 26.376 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DQO, respectivamente. Enquanto Grangeiro *et al.*, (2018) e Cordeiro *et al.*, (2015) determinaram 9.500 e 5.293 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>.

Em comparação as amostras de Grangeiro *et al.*, (2018) e L3 tem em comum o fato de derivarem da purificação de biodiesel obtido de óleo de soja, porém com álcool (utilizado na transesterificação) diferente. Todavia, as amostras L1 e L2 se assemelham às de Braga (2012), resultantes de biodiesel produzido com metanol, mas a partir de diferentes matérias-primas.

Tal comportamento demonstra que a DQO pode variar de acordo com a matéria-prima utilizada e os meios de produção. Contudo, observa-se que amostras produzidas de metanol, possuem a característica de apresentar maior DQO. A amostra L2, deriva de metanol, entretanto, é encontrada com baixa DQO, pois os resíduos do álcool se mostram mais presentes na primeira lavagem, e a amostra L2 é referente a segunda lavagem do processo.

#### **5.1.4. Óleos&graxas**

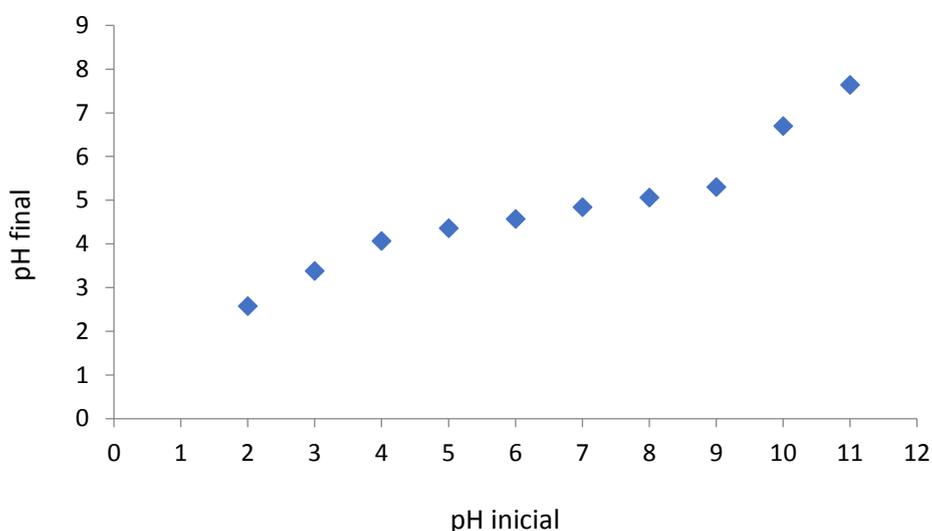
No que diz respeito à presença e quantidade de óleos&graxas, o maior teor foi encontrado na amostra L2 que apresentou 1.765 mg L<sup>-1</sup>, 920 mg L<sup>-1</sup> para L1 e 1.530 mg L<sup>-1</sup> para L3. Isto pode ser resultado da solubilidade dos componentes com a água, tendo em vista que na primeira lavagem do biodiesel são arrastadas as substâncias que possuem maior afinidade, como os resíduos de álcool e do catalisador, e na segunda lavagem, os ácidos graxos começam a ser retirados (GRANGEIRO *et al.*, 2018).

Este efeito também foi observado por Braga (2012), com os teores de óleos e graxas variando de 2.075 a 4.833 mg L<sup>-1</sup> para primeira e segunda lavagem, respectivamente. Em amostras de única lavagem, como nos trabalhos de Nasir *et al.*, (2014), Pitakpoolsil (2014) e Daud *et al.*, (2015) que determinaram o teor de óleos&graxas entre 1.040 e 2.700 mg L<sup>-1</sup>.

### 5.1.5. Ponto de carga zero (PCZ)

O PCZ obtido para a moringa foi no valor de 4,46, onde os pontos variaram entre pH 2,58 e 7,64. Este resultado também foi observado por Reck *et al.*, (2018) e Gonçalves *et al.*, (2012) que encontraram valores entre 4 e 5. A Figura 08, a seguir, mostra a variação do pH no ensaio de PCZ.

**Figura 08** - Valores de pH no decorrer do ensaio de PCZ para a moringa.



Como o pH das amostras L1 e L2 são inferiores ao obtido no PCZ, os compostos aniônicos presentes nas mesmas irão interagir com a superfície da moringa. Já na amostra L3, que possui pH superior ao PCZ, são os compostos catiônicos, provavelmente o potássio livre, que deveria interagir com a superfície da moringa. Vale salientar, que esta superfície é catiônica, portanto, a interação com potássio é pouco provável.

## 5.2. AVALIAÇÃO DA SEMENTE DE MORINGA COMO ADSORVENTE

A aplicação do planejamento experimental com 3 variáveis, concentração de moringa, diluição das amostras em água pura e tempo de contato da moringa com as amostras, gerou os dados que estão sendo apresentados e discutidos, a seguir.

### 5.2.1. pH

Após o tratamento proposto, os valores de pH ficaram na faixa entre 2,8 e 9,0, para as amostras L1, L2 e L3, e podem ser observados na Tabela 05.

**Tabela 05** – Valores de pH após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.

Ensaio	Diluição (%)	Conc. Moringa (g L <sup>-1</sup> )	Tempo (Min)	pH		
				L1	L2	L3
1	10	1,3	30	3,3	6,6	8,4
2	50	1,3	30	2,8	3,9	9,0
3	10	6,6	30	3,6	6,8	8,2
4	50	6,6	30	3,0	4,3	8,3
5	10	1,3	90	3,2	6,6	8,5
6	50	1,3	90	2,8	3,9	9,0
7	10	6,6	90	3,5	6,8	8,2
8	50	6,6	90	3,0	4,4	8,4
9a	30	4,0	60	3,0	5,6	8,3
9b	30	4,0	60	3,0	5,5	8,3
9c	30	4,0	60	3,0	5,5	8,3
<b>Valores de pH antes do tratamento</b>				2,1	3,1	10,5

A legislação brasileira regulamenta as diretrizes ambientais das águas e estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes, através das

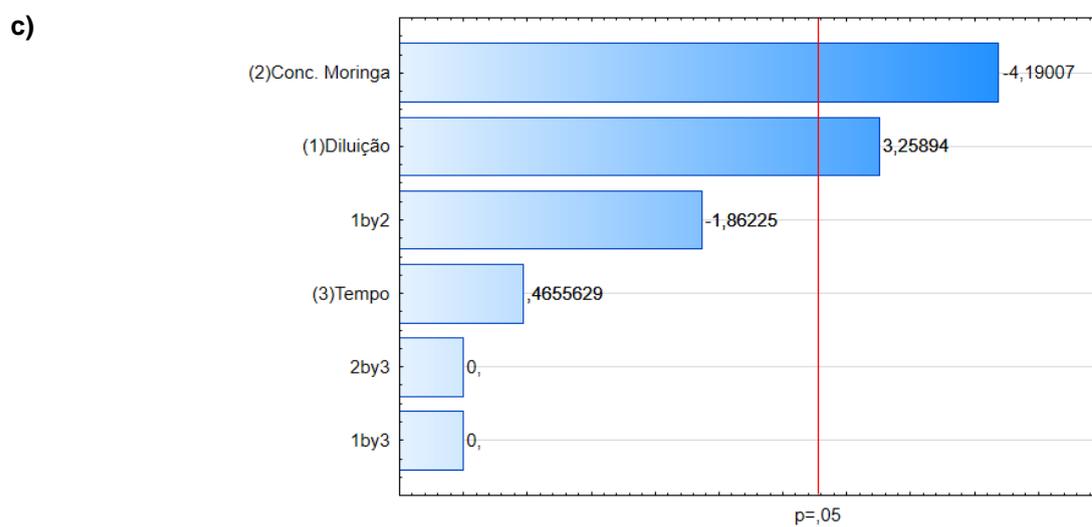
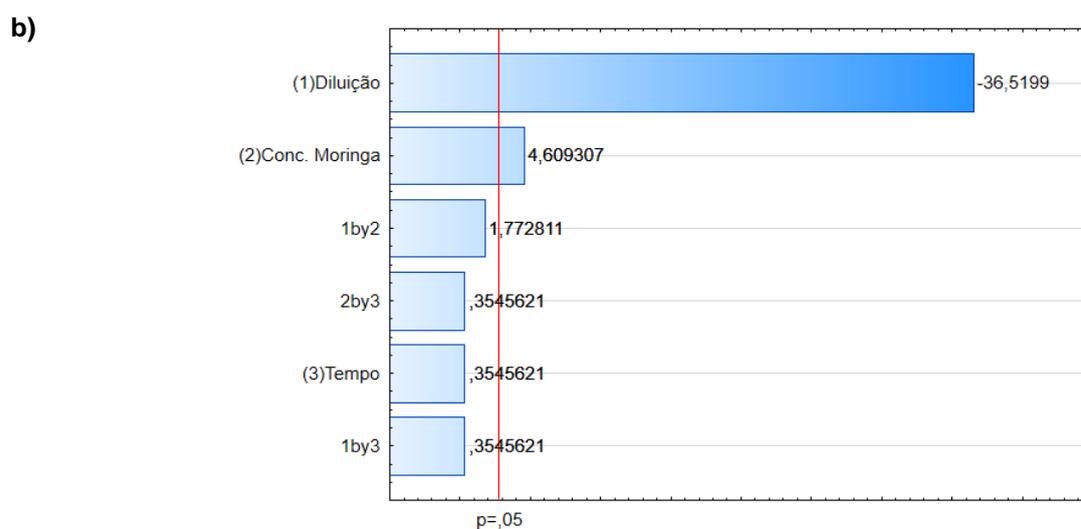
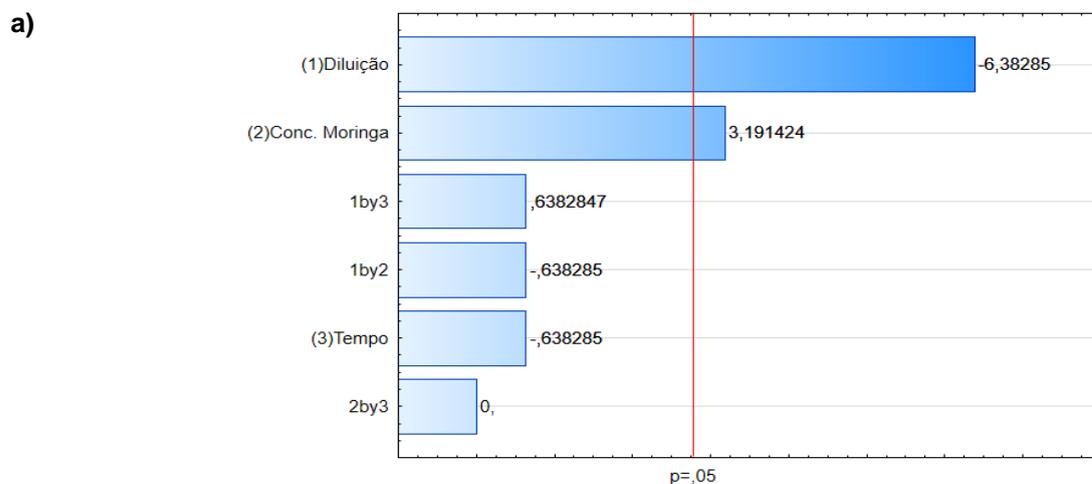
Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, de nº 357/05, alterada pela nº 410/09 e complementada pela de nº 430/11. Estas resoluções estabelecem que os efluentes lançados em corpos d'água receptores estejam com o valor de pH entre 5 e 9. Especificamente, na Resolução 430/11, em seu Art. 2º afirma que “a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões desta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas”. Dentro deste contexto, na amostra L1 o pH passou de 2,1 para um valor máximo de 3,6 mesmo após o tratamento, permanecendo fora dos valores máximo permitidos (VMP) da legislação. Este fato, provavelmente, acontece devido ao excesso de ácido adicionado no processo de purificação do biodiesel, que pode estar exercendo um efeito tamponante na amostra.

Em relação à amostra L2 o maior valor foi 6,8, enquadrando-se nas normas, o que indica uma ação efetiva da moringa sobre o pH. Dos 11 tratamentos realizados, 7 mostraram eficiência sobre o pH da amostra, elevando para valores na faixa de 5,5 a 6,8. Para a amostra L3, o uso da moringa foi capaz de reduzir o pH de 10,5 para intervalos entre 8,2 e 9,0, apresentando resultados adequados (pH 5 - 9) em todos os ensaios propostos, em que no ponto ótimo foi de 8,2.

Meneses *et al.*, (2011) realizaram o tratamento da água de lavagem utilizando eletrocoagulação e observaram que, a partir de amostras com pH 5, o procedimento ocasionou a elevação do pH para valores entre 8,2 e 10. Já Gonçalves *et al.*, (2017) aplicaram íons coagulantes de  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$  ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  e  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , partindo de pH 9,7 conseguiram redução a 3,7 ( $Al^{3+}$ ) e 2,8 ( $Fe^{3+}$ ). Ngamlerdpokin *et al.*, (2011) utilizando os dois processos, tanto eletrocoagulação quanto coagulação química (com  $Al_2(SO_4)_3$ ) relatam (com pH inicial de 2,5) pH no valor de 12,5 e 3,4, respectivamente. Apesar de já terem sido aplicados tratamentos químicos e físicos, nem todos tiveram efeito positivo sobre a redução e/ou aumento de pH, a fim de atender às legislações vigentes.

As relações entre as variáveis, tratando de significância, podem ser observadas na Figura 09 que representa o gráfico de Pareto com o modelo de Erro Puro. Os erros do modelo determinados para as amostras foram de 0,012, 0,009 e 0,023 para as amostras L1, L2 e L3, na devida ordem.

**Figura 09** – Gráficos de Pareto demonstrando o efeito de significância das variáveis na alteração de pH nas amostras – a)L1, b)L2 e c)L3 após tratamento.



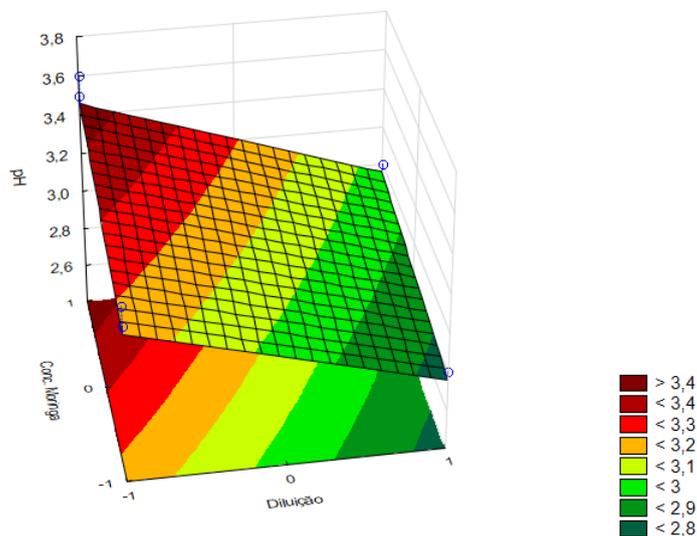
As variáveis diluição e concentração de moringa mostraram-se significativas em todas as amostras. A variável tempo, que relaciona o contato da moringa com a amostra, não apresentou significância, nestas condições, demonstrando que os 30 minutos iniciais ofereceram resposta estatisticamente similar a 90 minutos. Isto ocorre, possivelmente, pois com a diluição, variável mais significativa nas amostras L1 e L2, as concentrações dos íons  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_3\text{O}^+$  são reduzidas, instantaneamente. A amostra L3 apresenta um comportamento particular, comparada as demais, o qual a concentração de moringa mostra-se mais significativa que a diluição, isto, provavelmente, é resultado da superfície catiônica da moringa que apresenta grande afinidade com as hidroxilas livres em solução.

O pH mais próximo de 7, para as 3 amostras, foi obtido nos ensaios em que eram utilizados a maior concentração de moringa ( $6,6 \text{ g L}^{-1}$ ) e a menor diluição da amostra (10%), enquanto que os menores resultados encontram-se relacionados à menor concentração de moringa ( $1,3 \text{ g L}^{-1}$ ) e maior diluição (50%). As relações entre as tendências das variáveis, do tratamento, podem ser visualizadas na Figura 10, que representa a superfície de resposta do parâmetro.

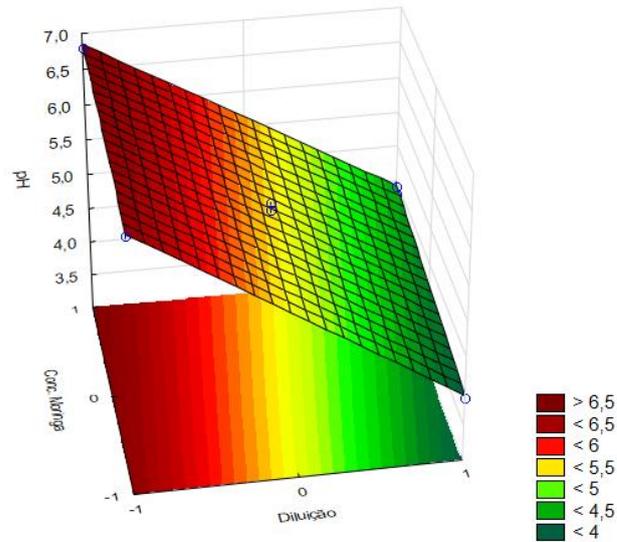
A superfície de resposta demonstra qual a condição do processo que levará ao valor ótimo, onde essa é representada graficamente em função das variáveis do processo (BARROS *et al.*, 1995). Observa-se que os melhores valores de pH estão relacionados com a maior concentração de moringa ( $6,6 \text{ g L}^{-1}$ ) e menor diluição (10%), em todas as amostras.

**Figura 10** – Superfície de resposta para o pH, em função da concentração de moringa e da diluição. amostras - a) L1; b) L2; c) L3.

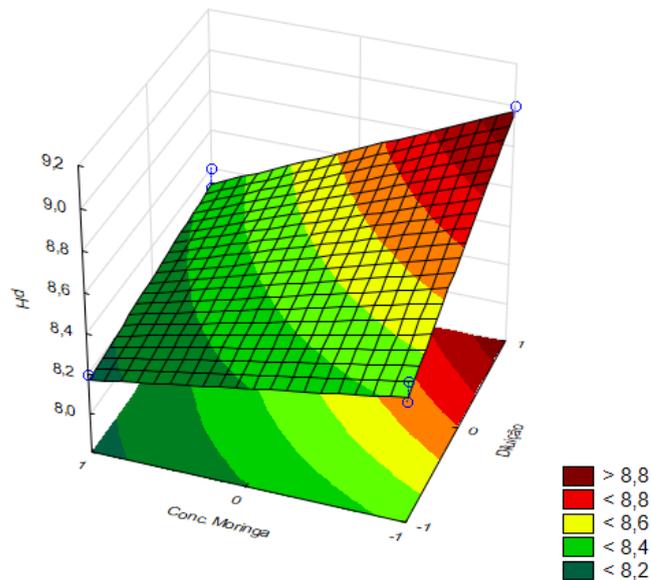
a)



b)



c)



### 5.2.2. Demanda química de oxigênio

A resolução CONAMA nº 357/05, complementada pela nº 430/11, não estabelece um limite máximo de DQO aceitável, porém altos valores deste parâmetro são prejudiciais para a manutenção da vida aquática. Tendo em vista que a DQO é um indicador indireto de matéria orgânica (MO), e que, portanto, ela não determina a concentração específica dessa substância, mas sim a quantidade de oxigênio que é consumido durante a degradação/mineralização da MO. O consumo do oxigênio pela MO reduz o oxigênio disponível no meio aquático e, conseqüentemente, prejudica

toda a comunidade presente nas águas (MANAHAN, 2013). Na Tabela 06, consta os valores obtidos na redução da DQO.

**Tabela 06** – Valores de eficiência de redução de DQO após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.

Ensaio	Diluição (%)	Conc. Moringa (g L <sup>-1</sup> )	Tempo (Min)	Red-DQO (%)		
				L1	L2	L3
1	10	1,3	30	94	75	91
2	50	1,3	30	77	42	78
3	10	6,6	30	90	39	86
4	50	6,6	30	73	34	72
5	10	1,3	90	97	79	93
6	50	1,3	90	79	47	80
7	10	6,6	90	92	44	88
8	50	6,6	90	75	39	74
9a	30	4,0	60	85	50	82
9b	30	4,0	60	85	50	82
9c	30	4,0	60	85	50	82

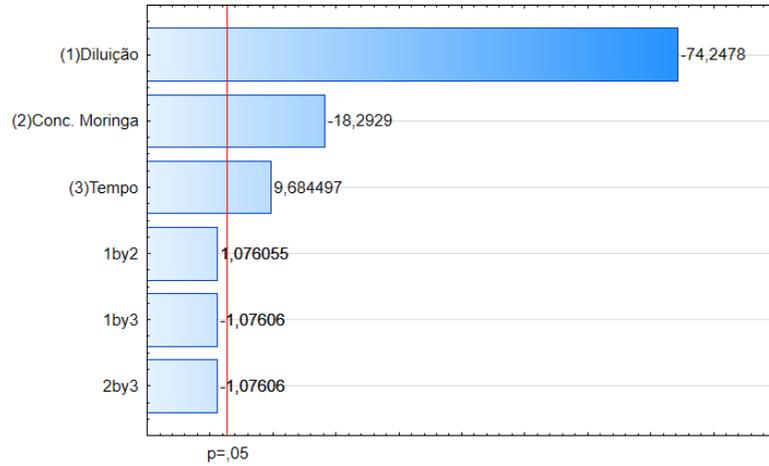
Após todos os tratamentos, a redução dos valores de DQO variou entre 73 e 97, 34 e 79, 72 e 93%, para as amostras L1, L2 e L3, nesta ordem, demonstrando eficiência na redução da DQO. Gonçalves *et al.*, (2017) obtiveram diminuição de DQO de 64,5% e 64,3% utilizando íons coagulantes Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, respectivamente, enquanto que Pitakpoolsil *et al.*, (2014) relataram uma redução de 87,9% em tratamento realizado com adsorção de flocos de quitosana. Observa-se que para esse parâmetro o tratamento com a moringa mostra-se mais eficiente e os valores da eficiência na redução de DQO (Efc-DQO)

As amostras L1, L2 e L3 apresentaram 97, 79, 93%, na devida ordem, na maior redução de DQO. A relação de significância das variáveis pode ser visualizada no gráfico de Pareto, Figura 11, com 95% de confiança. O modelo utilizada, assim como

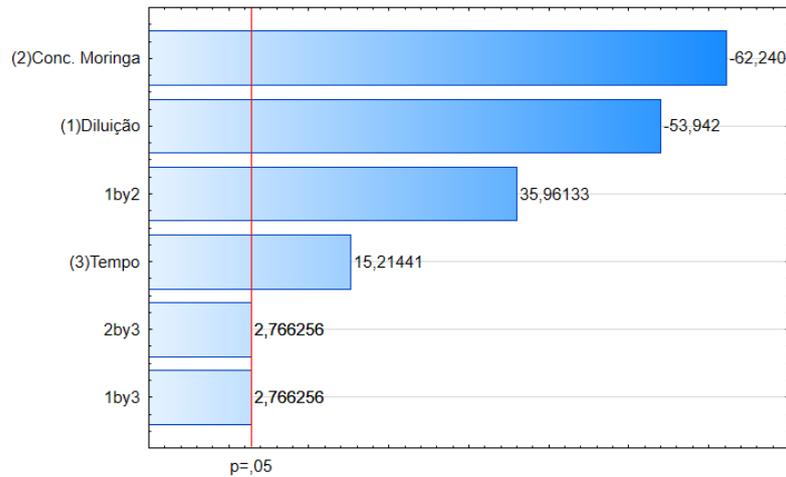
para o pH foi o de Erro Puro, no qual o erro determinado para as amostras L1, L2 e L3, foi de 0,11, 0,26 e 0,31, nesta ordem.

**Figura 11** – Gráficos de Pareto demonstrando a significância das variáveis para a Efc-DQO nas amostras a) L1, b) L2 e c) L3 após tratamento.

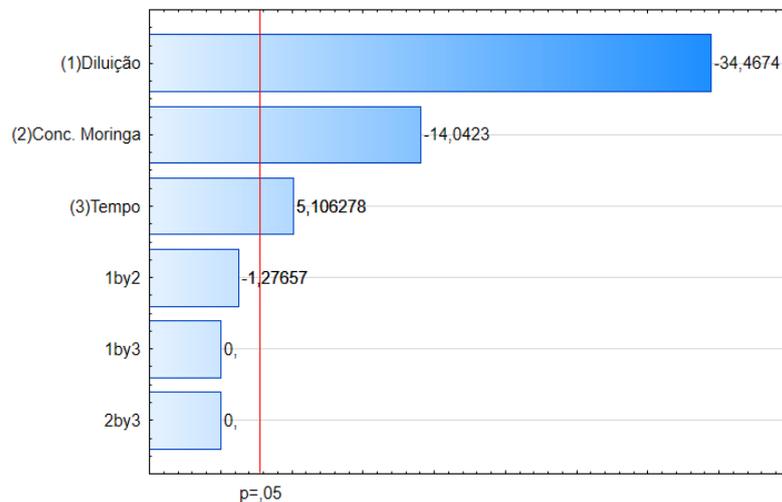
**a)**



**b)**



**c)**



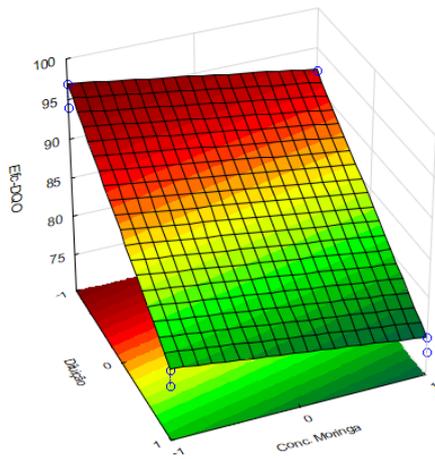
A avaliação mostrou que a concentração de moringa, diluição e tempo mostraram-se significativas, nas condições estudadas, expostas na tabela 06. A amostra L2 apresenta, além dos variáveis anteriormente citadas, interação significativa da concentração de moringa com a diluição.

O ponto ótimo para o tratamento foi alcançado no ensaio que possuía como característica a menor diluição (10%), a menor concentração de moringa ( $1,3 \text{ g L}^{-1}$ ) e o maior tempo de contato (90 min). Foi realizado teste com tempo superiores a 90 min, nos quais os 90 min permanecem atrelados a maior redução. Essa tendência pode ser vista na Figura 12, que apresenta a superfície de resposta, dos ensaios para a eficiência da DQO.

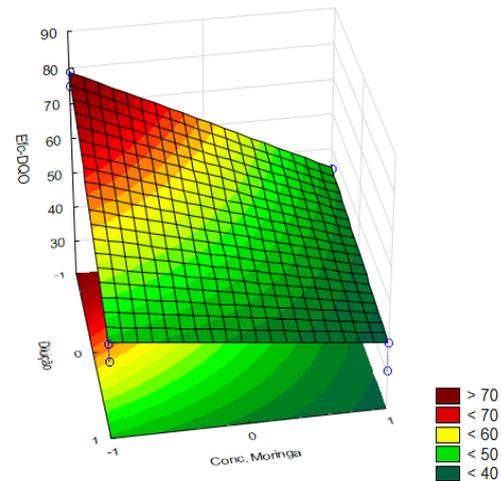
**Figura 12** – Superfície de resposta para a Efc-DQO, em função da concentração de moringa, diluição e tempo de contato.

a) L1

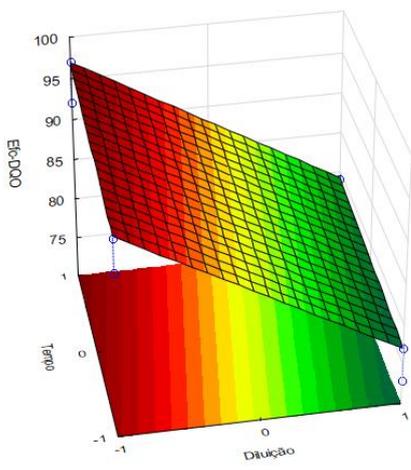
b) L2



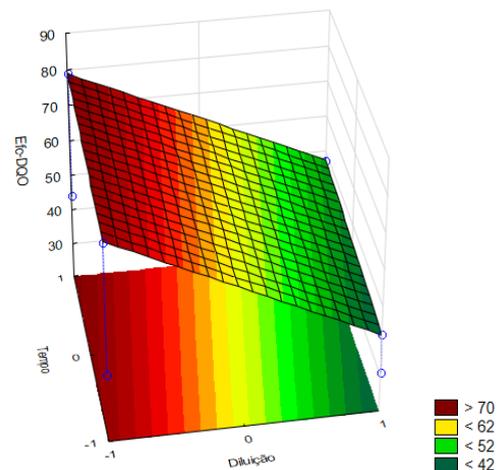
Diluição X Conc. Moringa



Diluição X Conc. Moringa

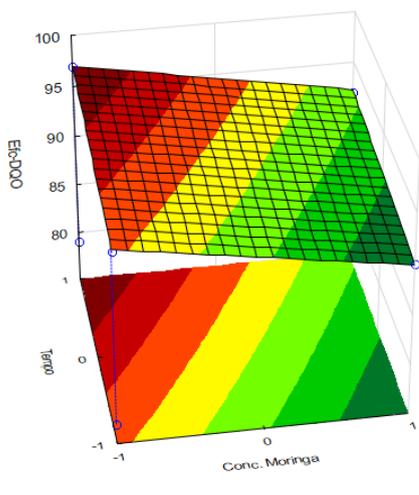


Diluição X Tempo

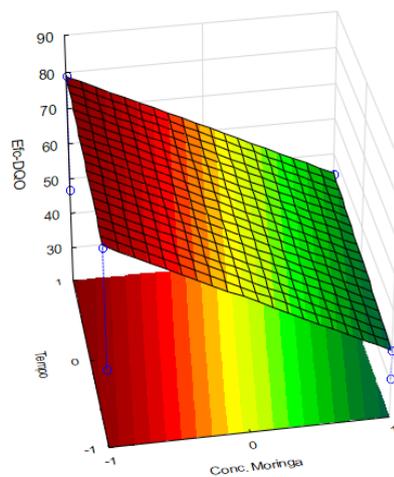
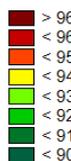


Diluição X Tempo

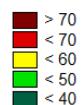
Figura 12 – Continuação



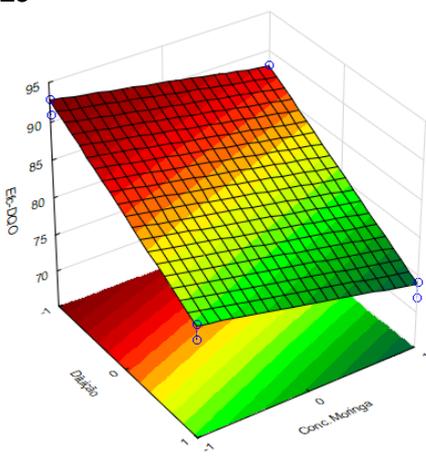
Conc. Moringa X Tempo



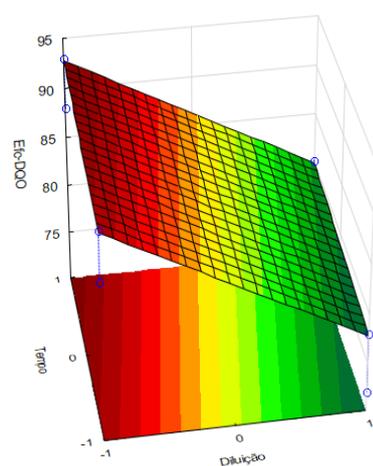
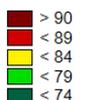
Conc. Moringa X Tempo



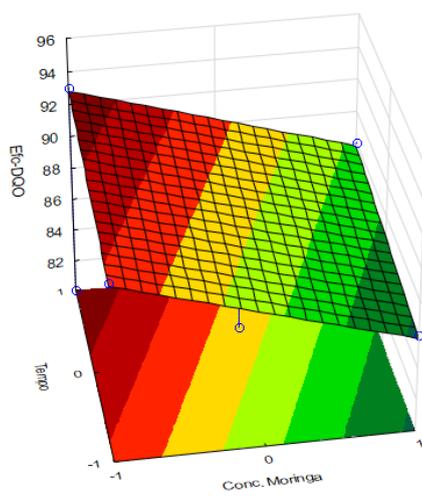
c) L3



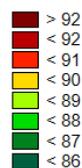
Diluição X Conc. Moringa



Diluição X Tempo



Conc. Moringa X Tempo



A menor concentração de moringa proporcionou uma maior eficiência na redução da DQO, pois nessa não há resíduo excedente do adsorvente no tratamento, ao contrário do que utilizava a maior concentração do adsorvente. O excesso de moringa induz ao acréscimo da carga orgânica presente na amostra, elevando o carbono orgânico dissolvido e conseqüentemente a DQO (CARVALHO, 2015).

A diluição de 10% levou a baixos valores de DQO, pois um menor volume da amostra inicial apresenta baixa concentração de matéria orgânica, tendo em vista que a água utilizada na diluição não contribui para a DQO. A variação do tempo, para a DQO, foi significativa demonstrando que a moringa possui menor afinidade com os compostos que se relacionam com a DQO, por conseguinte, necessita de uma maior faixa de tempo para a adsorção. Isto, provavelmente, se dá pelo fato da moringa apresentar característica polar, possuindo em sua superfície cargas catiônicas, oriundas das proteínas presentes. Logo ela precisa de mais tempo para interagir com compostos orgânicos de cadeias longas que apresentam características apolares, como os aminoácidos e ácidos graxos.

### **5.2.3. Turbidez**

Em relação à turbidez, somente a amostra L3 estava fora do recomendado pela resolução CONAMA nº 357/05 e nº 430/11, que estipula turbidez máxima de 100 NTU. Com o tratamento, os valores ficaram entre 4,7 e 37,5 NTU e com redução máxima de 99,8%. Entretanto, após o tratamento ocorreu uma elevação da turbidez nas amostras L1 de 8,57 para 35,8 e L2 de 37,1 para 98,1 NTU. Os valores determinados para o parâmetro podem ser observados na Tabela 07.

**Tabela 07** – Turbidez determinada nas amostras após aplicar os tratamentos, conforme planejamento experimental.

Ensaio	Diluição (%)	Conc. de Moringa (g L <sup>-1</sup> )	Tempo (Min)	Turbidez (NTU)		
				L1	L2	L3
1	10	1,3	30	17,8	45,7	25,7
2	50	1,3	30	16,8	49,6	5,6
3	10	6,6	30	24,1	40,2	37,5
4	50	6,6	30	35,8	98,1	19,4
5	10	1,3	90	18,5	42,3	24,3
6	50	1,3	90	9,0	40,4	4,7
7	10	6,6	90	24,7	37,1	33,9
8	50	6,6	90	34,3	77,3	16,2
9a	30	4,0	60	23,1	65,9	35,1
9b	30	4,0	60	22,2	64,3	34,8
9c	30	4,0	60	22,6	65,7	34,3
<b>Valores de turbidez antes do tratamento</b>				6,6	15,9	2.140

Gonçalves *et al.*, (2017) trabalharam com águas de lavagem com 1.752 NTU e obtiveram respostas de 8,1 e 24,2 NTU, utilizando os íons coagulantes Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, com redução máxima de 99,5% com Al<sup>3+</sup>. Contudo, nos parâmetros aqui mostrados o tratamento, de Gonçalves e colaboradores, se mostrou eficiente apenas para turbidez, haja vista que os valores de DQO e pH permaneceram fora do VMP.

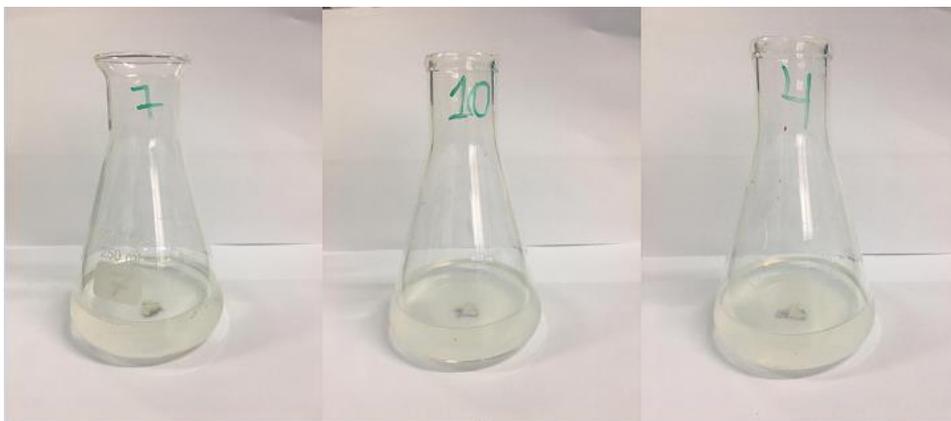
A Figura 13 mostra a turbidez das amostras dos ensaios que apresentaram os menores valores, intermediários e com maior turbidez, para as amostras L1, L2 e L3. Foi observado que todos os tratamentos propostos se mostraram eficientes em relação à turbidez, tendo em visto que se enquadram no VMP. O ponto ótimo, ou seja, o de menor turbidez, apresentou a maior diluição da amostra (50%), menor concentração de moringa (1,3 g L<sup>-1</sup>) e maior tempo de contato com o adsorvente (90 min).

**Figura 13** – Comparação da turbidez para os ensaios. a) L1, b) L2 e c) L3.

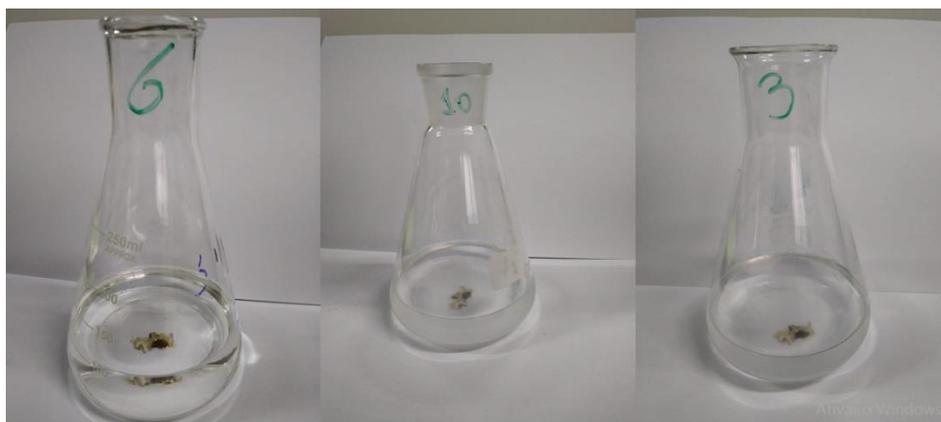
a)



b)



c)



Fonte: o autor.

## 6. CONCLUSÕES

O planejamento experimental foi realizado com as 3 variáveis, essas analisadas em 2 níveis, somadas a um ponto central trabalhado em triplicata, totalizando 11 ensaios. Os efeitos das variáveis foram acompanhados pelo gráfico de Pareto e superfícies de resposta, utilizando o modelo de Erro Puro.

As amostras L1, L2 e L3 foram caracterizadas e notou-se que, com exceção da turbidez nas amostras L1 e L2, estavam em desacordo com as normas estabelecidas pela resolução CONAMA nº 357/2005, complementada pela nº430/2011.

Depois de aplicados o tratamento com a semente da *Moringa Oleifera* Lam, foi observado que em relação ao pH, não foi eficiente para a amostra L1, nas demais, com destaque a amostra L3 se enquadrou no VMP.

No que tange a DQO, mostrou eficiência em sua redução com destaque as amostras L1 e L3 que apresentaram 97 e 93%, respectivamente, valores superiores ao encontrado em literatura. Em relação à turbidez todas as amostras se enquadraram dentro do VMP. A amostra L3 se destacou com redução superior a 99% na turbidez.

## REFERÊNCIAS

AL-MALKI, Abdulrahman L.; EL RABEY, Haddad. The Antidiabetic Effect of Low Doses of *Moringa oleifera* Lam. Seeds on Streptozotocin Induced Diabetes and Diabetic Nephropathy in Male Rats. *BioMed Research International*, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1155/2015/381040>.

ALMEIDA, I.L.S. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DA TORTA DE MORINGA OLEIFERA PARA BTEX EM AMOSTRAS AQUOSAS. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2010.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel. 2016. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washigton: American Public Heath Association, 1999.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RODRIGUES, D. S.; HATORI, P. S.; PIRES, M. S. G. Diferentes formas de aplicação da semente de *Moringa oleifera* no tratamento de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 266-272, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p266-272>.

ATADAHI, IM. Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies. *Alexandria Engineering Journal*, v. 54, p. 1265-1272, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.08.005>.

AYOOLA, A.A; ORESEGUN, O.R; OLADIMEJI, T.E; LAWAL, S.A. TREATMENTS OF BIODIESEL WASHING WATER. *International Journal of Management, Information Technology and Engineering*, v. 4, p. 27-34, 2016.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. *Química Ambiental*. 4 ed. Porto Alegre. Bookman, 2011. 844 p.

BAPTISTA, A.T.A.; SILVA, M.O.; GOMES, R.G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* Lam and its application in superficial water treatment. *Separation and Purification Technology*, v. 180, p. 114-124, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.040>.

BARCELAR JUNIOR, Alcyr da Cunha. Tratamento fotocatalítico (TiO<sub>2</sub>/UV) de águas ácidas de lavagem de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de São Paulo. 2012.

BARROS NETO, B., SCARMINIO, I.S., BRUNS, R.E. Planejamento e otimização de experimentos. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 303 p.

BARROS NETO, B., SCARMINIO, I.S., BRUNS, R.E. Como fazer experimentos: pesquisas e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007.

BELILA, A.; EL-CHAKHTOURA, J.; OTAIBI, N.; MUYZER, G.; GONZALEZ-GIL, G.; SAIKALY, P. E.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; VROUWENVELDER, J. S. Bacterial community structure and variation in a full-scale seawater desalination plant for drinking WATER PRODUCTION. *Water research*, v. 94, p. 62-72, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.039>.

BELTRAME, Thiago Favarini; Lhamby, Andressa Rocha; BELTRAME, Alex. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 20, p. 352-362, 2016. DOI: 105902/2236117020052.

BERRIOS, M. SKELTON, R.L. Comparison of purification methods for biodiesel. *Chemical Engineering Journal*, v. 144, 2008, p. 459-465.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.07.019>.

BOCOS, E.; ALFAYA, E.; IGLESIAS, O.; PAZOS, M.; SANROMÁN, M. A. Application of new sandwich of granular activated and fiber carbon as cathode in the electrochemical advanced oxidation treatment of pharmaceutical effluents. *Separation and Purification Technology*, v. 151, p. 243-250, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.07.048>.

BONI, L.A.B. de; GOLDANI, E.; MILCHAREK, C.D. ; DOS SANTOS, F.A. Tratamento Físico-Químico da Água de Lavagem Proveniente da Purificação do Biodiesel. *Periódico Tchê Química*. vol. 4, n. 7, jan. 2007.

BRAGA, Erika de Almeida Sampaio, CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS DE LAVAGEM PROVENIENTES DA ETAPA DE PURIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE TILAPIA. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 357, de 18/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 430, de 13/05/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

BITTENCOURT, Lucas Aparecido; LIMA, Ariane Aparecida de; SCHLINDWEIN, Claudia; BANCZEK, Everson do Prado; FURSTENBERGER, Cynthia Beatriz. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando técnica de eletrofloculação com diferentes eletrodos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 1, n. 1, 2018, p. 253-266.

BORSATO, Francimeire Piva. AVALIAÇÃO DO MECANISMO DE ADSORÇÃO DO METRONIDAZOL EM CARVÃO ATIVADO DA CASCA DO COCO BABAÇU. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.

CARVALHO, MAIARA SOARES DE. APLICAÇÃO DA *Moringa oleifera*, NA REMOÇÃO DE CÉLULAS DE *Microcystis aeruginosa* E METABÓLICOS POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E FILTRAÇÃO RÁPIDA. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

CARVALHO, Simone Pereira de; MARIN, Joel Orlando Bevilaqua. Problemas ambientais desencadeados pelo Plano Nacional de Agroenergia: o caso de Itapuranga, Goiás. *Interações* (Campo Grande), [S.l.], fev. 2016. ISSN 1984-042X. Disponível em: <<http://www.interacoes.ucdb.br/article/view/330/382>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CALADO, Verônica. MONTGOMERY, Douglas C. Planejamento de Experimentos usando Statistica. Rio de Janeiro, E-Papers Serviços Editoriais, 2003, p. 260.

CORDEIRO, Ramon Borges; ALEXANDRE, Jeisiane Isabella da Silva; SILVA, João Pedro Ferreira; SALES, Deivson Cesar Silva. CAVALCANTI, Luiz Antônio Pimentel Cavalcanti. Purificação e reutilização de águas residuárias da produção de biodiesel por meio da eletrofloculação. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 2015, p. 51-58. Disponível em <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v2n2/v02n02a05.pdf>>. Acesso em: 10 jun. De 2019.

DAUD, Zawawi; AWANG, Halizah; LATIF, Ab Aziz Abdul; NASIR, Nazlizan; RIDZUAN, Mohd Baharudin; AHMAD, Zulkifli. Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 195, 2015, p. 2407-2411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.234>.

DAUD, Nurull Muna; ABDULLAH, Siti Rozaimah; HASAN, Hassimi Abu; YAAKOB, Zahira. Production of biodiesel and its wastewater treatment technologies: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 94, 2015, p. 487-508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2014.10.009>.

DEMIR, Veli Gokhan; SOYHAN, Hakan Serhad. Biodiesel Production Using Wet and Dry Purification Methods. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, v. 2, p. 137-143, 2017.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Applicability of Effluent Guidelines and Categorical Pretreatment Standards to Biodiesel Manufacturing. Ago. 2008. Disponível em: < [https://www3.epa.gov/npdes/pubs/memo\\_biodieselpretreatment\\_aug08.pdf](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/memo_biodieselpretreatment_aug08.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2019: Ano base 2018. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 08 jul 2019.

FERNANDES, Carlos H. M. *et al.* TRATAMENTO ELETROQUÍMICO DE EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL USANDO UM ELETRODO DO TIPO ADE: Ti/IrO<sub>2</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 41, n. 1, Jan. 2018, p. 17-22. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170163>.

FURLAN, Franciele Regina. Avaliação da Eficiência do Processo de Coagulação-Floculação e Adsorção no Tratamento de Efluentes Têxteis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2008.

GARCÍA-MONTOYA, M. F.; GUTIÉRREZ-GRANADOS, S.; ALATORRE-ORDAZ, A.; GALINDO, R.; ORNELAS, R.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Application of electrochemical/BDD process for the treatment wastewater effluents containing pharmaceutical compounds. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 31, p. 238-243, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.06.030>.

GONÇALVES, Bárbara R.; BORGES NETO, Waldomiro; MACHADO, Antônio E.H.; TROVÓ, Alam G. Biodiesel Wastewater treatment by Coagulation-Flocculation: Evaluation and Optimization of Operational Parameters. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 28, n.5, 2017, p; 800-807. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20160231>.

GONÇALVES, Luciano de Oliveira. Tratamento de efluentes da produção de biodiesel pela combinação de processos biológicos e oxidativos avançados. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2015.

GONZÁLES R.; ROCA, L.; RODRÍGUEZ, F. Economic optimal control applied to a solar seawater desalination plant. *Computers & Chemical Engineering*, v. 71, p. 554-562, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.10.005>.

GRANGEIRO, R. V. T. *et al.* Advanced Oxidative Treatments in Biodiesel Washing Water. Vasconcelos, G. C; MELO, M. A. Engenharia, tecnologia e inovação, Cabedelo, Editora IESP, 2018.

GUIMARÃES, PATRÍCIA SALES. Tratamento de Águas Residuárias Oriundas da Purificação do Biodiesel por Coagulação Empregando Sulfato de Alumínio e Quitosana: Avaliação Preliminar. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília. Brasília. 2013.

HU, M.; YAN, X.; HU, X.; FENG, R.; ZHOU, M. High-capacity adsorption of benzotriazole from aqueous solution by calcined Zn-Al layered double hydroxides. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 540, p. 207-214, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.01.009>.

JAJA-CHIMEDZA, A.; GRAF, B.L.; SIMMIER, C.; KIM, Y.; KUHN, P.; PAULI, G.F.; RASKIN, I. Biochemical characterization and anti-inflammatory properties of an isothiocyanate-enriched moringa (*Moringa oleifera*) seed extract. *PLoS ONE*, v. 12, p. 1-21, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182658>.

JARUWAT, Pattaraluk; KONGJAO, Sangkorn; HUNSOM, Mali. Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment. *Energy Conversion and Management*, v. 51, 2010, p. 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.10.018>.

JEONG, S.; NAIDU, G.; VOLLPRECHT, R.; LEIKNES, T.; VIGNESWARAN, S. In-depth analyses of organic matters in a full-scale seawater desalination plant and an autopsy of reverse osmosis membrane. *Separation and Purification Technology*, v. 162, p. 171-179, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.02.029>.

KNOTHE, Gerhard; KRAHL, Jurgen; GERPEN, Jon Van. The Biodiesel Handbook: 2ª Edição. Urbana. AOCS PRESS, 2015.

KOBYA, M.; HIZ, H.; SENTURK, E.; AYDINER, C.; DEMIRBAS, E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, v. 190, 15 Abr. 2006, pag. 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.006>.

KWAAMBWA, H. M.; HELLSING, M. S.; RENNIE, A. R.; BARKER, R. Interaction of *Moringa oleífera* seed protein with a mineral surfasse and the influence of surfactants. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 448, p. 339-346, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.02.033>.

LENZI, Ervim; FAVERO, Luzia Otilia Bortotti; LUCHESE, Eduardo Bernardi. Introdução à química da água. Ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro. LTC, 2009. 604 p.

LEONE, A.; SPADA, A.; BATTEZZATI, A.; SCHIRALDI, A.; ARISTIL, J.; BERTOLI S. *Moringa oleífera* Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 17, p. 1-14, 2016. <https://doi:10.3390/ijms17122141>

LILLIEHÖÖK, H. Use of sand filtration on river water flocculated with *Moringa oleífera*. 2005. – Luleå University of Technology. Luleå, Suécia. 2005.

LIMA, Niedja Maria. APLICAÇÃO DA *Moringa Oleífera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA COM TURBIDEZ. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco. Recife. 2015.

MA, P.; MA, H.; SABATINO, S.; GALIA, A.; SCIALDONE, O. Eelectrochemical treatment of real wastewater. Part 1: Effluents with low conductivity. *Chemical Engineering Journal*, v. 336, p. 133-140, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.046>.

MACIEL, Gabrielly dos Santos. Estudo da Estabilidade Oxidativa do Biodiesel Aditivado com Aminas Aromáticas. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2018.

MANAHAN, S .E. Química Ambiental. Ed. Bookman, 9ª edição, 2013

MEDEIROS, R. L. B. A.; OLIVEIRA, A. A. S.; MELO, V. R. M.; MACEDO, H. P.; CARVALHO, A. F. M.; MELO, D. M. A. ; MELO, M. A. F. Estudo da influência da razão combustível/oxidante e da potência do micro-ondas na formação da  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> via reação de combustão. *Cerâmica*, v. 63, p. 272-280, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672055>.

MENESES, Janaína Moreira de; VASCONCELOS, Rebelosa de Fátima; FERNANDES, Thalys de Freitas; ARAÚJO, Gilmar Trindade. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. *Química Nova*, v.35, n.2, 2012, p. 235-240.

MOLLAH, Mohammad Y.A.; MORKOVSKY, Paul; GOMES, Jewel A.G.; KESMEZ, Mehmet; PARGA, Jose; COCKE, David L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 114, 18 Out. 2004, pag. 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>.

MOURA, Adriana Maria de; ROMA, Júlio Cesar; SACCARO JÚNIOR, Nilo Luiz. PROBLEMAS ECONÔMICOS, SOLUÇÕES AMBIENTAIS. *Boletim regional, urbano e ambiental*, n. 15, jul.-dez. 2016. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7103/1/BRU\\_n15\\_Problema.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7103/1/BRU_n15_Problema.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral; Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2014. p. 256.

NASIR, N.; DAUD, Z. PERFORMANCE OF ALUMINIUM SULPHATE AND POLYALUMINIUM CHLORIDE IN BIODIESEL WASTEWATER. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*, v.7, 2014, p. 1189-1195. <http://dx.doi.org/10.15282/jmes.7.2014.18.0116>.

NEVES, Thiago Alencar. Tratamento físico-químico de efluentes líquidos da produção de biodiesel metílico em regime de funcionamento contínuo e batelada. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá. 2011.

NGAMLERDPOKIN, Krit; KUMJADPAI, Sasipan; CHATANON, Preeya; TUNGMANEE, Ungsika; CHUENCHUANCOM, Sulalit; Jaruwat, Pattaraluk; LERTSATHITPHONGS, Prarinya; HUNSOM, Mali. Remediation of biodiesel wastewater by chemical- and electro-coagulation: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, v. 92, 2011, p. 2454-2460. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.006>.

NOMURA, A.; JONES, C. W. Enhanced Formaldehyde-Vapor Adsorption Capacity of Polymeric Amine-Incorporated Aminosilicas. *Chemistry a European Journal*, v. 20, p. 6381-6390, 2014. doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1002/chem.201304954.

PITAKPOOLSIL, Wipawan; HUNSOM, Mali. Treatment of biodiesel wastewater by adsorption with commercial chitosan flakes: Parameter optimization and process kinetics. *Journal of Environmental Management*, v. 133, 2014, p. 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.019>.

PALOMINO-ROMERO, J. A. et al. Tratamentos dos efluentes gerados na produção de biodiesel. *Química Nova*, São Paulo , v. 35, n. 2, Jun. 2012, p. 367-378.

PELOI, K. E.; BOVO, F.; MESSIAS-REASON, I. K.; PEREZ, E. Utilização de planejamento fatorial para a determinação da capacidade antioxidante e doseamento de flavonoides totais em *Verbena minutiflora* Briq, ex Moldenke (gervai). *Rev. Bras. Pl. Med.*, v.18, n.1, p.1-8, 2016. [https://doi.org/10.1590/1983-084X/14\\_099](https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_099).]

RAMAN, Jegannathan Kenthorai; ALVES, Catarina M.; GNANSOUNOU, Edgard. A review on moringa tree and vetiver grass – Potential biorefinery feedstocks. *Bioresource Technology*, v. 249, p. 1044-1051, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.094>

RECK, I.M.; PAIXÃO, R.M.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M.F.; VIEIRA, A.M.S. Investigation of Moringa oleifera seeds as effective and low-cost adsorbent to remove yellow dye tartrazine in fixed-bed column. *Separation Science and Technology*, 2018. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1559859>.

RINALDI, Roberto *et al.* Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. *Química Nova*, São Paulo , v. 30, n. 5, 2007, p. 1374-1380. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000500054>.

RINNA, F.; BUONO, S.; CABANELAS, I. T. D.; NASCIMENTO, I. A.; SANSONE, G. BARONE, C. M. A. Wastewater treatment by microalgae can generate high quality biodiesel feedstock. *Journal of Water Process Engineering*, v. 18, p. 144-149, 2017.

ROSENHAIM, Raul. Avaliação das Propriedades Fluído-dinâmicas e Estudo Cinético por Calorimetria Exploratória Diferencial Pressurizada (PDSC) de Biodiesel Etílico Derivado de óleo de fritura usado. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2009.

RUTHVEN, D. M. Principles of Adsorption and Adsorption Process. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SALA, Mireia; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, Carmen. Electrochemical treatment of industrial wastewater and effluent reuse at laboratory and semi-industrial scale. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 458-464, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.006>.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; NÚNES-GASTÉLUM, J. A.; MORA-LÓPEZ, G. S. I.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.; PASEIRO-LOSADA, P. Wffect of the refining process on *Moringa oleifera* seed oil quality. *Food Chemistry*, v. 187, p. 53-57, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.031>.

SANTOS, Aline Morena Menezes. TRATAMENTO DE EFLUENTES DE BIODIESEL PELO PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO E FENTON. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014.

SASSI, Patrícia Giulianna Petraglia. USO DE MICROALGAS COM PONTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2016.

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P.; IMBODEN, D. M. ENVIROMENTAL ORGANIC CHEMISTRY. New Jersey: John Wiley& Sons, 2003.

SGOBI, Letícia M.; CARDINES, Pedro H.F.; BAPTISTA, Aline T.A.; GOMES, Raquel G.; VIEIRA, Angélica M.S. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*. *Revista Tecnológica*, Maringá, 2015, p. 237-246.

SILVA, Gilson Lima da. REDUÇÃO DE CORANTE EM EFLUENTE DE PROCESSO DE TINGIMENTO DE LAVANDÉRIAS INDUSTRIAIS POR ADSORÇÃO EM ARGILA. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual De Campinas. 2005.

SUEHARA, Ken-ichiro; KAWAMOTO, Yoshihiro; FUJII, Eiko; KOHDA, JIRO; NAKANO, Yasuhisa; Yano, Takuo. Biological Treatment od Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkalini-Catalyzed Transesterification. *JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING*, v. 100, n. 4, 2005, p. 437-442. <https://doi.org/10.1263/jbb.100.437>.

ULLAH, A.; MARIUTTI, R.B.; MASOOD, R.; CARUSO, I.P.; COSTA, G.H.G.; FREITA, C.M.; SANTOS, C.R.; ZANPHORLIN, L.M.; MUTTON, M.J.R.; MURAKAMI, M.T.; ARNI, R.K. Crystal structure of mature 2S albumin from *Moringa oleifera* seeds. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 468, p. 365-371, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.10.087>.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMINI, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 13, p. 1-11, 2018. doi:10.4136/ambi-agua.2135.

VELJKOVIC, Vlada B.; STAMENKOVIC, Oliveira S.; TASIC, Marija B. WASTEWATER MANAGEMENT IN BIODIESEL PRODUCTION. REPORTING FOR SUSTAINABILITY. Leskovac, Serbia. 2013.

ZHAO, D.; WANG, Y.; ZHAO, S.; WAKELL, M.; WANG, Z.; SHAIJN, R. S.; HAYAT, T.; CHEN, C. A simple method for preparing ultra-light graphene aerogel for rapid removal of U(VI) from aqueous solution. *Environmental Pollution*, v. 251, p. 547-554, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.011>.