



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM QUÍMICA**

**AMANDA CAROLINE DE OLIVEIRA DINIZ**

**USO DO PLANEJAMENTO BRERETON PARA CONFECÇÃO DE  
POLÍMEROS E BIOPOLÍMEROS NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO  
EM MEIO AQUOSO COM DETECÇÃO NO UV-VIS**

**SERRA TALHADA,**

**2019**

AMANDA CAROLINE DE OLIVEIRA DINIZ

Monografia Submetida ao Curso de Licenciatura Plena em Química da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco como Parte dos Requisitos para Obtenção do Diploma de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elaine Cristina Lima do Nascimento

**USO DO PLANEJAMENTO BRERETON PARA CONFECÇÃO DE  
POLÍMEROS E BIOPOLÍMEROS NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO  
EM MEIO AQUOSO COM DETECÇÃO NO UV-VIS**

**SERRA TALHADA,**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D585

Diniz, Amanda Caroline de Oliveira

Uso do planejamento Brereton para confecção de polímeros e biopolímeros na remoção de azul de metileno em meio aquoso com detecção UV-VIS / Amanda Caroline de Oliveira Diniz. - 2019.  
53 f. : il.

Orientadora: Elaine Cristina Lima do Nascimento.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Serra Talhada, 2019.

1. Confecção de filmes. 2. Planejamento Brereton. 3. Azul de metileno. 4. Espectroscopia UV-VIS. I. Nascimento, Elaine Cristina Lima do, orient. II. Título

CDD 540

---

**AMANDA CAROLINE DE OLIVEIRA DINIZ**

**USO DO PLANEJAMENTO BRERETON PARA CONFEÇÃO DE  
POLÍMEROS E BIOPOLÍMEROS NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO  
EM MEIO AQUOSO COM DETECÇÃO NO UV-VIS**

Monografia Submetida ao Curso de Licenciatura Plena em Química da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco como Parte dos Requisitos para Obtenção do Diploma de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elaine Cristina Lima do Nascimento

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Profa. Dra. Elaine Cristina Lima do Nascimento– UFRPE-UAST**

**Orientador(a)**

---

**Prof. Dr. Edvaldo da Nóbrega Gaião – UFRPE-UAST**

**1º Avaliador(a)**

---

**Profa. Dra. Andréa Monteiro Santana Silva Brito– UFRPE-UAST**

**2º Avaliador(a)**

*Dedico este trabalho a Deus e a minha família por serem os meus alicerces.*

## AGRADECIMENTOS

UM CORAÇÃO CHEIO DE GRATIDÃO A DEUS POR TER-ME PRESENTEADO COM PESSOAS QUE LUTARAM JUNTO COMIGO, PARA TORNAR ESTE MOMENTO POSSÍVEL.

- *Obrigada Senhor pela base familiar que me concedeste, com pais maravilhosos, que acreditaram nos meus sonhos e me guiaram no melhor caminho.*
- *Ao meu esposo que me concedeste, que me ajudou no possível para que chegasse até aqui.*
- *Aos meus sogros que me apoiaram e auxiliaram nos momentos que mais precisei.*
- *A minha amiga e irmã Tamires, que ganhei no primeiro dia da graduação e já são cinco anos de amizade, companheirismos, lutas, conselhos, pesquisas, risadas, madrugadas em claro de auxílio e estudos, aventuras e orações. Esse laço de amizade será eterno, muito obrigada.*
- *A minha melhor orientadora, Elaine Cristina uma verdadeira mãe com um coração gigante, que cuida, auxilia, aconselha, que esta comigo desde o primeiro período de graduação e não desistiu de lutar junto comigo na pesquisa (PIBIC) e no ensino (PIBID).*
- *Aos professores Andréa Monteiro e Edvaldo Nóbrega, pelo companheirismo e os valiosos conselhos recebidos no núcleo de pesquisa do GIAQ.*

*Vocês foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação.*

- *A CAPES por ter me proporcionado experiências incríveis enquanto bolsista/pesquisadora, bem como, aos dois primeiros anos de bolsa do PIBID 2015 A 2017.*
- *Ao CNPQ/UFRPE pela concessão da bolsa PIBIC 2017 A 2019.*
- *Obrigada a toda equipe do PIBID E GIAQ por terem me acolhido com tanto carinho e pela troca de experiências que levarei para a vida profissional.*
- *A todo corpo docente do curso de Licenciatura em Química que contribuiu significativamente para minha formação.*
- *A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, e que por ventura, eu possa ter esquecido de listar aqui, os meus sinceros agradecimentos.*

*Ao Grupo de Instrumentação e Análises Químicas (GIAQ) pela confiança na realização de todas as análises no laboratório e pela a aprendizagem compartilhada com o grupo. Ao Núcleo de Química Analítica Avançada de Pernambuco NUQAAPE/FACEPE.*

*À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada pelo ensino de qualidade e pelas oportunidades oferecidas durante estes anos.*

*A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada.*

*Albert Einstein*

DINIZ, Amanda Caroline de Oliveira, **USO DO PLANEJAMENTO BRERETON PARA CONFECCÃO DE POLÍMEROS E BIOPOLÍMEROS NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO EM MEIO AQUOSO COM DETECÇÃO NO UV-VIS.** 2019. 53fls. Monografia - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2019.

## RESUMO

A poluição dos recursos hídricos é um problema grave a se tratar, pois provém de rejeitos sintéticos que lançados em corpos d'água prejudicam toda fauna e flora do compartimento ambiental. Deste modo, pesquisas vêm surgindo para diminuir e/ou remover os produtos tóxicos, metais pesados e corantes dos efluentes em sistemas aquáticos. Em virtude disso, existe uma gama de materiais desenvolvidos atuantes como adsorventes ou biossorventes para o tratamento do sistema hídrico. Como o objetivo deste trabalho confeccionar filmes de diferentes matrizes (amido e PVC) com adição ou não de reforços (fibra de sisal) para obter a melhor taxa de remoção. Desta forma, foi utilizado o planejamento Brereton 5<sup>4</sup> para confecção dos filmes em que levou em consideração diversos fatores tais como matriz, reforço, plastificante e solvente, onde gerou, polímeros (PVC), biopoliméricos (amido de milho), biocompósitos (milho e o pó da fibra do sisal), compósitos (PVC e sisal) e blendas poliméricas (amido de milho e PVC com ou sem sisal). Estes foram confeccionados de acordo com os ensaios dos planejamentos, usando a técnica da evaporação de solvente com formação de 6 filmes onde foram avaliados fisicamente por inspeção visual e espectrometria UV-VIS. Como resultado, de uma forma geral, os filmes apresentaram-se poucos uniformes, resistentes e sem bolhas, destacando-se que os filmes de E4<sub>BC10</sub> biocompósito e E1<sub>CO10</sub> compósito apresentaram maior taxa de remoção do azul de metileno em meio aquoso do 88,88% e 84,09%, respectivamente.

**Palavras – chave:** Confeccão de filmes; planejamento Brereton; azul de metileno; espectroscopia UV-VIS.

DINIZ, Amanda Caroline de Oliveira, **USO DO PLANEJAMENTO BRERETON PARA CONFECCÃO DE POLÍMEROS E BIOPOLÍMEROS NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO EM MEIO AQUOSO COM DETECÇÃO NO UV VIS**. 2019. 53fls. Monografia - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2019.

### **ABSTRACT**

Pollution of water resources is a serious problem to be dealt with, as it comes from synthetic tailings that are thrown into bodies of water that damage all fauna and flora in the environmental compartment. Thus, research has been emerging to reduce and / or remove toxic products, heavy metals and effluent dyes in aquatic systems. As a result, there is a range of developed materials acting as adsorbents or biosorbents for the treatment of the water system. As the objective of this work make films of different matrices (starch and PVC) with or without reinforcement (sisal fiber) to obtain the best removal rate. Thus, the Brereton 54 planning was used to make the films, which took into account several factors such as matrix, reinforcement, plasticizer and solvent, where it generated polymers (PVC), biopolymers (maize starch), biocomposites (maize and sisal fiber powder), composites (PVC and sisal) and polymeric blends (cornstarch and PVC with or without sisal). These were made according to the planning tests, using the 6-film solvent evaporation technique where they were physically evaluated by visual inspection and UV-VIS spectrometry. As a result, in general, the films presented few uniform, resistant and without bubbles, highlighting that the E4BC10 biocomposite and E1CO10 composite films showed higher removal rate of methylene blue in aqueous medium than 88.88%. and 84.09%, respectively.

**Keywords:** Making of films; Breton planning; Methylene blue; UV-VIS spectroscopy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fórmula estrutural do PVC. ....	17
Figura 2. Estrutura química do DOP. ....	20
Figura 3. Estrutura química do glicerol. ....	21
Figura 4. Círculo de permutação.....	23
Figura 5. Sistema para homogeneização e controle de temperatura para confecção de filmes de diferentes matrizes poliméricas. ....	31
Figura 6. Formação de filmes iopoliméricos em triplicatas. ....	32
Figura 7. Amostras de compósito, biopolímero, biocompósitos e blendas poliméricas para contato com o azul de metileno. ....	34
Figura 8. Metodologia adotada para o contato dos filmes com o contaminante azul de metileno. ....	35
Figura 9. Espectrofotômetro de UV-VIS Lambda 25.....	37
Figura 10. Apresentação dos filmes formados a partir de matrizes poliméricas diferentes. ....	38
Figura 11. Experimentos que não formaram filmes. ....	39
Figura 12. Espectros de absorção UV-VIS de todos os filmes após o contato de 10h. ....	41
Figura 13. Espectros de absorção UV-VIS do Compósito (E1 <sub>CO</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	42
Figura 14. Espectros de absorção UV-VIS do Biopolímero (E3 <sub>BP</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	43
Figura 15. Espectros de absorção UV-VIS do Biocompósito (E4 <sub>BC</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	43
Figura 16. Espectros de absorção UV-VIS da Blenda Polimérica (E5 <sub>BL</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	44
Figura 17. Espectros de absorção UV-VIS da Blenda Polimérica (E23 <sub>BL</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	44
Figura 18. Espectros de absorção UV-VIS do Biocompósito (E24 <sub>BC</sub> ) após o contato de 10h com o azul de metileno. ....	45

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Planejamento Brereton 5 <sup>4</sup> para confecção de filmes poliméricos e biopoliméricos.....	28
<b>Quadro 2.</b> Massa dos filmes poliméricos e biopoliméricos após a sua formação.....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros para a construção de um planejamento Brereton.....	21
<b>Tabela 2.</b> Exemplo da geração dos fatores de um planejamento Brereton de 5 níveis e 4 fatores.....	23
<b>Tabela 2.</b> Parâmetro adotado para a análise da solução de azul de metileno em contato de 10 horas com os filmes: E1 <sub>CO</sub> (compósito), E3 <sub>BP</sub> (biopolímero) E4 <sub>BC</sub> e E24 <sub>BC</sub> (biocompósitos), E5 <sub>BL</sub> e E23 <sub>BL</sub> (blendas poliméricas), para avaliação espectral.....	34
<b>Tabela 3.</b> Parâmetro adotado para a análise da solução de azul de metileno em contato de 24 horas com os filmes: E1 <sub>CO</sub> (compósito), E3 <sub>BP</sub> (biopolímero) E4 <sub>BC</sub> e E24 <sub>BC</sub> (biocompósitos), E5 <sub>BL</sub> e E23 <sub>BL</sub> (blendas poliméricas), para avaliação espectral.....	35
<b>Tabela 4.</b> Inspeção física e visual dos filmes confeccionados em triplicatas.....	38
<b>Tabela 5.</b> Resultados da eficiência dos filmes na absorção e remoção do contaminante azul de metileno.....	44

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	15
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
1.1 Polímeros .....	17
1.2 Biopolímeros.....	18
1.2.1 Biocompósitos .....	19
1.2.2 Blendas Poliméricas.....	19
1.3 Plastificantes .....	20
1.4 Planejamento Brereton.....	21
1.5 Azul de Metileno .....	24
1.6 Processo de Adsorção .....	25
1.6.1 Biossorventes .....	25
1.7 Espectroscopia Ultravioleta-Visível (UV-VIS).....	26
1.8 OBJETIVOS .....	27
1.8.1 Geral .....	27
1.8.2 Específicos .....	27
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA.....	28
2.1 Seleção dos Materiais para a Confecção dos Filmes .....	28
2.2 Obtenção e Preparação das Amostras para Confecção de Filmes .....	28
2.3 Planejamento Brereton 54 para Confecção dos Filmes .....	29
2.4 Procedimento Experimental para Confecção dos Filmes .....	30
2.4 Inspeção Física e Visual .....	32
2.5 Análise UV-VIS para Detecção da Remoção de Azul de Metileno pelos Filmes ....	32
2.5.1 Massa dos Filmes para o Contato com o Azul de Metileno .....	32
2.5.2 O Contato dos Filmes com o Contaminante .....	34
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
3.1 Filmes Confeccionados a Partir do Planejamento Brereton 5 <sup>4</sup> .....	38
3.2 Análise Física e Visual .....	39
3.2.1 Cor e Bolhas .....	40
3.2.2 Espessura .....	40
3.3 Avaliação da Qualidade e Eficiência dos Filmes na Remoção de Azul de Metileno	40
3.3.1 Avaliação pela Metodologia UV-VIS .....	40
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47

REFERÊNCIAS .....	48
-------------------	----

## INTRODUÇÃO

A poluição dos recursos hídricos é um problema grave a se tratar, pois provém de rejeitos sintéticos que lançados em corpos d'água prejudicam toda fauna e flora do ambiente. Um dos maiores poluidores está a indústria têxtil, por despejar grande quantidade de efluentes com corantes sintéticos não biodegradáveis em águas naturais. (IMMICH; SOUZA; SOUZA, 2009). O não tratamento desses rejeitos libera substâncias químicas como os umectantes, antiespumantes, corantes, dispersantes, eletrólitos, óleos de equipamentos e lubrificantes, entre outras, as quais são usadas nas etapas de montagem e fixação, sendo que os corantes são os mais preocupantes (INDEX COLOUR, 2002; COSTA, 2007).

Um corante comumente utilizado nas indústrias têxteis, farmacêuticas, de papel e celulose é o azul de metileno (OLIVEIRA & SARON, 2014), classificado como um corante catiônico, orgânico, aromático, heterocíclico, solúvel em água ou álcool, quando aquecido pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico, causando efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água (FISPQ, 2009). Por todas as características apresentadas, o azul de metileno torna-se um resíduo difícil de ser tratado e, sendo catiônico, tem alta reatividade e capacidade de reagir com quase todos os substratos (SILVA, 2013).

Deste modo, pesquisas vêm surgindo para diminuir e/ou eliminar os produtos tóxicos e coloração dos efluentes em sistemas aquáticos, levando em consideração as legislações e regulamentações voltadas à proteção ambiental (CARON, 2006). Sendo assim, o ambiente no qual os efluentes serão dispostos deve cumprir o que a legislação ambiental vigente exige, além de passar por tratamentos adequados e programas de monitoramento ecotoxicológico (IMMICH; SOUZA; SOUZA, 2009).

Em virtude disso, vários processos vêm sendo estudados para a remoção dos corantes, como por exemplo, a floculação e coagulação, a extração por solvente, a degradação biológica, a oxidação química, a adsorção e a osmose reversa (WANG; ZHU, 2006; FIL; GUPTA et al., 2014). Ainda temos os processos oxidativos avançados (MARTINS, 2011; SALVADOR, 2011) e os sistemas eletroquímicos (FLOSS; CALLEGARO, 2011; SOUSA, 2013). No entanto, estes processos são muito laboriosos, apresentam custo elevado e alguns deles ainda possuem baixa eficiência na remoção desses contaminantes.

A adsorção é a técnica mais eficiente para remoção de corantes sintéticos em efluentes aquosos. Este processo consiste na passagem do soluto de uma solução gasosa ou líquida para uma superfície sólida (adsorvente) por interações físicas com as partículas do sólido (microporos e/ou sítios ativos) ou por afinidade química através de interações com grupos funcionais (BELISÁRIO et al., 2010; DALFIOR et al., 2013).

O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado, porém o seu elevado custo e baixa eficiência quando comparado a adsorventes naturais na remoção de alguns poluentes, estimula a busca por materiais de baixo custo, com alta capacidade de adsorção e fácil disponibilidade (ANTUNES et al., 2012; RAYMUNDO et al., 2010; BELISÁRIO et al., 2010). Diversos materiais de baixo custo têm sido estudados para remoção de corantes de efluentes industriais, entre eles casca de mexerica (CARETTA, 2010), escamas de peixes (OLIVEIRA, 2011), argilas (ALBUQUERQUE, 2005), serragem (SILVA, 2005), casca de pinhão (CARDOSO, 2010) entre outros.

Como alternativa aos métodos tradicionais, é proposto neste trabalho a utilização de um planejamento Brereton para reduzir o tempo de trabalho, otimizar as condições de confecção dos filmes, diminuir custos, etc. (BRERETON, 2003; BRASIL et al., 2007; BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; SILVA; OLIVEIRA; ROCHA, 2012; SEVERO et al., 2013) e o uso da Espectroscopia UV-VIS para avaliar a eficiência dos filmes poliméricos e biopoliméricos na remoção de azul de metileno em meio aquoso (SKOOG, 2002, CARDOSO, 2010; GODINHO, 2011; NIEDERSBERG, 2012; ALVES, 2013).

A apresentação dessa monografia está organizada da seguinte forma:

O capítulo 1 é constituído pela fundamentação teórica e seus objetivos, os quais apresentam às informações necessárias para o entendimento do presente trabalho e a compreensão dos resultados e discussão apresentados no capítulo 3.

O segundo capítulo refere-se à metodologia do trabalho e as técnicas empregadas para a obtenção dos dados experimentais.

O capítulo 3 apresenta os resultados obtidos e a discussão considerando os mesmos.

No capítulo 4 são apresentadas as considerações finais de acordo com os resultados obtidos.

Por fim são listadas as referências utilizadas durante a execução desta pesquisa.

## CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

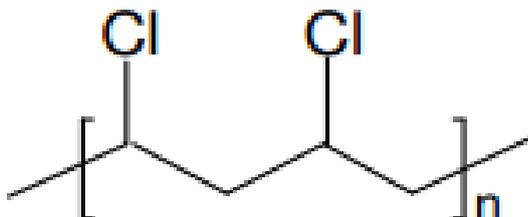
### 1.1 Polímeros

Os polímeros são macromoléculas formadas por diversas unidades de repetição, denominadas meros, ligados covalentemente entre si (CANEVAROLO JUNIOR, 2006). Em virtude de suas diversas propriedades, tais como: resistentes, leves, maleáveis, facilmente processáveis, entre outros, estes apresentam uma extensa gama de aplicações, como por exemplo, plásticos de diferentes composições para diversas utilidades (sacolas, potes, Nylon®, Teflon®, Neopreno®, Isopor®, dentre outros) Devido a uma infinidade de polímeros sintéticos usados pela indústria como o Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), o Policloreto de vinila (PVC), entre outros (BLAZEK & HUI, 2012).

O Policloreto de Vinila (**Figura 1**) é o segundo termoplástico mais consumido no mundo. Considerado mecanicamente resistente e amorfo, com uma temperatura de transição vítrea acima da qual as cadeias poliméricas adquirem mobilidade, em torno de 85°C (SPERLING, 1986; CANEVAROLO JR, 2002; VINHAS, 2004; NUNES, 2006).

Este pode ser aditivado para apresentar características específicas, tais como flexibilidade, transparência, resistência à exposição ao calor, radiação, umidade, etc. Os principais aditivos a serem incorporados às resinas de PVC são os plastificantes, espessantes, lubrificantes, tensoativos, estabilizantes, agentes de expansão, antibloqueios, antiestéticos, retardantes de chama, podem ser inseridos para proporcionar características específicas, como, flexibilidade, transparência, resistência à exposição ao calor, radiação, umidade, entre outros (KUHN, 2000; PETER, 2000; RABELLO, 2000).

**Figura 1.** Fórmula estrutural do PVC.



Fonte: SILVA, 2008.

Apesar da extensa gama de aplicações, a maioria dos polímeros de origem sintética é muito resistente à degradação natural e, quando utilizado em aplicações tecnológicas, pode gerar um produto com vida útil bastante longa. Sendo assim, quando

descartados no meio ambiente ocasionam o seu acúmulo nos aterros sanitários, lixões e ambientes aquáticos, causando grave problema para a sociedade e meio ambiente (FRANCHETTI & MARCONATO, 2006).

Além da vasta aplicação de polímeros sintéticos existem outros meios de produção, como por exemplo, os biopolímeros.

## 1.2 Biopolímeros

Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, celulose, batata, quitina, fécula de mandioca e outras (Norma ABNT NBR 15448-1,2008). Para formação de filmes biopoliméricos o amido é a base, devido ao polissacarídeo (carboidrato) formado pela união de moléculas de  $\alpha$ -glicose da amilose e da amilopectina, sendo armazenado em diferentes órgãos vegetais.

As propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose constituem o gel e a sua capacidade de formar filmes. Isso porque a amilose em solução tende a se orientar paralelamente para formar as ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes duráveis (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA, 2010).

O amido pode ser enxertado com uma variedade de reagentes para produzir novos materiais poliméricos, usados como cargas para outros polímeros. O amido, usado em aplicações industriais, é usualmente extraído de sementes de cereais como, milho, trigo, e arroz; tubérculo (batata) e raízes como a mandioca (BRITO et al., 2011, DINIZ & NASCIMENTO, 2018, DINIZ et al., 2018).

Neste trabalho foi usado na matriz biopolimérica o milho (*Zea mays L.*). O milho é o cereal mais cultivado no mundo, pois é extensivamente utilizado como alimento humano ou para ração animal, devido às suas qualidades nutricionais. Considerado o maior grão entre os demais cereais, o peso individual do grão varia em média de 250 a 300mg e sua composição em base seca é de 61 - 78% de amido, 6 - 12 proteínas, 2 - 4% fibra, 3 - 6% de óleo e 1 - 4% minerais (SANTOS, 2011; OLIVEIRA, 2013).

Os filmes biopoliméricos também podem ser produzidos, reforçando as matrizes, com biocompósitos ou blendas poliméricas.

### **1.2.1 Biocompósitos**

Os biocompósitos são constituídos pela mistura de dois ou mais materiais naturais com adição do plastificante que é responsável pela união dos compósitos na produção do filme biopolimérico.

Há uma enorme variedade de compósitos naturais que podem ser estudados para um melhoramento do filme, pois estes proporcionam um bom reforço, flexibilidade e resistência ao filme biopolimérico (BISPO, 2011).

A fibra de sisal (*Agave sisalana*), utilizada neste trabalho como reforço das matrizes, é exemplo do compósito natural. Sua fibra é retirada ao longo do comprimento das folhas, tem como característica a fibra dura e grossa, de cor creme e apresenta excelentes propriedades mecânicas, bem como alta resistência e elasticidade. As propriedades poliméricas levam em consideração a adesão fibra-matriz, orientação da fibra, volume da fibra, pois constituirá um bom filme biopolimérico. As vantagens de se utilizar fibras vegetais estão no baixo custo, baixa densidade, boa tenacidade, boas propriedades térmicas, entre outros (CAMPOS et al., 2011; BISPO, 2011). Tradicionalmente a fibra de sisal é destinada a produção de cordas e para materiais de construção. O cultivo desta planta abastece 70% do mercado mundial devido ao seu baixo custo e biodegradabilidade. O seu cultivo pode ser encontrado no nordeste brasileiro, principalmente no estado da Bahia, seguida pelos estados da Paraíba e Pernambuco (COSTA, 2016).

### **1.2.2 Blendas Poliméricas**

As blendas poliméricas são misturas físicas de polímero e biopolímero, em que é adicionado um solvente para solubilizar dois ou mais polímeros em uma mesma mistura, podendo ser esta heterogênea ou homogênea. Visto que, a miscibilidade é um fator característico de funcionamento do material, pois termodinamicamente as blendas imiscíveis tendem a ter duas ou mais fases, mantendo as propriedades intermediárias de cada polímero (ALAVARSE, 2015).

Blendas poliméricas têm sido estudadas na literatura no intuito de melhorar diversas propriedades do filme, tais como, processabilidade, resistência térmica, propriedades mecânicas, taxa de degradação e remoção, dentre outros (BALAKRISHNAN, 2010; LEMMOUCHI et al., 2009; SU et al., 2009; HUNEAULT e LI, 2007; OYAMA, 2009).

Para toda e qualquer confecção de filmes poliméricos e biopoliméricos é necessário o uso de plastificantes.

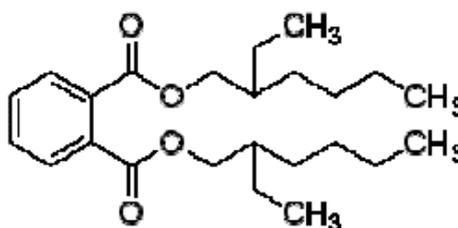
### 1.3 Plastificantes

Independente da matriz polimérica, para formar um filme é necessário o uso de algum tipo de plastificante (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA 2010; DINIZ & NASCIMENTO, 2018).

Os plastificantes são fundamentais na redução das forças intermoleculares, no aumento da mobilidade das cadeias poliméricas e na diminuição das zonas quebradiças, fazendo com que a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) seja reduzida. Ou seja, favorece a transição de um material de um estado vítreo com maior rigidez para um material com estado gomoso de maior mobilidade molecular e, conseqüentemente, maior flexibilidade (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA 2010).

Os plastificantes utilizados nas formulações do PVC são os ésteres ftálicos, diésteres (lineares), ésteres de fosfatos, citratos, benzoatos, óleos epoxidados, parafinas cloradas, entre outros. Dentre os plastificantes, o ftalato (di-2-etilhexilftalato) – DOP (**Figura 2**), usado neste trabalho, é o mais utilizado na indústria devido ao baixo custo e uma ótima compatibilidade com polímeros vinílicos, tem um aspecto de líquido sendo incolor e odor característico, com solubilidade de 7,9 (cal / cm<sup>3</sup>) e densidade próxima da água (SILVA et al., 2008).

**Figura 2.** Estrutura química do DOP.

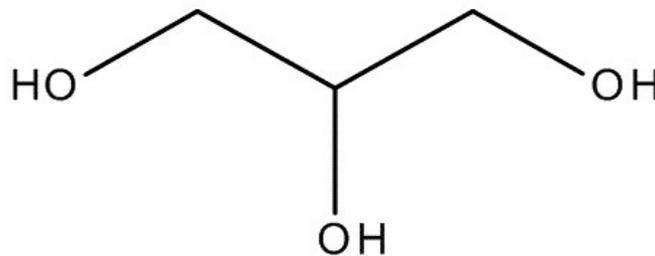


Fonte: SILVA, 2008.

O glicerol, usado neste trabalho, também conhecido como glicerina® (**Figura 3**), é um plastificante de baixo custo muito utilizado na produção de biopolímeros, pois apresenta eficiência, é solúvel em água, biodegradável, a baixa a transição vítrea e aumenta a ductilidade. É um composto orgânico propanotriol, líquido,

não tem cheiro e possui densidade e viscosidade mais elevada do que a água (PEITER et al., 2016).

**Figura 3.** Estrutura química do glicerol.



**Fonte:** PEITER et al., 2016.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a modificação dos filmes, com o objetivo de viabilizar o processamento e uso dos mesmos em diversas aplicações (FECHINE, 2010).

Uma alternativa para propor uma metodologia bem estabelecida que leve em consideração as diversas variáveis na confecção dos filmes poliméricos e biopoliméricos é a utilização de um planejamento experimental eficaz, como por exemplo, o planejamento Brereton (BRERETON, 1997; BRERETON, 2003).

#### **1.4 Planejamento Brereton**

Um planejamento estatístico aperfeiçoa as condições de um processo podendo gerar a maximização de rendimentos e/ou remoções; produtividades e viabilidade comercial; a minimização de custos, a condução do processo à obtenção de um produto com as especificações desejadas e confiáveis; entre outros (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS 2001).

O planejamento Brereton é uma ferramenta eficaz, isto porque quanto maior o número de níveis (**L**) e fatores (**K**) utilizados, a quantidade de experimentos a serem elaborados será mínima quando comparada a outros planejamentos. Isso ocorre devido ao planejamento ortogonal, em que cada fator possui o coeficiente de correlação zero em relação aos demais fatores (LIMA, 2016; BRERETON, 1997; BRERETON, 2003).

No desenvolvimento da pesquisa foi escolhido um planejamento de 5 níveis e 4 fatores. Assim sendo, o número de experimentos (**N**) deve ser múltiplo do número níveis (**L**)<sup>2</sup>, e **K** o número de repetições igual a 1 (**Equação 1**).

$$N = K \times (L)^2 \quad \text{Equação 1}$$

A **Tabela 1** apresenta os parâmetros para a construção de um planejamento Brereton (LIMA, 2016; BRERETON, 1997; BRERETON, 2003).

**Tabela 6.** Parâmetros para a construção de um planejamento Brereton.

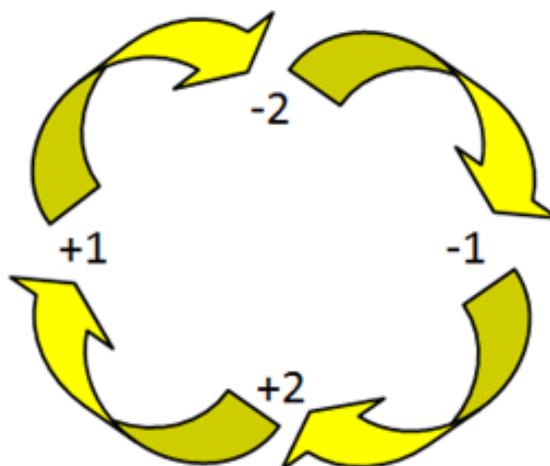
Níveis	Experimentos	Número máximo de fatores ortogonais	Nível de repetição	Vetores diferença	Ciclos de permutação
3	9	4	Qualquer	{01},{10}	
4	16	5	Qualquer	{021},{120}	
5	25	12	0	{0231},{1320}	-2→ -1→ 2→1→ -2
				{2013},{3102}	-2→ 1→ 2→ -1→ -2
7	49	16	0	{241035},{514302}	-3→ 2→ 3→ -1→ 1→ -2→ -3
				{451023},{124350}	-3→ 1→ -1→ 2→ 3→ -2→ -3
				{530142},{203415}	-3→ -2→ 3→ 2→ -1→ 1→ -3
				{320154},{053421}	-3→ -2→ 1→ -1→ 3→ 2→ -3

Fonte: BRERETON, 1997.

Os níveis são codificados {-2,-1,0,1,2} e o “zero” é o nível de repetição, ou seja, este deve ser posto no experimento 1 em todos os fatores.

Para um planejamento de 5 níveis, o seu círculo de permutação, **Figura 4**, indica a ordem em que os níveis serão colocados.

**Figura 4.** Círculo de permutação.



Fonte: própria autora.

No Fator 01 (coluna), o nível repetidor 0 deve ser posto na sequência  $[2 + j(1 + 1)]$ , em que  $j$  representa o número de blocos formados (iniciando do zero com a quantidade de níveis de planejamento). A quantidade de blocos é dada por  $l - 1$ , nesse caso tem-se  $5 - 1 = 4$  blocos com 5 níveis e  $j = 0, 1, 2$  e  $3$ . Portanto, o nível de repetição será distribuído no Fator 1 nos experimentos  $[2 + 0(5 + 1) = 2]$ ;  $[2 + 1(5 + 1) = 8]$ ;  $[2 + 2(5 + 1) = 14]$  e  $[2 + 3(5 + 1) = 20]$ .

Para a formação dos blocos, devem-se seguir os parâmetros estabelecidos na **Tabela 1**, ou seja, os códigos dos experimentos são gerados de acordo com o ciclo de permutação (**Figura 5**) e com o vetor diferença  $\{0\ 2\ 3\ 1\}$ .

Sendo assim, o bloco 1, inicia-se com o experimento 3. Para o experimento 3, escolhe-se o nível -2, que inicia o ciclo gerador do planejamento (**Figura 5**). Considerando o vetor diferença 0, o experimento 4 é codificado como -2, em seguida, considerando o vetor diferença 2 e o ciclo de permutação, o experimento 5 é +2. Analogamente, os demais experimentos (6 e 7) são gerados e possuem códigos -1 e +2, respectivamente.

O bloco 2, iniciado pelo experimento 9, é construído com o deslocamento dos valores do bloco 1. Ou seja, os experimentos 9, 10, 11, 12 e 13 serão construídos de acordo com o deslocamento de um ciclo de permutação dos experimentos 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente. Sendo assim, os códigos dos os experimentos 9, 10, 11, 12 e 13 serão -1, -1, +1, +2 e +1, respectivamente. Analogamente, os demais blocos do fator 1 são construídos.

A partir do fator 1 construído, as demais colunas (fatores) são geradas pelo deslocamento diagonal do fator 1, como exemplificado na **Tabela 2** (LIMA, 2016; BRERETON, 1997; BRERETON, 2003).

**Tabela 2.** Exemplo da geração dos fatores de um planejamento Brereton de 5 níveis e 4 fatores.

Experimentos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
1	0	0	0	0
Repetir 2	0	-2	-2	2
Bloco 1 {	3	-2	-2	2
	4	-2	2	-1
	5	2	-1	2
	6	-1	2	0
	7	2	0	-1
Repetir 8	0	-1	-1	1
Bloco 2 {	9	-1	-1	1
	10	-1	1	2
	11	1	2	1
	12	2	1	0
	13	1	0	2
Repetir 14	0	2	2	-2
Bloco 3 {	15	2	2	-2
	16	2	-2	1
	17	-2	1	-2
	18	1	-2	0
	19	-2	0	1
Repetir 20	0	1	1	-1
Bloco 4 {	21	1	1	-1
	22	1	-1	-2
	23	-1	-2	-1
	24	-2	-1	0
	25	-1	0	-2

Fonte: própria autora.

### 1.5 Azul de Metileno

A contaminação ambiental em efluentes é comumente ocasionada por corantes industriais, que ao ser despejados nas nascentes causam perturbação a vida aquática. Estas águas residuais coloridas provêm de diversas indústrias, tais como, a de celulose,

têxteis e de tintas. Dentre os corantes mais utilizados destaca-se o azul de metileno (MATHEIS et al., 2009; BARCELLOS, 2009).

O azul de metileno é um corante da classe das fenotiazinas, solúvel em água ou álcool, quando aquecido libera óxido de enxofre e óxido nítrico, em contato com efluentes causa danos toxicológicos aos organismos aquáticos e a qualidade da água. Este corante possui inúmeras aplicações nas áreas da química, biologia e medicina, já foi muito utilizado na avaliação das propriedades adsorptivas de carvões ativados e na determinação da área superficial de diferentes tipos de adsorvente (ALFREDO et al., 2015; FISPQ, 2009).

Gosh e Bhattacharyya (2002) apontam vários métodos químicos e físicos utilizados para o tratamento de águas residuais, como por exemplo, os eletroquímicos, de precipitação, filtração, adsorção e degradação química, sendo o processo de adsorção o mais empregado. Este se torna um resíduo difícil de ser tratado e, sendo catiônico, tem alta reatividade e capacidade de reagir com quase todos os substratos (SILVA, 2013).

Neste trabalho, considerou-se o processo de adsorção do azul de metileno, em função do tempo de contato, com os filmes confeccionados.

## **1.6 Processo de Adsorção**

Adsorção é uma técnica utilizada no tratamento de resíduos líquidos, o mais usual é o carvão ativado devido a sua alta eficiência, todavia, possui um custo elevado, e dificuldade na regeneração e separação do adsorvente (OLIVEIRA, 2012).

Diante disto, à produção de materiais adsorventes alternativos se mostra promissor, principalmente envolvendo materiais de baixo custo, isto é, materiais que exigem pouco processamento, abundantes na natureza ou ainda subprodutos ou rejeitos de atividades industriais e agrícolas (ALFREDO et al., 2015).

### **1.6.1 Biossorventes**

As biomassas são utilizadas na função de materiais adsorventes, o processo de adsorção pode ser chamado também de bioadsorção e a biomassa é um bioadsorvente. Devido à alta procura de materiais de baixo custo e com eficiência, a bioadsorção é uma ótima técnica, pois é caracterizada pelo processo de purificação e utilização de materiais de origem biológica, em que materiais poluentes são removidos das soluções aquosas (OLIVEIRA, 2012; DEMIRBAS, 2008; KURNIAWAN e CHAN, 2006). Deste modo, a biomassa além de possuir propriedades adsorptivas de metais ou compostos orgânicos,

também apresenta a vantagem de ser um resíduo de custo mínimo, sendo biodegradável e renovável (YMAMURA; YMAMURA, 2005).

O emprego de biossorventes pode ser encontrado em plantas aquáticas, fibras de algodão, serragem de madeira e fibras vegetais (bagaço de cana-de-açúcar, sisal, sabugo de milho, coco babaçu, coco da praia, entre outros). Esses materiais podem ser usados como reforço para novos adsorventes ou serem utilizados “in natura” (SANTOS et al., 2003). Para remoção de corantes de efluentes industriais, há o uso de diversos materiais de baixo custo e que têm sido estudados, dentre eles, a casca de mexerica (CARETTA, 2010), escamas de peixes (DINIZ et al., 2018), argilas (ALBUQUERQUE, 2005), resíduos da araucária, do pinus e do eucalipto (SANTOS, 2003), serragem (SILVA, 2005), casca de pinhão e casca de maracujá amarelo para remoção de corantes em águas contaminadas (CARDOSO, 2010), sisal (COSTA, 2016).

De acordo com Costa (2016), dentre as principais fibras vegetais, a fibra do sisal é muito indicada para reter a cor proveniente de corantes, e se apresenta como uma boa alternativa para os biossorvente na remoção do azul de metileno em soluções aquosas.

Neste trabalho, para avaliar a eficiência da remoção do contaminante azul de metileno pelos filmes confeccionados a base de amido de milho, sisal e PVC utilizou-se a espectroscopia UV-VIS.

### 1.7 Espectroscopia Ultravioleta-Visível (UV-VIS)

A espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta-visível baseia-se em medidas de absorção da radiação eletromagnética, nas regiões visível e ultravioleta do espectro (SKOOG, 2002). A região ultravioleta do espectro é, geralmente, considerada na faixa de 200 a 400 nm e a região do visível entre 400 a 780 nm. As energias correspondentes a essas regiões são ao redor de 150 a 72 k.cal.mol<sup>-1</sup> na região ultravioleta e de 72 a 36 k.cal.mol<sup>-1</sup> para a região visível. Energias dessa magnitude correspondem, muitas vezes, à diferença entre estados eletrônicos de muitas moléculas (LEMOS, et al, 2009).

A Lei de Lambert-Beer é a equação fundamental da espectroscopia (**Equação 2**) e mostra que a absorbância é diretamente proporcional a concentração da espécie que absorve radiação em uma determinada região (SKOOG, 2002).

$$A = \epsilon b C$$

**Equação 2**

**Onde:**  $A$  = absorvância;  $\epsilon$  = absorvidade molar;  $b$  = caminho óptico;  $C$  = concentração da espécie absorvente ou do analito (neste caso, em mol/L).

A espectroscopia UV-VIS é um dos métodos analíticos mais usados em diversas áreas. Aplicada tanto para determinação de compostos inorgânicos como para compostos orgânicos. A sensibilidade deste método está entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  mol L<sup>-1</sup>, avanços tecnológicos permitem espectrofotômetros alcançarem  $10^{-6}$  a  $10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup> (SKOOG, 2002).

## 1.8 OBJETIVOS

### 1.8.1 Geral

A partir de um planejamento Brereton, confeccionar diferentes filmes a base de polímeros e biopolímeros, e utilizar os mesmos para verificar a sua eficiência na remoção de azul de metileno em meio aquoso, usando como detecção a espectrometria UV-VIS.

### 1.8.2 Específicos

- Selecionar os materiais a serem utilizados na confecção dos filmes;
- Estudar os principais fatores necessários para a confecção dos filmes;
- Escolher os fatores e os níveis para a construção do planejamento Brereton;
- Confeccionar os diferentes filmes a partir do planejamento Brereton;
- Utilizar o azul de metileno como contaminante ambiental;
- Analisar todos os filmes confeccionados por meio da espectroscopia UV-VIS e, a partir dos cálculos de remoção, avaliar a eficiência e qualidade dos filmes na remoção do azul de metileno em meio aquoso.

## **CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA**

Todo o suporte dado para a utilização de equipamentos, vidrarias e reagentes, bem como, para a realização de todo o procedimento experimental deste trabalho foi concedido pelo Laboratório do Grupo de Instrumentação em Análises Químicas (GIAQ) da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada.

### **2.1 Seleção dos Materiais para a Confeção dos Filmes**

Estudos anteriores (DINIZ & NASCIMENTO, 2018) foram realizados a fim de avaliar quais materiais seriam melhores para remoção de contaminantes ambientais. Baseado nos melhores resultados desses estudos, para este trabalho, foram selecionados para a matriz o amido de milho e o PVC, podendo estes serem confeccionados com reforço das fibras de sisal ou não. Os plastificantes usados foram o DOP (di-2-etilhexilftalato) e o glicerol. E como solvente utilizou-se a água e o tetraidrofurano (THF).

### **2.2 Obtenção e Preparação das Amostras para Confeção de Filmes**

Para confecção dos filmes optou-se por amostra comercial do amido milho em virtude do laboratório de pesquisa, onde foi realizado o trabalho, não dispor de equipamentos industriais adequados (tritador, extrator, peneiras e agitador com diversas malhas, prensa, dentre outros) para elaboração das mesmas a partir da matéria-prima bruta e pelo fato das mostras comerciais apresentarem características idênticas, quanto à granulometria (fator este que influencia na qualidade dos filmes).

O PVC assim como o plastificante DOP foram doados pelo laboratório da universidade Federal de Pernambuco do curso em ciências dos materiais em parceria com um aluno de doutorando. Com intuito agilizar a produção de filmes e reduzir gastos.

As fibras de sisal foram doadas por um estabelecimento que trabalha na área de gesso no município de Serra Talhada – PE. Após o recolhimento deste material foram lavadas com detergente neutro e posto para secar em temperatura ambiente. Em seguida, para obtenção do pó da fibra de sisal foi utilizado um liquidificador que na primeira tentativa, não houve êxito, e na segunda tentativa, com um liquidificador de elevada potência (800 W) a granulometria permanecia a mesma. Então, utilizou-se uma tesoura

e uma peneira para manter a mesma granulometria e só assim adquiriu-se o pó da fibra de sisal.

Deste modo, foram confeccionados materiais poliméricos, biopoliméricos, blendas poliméricas, compósitos e biocompósitos, seguindo o planejamento Brereton.

### 2.3 Planejamento Brereton 5<sup>4</sup> para Confeção dos Filmes

Para a construção do planejamento Brereton escolheu-se utilizar quatro fatores importantes na elaboração dos filmes ( $K \rightarrow K_1; K_2; K_3$  e  $K_4$ ), nomeados de matrizes, reforços, plastificantes e solventes, respectivamente. Em seguida, estabeleceram-se para cada fator cinco níveis ( $L \rightarrow -2; -1; 0; +1; +2$ ) com quantidades de massas e volumes (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2009).

Como pode ser observado no **Quadro 1**,  $K_1$  (**matriz**) tem massa fixa total de 2,0 g (amido de milho e/ou PVC);  $K_2$  (**reforço - massa do biocompósito**) apresenta de 0,0 g a 1,0 g de sisal;  $K_3$  (**plastificante**) obteve-se uma proporção calculada a partir da massa total da matriz (2,0 g), sendo assim, foi de 25,2 % e 37,8% de glicerol (densidade igual a 1,26 g/mL a 25 °C) e de 24,6%, 36,8% e 49,1% de DOP (densidade igual a 0,982 g/mL a 25°C) (HARRIS, 2005); e  $K_4$  (**solvente**) volume fixo total de 40 ml (THF e/ou água).

**Quadro 1.** Planejamento Brereton 5<sup>4</sup> para confecção de filmes poliméricos e biopoliméricos.

	<b>K<sub>1</sub></b> (matriz)		<b>K<sub>2</sub></b> (reforço)		<b>K<sub>3</sub></b> (plastificante)		<b>K<sub>4</sub></b> (solvente)	
<b>L</b> →	-2	2,0 g milho	-2	0,00 g sisal	-2	DOP (0,50 mL)	-2	40,0 mL água
	-1	1,0g milho/1,0g pvc	-1	0,25g sisal	-1	Glicerol (0,40mL)	-1	20,0 mL água/20,0 mL THF
	0	2,0g pvc	0	0,50g sisal	0	DOP (0,75 mL)	0	40,0 mL THF
	+1	0,5g milho/1,5 pvc	+1	0,75g sisal	+1	Glicerol (0,60 mL)	+1	10,0 mL água/ 30,0 mL THF
	+2	1,5g milho/0,5 pvc	+2	1,00g sisal	+2	DOP (1,00 mL)	+2	30,0 mL água/ 10,0 mL THF
<b>Experimentos</b>								
<b>E1<sub>CO</sub></b>	<b>0</b>	2g pvc	<b>0</b>	0,5g	<b>0</b>	DOP (0,75 mL)	<b>0</b>	40,0 mL THF
<b>E2<sub>PO</sub></b>	<b>0</b>	2g pvc	<b>-2</b>	0,0 g	<b>-2</b>	DOP (0,50 mL)	<b>+2</b>	30,0 mL água/ 10,0 mL THF
<b>E3<sub>BP</sub></b>	<b>-2</b>	2g milho	<b>-2</b>	0,0 g	<b>+2</b>	DOP (1,0 mL)	<b>-1</b>	20,0 mL água/ 20,0 mL THF
<b>E4<sub>BC</sub></b>	<b>-2</b>	2g milho	<b>+2</b>	1,0g	<b>-1</b>	Glicerol (0,40 mL)	<b>+2</b>	30,0 mL água/ 10 mL THF
<b>E5<sub>BL</sub></b>	<b>+2</b>	1,5g milho/0,5 pvc	<b>-1</b>	0,25g	<b>+2</b>	DOP (1,0 mL)	<b>0</b>	40,0 mL THF
<b>E6<sub>BL</sub></b>	<b>-1</b>	1g milho/1g pvc	<b>+2</b>	1,0g	<b>0</b>	DOP (0,75 mL)	<b>-1</b>	20,0 mL água/ 20,0 mL THF
<b>E7<sub>BL</sub></b>	<b>+2</b>	1,5g milho/0,5 pvc	<b>0</b>	0,5g	<b>-1</b>	Glicerol (0,40 mL)	<b>-1</b>	20,0 mL água/ 20,0 mL THF
<b>E8<sub>CO</sub></b>	<b>0</b>	2g pvc	<b>-1</b>	0,25g	<b>-1</b>	Glicerol (0,40 mL)	<b>+1</b>	10,0 mL água/ 30,0 mL THF

<b>E9<sub>BL</sub></b>	<b>-1</b>	1g milho/1g pvc	<b>-1</b>	0,25g	<b>+1</b>	Glicerol (0,60 mL)	<b>+2</b>	30,0 mL água/ 10 mL THF
<b>E10<sub>BL</sub></b>	<b>-1</b>	1g milho/1g pvc	<b>+1</b>	0,75g	<b>+2</b>	DOP (1,0 mL)	<b>+1</b>	10,0 mL água/ 30,0 mL THF
<b>E11<sub>BL</sub></b>	<b>+1</b>	0,5g milho/1,5 pvc	<b>+2</b>	1,0g	<b>+1</b>	Glicerol (0,60 mL)	<b>0</b>	40,0 mL THF
<b>E12<sub>BL</sub></b>	<b>+2</b>	1,5g milho/0,5 pvc	<b>+1</b>	0,75g	<b>0</b>	DOP (0,75 mL)	<b>+2</b>	30,0 mL água/ 10 mL THF
<b>E13<sub>BL</sub></b>	<b>+1</b>	0,5g milho/1,5 pvc	<b>0</b>	0,5g	<b>+2</b>	DOP (1,0 mL)	<b>+2</b>	30,0 mL água/ 10 mL THF
<b>E14<sub>CO</sub></b>	<b>0</b>	2g pvc	<b>+2</b>	1,0g	<b>+2</b>	DOP (1,0 mL)	<b>-2</b>	40,0 mL água
<b>E15<sub>BL</sub></b>	<b>+2</b>	1,5g milho/0,5 pvc	<b>+2</b>	1,0g	<b>-2</b>	DOP (0,50 mL)	<b>+1</b>	10,0 mL água/ 30,0 mL THF
<b>E16<sub>BL</sub></b>	<b>+2</b>	1,5g milho/0,5 pvc	<b>-2</b>	0,0 g	<b>+1</b>	Glicerol (0,60 mL)	<b>-2</b>	40,0 mL água
<b>E17<sub>BC</sub></b>	<b>-2</b>	2g milho	<b>+1</b>	0,75g	<b>-2</b>	DOP (0,50 mL)	<b>0</b>	40,0 mL THF
<b>E18<sub>BL</sub></b>	<b>+1</b>	0,5g milho/1,5 pvc	<b>-2</b>	0,0 g	<b>0</b>	DOP (0,75 mL)	<b>+1</b>	10,0 mL água/ 30,0 mL THF
<b>E19<sub>BC</sub></b>	<b>-2</b>	2g milho	<b>0</b>	0,5g	<b>+1</b>	Glicerol (0,60 mL)	<b>+1</b>	10,0 mL água/ 30,0 mL THF
<b>E20<sub>CO</sub></b>	<b>0</b>	2g pvc	<b>+1</b>	0,75g	<b>+1</b>	Glicerol (0,60 mL)	<b>-1</b>	20,0 mL água/ 20,0 mL THF
<b>E21<sub>BL</sub></b>	<b>+1</b>	0,5g milho/1,5 pvc	<b>+1</b>	0,75g	<b>-1</b>	Glicerol (0,40 mL)	<b>-2</b>	40,0 mL água
<b>E22<sub>BL</sub></b>	<b>+1</b>	0,5g milho/1,5 pvc	<b>-1</b>	0,25g	<b>-2</b>	DOP (0,50 mL)	<b>-1</b>	20,0 mL água/ 20,0 mL THF
<b>E23<sub>BL</sub></b>	<b>-1</b>	1g milho/1g pvc	<b>-2</b>	0,0 g	<b>-1</b>	Glicerol (0,40 mL)	<b>0</b>	40,0 mL THF
<b>E24<sub>BC</sub></b>	<b>-2</b>	2g milho	<b>-1</b>	0,25g	<b>0</b>	DOP (0,75 mL)	<b>-2</b>	40,0 mL água
<b>E25<sub>BL</sub></b>	<b>-1</b>	1g milho/1g pvc	<b>0</b>	0,5g	<b>-2</b>	DOP (0,50 mL)	<b>-2</b>	40,0 mL água

**Legenda:** CO: Compósito, PO: Polímero, BP: Biopolímero, BC: Biocompósito, BL: Blenda Polimérica.

**Fonte:** própria autora.

Os experimentos **1, 3, 4, 5, 23 e 24** apresentaram formação de filmes, portanto com base no planejamento Brereton, reproduziu-se em triplicatas para aumentar o número de amostras.

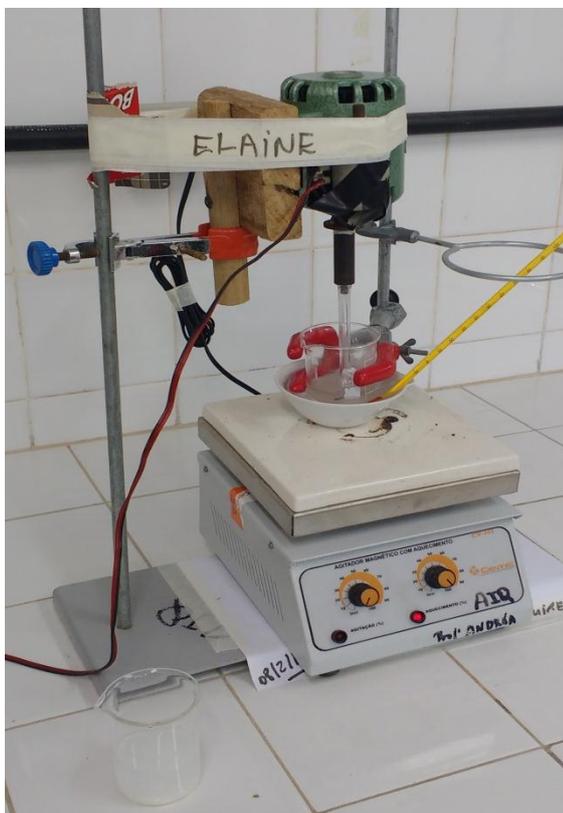
#### 2.4 Procedimento Experimental para Confecção dos Filmes

Para medir as massas da matriz e do reforço (**K<sub>1</sub>** e **K<sub>2</sub>**) utilizando a balança analítica, Marca Acculab (Sartorius Group), modelo ALC-210.4. Os volumes dos plastificantes (**K<sub>3</sub>**) foram medidos usando uma micropipeta monocanal de volume variável (100 – 1000 µl) marca Labmate®. Os 40,0 mL usados como solvente (**K<sub>4</sub>**) foram aferidos usando uma bureta graduada de 50,0 mL, marca VICIL.

Em virtude do laboratório de pesquisa GIAQ não dispor de um homogeneizador potente para realizar a homogeneização das soluções, foi necessário desenvolver um misturador de baixo custo e eficiente para a proposta. Sendo assim, o

sistema desenvolvido para a realização da homogeneização, é mostrado a seguir (Figura 5).

**Figura 5.** Sistema para homogeneização e controle de temperatura para confecção de filmes de diferentes matrizes poliméricas.



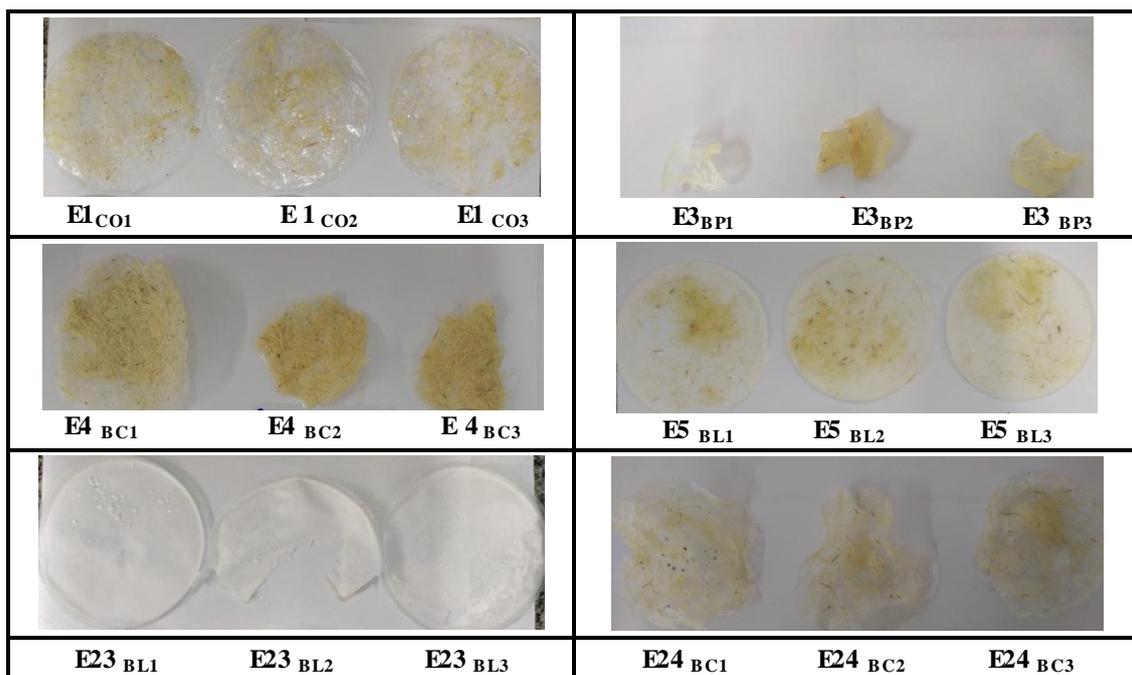
Fonte: própria autora.

Esse sistema é composto por: 01 motor rotatório de sucata de um espectrofotômetro (tensão de 220 V e potência de 8 W) com uma haste em “T”; 01 agitador magnético com aquecimento (marca CIENTEC) 01 béquer de 100,0 mL, 01 cadinho de porcelana grande; 02 suportes universal; 02 garras metálicas; 01 garra pra funil e 01 termômetro.

Em geral, o procedimento ocorreu da seguinte forma, primeiro foi adicionado água no cadinho de porcelana e este foi levado para o agitador magnético com aquecimento para atingir a temperatura de 90°C com o monitoramento de um termômetro. Ao atingir 90°C, as soluções com predominância em amido de milho, eram adicionadas ao banho-maria com agitação constante da haste em “T” do motor da sucata do espectrofotômetro, durante 3 minutos ou até apresentar uma pasta gelatinizada. Em seguida, transferiu-se para uma folha de transparência (usadas em retroprojetores) e

levadas para estufa a 40°C durante 24 horas. Já experimentos com predominância em PVC e THF não eram necessários o processo de aquecimento, devido o THF ser bastante volátil, deste modo a solução era exposta somente a agitação e transferida para placa de Petri para secar em temperatura ambiente, dentro da capela. Os filmes formados são apresentados na **Figura 6**.

**Figura 6.** Formação dos filmes em triplicatas.



Fonte: própria autora.

## 2.4 Inspeção Física e Visual

Os filmes confeccionados foram avaliados qualitativamente por inspeção física e visual. Deste modo, observou-se a cor, formação de bolhas e irregularidade quanto à espessura.

## 2.5 Análise UV-VIS para Detecção da Remoção de Azul de Metileno pelos Filmes

### 2.5.1 Massa dos Filmes para o Contato com o Azul de Metileno

Existem vários fatores que influenciam no processo de adsorção, três são importantes que é a escolha adequada da massa do material adsorvente, a área de contato e o tempo de contato do material adsorvente com a solução do contaminante ambiental.

Na literatura científica, não existe uma metodologia que estabeleça os valores desses fatores, portanto, para que fosse possível considerar a mesma massa de contato para todos os ensaios, primeiro foi necessário determinar a massa total da soma dos 3 filmes do mesmo tipo (triplicata - **Quadro 2**).

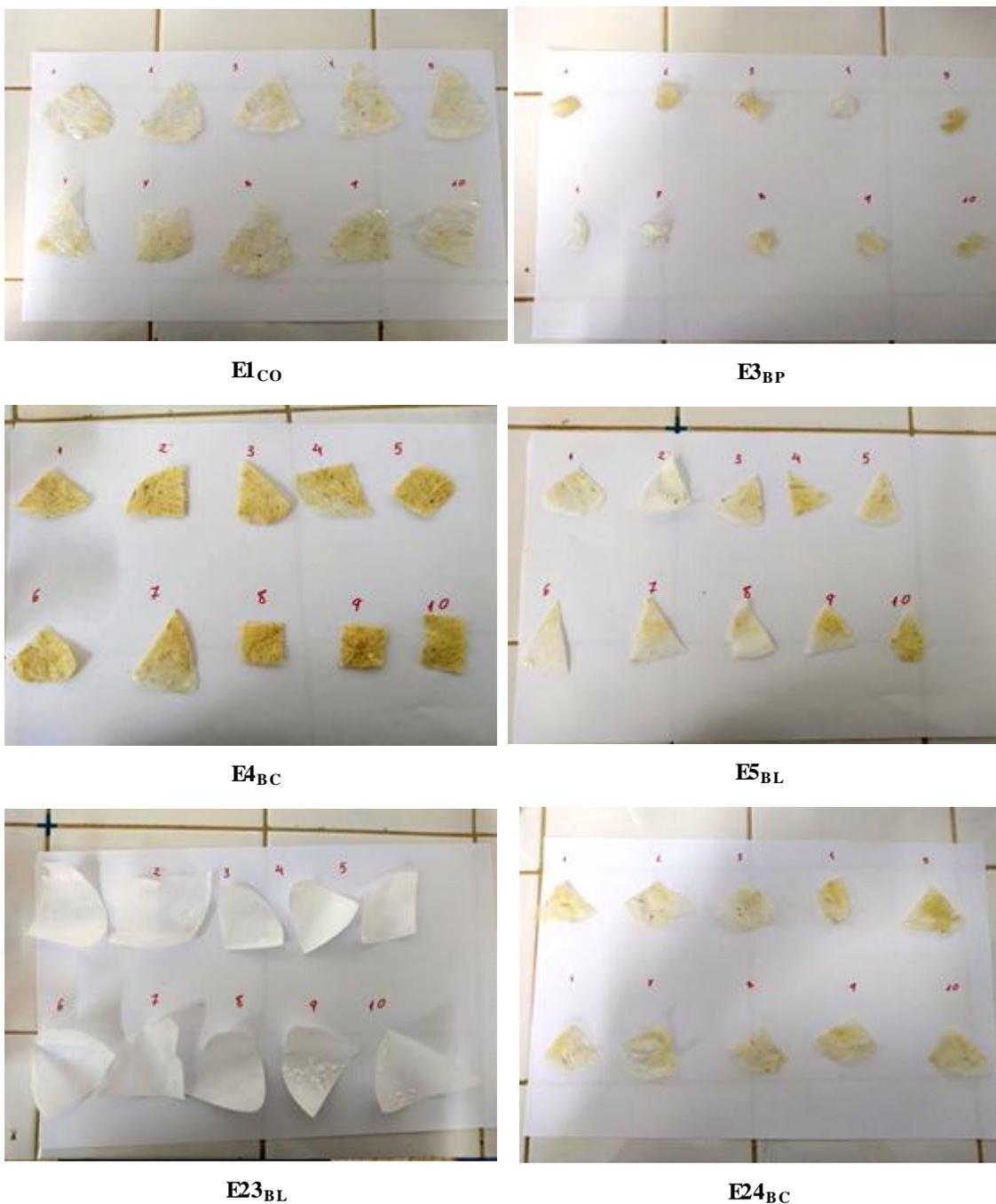
**Quadro 2.** Massa dos filmes poliméricos e biopoliméricos após a sua formação.

Código	Massa (g)	Massa Total (g)
E1 <sub>CO1</sub>	3,1232g	9,3545
E1 <sub>CO2</sub>	3,1006g	
E1 <sub>CO3</sub>	3,1307g	
E3 <sub>BP1</sub>	1,8008g	6,5594
E3 <sub>BP2</sub>	2,5688g	
E3 <sub>BP3</sub>	2,1898g	
E4 <sub>BC1</sub>	2,6703g	5,6152
E4 <sub>BC2</sub>	1,4320g	
E4 <sub>BC3</sub>	1,5129g	
E5 <sub>BL1</sub>	3,1456g	9,6104
E5 <sub>BL2</sub>	3,2000g	
E5 <sub>BL3</sub>	3,2648g	
E23 <sub>BL1</sub>	<b>1,9660g</b>	<b>5,2249</b>
E23 <sub>BL2</sub>	<b>1,4812g</b>	
E23 <sub>BL3</sub>	<b>1,7777g</b>	
E24 <sub>BC1</sub>	2,3073g	6,6379
E24 <sub>BC2</sub>	2,1867g	
E24 <sub>BC3</sub>	2,1439g	

Fonte: própria autora.

O filme E23<sub>BL</sub> apresentou a menor soma total da massa igual a 5,2249g. Por questões de não uniformidade das placas dos filmes formados, decidiu-se arredondar esse valor para 5,0000g e dividir por 10 (porque foram 10 ensaios de contato por tipo de filme), que neste caso deu 0,5000g ± 0,0002g pedaços (massa) de filmes que foram postos em contato com o contaminante azul de metileno (**Figura 7**).

**Figura 7.** Amostras de compósito, biopolímero, biocompósitos e blendas poliméricas para contato com o azul de metileno.



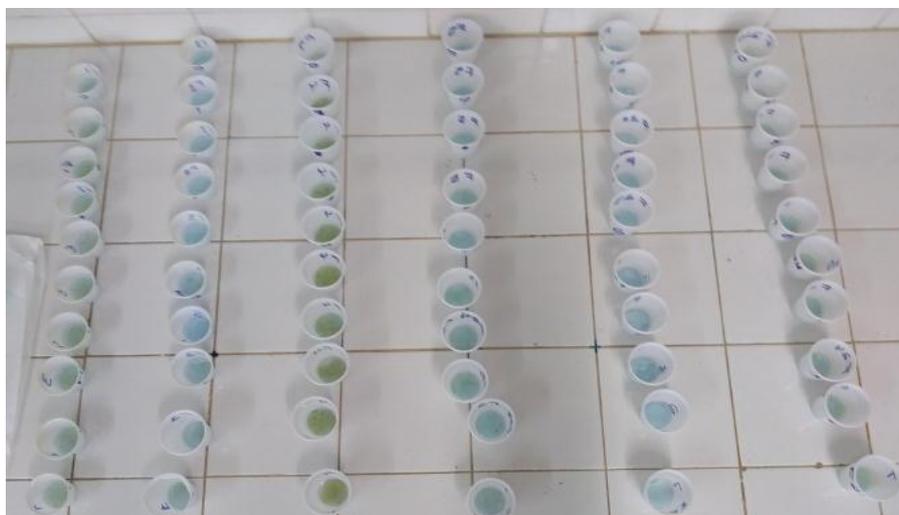
Fonte: própria autora.

### 2.5.2 O Contato dos Filmes com o Contaminante

Preparou-se uma solução de azul de metileno com a concentração de 1,0 ppm, utilizando 0,0010g do contaminante e 1,0L de água destilada. Em seguida, foram separados 60 copos descartáveis e em cada foi colocado um filme ( $0,5000\text{g} \pm 0,0002\text{g}$ ) e

nestes foram transferidos 10,0 mL da solução de azul de metileno com auxílio de uma pipeta volumétrica (**Figura 8**).

**Figura 8.** Metodologia adotada para o contato dos filmes com o contaminante azul de metileno.



Fonte: própria autora.

Depois de colocados os “pedaços” de compósitos, biopolímeros, biocompósitos e blendas poliméricas em contato com o azul de metileno, seguiu-se a metodologia prevista na **Tabela 3**, em que ao atingir as primeiras horas iniciais de cada amostra, retirava-se 4,0 mL da solução de azul de metileno e transferia-se para a cubeta de acrílico para realizar a análise no espectrofotômetro na região do visível. Repetia-se este procedimento até que completasse o ciclo de 10 horas para todas as amostras dos filmes.

Após as 24h da solução em contato com o filme repetiu-se a mesma metodologia com 4,0 mL restante da solução para conferir a taxa de remoção. (**Tabela 4**).

**Tabela 7.** Parâmetro adotado para a análise da solução de azul de metileno em contato de 10 horas com os filmes: **E1<sub>CO</sub>** (compósito), **E3<sub>BP</sub>** (biopolímero) **E4<sub>BC</sub>** e **E24<sub>BC</sub>** (biocompósitos), **E5<sub>BL</sub>** e **E23<sub>BL</sub>** (blendas poliméricas), para avaliação espectral.

Ensaio	Horário	Ensaio	Horário	Ensaio	Horário	Ensaio	Horário	Ensaio	Horário	Ensaio	Horário
	Início - 10:20		Início - 10:30		Início - 10:40		Início - 10:50		Início - 11:00		Início - 11:20
<b>E1<sub>CO1</sub></b>	11:20	<b>E3<sub>BP1</sub></b>	11:30	<b>E4<sub>BC1</sub></b>	11:40	<b>E5<sub>BL1</sub></b>	11:50	<b>E23<sub>BL1</sub></b>	12:10	<b>E24<sub>BC1</sub></b>	12:20
<b>E1<sub>CO2</sub></b>	12:20	<b>E3<sub>BP2</sub></b>	12:30	<b>E4<sub>BC2</sub></b>	12:40	<b>E5<sub>BL2</sub></b>	12:50	<b>E23<sub>BL2</sub></b>	13:10	<b>E24<sub>BC2</sub></b>	13:20
<b>E1<sub>CO3</sub></b>	13:20	<b>E3<sub>BP3</sub></b>	13:30	<b>E4<sub>BC3</sub></b>	13:40	<b>E5<sub>BL3</sub></b>	13:50	<b>E23<sub>BL3</sub></b>	14:10	<b>E24<sub>BC3</sub></b>	14:20

<b>E1<sub>CO4</sub></b>	14:20	<b>E3<sub>BP4</sub></b>	14:30	<b>E4<sub>BC4</sub></b>	14:40	<b>E5<sub>BL4</sub></b>	14:50	<b>E23<sub>BL4</sub></b>	15:10	<b>E24<sub>BC4</sub></b>	15:20
<b>E1<sub>CO5</sub></b>	15:20	<b>E3<sub>BP5</sub></b>	15:30	<b>E4<sub>BC5</sub></b>	15:40	<b>E5<sub>BL5</sub></b>	15:50	<b>E23<sub>BL5</sub></b>	16:10	<b>E24<sub>BC5</sub></b>	16:20
<b>E1<sub>CO6</sub></b>	16:20	<b>E3<sub>BP6</sub></b>	16:30	<b>E4<sub>BC6</sub></b>	16:40	<b>E5<sub>BL6</sub></b>	16:50	<b>E23<sub>BL6</sub></b>	17:10	<b>E24<sub>BC6</sub></b>	17:20
<b>E1<sub>CO7</sub></b>	17:20	<b>E3<sub>BP7</sub></b>	17:30	<b>E4<sub>BC7</sub></b>	17:40	<b>E5<sub>BL7</sub></b>	17:50	<b>E23<sub>BL7</sub></b>	18:10	<b>E24<sub>BC7</sub></b>	18:20
<b>E1<sub>CO8</sub></b>	18:20	<b>E3<sub>BP8</sub></b>	18:30	<b>E4<sub>BC8</sub></b>	18:40	<b>E5<sub>BL8</sub></b>	18:50	<b>E23<sub>BL8</sub></b>	19:10	<b>E24<sub>BC8</sub></b>	19:20
<b>E1<sub>CO9</sub></b>	19:20	<b>E3<sub>BP9</sub></b>	19:30	<b>E4<sub>BC9</sub></b>	19:40	<b>E5<sub>BL9</sub></b>	19:50	<b>E23<sub>BL9</sub></b>	20:10	<b>E24<sub>BC9</sub></b>	20:20
<b>E1<sub>CO10</sub></b>	20:20	<b>E3<sub>BP10</sub></b>	20:30	<b>E4<sub>BC10</sub></b>	20:40	<b>E5<sub>BL10</sub></b>	20:50	<b>E23<sub>BL10</sub></b>	21:10	<b>E24<sub>BC10</sub></b>	21:20

Fonte: própria autora.

**Tabela 8.** Parâmetro adotado para a análise da solução de azul de metileno em contato de 24 horas com os filmes: **E1<sub>CO</sub>** (compósito), **E3<sub>BP</sub>** (biopolímero) **E4<sub>BC</sub>** e **E24<sub>BC</sub>** (biocompósitos), **E5<sub>BL</sub>** e **E23<sub>BL</sub>** (blendas poliméricas), para avaliação espectral.

<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Horário</b>
	Início - 10:20		Início - 10:30		Início - 10:40		Início - 10:50		Início - 11:00		Início - 11:20
<b>E1<sub>CO1</sub></b>	11:20	<b>E3<sub>BP1</sub></b>	11:30	<b>E4<sub>BC1</sub></b>	11:40	<b>E5<sub>BL1</sub></b>	11:50	<b>E23<sub>BL1</sub></b>	12:10	<b>E24<sub>BC1</sub></b>	12:20
<b>E1<sub>CO2</sub></b>	12:20	<b>E3<sub>BP2</sub></b>	12:30	<b>E4<sub>BC2</sub></b>	12:40	<b>E5<sub>BL2</sub></b>	12:50	<b>E23<sub>BL2</sub></b>	13:10	<b>E24<sub>BC2</sub></b>	13:20
<b>E1<sub>CO3</sub></b>	13:20	<b>E3<sub>BP3</sub></b>	13:30	<b>E4<sub>BC3</sub></b>	13:40	<b>E5<sub>BL3</sub></b>	13:50	<b>E23<sub>BL3</sub></b>	14:10	<b>E24<sub>BC3</sub></b>	14:20
<b>E1<sub>CO4</sub></b>	14:20	<b>E3<sub>BP4</sub></b>	14:30	<b>E4<sub>BC4</sub></b>	14:40	<b>E5<sub>BL4</sub></b>	14:50	<b>E23<sub>BL4</sub></b>	15:10	<b>E24<sub>BC4</sub></b>	15:20
<b>E1<sub>CO5</sub></b>	15:20	<b>E3<sub>BP5</sub></b>	15:30	<b>E4<sub>BC5</sub></b>	15:40	<b>E5<sub>BL5</sub></b>	15:50	<b>E23<sub>BL5</sub></b>	16:10	<b>E24<sub>BC5</sub></b>	16:20
<b>E1<sub>CO6</sub></b>	16:20	<b>E3<sub>BP6</sub></b>	16:30	<b>E4<sub>BC6</sub></b>	16:40	<b>E5<sub>BL6</sub></b>	16:50	<b>E23<sub>BL6</sub></b>	17:10	<b>E24<sub>BC6</sub></b>	17:20
<b>E1<sub>CO7</sub></b>	17:20	<b>E3<sub>BP7</sub></b>	17:30	<b>E4<sub>BC7</sub></b>	17:40	<b>E5<sub>BL7</sub></b>	17:50	<b>E23<sub>BL7</sub></b>	18:10	<b>E24<sub>BC7</sub></b>	18:20
<b>E1<sub>CO8</sub></b>	18:20	<b>E3<sub>BP8</sub></b>	18:30	<b>E4<sub>BC8</sub></b>	18:40	<b>E5<sub>BL8</sub></b>	18:50	<b>E23<sub>BL8</sub></b>	19:10	<b>E24<sub>BC8</sub></b>	19:20
<b>E1<sub>CO9</sub></b>	19:20	<b>E3<sub>BP9</sub></b>	19:30	<b>E4<sub>BC9</sub></b>	19:40	<b>E5<sub>BL9</sub></b>	19:50	<b>E23<sub>BL9</sub></b>	20:10	<b>E24<sub>BC9</sub></b>	20:20
<b>E1<sub>CO10</sub></b>	20:20	<b>E3<sub>BP10</sub></b>	20:30	<b>E4<sub>BC10</sub></b>	20:40	<b>E5<sub>BL10</sub></b>	20:50	<b>E23<sub>BL10</sub></b>	21:10	<b>E24<sub>BC10</sub></b>	21:20

Fonte: própria autora.

A qualidade e a eficiência dos filmes biopoliméricos, compósitos, blendas poliméricas e biocompósitos na remoção do contaminante ambiental (AM) foi acompanhada através de medidas de absorvância na região do visível para melhor

caracterização dos filmes. Para isso foi utilizado um espectrofotômetro UV-VIS, Lambda 25, da Perkin Elmer® (**Figura 9**) disponível no laboratório de pesquisa do GIAQ/UFRPE.

**Figura 9.** Espectrofotômetro de UV-VIS Lambda 25.



**Fonte:** própria autora.

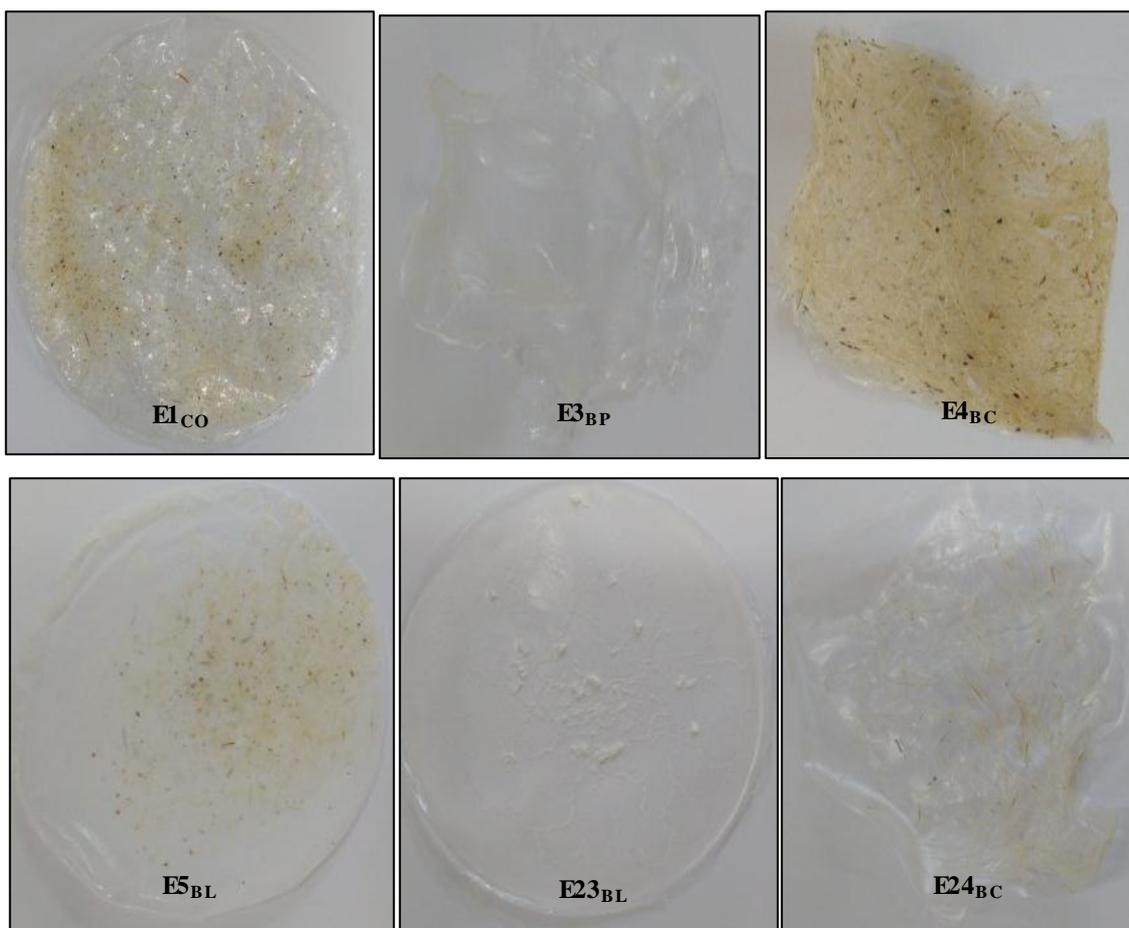
Este instrumento é de feixe duplo e as condições de análise estabelecidas pela metodologia UV-VIS, foram na região do visível com o modo da ordenada em absorbância; a velocidade da leitura dos espectros de 480 nm/min; o intervalo dos dados de 1 nm com apenas um ciclo de varredura, para as análises utilizou-se duas cubetas de acrílico.

## CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Filmes Confeccionados a Partir do Planejamento Brereton 5<sup>4</sup>

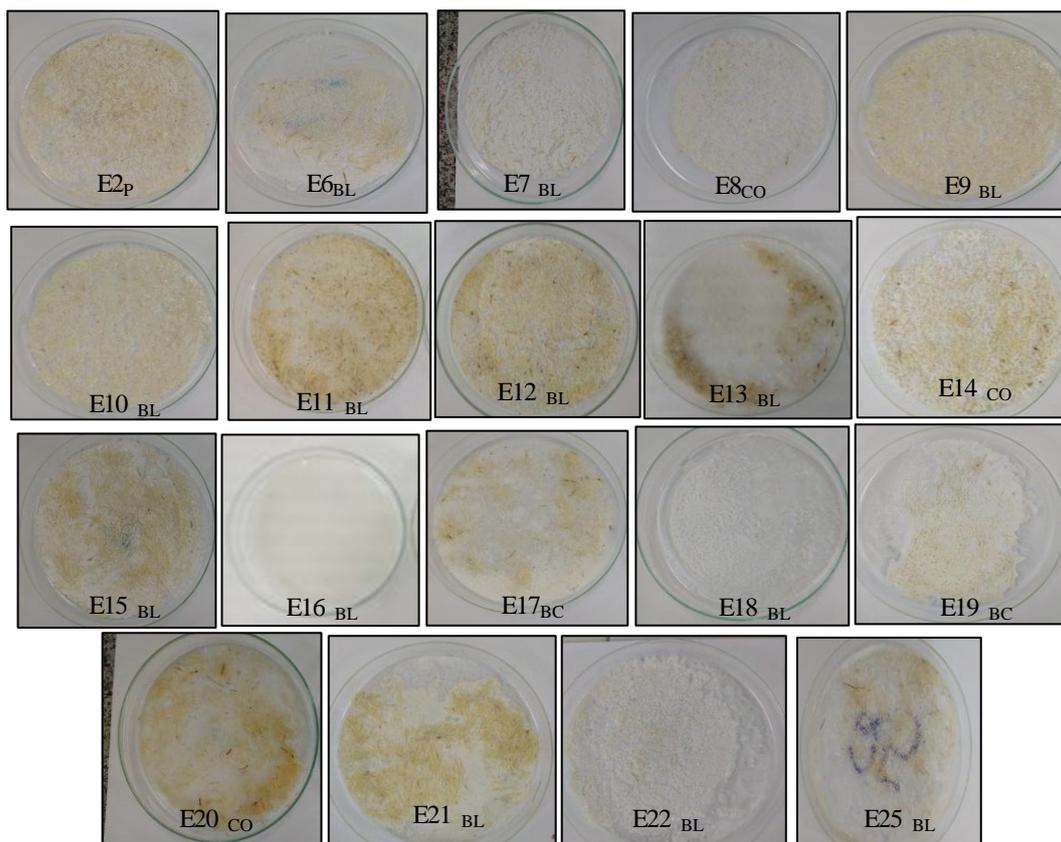
Dentre os 25 ensaios realizados (**Quadro 1**), apenas os experimentos **E1<sub>CO</sub>** (compósito); **E3<sub>BP</sub>** (biopolímero); **E4<sub>BC</sub>** (biocompósito); **E5<sub>BL</sub>** (blenda polimérica); **E23<sub>BL</sub>** (blenda polimérica) e **E24<sub>BC</sub>** (biocompósito) formaram filmes (**Figura 10**).

**Figura 10.** Apresentação dos filmes formados a partir de matrizes poliméricas diferentes.



Fonte: própria autora.

Os demais experimentos previstos no planejamento não formaram filmes, como pode ser observado na **Figura 11**. Isto se deve a variação da quantidade de matriz, plastificante, reforço e solvente, para mais ou menos demonstrando que existe uma quantidade ideal para que haja formação de filmes. Através das imagens é possível observar que em alguns ensaios permaneceram no estado líquido (p.ex.: **E13<sub>BC</sub>**, **E14<sub>CO</sub>** e **E17<sub>BC</sub>**), e os demais se apresentaram como uma folha quebradiça e/ou esfarelável.

**Figura 11.** Experimentos que não formaram filmes.

Fonte: própria autora.

### 3.2 Análise Física e Visual

Os filmes de compósito, biopolímeros, blendas poliméricas e biocompósitos, foram analisados qualitativamente em relação à formação de bolhas, cor e irregularidade quanto à espessura (**Tabela 5**).

**Tabela 9.** Inspeção física e visual dos filmes confeccionados em triplicatas.

Filmes	Bolhas	Cor	Espessura (mm)
			Média ± desvio padrão 10 amostras
<b>E1</b> <sub>CO1,2,3</sub>	-	Amarelo claro	0,07 ± 0,03
<b>E3</b> <sub>BP1,2,3</sub>	-	Branco	1.24 ± 0,20
<b>E4</b> <sub>BC1,2,3</sub>	-	Amarelo intenso	0,27 ± 0,15
<b>E5</b> <sub>BL1,2,3</sub>	-	Amarelo claro	0,03 ± 0,02
<b>E23</b> <sub>BL1,2,3</sub>	-	Branco	0,01± 0,01

<b>E24</b> <sub>BC1,2,3</sub>	-	Amarelo claro	0,10 ± 0,024
-------------------------------	---	---------------	--------------

Fonte: própria autora.

### 3.2.1 Cor e Bolhas

Os tons amarelados presente nos filmes **E1<sub>CO</sub>** (compósito); **E4<sub>BC</sub>** (biocompósito); **E5<sub>BL</sub>** (blenda polimérica); e **E24<sub>BC</sub>** (biocompósito) estão relacionados com a quantidade de reforço (pó da fibra do sisal) adicionado aos filmes. No entanto, os filmes **E3<sub>BP</sub>** (biopolímero) e **E23<sub>BL</sub>** (blenda polimérica) não apresentam reforço, portanto, não há tons amarelados, mas há transparência e tons de branco que são referentes as matrizes utilizadas com adição de aditivos, ver **Quadro 1**. E em nenhum dos filmes confeccionados houve a presença de bolhas.

### 3.2.2 Espessura

A análise da espessura dos filmes é um parâmetro para avaliar a sua uniformidade física. Para a realização das medidas de espessura utilizou-se um micrômetro (Mitutoyo), onde foram realizadas 10 medições de cada filme confeccionado. Com os dados, calculou-se a média e, posteriormente, o desvio padrão.

A partir dos resultados obtidos dos desvios padrão (**Tabela 5**), observa-se que os filmes **E5<sub>BL</sub>** e **E23<sub>BL</sub>** apresentaram os melhores resultados.

A espessura e uniformidade podem ser melhoradas considerando uma granulometria mais específica das matrizes e reforços, bem como, a partir da forma de confecção dos filmes, por exemplo, modificar as condições de processamento utilizando a técnica de prensa, onde espalharia a solução, mas caso houvesse reforço, o material estará concentrado uniformemente no filme (HENRIQUE, CEREDA, SARMENTO, 2008).

## 3.3 Avaliação da Qualidade e Eficiência dos Filmes na Remoção de Azul de Metileno

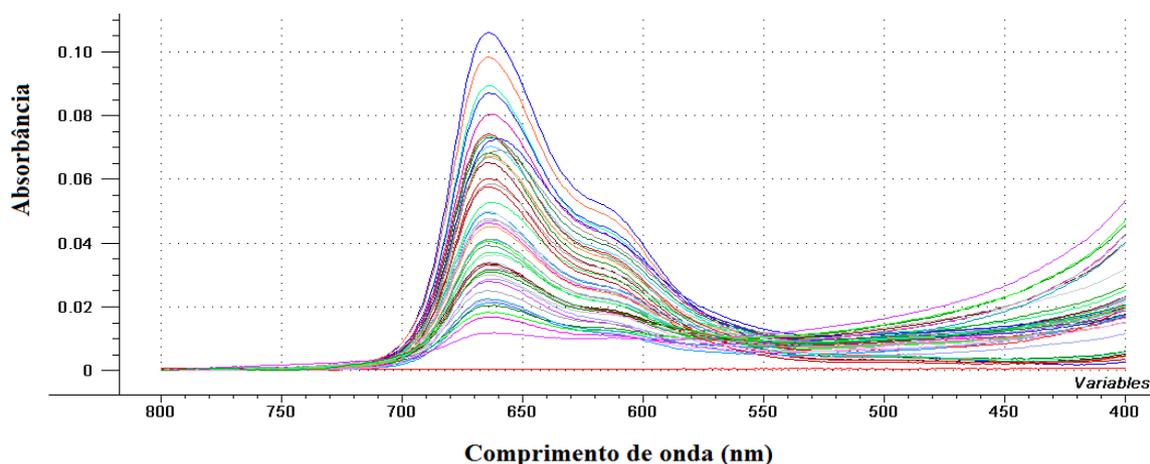
### 3.3.1 Avaliação pela Metodologia UV-VIS

A avaliação das análises pela metodologia UV-VIS, ocorreram da seguinte forma: por se tratar de um instrumento de feixe duplo, a solução utilizada na cubeta de acrílico de referência foi à água destilada, pois todas as alíquotas da solução padrão foram em meio aquoso. E por esse mesmo motivo o branco foi à água destilada. Em seguida, a região utilizada para análise de remoção de azul de metileno foi a visível,

devido ao corante ter faixa espectral entre 400 a 800 nm, considerando que o azul de metileno apresenta um comprimento de onda máximo de 664 nm (SANTOS, 2010).

A seguir são mostrados os espectros de absorção UV-VIS de todos os filmes após o contato com o contaminante (**Figura 12**).

**Figura 12.** Espectros de absorção UV-VIS de todos os filmes após o contato de 10h.



Para encontrar a análise de eficiência de remoção é utilizada esta medida de 100% do azul de metileno em função do tempo de contato com os filmes: **E1<sub>CO</sub>** (compósito); **E3<sub>BP</sub>** (biopolímero); **E4<sub>BC</sub>** (biocompósito); **E5<sub>BL</sub>** (blenda polimérica); **E23<sub>BL</sub>** (blenda polimérica) e **E24<sub>BC</sub>** (biocompósito) **Tabelas 3 e 4**. O procedimento envolve a análise espectral da absorbância da solução padrão de azul de metileno de 1,00 ppm, pois baseado na consideração em que absorbâncias acima de 1,0 podem ocorrer desvios da Lei de Beer (desvios reais por interações entre centros absorventes e pela variação do índice de refração - SKOOG, 2009) e que na prática, possivelmente a contaminação dos recursos hídricos por azul de metileno não seja por concentrações elevadas.

Deste modo, o cálculo da taxa de absorção e remoção do contaminante a partir dos dados das absorbâncias em função do tempo de contato são realizados através das **Equações 3 e 4**, respectivamente.

$$\%Abs_{tn} = \frac{Abs_{tn}}{Abs_{t0}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

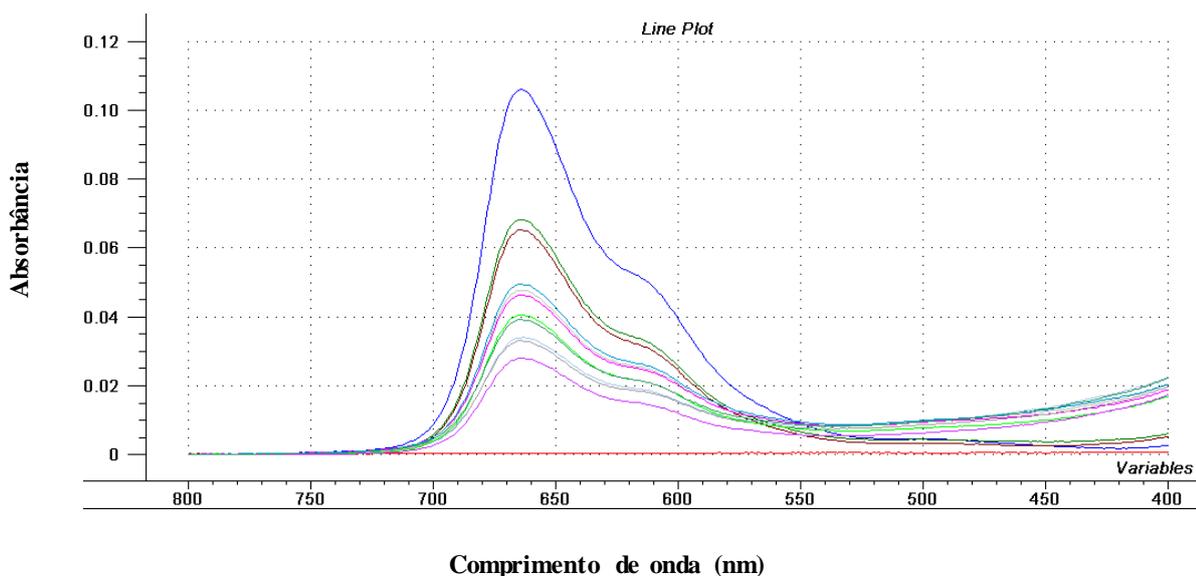
$$\%R_{tn} = \%Abs_{t0} - \%Abs_{tn} \quad \text{Equação 4}$$

A **Equação 3** tem como componentes a **%Abstn** que corresponde a taxa de absorção no tempo  $n$ ; **Abstn** é a absorbância da solução no tempo de contato  $n$  do filme biopolimérico; **Abst0** é a absorbância da solução no tempo de contato 0 (zero) do filme, ou seja, é valor máximo da absorbância da solução em estudo.

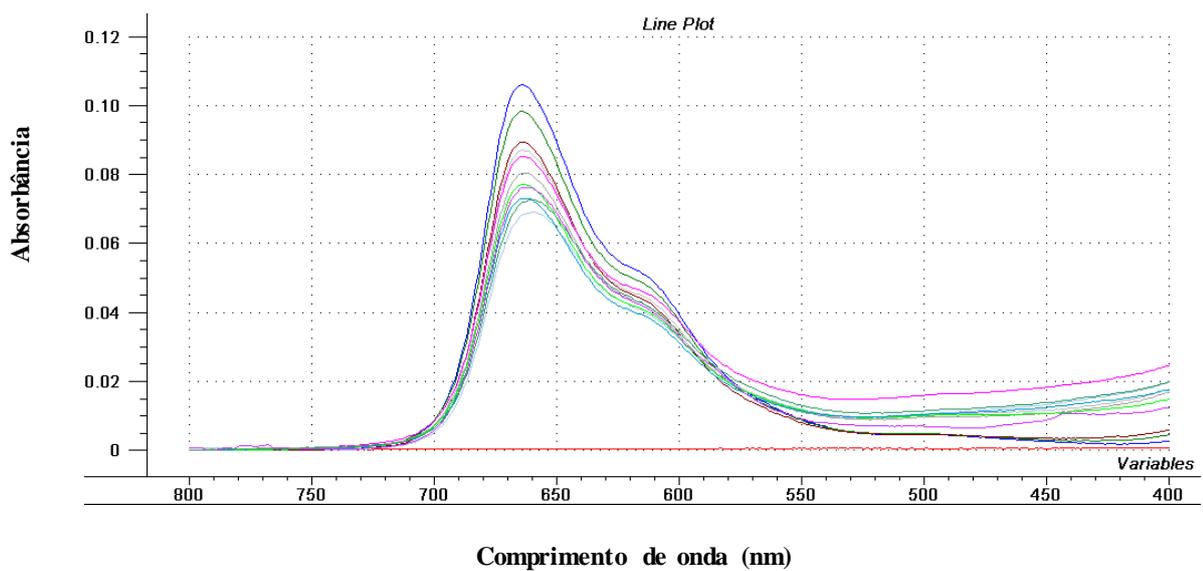
Na **Equação 4** o **%Rtn** é a taxa de remoção no tempo  $n$ ; **%Abst0** é a taxa de absorção da solução no tempo de contato zero do filme biopolimérico, ou seja, é 100%; **%Abstn** é a taxa de absorção da solução no tempo de contato  $n$  do filme biopolimérico (NUNES, 2015; BARCELLOS, 2009).

Sendo assim, a seguir serão apresentados os espectros do estudo realizado para a avaliação da qualidade e eficiência de todos os filmes confeccionados na remoção do azul de metileno (**Figura 13 a 18**).

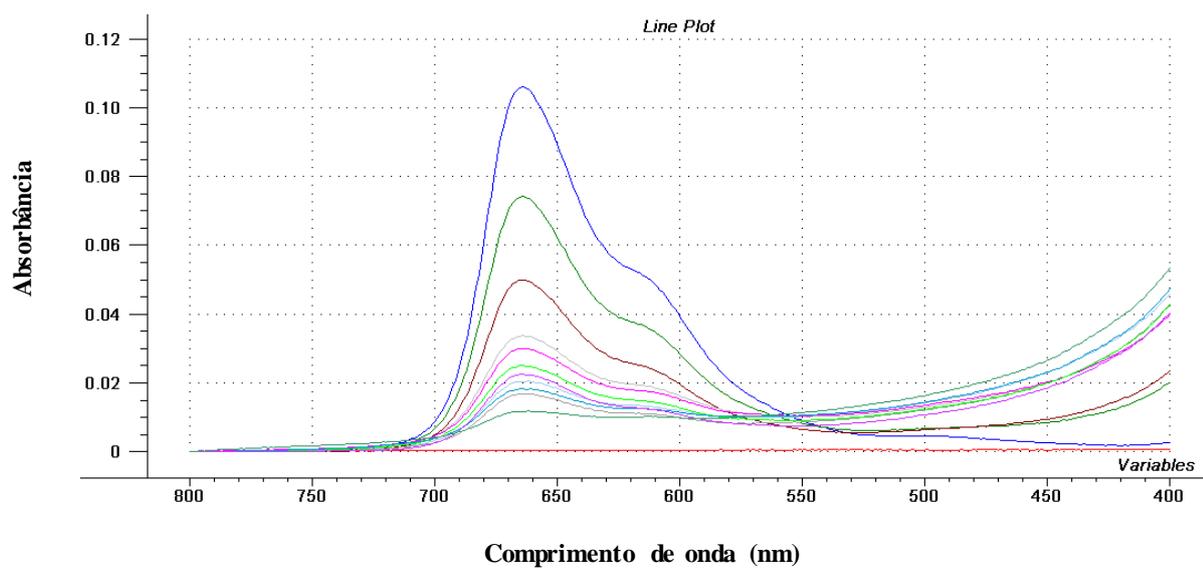
**Figura 13.** Espectros de absorção UV-VIS do Compósito (**El<sub>CO</sub>**) após o contato de 10h com o azul de metileno.



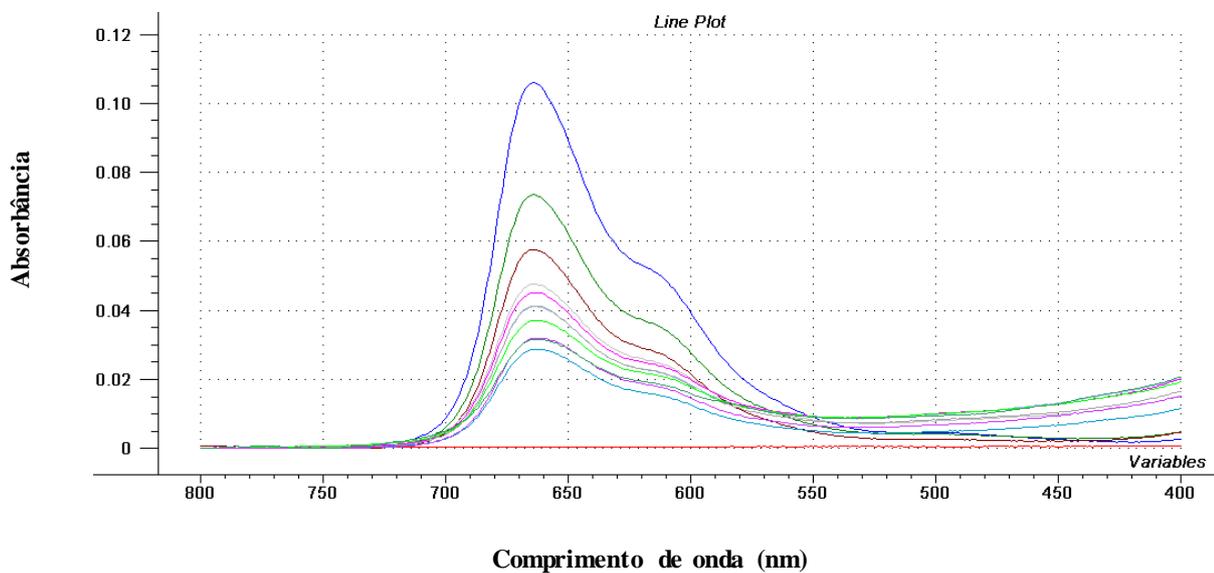
**Figura 14.** Espectros de absorção UV-VIS do Biopolímero ( $E_{3BP}$ ) após o contato de 10h com o azul de metileno.



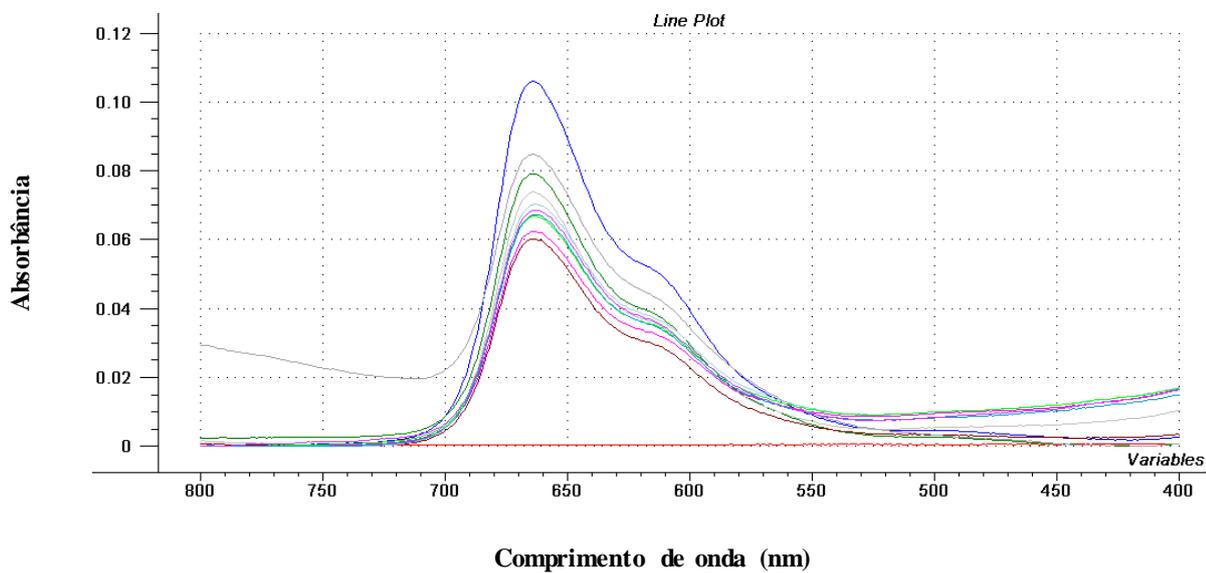
**Figura 15.** Espectros de absorção UV-VIS do Biocompósito ( $E_{4BC}$ ) após o contato de 10h com o azul de metileno.



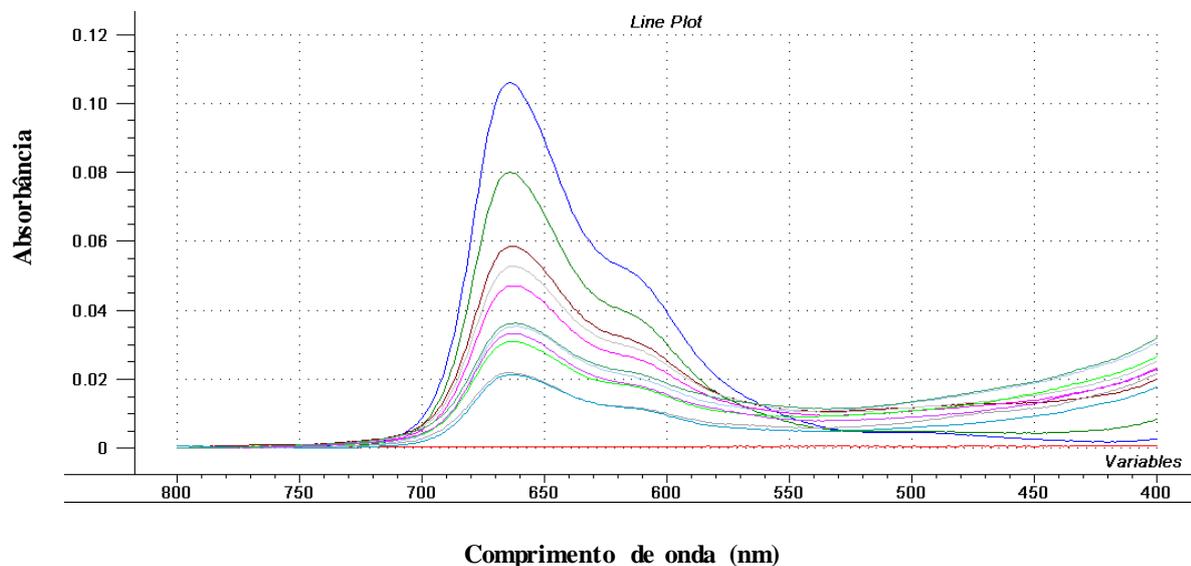
**Figura 16.** Espectros de absorção UV-VIS da Blenda Polimérica (**E5<sub>BL</sub>**) após o contato de 10h com o azul de metileno.



**Figura 17.** Espectros de absorção UV-VIS da Blenda Polimérica (**E23<sub>BL</sub>**) após o contato de 10h com o azul de metileno.



**Figura 18.** Espectros de absorção UV-VIS do Biocompósito (**E24<sub>BC</sub>**) após o contato de 10h com o azul de metileno.



Sendo assim, considerando os dados espectrais obtidos (**Figuras 13 a 18**), as taxas de absorção e de remoção pela metodologia proposta UV-VIS são apresentadas na **Tabela 6:**

**Tabela 10.** Resultados da eficiência dos filmes na absorção e remoção do contaminante azul de metileno.

FILME	TEMPO DE CONTATO	ABSORBÂNCIA	REMOÇÃO
<b>Compósito E1<sub>CO10</sub></b>	<b>600 min</b>	<b>0,016856</b>	<b>84,09%</b>
Biopolimero E3 <sub>BP10</sub>	600 min	0,079950	24,42%
<b>Biocomposito E4<sub>BC10</sub></b>	<b>600 min</b>	<b>0,011779</b>	<b>88,88%</b>
Blenda Polimérica E5 <sub>BL10</sub>	600 min	0,033880	67,97%
Blenda Polimérica E23 <sub>BL10</sub>	600 min	0,065504	38,07%
Biocomposito E24 <sub>BC10</sub>	600 min	0,044231	58,18%

\*Absorbância da solução de AM 1,00 ppm igual a 0,105784 (usada nos cálculos de remoção).

A partir dos resultados, pode-se inferir que os filmes de biocompósito **E4<sub>BC10</sub>** (milho e sisal) e compósito **E1<sub>CO10</sub>** (PVC e sisal) apresentaram melhores resultados na remoção, pois ao longo do tempo, foram os que mais removeram o azul de metileno da solução. Uma possível justificativa é em virtude da quantidade de reforço (sisal) presente nestes filmes, pois ao ser comparados com os demais filmes, com sisal ou sem,

a taxa de remoção diminua significativamente. De acordo com Costa, 2016, o sisal é um forte potencializador para retirada de contaminante, porém somente a fibra remove 70% em 24 horas do corante na solução. Isso significa que a adição de amido de milho e PVC potencializa a remoção e reduz a quantidade de tempo.

Observa-se também que os filmes em contato com a solução nas primeiras horas iniciais reduzem bruscamente a escala de absorvância, e esta tendência prevalece após 10 horas de contato. Porém esta tendência não permanece após as 24 horas, os biopolímeros apresentaram deteriorização, e os demais filmes saturação no espectro (**Figura 17**).

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes de biocompósito **E4<sub>BC10</sub>** (milho e sisal) e compósito **E1<sub>CO10</sub>** (PVC e sisal), avaliados pela espectrometria UV-VIS, podem ser considerados um biossorvente promissor, por ser um material abundante, de baixíssimo custo, de fácil processamento e eficiente na remoção do corante azul de metileno.

A partir dos experimentos realizados, pode-se concluir que o processo de remoção do azul de metileno em meio aquoso pelos filmes estudados apresentaram resultados satisfatórios, tendo em vista o rendimento do biocompósito 88,88% e o compósito de 84,09%. Constatou-se, também, que o filme de biocompósito é o melhor biossorvente em processos adsorptivos no tratamento de efluentes.

Resultado da metodologia pelo planejamento Brereton que se mostrou eficiente, pois houve a redução de gastos de reagentes, sem repetições de amostras, seleção da quantidade máxima e mínima para cada fator e sinalização dos seis melhores filmes a serem confeccionados. Os experimentos que não formaram filmes demonstraram características como quantidade insuficiente de aditivo ou matriz.

Dos vários fatores que influenciam no processo de adsorção, dois muito importantes são a escolha adequada da massa do material adsorvente e o tempo de contato com a solução do contaminante ambiental. Devido o resultado do tempo de análise de 24 horas saturar, para pesquisas futuras o ideal é otimizar este tempo reduzindo os intervalos de 1 hora para cada amostra e acompanhar um gráfico de curva cinética.

## REFERÊNCIAS

- ALAVARSE, A. C. **Desenvolvimento e caracterização de arcabouços à base de blendas poliméricas de PVA e de quitosana para engenharia de tecido**. 2015, 73 f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Biotecnologia, Universidade Federal do ABC, Santo André.
- ALBUQUERQUE, C. A. M. **Remoção de contaminantes em meio aquoso por leitos de argila expandida**. 2005. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Portugal, 2005.
- ALFREDO, A. P. C.; GONÇALVES, G. C.; LOBO, V. S.; MONTANHER, S. F. Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistemas em batelada e coluna de leito fixo. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, 2015, p. 1909-1920.
- ALVES, F. C. **Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde malaquita**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- ANTUNES, M.; ESTEVES, V. I.; GUÉGAN, R.; CRESPO, J. S.; FERNANDES, A. N.; GIOVANELLA, M. Removal of diclofenac sodium from aqueous solution by Isabel grape bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v. 192, p. 114–121, 2012.
- BALAKRISHNAN, H.; HASSAN, A.; WAHIT, M. U.; YUSSUF, A. A.; RAZAK, S. B. A. Novel toughened polylactic acid nanocomposite: mechanical, thermal and morphological properties. **Materials & Design Journal**. v. 31, n. 7, 2010.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2001.
- BARCELLOS, I. O.; GIOVANELLA, R. F. CHIARELLO, L. M.; BLOSFELD, A. M., Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz. **Dynamis revista tecno-científica**. n. 2, v. 15, 1-6, 2009.
- BELISÁRIO, M.; ZANAROTTO, R.; RAYMUNDO, A. S.; RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N. A casca de banana como bioadsorvente na remoção de corantes tóxicos presentes em efluentes industriais. **Revista Analytica**, n. 48, p. 95-102, 2010.
- BISPO, S. J. L. **Estudos das propriedades mecânicas de biocompósitos de polipropileno reforçados com fibras naturais**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.
- BLAZEK, G. R.; HUI, W. S. **Estudo da blenda poli(3-hidroxibutirato)/poli(etileno Glicol)**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS JUNIOR, A. A.; SIMON, N. M.; PAVAN, F. A.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de bioadsorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como bioadsorvente. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 548-553, 2007.

BRERETON, R. G. **Chemometrics: data analysis for the laboratory and chemical Plant**. Ed. Wiley. University of Bristol, UK, 2003.

BRERETON, R. G. **Multilevel multifactor designs for multivariate calibration**. *Analyst*, 122-1521, 1997.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Materiais e Processos**, v. 6.2, p.127-139, 2011.

CAMPOS, A., TEODORO, K. B. R., MARCONCINI, J. M., MATTOSO, L. H. C. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio, Embrapa - São Carlos. **Revista Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 217-222, 2011.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artiber Editora Ltda., 2006, 280 p.

CARDOSO, N. F. **Remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos utilizando casca de pinhão in natura e carbonizada como adsorvente**. 2010. 164 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CARETTA, T. O. **Avaliação do potencial das cascas de maracujá amarelo e de mexerica como biossorventes de metais pesados**. 2010. 63 p. Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

CARON, C. F. **Proposta de um sistema para remoção de sólidos suspensos e redução de matéria orgânica e de nutrientes em corpos aquáticos de pequeno porte: estudo de caso no córrego Blanche**. 2006. 223 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

COSTA, C. M. S. **Avaliação da eficiência das fibras de sisal, como biossorvente, na remoção de corante azul de metileno usando espectrofotometria UV-VIS**. 2016, 46 f. Monografia - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2016.

COSTA, A. M. A. **Mauveína a cor que mudou o mundo**. Sociedade Portuguesa de Química. n. 105 p.31-35, 2007.

DALFIOR, B. M.; LICÍNIO, M. V. V. J.; GONÇALVES, G. S.; PEREIRA, M. G.; GALAZZI, R. M.; COSMO, P. C.; RIBEIRO, A. V. F. N.; RIBEIRO, J. N. Emprego do mesocarpo de coco na remoção de paracetamol em meio aquoso sob agitação. **Revista Analytica**. n. 63, p. 52-58, 2013.

DEMIRBAS, A. **A review, journal of hazardous materials** p. 157- 220, 2008.

DINIZ, A. C. O.; NASCIMENTO, E. C. L. **Confecção de diferentes filmes biopoliméricos, para detecção e/ou remoção de contaminantes ambientais em meio aquoso, elaborados a partir de um planejamento fatorial**. In: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica- PIBIC, 2017, Serra Talhada. **Relatório final das**

**atividades.** Serra Talhada, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2018, p. 1-22.

DINIZ, A. C. O.; BRITO, A. M. S. S.; GAIÃO, E. N.; NASCIMENTO, E. C. L.; SILVA, I. D. L.; LIMA, T. S. **Confecção de filmes de diferentes matrizes biopoliméricas a partir de um planejamento fatorial.** In: 4º Encontro Nordeste de Ciência e Tecnologia de Polímeros, 2018, Aracajú. **Anais.** Aracajú, SE: Universidade Tiradentes – UNIT, 2018. p. 1-3.

FECHINE, G. J. M. A Era dos polímeros biodegradáveis. **Plástico moderno.** v. 423, p.28-43, 2010.

FIL, B. A.; ÖZMETIN, C.; KORKMAZ, M. Cationic dye (methylene blue) removal from aqueous solution by montmorillonite. *Bull. Kor. Chem. Soc.* v.33, p. 3184–3190, 2012.

FISPQ. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos.** São Paulo: Labsynth, 3p, 2009.

FLOSS, M. I.; CALLEGARO, T. **Utilização de eletrodos de sacrifício de ferro na eletrofloculação do efluente de uma indústria têxtil:** avaliação da eficiência de tratamento. 2011. 43 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Revista Química Nova,** [s.l.], v. 29, n. 4, p.811-816, jul. 2006.

GOSH, D.; BHATTACHARYYA, K. G. **Adsorption of methylene blue on kaolinite.** *Applied Clay Science,* 2002, v. 20, p. 295-300.

GODINHO, A. L. P. **Aproveitamento de rejeito agroindustrial como adsorvente de contaminante orgânico.** 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. **Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca.** *Ciência e Tecnologia de Alimento,* 28(1): p. 231-240, 2008.

HUNEAULT, M. A.; LI, H. Morphology and properties of compatibilized polylactide/thermoplastic starch blends. **Polymer.** v. 48, n. 1, 2007.

IMMICH, A.P.S.; SOUZA, A.A.U.; SOUZA, S.M.A.G.U. Adsorption of remazol blue rr from textile effluents using azadirachtaindica leaf powder as an alternative adsorbent. **Science & Technology,** v. 27, n. 5, p.461-478, 2009.

INDEX COLOUR, **Society of dyers and colourists and american association of textilechemists and colourists,** 2002. Disponível em:< <http://dyes-pigments.standardcon.com/colour-index.html>> Acessado em 04 de dezembro de 2019.

KUHN, K. J., WEHNER, W. **Stabilized polyvinyl chloride.** U.S. Patente 6,136,900, 2000.

KURNIAWAN, T.A.; CHAN, G. Y. S.; LO, W. H.; BABEL, S.; SCI. **Total environ.** p. 366, 2006.

LEMMOUCHI, Y.; MURARIU, M.; SANTOS, A. M.; AMASS, A. J.; SCHACHT, E.; DUBOIS, P. Plasticization of poly(lactide) with blends of tributyl citrate and low molecular weight poly(D,L-lactide)-b-poly(ethylene glycol) copolymers. **European Polymer Journal.** v. 45, n. 10, 2009.

LEMONS, A. M.; NOBLE, A. P.; SEGAT, H. J.; DARONCO, I. A.; PAPPIS, L.; NUNES, L. T.; NEVES, L. V. **Espectroscopia visível e ultravioleta.** 2009, p. 1-10.

LIMA, E. M. **Otimização da produção de papel artesanal de resíduo de cana-de-açúcar usando planejamento experimental Brereton.** 2016, 66 f. Monografia - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2016.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Revista Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARTINS, G. S., IOZZI, M. A., MARTINS, M. A., MATTOSO, L. H. C., FERREIRA, F. C. Caracterização mecânica e térmica de compósitos de poli (cloreto de vinila) reforçados com fibras de sisal. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia,** v. 14, n. 5, p. 326-333, 2004.

MARTINS, L. M. **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reuso.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Piauí, Teresina-Piauí, 2011.

MATHEIS, T. K. ; PAVAN, F. A.; VALENTE, D.O.; MAZZOCATO, A. C.; BRETANHA, S. M. **Remoção de azul de metileno de solução aquosa utilizando pó de casca de romã como adsorvente.** 2009, p. 1-12.

NIEDERSBERG, C. **Ensaio de adsorção com carvão ativado produzido a partir da casca do tungue (*Aleurites Fordii*), resíduo do processo de produção de óleo.** 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012.

NORMA ABNT NBR 15448-1. **Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis Parte 1: Terminologia.** 2008.

NUNES, L. R. Concepção e Org.; RODOLFO JR., A., Coord. R\_t Tecnologia do PVC. RODOLFO JR., A., NUNES, L. R., ORMANJI, W. **Consultoria e Revisão Técnica:** HAGE JR., E., Agnelli, J. A. M., Pessan, L. A. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2002. 2ª edição Revista e Ampliada. 448 p, 2006.

NUNES, A. G. S. L. **Avaliação das cascas de maracujá amarelo como adsorvente natural para o contaminante azul de metileno utilizando espectroscopia UV-vis e planejamento fatorial.** 2015, 64p. (Monografia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2015.

- OLIVEIRA, A. P. M.; SARON, A. **Fotocatálise heterogênea com a utilização de luz solar na degradação do azul de metileno**. Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2014.
- OLIVEIRA, Y. C. B. B. et al. **Utilização de biossorventes vegetais para o tratamento de resíduos de azul de metileno gerados no laboratório didático de química**. Sociedade Brasileira de Química (SBQ) 35a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2012.
- OLIVEIRA, I. M. **Caracterização de escamas de peixe Robalo (Dicentrarchus labrax) e seu estudo de sorção de corantes em meio aquoso**. 2011.113 p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.
- OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; PORTES, T. A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 239-246, jul./set. 2013.
- OYAMA, H. T. Super-tough poly(lactic acid) materials: Reactive blending with ethylene Copolymer. **Polymer**. v. 50, n.3, 2009.
- PEITER, G. C., ALVES, H. J., SEQUINEL, R., BAUTITZ, I. R. Alternativas para o uso do glicerol produzido a partir do biodiesel. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.4, p.519-537, 2016.
- PETER, W., BRAND, E., PETERS, A., KLAMANN, J. **Use of a stabilizer combination in the production of films of polychloride by the calendaring process**. U. S. Patentes. n. 6,140,401, 2000.
- RABELLO, M. **Aditivação de polímeros**. São Paulo, Editora Artiliber 2000.
- RAYMUNDO, A. S.; ZANAROTTO, R.; BELISÁRIO, M.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N. **Evaluation of sugar-cane bagasse as bioadsorbent in the textile wastewater treatment contaminated with carcinogenic congo red dye**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 53, p. 931-938, 2010.
- SALVADOR, T. **Degradação de corantes têxteis por processos oxidativos avançados do tipo fenton**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- SANTOS, E. G.; ALSINA, O. L. S; SILVA, F. L. H. **Estudo da capacidade de adsorção de biomassas para contaminantes orgânicos**. Anais do Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, 2003.
- SANTOS, A. E. F. **Estudo de filmes biodegradáveis de amido de milho modificados por plasma de SF6, HMDSO e acetileno**. 2012. 98 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SANTOS, A. **Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactante aplicadas na adsorção do azul de metileno e pnitrofenol em solução aquosa**. 2010,114 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

SEVERO, A. A. L.; SOUZA, T. P.; ROLIM, L. A.; SOARES SOBRINHO, J. L.; MEDEIROS, F. P. M.; ROLIM NETO, P. J. Otimização das condições de extração de senosídeos por soluções hidroetanólicas das folhas de *Senna alexandrina* MILL empregando planejamento fatorial. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 34, n. 4, p. 603-609, 2013.

SILVA, J. R. T. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos a base de polianilina e celulose microcristalina modificada com anidrido maleico como plataformas para ensaios eletroquímicos**. 2013. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SILVA, A. T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis**. 2005. 45 p. Monografia (Bacharel em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, A. M. S. **Fases sensoras de PVC para a determinação de hidrocarbonetos aromáticos e clorados em águas utilizando espectroscopia no infravermelho médio**. 2008. 146 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, A. M. S.; PIMENTEL, M. F.; RAIMUNDO, I. M. J.; ALMEIDA, Y. M. B. Effect of plasticizers on a PVC sensing phase for evaluation of water contamination by aromatic hydrocarbons and fuels using infrared spectroscopy. **Journal ELSEVIER**, v. 139, p. 222-230, 2009.

SILVA, A. M. S.; PIMENTEL, M. F.; RAIMUNDO, I. M. J.; ALMEIDA, Y. M. B. A PVC sensing phase for determination of BTEX in water employing mid-infrared spectroscopy. **Journal ELSEVIER**, v. 46, n. 1, p. 39-44, 2008.

SILVA, R. C. O.; OLIVEIRA, R.; ROCHA, R. D. C. Utilização de casca de jabuticaba (*Plinia* sp.) como adsorventes na remoção de cromo (VI): planejamento fatorial, cinética e estudo de equilíbrio. **Revista Tecno-Lógica**, v. 16, n.1, p. 19-24, 2012.

SKOOG, D. A.; HOLLER F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**, 5ª edição, Bookman, Porto Alegre, 2002.

SPERLING, L. H. **Introduction to physical polymer science**. John Wiley & Sons, 1986.

SU, Z.; LI, Q.; LIU, Y.; HUB, G. H.; WUA, C. Compatibility and phase structure of binary blends of poly(lactic acid) and glycidyl methacrylate grafted poly(ethylene octane). **European Polymer Journal**. v. 45, n.8, 2009.

WANG, S. B.; ZHU, Z.H. Characterization and environmental application an Australian natural zeolite for basic dye removal from aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, n.136, p. 946-952, 2006.

YMAMURA, AMANDA G. P.; YMAMURA, MITIKO. **Estudo da cinética e das isotermas de adsorção de pelo bagaço de cana-de-açúcar**. International Nuclear Atlantic Conference. São Paulo, 2005.