

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

LARA LUIZA DE OLIVEIRA DORNELAS

**REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA POR
ADSORÇÃO POR FIBRAS DE COCO**

UBERLÂNDIA - MG

2023

LARA LUIZA DE OLIVEIRA DORNELAS

**REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA POR
ADSORÇÃO POR FIBRAS DE COCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo.

UBERLÂNDIA - MG

2023

LARA LUIZA DE OLIVEIRA DORNELAS

**REMOÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO DE SOLUÇÃO AQUOSA POR
ADSORÇÃO POR FIBRAS DE COCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo.

Uberlândia, 07 de julho de 2023.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Tatiane Pereira dos Santos Morais – ICIAG UFU

Profa. Dra. Geissielen Andrade Lauriuchi – ICIAG UFU

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo – ICIAG UFU

AGRADECIMENTOS

É com grande emoção e satisfação que expresso meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização do meu trabalho de conclusão de curso. Esta conquista representa não apenas o fim de uma etapa importante em minha vida acadêmica, mas também um marco de aprendizado, superação e crescimento pessoal.

Gostaria de começar agradecendo a Deus pela oportunidade de estar realizando mais um sonho, e também aos meus professores e orientadores, cuja dedicação, paciência e sabedoria foram fundamentais para o desenvolvimento deste. Agradeço aos meus familiares e amigos, pelo amor, incentivo e suporte incondicionais. Seus encorajamentos constantes e palavras de apoio foram um pilar fundamental para que eu pudesse persistir e concluir este trabalho. Vocês sempre acreditaram em mim, mesmo nos momentos de dúvida, e sou grato por todo o apoio emocional e motivacional que me proporcionaram.

Essa conquista só foi possível devido as instituições de ensino que me proporcionaram recursos e infraestrutura para que pudesse desenvolver minhas pesquisas. Também sou grata a todos os autores e pesquisadores cujos trabalhos foram referências essenciais para a fundamentação teórica desta dissertação.

Que este seja apenas o começo de muitas realizações futuras e que possamos continuar a compartilhar conhecimento, inspiração e amizade ao longo de nossas trajetórias.

Com gratidão e carinho,

Lara.

RESUMO

Água é uma substância essencial para a vida e representa um recurso natural fundamental para a sobrevivência de todos os organismos, desempenhando um papel crucial em processos biológicos, bem como em atividades industriais e domésticas, gerando efluentes que são descartados no ambiente ou em sistemas de tratamento. Estes efluentes podem conter uma ampla variedade de substâncias, incluindo poluentes orgânicos, metais pesados, nutrientes, patógenos e alguns destes contêm corantes, gerados em indústrias têxteis, farmacêuticas, de alimentos e de cosméticos. O azul de metileno é um exemplo de corante amplamente utilizado pelas indústrias que o manipulam, e é um potencial gerador de impactos na qualidade e na ecologia da água. Uma das formas de retirar o azul de metileno do efluente é por meio de biossorção, uma adsorção por organismos vivos ou seus produtos. Este estudo tem como objetivo avaliar a remoção do corante azul de metileno em solução aquosa por fibras de coco, utilizando concentrações de $0,1 \text{ g L}^{-1}$; $0,2 \text{ g L}^{-1}$; $0,4 \text{ g L}^{-1}$ e $0,6 \text{ g L}^{-1}$. Mais de 80% azul de metileno foi removido da solução com tempo de adsorção de 45 minutos, revelando correlações significativas entre as concentrações da fibra de coco e a remoção deste corante. Dessa forma, evidencia-se a eficiência das fibras de coco na descontaminação do azul de metileno, e reforça-se o potencial para a utilização em larga escala para o tratamento de efluentes contendo azul de metileno.

Palavras-Chave: biorremediação; biossorção; despoluição; corante têxtil; efluente têxtil.

ABSTRACT

Water is an essential substance for life and represents a fundamental natural resource for the survival of all organisms. It plays a crucial role in biological processes as well as in industrial and domestic activities, generating effluents that are discharged into the environment or treatment systems. These effluents can contain a wide variety of substances, including organic pollutants, heavy metals, nutrients, and pathogens. Some effluents contain dyes generated in the textile, pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Methylene blue is an example of a dye that is a potential generator of impacts on water quality and ecology and is widely used by industries. One way to remove methylene blue from the effluent is through biosorption, which is the adsorption process of living organisms or their products. This study aims to evaluate the removal of methylene blue dye by coconut fibers using concentrations of 0.1 g L⁻¹; 0.2 g L⁻¹; 0.4 g L⁻¹ and 0.6 g L⁻¹, both containing solutions with methylene blue dye and distilled water, to eliminate possible interference of the fibers in the reading. More than 80% of methylene blue was removed from the solution with an adsorption time of 45 minutes, revealing significant correlations between the concentrations of coconut fiber and the removal of this dye.

Keywords: bioremediation; biosorption; depollution; textile dye; textile effluent.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Representação das amostras do ensaio contendo o corante azul de metileno em ordem crescente de concentração dos tratamentos de água em 0,1 a 0,6 g L⁻¹ organizados em tratamento da fibra de coco com e sem corante de azul de metileno.30
- Figura 2. Tratamentos contendo somente água com adição de fibras de coco para análise de interferências na leitura das amostras no espectrofotômetro separados em concentração de fibra de coco de 0,1 g L⁻¹, 0,2 g L⁻¹ e 0,4 g L⁻¹ com tempo de ensaio de 45 minutos.....30
- Figura 3. Amostras do Tratamento da Água pela Fibra de Coco com e sem Corante de Azul de Metileno Organizados e Submetidas a Agitação por 40 minutos a 180 rpm no Laboratório LAMIC (Laboratório de Microbiologia Ambiental) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), possuindo amostras de concentração dos tratamentos de água com 0,1 a 0,6 g L⁻¹ de fibras e coco.....31
- Figura 4. Amostras do Tratamento contendo amostras de concentração de solução de 0,1 a 0,6 g L⁻¹ alocadas na Micro-Centrífuga á 5000 rpm mantidos por 5 minutos no aparelho para decantação das fibras de coco antes da leitura.32
- Figura 5. Espectrofotômetro Digital utilizado para a leitura das Absorbâncias das amostras no laboratório LAMIC da Universidade Federal de Uberlândia.....30
- Figura 6. Curva Padrão com os dados obtidos na Leitura de Absorbância de amostras padrão, evidenciando a equação da reta e o coeficiente de relação.....34
- Figura 7a. Gráfico da Relação entre Concentração de Fibras de Coco e Remoção do Corante Azul de Metileno, contendo a Equação Polinomial de Segundo Grau e Coeficiente de Correlação do Gráfico **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7b. Foto comparativa da solução antes e depois do tratamento envolvendo fibras de coco para remoção do corante de concentração 0,1 a 0,6 g L⁻¹ Azul de Metileno no Lamic.....36
- Figura 8. Análise de Regressão representando a partir do ensaio de biorremediação de azul de metileno contendo concentrações de 0,1 a 0,6 g L⁻¹ de fibra de coco em solução, com intuito de analisar a probabilidade das variáveis se justificarem, incluindo no gráfico a equação linear e quadrática dos pontos, além do coeficiente de correlação.....37
- Figura 9. Gráfico da Análise de Regressão representando a probabilidade das variáveis se justificarem, contendo equação linear, quadrática e coeficiente de correlação.39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos de biorremediação "in situ"	21
Tabela 2. Tratamentos de biorremediação "ex situ"	23
Tabela 3. Características químicas e físicas da fibra de coco, apresentando a quantidade em percentual mínimo e máximo de cada propriedade que o fruto pode apresentar.	26
Tabela 4. Classificação das amostras no ensaio contendo tratamentos de concentração de 0,1 a 0,6 g L ⁻¹ de fibra de coco em solução de corante de azul de metileno 20 mg L ⁻¹ , e os tratamentos controle com fibra de coco, mas sem corante de azul de metileno.	29
Tabela 5. Leitura da concentração da solução, da concentração da fibra de coco e da absorção das amostras de tratamento com e sem o corante azul de metileno no espectrofotômetro após 45 minutos de ensaio.	36
Tabela 6. Leitura da concentração da solução, da fibra de coco e da final de azul de metileno da solução e percentil de remoção do contaminante em cada tratamento.	37
Tabela 7. Análise de regressão dos dados utilizando o programa sinsvar entre resultados de concentração e de fibra e concentração de corante final.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PAHs - Hidrocarbonetos Poliaromáticos

TCE - Descloração do Solvente Tricloroetileno

NM - Nanômetros

BTEX - Hidrocarbonetos Monoaromáticos

PCBs - Biorremediação de Bifenilos Policlorados

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

PCR - Reação em Cadeia da Polimerase

POPs - Poluentes Orgânicos Persistentes

EOCs - Contaminantes Orgânicos Emergentes

RPM - Repetições por Minuto

LAMIC- Laboratório de Microbiologia Ambiental

UFU- Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 Principais Poluentes	16
4.2 Corante Azul de Metileno.....	17
4.3 Remediação.....	19
4.3.1 Bombeamento e Tratamento (<i>Pump and Treat</i>).....	19
4.3.2 Extração de Vapor do Solo.....	19
4.3.3 Aeração (<i>Air Sparging</i>)	19
4.3.4 Barreiras Reativas Permeáveis	20
4.3.5 Incineração	20
4.3.6 Sodificação/ Estabilização.....	20
4.4 Biorremediação.....	20
4.4.1 Fatores que Podem Influenciar a Biorremediação	24
4.5 Biossorção de Materiais Orgânicos para Poluente	24
4.6 Fibras de Casca de Coco.....	25
4.6.1. Características Físicas e Químicas das Fibras de Coco.....	26
4.6.2. Uso das Fibras de Coco na Biorremediação.....	27
5 MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Procedimentos.....	29
5.2 Concentração do Corante.....	29
5.3. Preparo da Curva Padrão	33
5.4 Análise de Regressão	34
6 RESULTADOS	36
7 DISCUSSÃO	41
8 CONCLUSÃO.....	44
9 REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais, os processos ecossistêmicos e globais são essenciais para a sobrevivência humana. O uso racional destes, como as águas, solos e ar, são primordiais para o desenvolvimento sustentável da civilização, permitindo a sobrevivência e conforto da sociedade em geral (DULLEY, 2004; GOMES et al., 2004). Têm se observado um esgotamento destes recursos devido ao seu uso indevido, e em conjunto com os problemas ambientais, estes agravam e geram uma grande fragilidade na biodiversidade do planeta (BENNET,2019).

O aumento populacional tem se tornado um problema ambiental, devido uma maior taxa de degradação do ambiente, pelo aumento da produção e do uso de combustíveis fósseis, como petróleo, e também do uso de agrotóxicos para aumentar a produção alimentar (ANTAR et.al,2021). Estes tem sido ocasionado nos grandes centros urbanos, no meio industrial e agrícola, e o seu gerenciamento é essencial para reduzir a poluição e contaminação para manter a qualidade da água, do solo e do ar devido de todos os setores ambientais (AGOSTINHO et al., 2005; GOMES et al., 2004;).

A exploração de minerais, a síntese e ou concentração de espécies químicas, a emissão de gases, e as mudanças no uso da terra tem causado cada vez mais a aceleração de ciclos biogeoquímicos e causando contaminações ambientais (JENNERJAHN,2012). A contaminação pode ser definida como a presença de altas concentrações de substâncias na água, solo, sedimentos ou organismos e a maior parte das concentrações de poluentes presentes no solo e na água são decorrentes da ação antropológica, gerando impactos ambientais que exigem energia, matéria e tempo para a reversão (DOS SANTOS et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2016; SANCHES et al., 2013).

Esta contaminação pode ser prejudicial e afetar o crescimento das plantas, mudar as características dos recursos hídricos e trazer malefícios para a saúde humana (STEFFEN et al., 2011). Os principais contaminantes presentes nos recursos hídricos incluem uma variedade de substâncias químicas e biológicas, como por exemplo os metais pesados (como chumbo, mercúrio e cádmio), compostos orgânicos (como pesticidas, herbicidas, corantes e solventes), nutrientes (como nitrogênio e fósforo), produtos farmacêuticos e hormônios, microrganismos patogênicos e corantes têxteis (DA SILVA et al., 2008).

Os corantes têxteis, são amplamente utilizados na indústria têxtil, de papel, de cosméticos e na medicina também como agente redutor em técnicas laboratoriais, e quando liberados em grande quantidade no ambiente, por exemplo durante o processo de pintura de tecidos, pode acarretar graves problemas ambientais por apresentar um efeito inibitório sobre a

fotossíntese aquática, devido sua capacidade de esgotar o oxigênio dissolvido e pela toxicidade para o bioma e biota, (SAROJ et al., 2015; NASSEN et al., 2016).

O Azul de Metileno é um corante sintético de cor azul intenso e é conhecido quimicamente como cloreto de tetrametilbenzidina e sua fórmula química $C_{16}H_{18}ClN_3S$ lhe confere uma massa molar de $319,85 \text{ g mol}^{-1}$, solubilidade em água e estabilidade em condições normais, entretanto pode ser degradado por processos químicos ou biológicos (NASSEN et al., 2016). Quando descartado de forma inadequada e em altas concentrações, é capaz de gerar efeitos adversos em seres humanos, como irritação da pele, dos olhos e do sistema respiratório (OLIVEIRA et al., 2020; KHAN et al., 2013).

Devido aos riscos ambientais e à toxicidade do corante, é importante adotar medidas de descontaminação para remover esse composto de corpos d'água contaminados (TAN et al., 2014). A remoção do Azul de Metileno pode ser alcançada por meio de processos de tratamento de água, como a adsorção em carvão ativado ou a oxidação avançada (KHAN et al., 2013).

Outra tecnologia que vem se mostrando promissora é a biorremediação, que utiliza organismos vivos em seus processos para remover contaminantes do meio ou transformá-los para diminuir os impactos e riscos ambientais (LEONEL et al., 2018). Esse processo de descontaminação visa transformar produtos químicos prejudiciais por meio de processos como degradação, mineralização, oxi-redução, precipitação, adsorção, ou contenção do contaminante (SHANNON et al., 1993; LEONEL et al., 2018).

A Biossorção é um processo que pode ser aplicado para a remoção de vários poluentes, especialmente aqueles que são recalcitrantes ou não degradáveis, como metais e corantes que se baseia na capacidade de certos materiais biológicos, como microrganismos, algas, cascas de frutas ou resíduos agrícolas ao se ligarem a compostos específicos presentes no ambiente. Esta descontaminação pode ser feita por meio de processos como adsorção por pontes de hidrogênio, interações de Van der Waals, trocas iônicas, complexação e precipitação (GADD et al., 1993; SOUZA, 2012).

A presença de materiais abundantes no ambiente que possuem baixo custo de aquisição e apresentam alta facilidade de absorção, como por exemplo a casca de banana ou resíduos de microalgas, proporcionam a efetividade de remoção do corante em estudos experimentais (GADD et al., 1993; LIN et al., 2009). No caso do corante azul de metileno, esses materiais biológicos possuem grupos funcionais em suas estruturas que têm afinidade eletrostática ou química com o corante, permitindo sua adsorção e remoção eficiente das soluções aquosas (LIN et al., 2009). Além disso, estes materiais podem ser utilizados para a produção de energia após

a aplicação no tratamento do efluente, e por isto se tornam um produto de alto valor agregado, provocando um destino sustentável ao resíduo industrial (GADD et al., 1993; LIN et al., 2009).

Outras biomassas que possuem baixo custo vêm sendo utilizadas nos processos adsorptivos de poluentes, como o uso do bagaço da cana-de-açúcar, que foi utilizado para tratar os efluentes sintéticos contaminados pelo petróleo bruto, demonstrando eficiência de 80% na remoção de contaminantes, e também o uso de sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo de coco, casca de arroz e bagaço de cana, que também são contribuintes na biossorção de hidrocarbonetos leves presentes em efluentes (COSTA et al., 2014)

Um dos principais aspectos que torna as fibras de coco atrativas para a biorremediação é a sua alta capacidade de absorção, elas possuem uma estrutura porosa que permite a retenção eficiente de contaminantes, metais pesados, compostos orgânicos, entre outros e suas propriedades físicas e químicas são favoráveis para a realização da biorremediação, como alta capacidade de troca catiônica, capacidade suporte e pH neutro, o que contribui para sua eficácia na remoção de poluentes (SOUZA et al., 2003).

Com isto, este trabalho teve o objetivo de avaliar a remoção de corante azul de metileno de solução aquosa pela adição da fibra da casca de coco verde como adsorvente.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Investigar a remoção de corante azul de metileno de solução aquosa pela adição da fibra da casca de coco verde como adsorvente.

2.2 Específicos

- Avaliar a capacidade das fibras de coco em adsorver o contaminante Azul de Metileno
- Comparar a influência da concentração de fibra na taxa de remoção do corante.
- Avaliar a interferência que a fibra pode apresentar na leitura de absorbância da solução
- Determinar se os resultados foram obtidos devido ao acaso ou devido aos tratamentos realizados.

3 JUSTIFICATIVA

A biorremediação é uma estratégia promissora que tem sido fortemente utilizada para a remediação de solos contaminados por poluentes orgânicos e inorgânicos, e certos materiais como a fibra de coco vêm sendo utilizada como suporte para aumentar a eficiência desse processo, devido às suas propriedades únicas. Ela é um subproduto da indústria do coco e é considerada uma fonte renovável, biodegradável e amplamente disponível por possuir uma estrutura porosa e uma alta capacidade de retenção de água, o que a torna um suporte ideal para a biorremediação.

A fibra de coco é rica em compostos orgânicos, como lignina e celulose, que podem servir como substratos para a proliferação de micro-organismos degradadores. Silva et al. (2019) demonstrou em seu estudo a sua eficiência da fibra de coco na biorremediação de solos contaminados por petróleo, utilizando-a como suporte para a imobilização de bactérias degradadoras de hidrocarbonetos. Seus resultados sugerem que a presença da fibra de coco aumentou significativamente a capacidade de degradação dos micro-organismos, proporcionando uma remediação eficiente do solo contaminado.

Outra vantagem apresentada através da utilização da fibra de coco é sua capacidade de retenção de nutrientes. Ela possui alta capacidade de retenção de íons metálicos, como zinco e chumbo, que são frequentemente encontrados em solos contaminados (MARTINELLI et al., 2023). Dessa forma, a fibra de coco não apenas promove a degradação de contaminantes, mas também ajuda a reduzir a disponibilidade desses metais tóxicos, minimizando seus efeitos prejudiciais ao ambiente e seu uso na biorremediação oferece uma série de vantagens, incluindo sua disponibilidade, propriedades físicas e químicas favoráveis, capacidade de suportar o crescimento microbiano e retenção de nutrientes, se tornando uma opção viável e sustentável para a remediação de solos contaminados.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Principais poluentes

A poluição do solo é definida como a acumulação de compostos tóxicos persistentes nos solos, materiais radioativos, sais, químicos, ou agentes causadores de doenças que têm efeitos adversos no crescimento das plantas e na saúde animal. Popularmente, utiliza-se o nome metal pesado a todo e qualquer elemento que seja considerado tóxico aos animais e plantas. Os metais pesados são encontrados distribuídos pela natureza e apresentam um significativo papel no sistema biológico, sendo responsáveis pela regulação de processos biológicos até mesmo sendo componentes importantes da estrutura das proteínas (DA SILVA et al., 2008; SOUZA et al., 2018).

A principal fonte de exposição ao homem para os contaminantes inorgânicos (metais pesados) ocorre pelo consumo de alimentos, principalmente por pescados, contendo elementos não essenciais tóxicos como chumbo, cádmio, estanho, mercúrio, arsênio e o crômio (IKEM et al., 2005; DA SILVA et al., 2008; BREVIK et al., 2010). O chumbo se ingerido pela água e por alimentos, pode causar grandes danos ao sistema nervoso, reprodutivo e urinário, podendo chegar a causar anemia. O cádmio por sua vez pode ser incorporado no meio por produtos petrolíferos como em detergentes, e é considerado um poluente ambiental que pode vir a contaminar solos e mares (ORESTE et al., 2013).

Outros compostos como o mercúrio, que é um dos elementos mais antigos já encontrados em compostos orgânicos e presente no petróleo e no carvão mineral, são encontrados em termômetros, fabricação de espelhos e equipamentos de laboratórios. O estanho, elemento que possui como característica um alto ponto de ebulição e baixa pressão de vapor, pode ser lançado no ecossistema por meio de atividades agrícolas, queimas de combustíveis fósseis, indústrias de cigarro e na parte interna de embalagens de enlatados, como embalagens de cervejas e alimentos (ORESTE et al., 2013).

Dentre os principais poluentes orgânicos, quase metade deles são pesticidas orgânicos, incluindo Organoclorados, Organofosforados, Organometálicos, Hidrocarbonetos Poliaromáticos (PAHs) e Bifenilos Policlorados (PCBs) entre outros (GILDEN et al., 2011).

Atualmente, muitos compostos orgânicos apresentam efeitos adversos nos ecossistemas naturais, sendo alguns considerados altamente tóxicos ao homem. Muitos deles fazem parte dos chamados Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), como pesticidas, inseticidas, organoclorados e PCBs. Embora muitos desses compostos sejam conhecidos e utilizados há muito tempo, devido ao avanço das técnicas analíticas, alguns foram

desenvolvidos apenas recentemente, enquanto outros foram encontrados no ambiente, esses compostos foram designados como Contaminantes Orgânicos Emergentes (EOCs) (GARCIA et al., 2012).

POPs são compostos sintéticos que não são facilmente degradados e altamente estáveis, tornando-os muito persistentes no ambiente (ALHARBI et al., 2018). Eles são venenosos e têm uma forte capacidade de "bioacumulação" em organismos vivos. Esses poluentes também podem realizar a "biomagnificação", onde se acumulam gradualmente ao longo da cadeia alimentar (FIEDLER et al., 2002).

Dentre os exemplos de compostos orgânicos, existem os Antibióticos, que são encontrados atualmente em níveis relativamente altos nos ecossistemas, devido ao seu uso crescente, os corantes são considerados elementos altamente tóxicos e cancerígenos, além de possuírem cor intensa (mesmo em concentrações muito baixas) quando em encontro com meio aquoso. Entretanto, devido ao seu uso por vários setores, são produzidos em grandes quantidades, e o azul de metileno é considerado o principal utilizado (TORRES et al., 2009).

Existem também os Pesticidas, que são distribuídos no ambiente para controlar pragas e aumentar a produção de alimentos (DDT, Aldrin, Clordano, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Mirex, Toxafeno, Clordecona, etc.) e os Produtos Industriais que são compostos sintéticos, principalmente usados como óleo isolante em equipamentos elétricos, solvente e pesticidas (TORRES et al., 2009).

Com isso, verificamos a importância de adotar medidas adequadas de tratamento de efluentes industriais e domésticos para remover ou reduzir a concentração de corantes, como instalação de sistemas de tratamento eficientes nas indústrias e a certificação do cumprimento de regulamentações ambientais, com intuito de garantir o uso responsável de corantes (IKEM et al., 2005; DA SILVA et al., 2008; BREVIK et al., 2010).

4.2 Corante azul de metileno

O azul de metileno de número CAS 61-73-4, massa molar 319.86 g/mol (EMBRAPA, 2010), é um composto químico com uma tonalidade azul escura e é utilizado principalmente para tingimento de tecidos e coloração de amostras biológicas (AL-GHOUTI et al., 2020). Este é um composto solúvel em água e em solventes orgânicos, como álcool e acetona, sendo sua solubilidade que o torna apto para utilização em várias aplicações biológicas e químicas que possui propriedades redox (pode ser oxidado ou reduzido em uma reação química), antibacterianas e antifúngicas, sendo útil no tratamento de infecções (MODI et al., 2022).

O corante possui um espectro de absorção na faixa do azul, com comprimentos de onda de absorção em torno de 600-700 NM, isso significa que ele absorve luz nessas faixas de comprimento de onda e reflete as outras cores, resultando na cor azul característica (FIOROT, 2012). Ele tem a capacidade de se acumular nos tecidos dos organismos ao longo do tempo e pode gerar um aumento na concentração do corante na cadeia alimentar, resultando em efeitos adversos em organismos de níveis tróficos superiores, pois os predadores de topo acabam tendo maiores concentrações dessas substâncias (KEHRING et al., 2011).

É importante observar que o azul de metileno também pode ter efeitos adversos em humanos, sendo o mais comum a descoloração verde-azulada da urina. Outro efeito adverso comum que pode ser manifestado é a dor nos membros após a administração intravenosa, devendo assim ser administrado com cautela. Em adultos, o azul de metileno pode causar sintomas relacionados com o sistema nervoso central, tais como tonturas, confusão e dores de cabeça (MARTINDALE et al., 2003). Algumas pessoas podem desenvolver sensibilização cutânea ao entrar em contato com o azul de metileno, resultando em reações alérgicas na pele, como erupções cutâneas e coceira intensa (DAVARI et al., 2011).

Devido à presença de metais, compostos aromáticos e outros compostos nos corantes, estes podem ter um impacto na vida aquática. Os corantes em sua maioria são compostos sintéticos e possuem uma estrutura molecular aromática complexa, o que faz com que sejam mais estáveis e de difícil biodegradação (KOYANDE et al., 2019). O crescimento das algas é afetado pela presença de uma quantidade crescente de corante presentes na água, podendo afetar a absorção e a reflexão da luz solar no corpo aquático, incluindo o teor de proteínas, de pigmentos e de outros nutrientes (MOORTHY et al., 2021), fator considerado como principal preocupação ambiental com os corantes.

Diante desses efeitos adversos, controles e regulamentos apropriados devem ser implementados para minimizar a liberação e exposição do azul de metileno (JYOTI et al., 2017). Isso inclui a implementação de práticas de gerenciamento de resíduos industriais, aplicando um tratamento eficaz de águas residuais para remover os corantes e criar alternativas mais seguras e sustentáveis para a indústria. Além disso, a conscientização sobre os riscos associados ao azul de metileno e o uso responsável desse corante são essenciais para proteger a saúde humana e o ambiente (FLETCHER et al., 2019).

4.3 Remediação

A remediação dos recursos hídricos é o processo de remoção ou redução de contaminantes presentes na água, a fim de restaurar sua qualidade e torná-la própria para uso e consumo humano e existem várias técnicas e tecnologias de remediação disponíveis, cada uma adequada para diferentes tipos de poluentes e condições ambientais. Uma das técnicas mais utilizadas na remediação de água é a filtração por carvão ativado, que possui uma grande área de superfície porosa, capaz de adsorver substâncias orgânicas e alguns contaminantes inorgânicos presentes na água, como pesticidas e metais pesados da água (RODRIGUEZ et al., 2017). Os processos que podem ser usadas na biorremediação serão detalhados nas seções 4.3.1 a 4.3.6.

4.3.1 Bombeamento e tratamento (Pump and Treat)

Processo físico de extração de águas contaminadas por meio de poços de extração, com alternativa de transportar o contaminante para um sistema fora do local, realizando seu tratamento acima do solo, sendo composto por um poço com uma bomba simples responsável por recuperar a água e o contaminante ao mesmo tempo. Também pode apresentar um sistema com duas bombas, no qual uma é responsável por uma rebaixar o nível d'água removendo a água subterrânea enquanto a outra bomba retira somente o contaminante (FERREIRA et al., 2019).

4.3.2 Extração de vapor do solo

Neste processo há a remoção física dos contaminantes, principalmente os compostos orgânicos voláteis (clorados ou não), e os Hidrocarbonetos Monoaromáticos (BTEX) da zona saturada (camada mais profunda do solo onde se concentram as águas subterrâneas) em que ocorre a perfuração de poços no solo com aplicação de uma extração a vácuo, podendo apresentar uma maior eficiência se combinado a outros métodos como a injeção de ar (MONTEIRO et al., 2011).

4.3.3 Aeração (Air Sparging)

É utilizada para remediação de compostos orgânicos voláteis dissolvidos na água subterrânea ou sorvidos em partículas de solo da zona saturada, por injeções controladas de ar. O processo de remediação é realizado no local em que há o contaminante (*In situ*), e pode ser definida como uma injeção por de um compressor de ar com a pressão e vazão controladas na

zona saturada, causando o desprendimento dos contaminantes da água subterrânea pela volatilização dos mesmos (TAVARES et al., 2013).

4.3.4 Barreiras reativas permeáveis

Técnica utilizada para remediação de plumas de contaminação no lençol freático subterrâneo, o qual consiste na utilização de um material reativo no subsolo, fazendo que a pluma contaminada ao passar por esse material diminua a carga do contaminante. Essa barreira passa a ser mais permeável do que os materiais ao redor da água, tornando os contaminantes ali existentes possam ser tratados e fluam sem alterar significativamente a hidrologia das águas subterrâneas (THIRUVENKATACHARI et al., 2008).

4.3.5 Incineração

A Incineração é um processo térmico realizado sob altas temperaturas, de 900 a 1250 °C utilizada em resíduos de alta periculosidade, ou que necessite de uma destruição completa, como por exemplo na extração de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, que podem vir a ocasionar emissões de substâncias que poluentes na atmosfera, no solo e na água, além de apresentar efeitos nocivos na saúde humana (DIAS et al., 2013).

4.3.6 Sodificação/ Estabilização

Estes promovem somente o isolamento de poluentes como metais pesados, mas não a sua remoção. Neste processo é realizado a imobilização química ou física dos contaminantes com a introdução de um material que causa a solidificação, uma reação química que pode modificar o pH. É uma técnica simples e de baixo custo por utilizar equipamentos facilmente disponíveis, porém exige um longo período de monitoramento devido a possibilidade de reversão (TAVARES et al., 2013).

4.4 Biorremediação.

O processo de purificação biológica pertencente à categoria de biorremediação costuma utilizar microrganismos do próprio ambiente ou é introduzido e tem a capacidade de biodegradar organismos xenobióticos, o qual é responsável por ganhar credibilidade devido a seu excelente desempenho nos últimos anos de acordo com pesquisas realizadas, a biorremediação remove metais tóxicos por adsorção, incluindo a capacidade de certas

substâncias, como a biomassa, de se combinarem com íons ou moléculas em meio aquoso ou gasoso (CUNHA et al., 2021).

A biorremediação pode ser aeróbia, visto que a presença de oxigênio as bactérias usam contaminante como única fonte de carbono e energia. Geralmente há a degradação de pesticidas e hidrocarbonetos, tanto alcanos quanto compostos poliaromáticos. Já a anaeróbia, na ausência de oxigênio e são usadas para Biorremediação de Bifenilos Policlorados (PCBs) em sedimentos de rios, Descloração do Solvente Tricloroetileno (TCE) e clorofórmio (MARIANO et al., 2006).

São utilizadas técnicas “*In situ*” e “*Ex situ*”. A “*In situ*” (Tabela 1) consiste na aplicação no local com mínima perturbação, sendo uma medida de menor custo e que permite o tratamento no local evitando o transporte do contaminante, apresentando um fornecimento de oxigênio e nutrientes por meio da circulação de soluções aquosas em solos contaminados para estimular bactérias de ocorrência natural a degradar contaminantes orgânicos (SARDROOD et al., 2012).

Tabela 1. Tratamentos de biorremediação “*In situ*”.

“<i>In situ</i>”		
Tratamentos	Descrição	Vantagem
Bioventing (THOMÉ et al., 2014)	Utiliza baixas taxas de fluxo de ar para fornecer apenas a quantidade de oxigênio necessária para a biodegradação.	Minimiza a volatilização e liberação de contaminantes para a atmosfera (funciona como hidrocarbonetos simples, podendo ser usado onde a contaminação está nas profundezas da superfície).
Biosparging (RAIMUNDO et al., 2002)	Aumenta a mistura na zona saturada e o contato entre o solo e as águas subterrâneas.	Baixo custo de instalação de pontos de injeção de ar de pequeno diâmetro permitem uma flexibilidade considerável no projeto e construção do sistema.
Bioaugmentação (RAIMUNDO et al., 2002)	Utiliza microrganismos com alto potencial de degradação dos agentes contaminantes.	Técnica bastante utilizada para a degradação de óleos, em que os organismos pertencentes ao meio são incapazes de metabolizar a vasta gama de misturas existentes, como por exemplo, o petróleo (cadeia de hidrocarbonetos).
Bioestimulação (ANDRADE et al., 2010)	Utiliza as condições do ambiente para favorecer a atividade e a população microbiana capazes de biorremediar o contaminante. São utilizados a adição de nutrientes aceptores de elétrons como fósforo, oxigênio, carbono	Sua principal vantagem é a utilização de organismos já existentes, e possui como principal desafio a certificação que os aditivos estejam disponíveis para os microorganismos.

	e nitrogênio para o controle de pH e da temperatura do ambiente.
Fitorremediação (MEAGHER et al., 2003; KUIPER et al. 2004)	<p>Processo em que as interações químicas, físicas e biológicas são utilizadas para mitigação. Utiliza os mecanismos de Acumulação/ Extração, Degradação/ Filtração, Estabilização/ Volatilização.</p> <p>Os poluentes como metais pesados são removidos (principalmente por Extração, Transformação e Sequestro. Os poluentes orgânicos (hidrocarbonetos e compostos clorados) são removidos por Degradação, Rizorremediação, Estabilização e Volatilização.</p>

Fonte: ANDRADE et al., 2010; MEAGHER et al., 2003; KUIPER et al. 2004; RAIMUNDO et al., 2002; THOMÉ et al., 2014).

Como critério de escolha para o tipo de tratamento a ser utilizado, leva-se em consideração alguns aspectos da planta como a sua toxicidade do poluente, seu sistema radicular, sua adaptabilidade as condições ambientais, sua taxa de crescimento, entre outras características (MEAGHER et al., 2000; KUIPER et al., 2004). Já o processo de remoção dos contaminantes, se dá pelo movimento do xilema, pela absorção do contaminante pela planta, e pela translocação de suas raízes (KUIPER et al., 2004; VANGRONSVELD et al., 2009; ALI et al., 2013).

Contudo, para utilizar a fitorremediação como tratamento, deve-se observar o nível de tolerância da planta ao ambiente com solos desfavoráveis, os processos de bioaugmentação com rizobactérias promotoras de crescimento, ou por bioestimulação. As vantagens destes processos se dão devido a capacidade das plantas de bioacumular metais de fácil remoção em seguida, de serem de baixo custo, e ser possível realizar a descontaminação em grande escala, a prevenção das erosões e a lixiviação do local e como limitantes observamos a necessidade de um maior tempo para remediação, profundidade das raízes e a concentração dos poluentes (KUIPER et al., 2004; VANGRONSVELD et al., 2009; ALI et al., 2013).

Altas concentrações de ter efeito tóxico para organismos aquáticos, afetando sua reprodução, crescimento e desenvolvimento saudáveis, podendo também reduzir a penetração de luz na água, o que acaba prejudicando a fotossíntese das plantas aquáticas (MAGDALENA et al., 2010).

Já com a técnica “*Ex situ*” (Tabela 2), o material contaminado é removido do local por meio de escavação ou bombeamento, e a desvantagem encontrada nesse tipo de tratamento é o seu alto valor agregado (SARDROOD et al., 2012).

Tabela 2. Principais tratamentos de biorremediação “*Ex situ*”.

<i>“Ex situ”</i>		
Tratamentos	Descrição	Vantagem
Biorreator (MOHAN et al., 2004)	Utiliza-se reações biológicas com objetivo de converter as matérias primas contidas no local. Dentro do reator tem-se as medidas naturais de crescimento e atividade microbiana, simulando seu ambiente natural.	Precisão no controle de parâmetros como temperatura, pH, aeração e concentração do substrato, e por ser um sistema fechado é capaz de diminuir as perdas abióticas.
Landfarming (MAILA et al., 2004)	É realizada pelo preparo do solo com adição de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) na irrigação e na aeração para potencializar a bioremediação.	Técnica simples com baixo custo e pouca necessidade de equipamentos para operação.
Compostagem (SOUZA et al., 2016)	Técnica que envolve corretivos orgânicos não perigosos, como esterco ou resíduos agrícolas para descontaminação do solo.	Além do reaproveitamento de resíduos, promove a disponibilidade de fontes nutricionais nos ecossistemas
Biopilhas (SARDROOD et al., 2012)	Essa técnica envolve a disposição do material contaminado em pilhas e a estimulação por meio de rotação da atividade aeróbica microbiana pela aeração e/ou adição de nutrientes e aumento da umidade do solo.	Reduz concentrações de hidrocarbonetos de petróleo presentes no solo pela biodegradação.

Fonte: MOHAN et al., 2004; SARDROOD et al., 2012; BARR et al., 2002.

Em meio a conscientização da população diante dos impactos ambientais que podem ser causados com a atividade humana, o cenário busca por novas tecnologias de tratamento de efluentes, como a utilização da biomassa como material biossorvente. A biossorção ocorre por interações químicas entre os contaminantes e os biomateriais e essas interações podem incluir processos como adsorção, complexação, precipitação e troca iônica. Esses compostos possuem em sua estrutura componentes, como grupos funcionais, polissacarídeos, proteínas e lignina, que apresentam afinidade pelos contaminantes, permitindo sua remoção do meio ambiente (MONTEIRO et al., 2009).

Esta técnica é considerada sustentável por fazer uso de biomateriais renováveis, como resíduos agrícolas, subprodutos industriais ou micro-organismos naturalmente presentes no ambiente, reduzindo a necessidade de produtos químicos e assim minimizando o impacto ambiental associado. Sua eficácia depende de vários fatores, como a escolha adequada dos biomateriais, as condições de pH, temperatura e concentração dos contaminantes, bem como a interação entre os biomateriais e os microrganismos presentes no ambiente (FERREIRA et al., 2014). Este assunto será tratado em detalhes nos tópicos 4.5 e 4.6.

4.4.1 Fatores que podem influenciar a biorremediação

Existem alguns fatores que influenciam na biorremediação, como a concentração do contaminante, sua disponibilidade biológica, as características do local, a temperatura, seu potencial redox e a quantidade de oxigênio. Verificar as concentrações do contaminante pode ser extremamente importante por prevenir indução de enzimas que, se muito altas podem ser tóxicas aos microrganismos, e se muito baixas, podem prevenir a indução de enzimas que fazem a degradação do contaminante (JACQUES et al., 2007).

A disponibilidade biológica do contaminante são cruciais para a escolha do degradante correto, pois isto também determina como as moléculas são capazes de sequestrar o contaminante (GAYLARDE et al., 2005). Além disso, deve-se levar em consideração as características do local, pois estas são fundamentais para determinar a eficiência de qualquer estratégia de biorremediação. Entre as condições que são consideradas favoráveis pra um bom resultado estão o pH, que deve estar na faixa de 6 a 8 (ANDRADE et al., 2010).

A temperatura é a responsável por determinar a atividade microbiana no ambiente, e qual relação a taxa de degradação possui com a temperatura (BERGER et al., 2005). E o potencial redox e a quantidade de oxigênio são importantes para a biodegradação, influenciada pela presença de substancias como óxidos de ferro e manganês, e nitratos, considerados aceptores de elétrons. Já a quantidade de oxigênio determina as condições redutoras e oxidantes (NOGUEIRA et al., 2013).

O uso de organismos geneticamente modificados tem se destacado devido a possível versatilidade metabólica do degradante, sendo possível modificar a enzima do DNA cromossômico. Esta técnica utiliza a PCR (Reação em Cadeia da Polimerase) pelas mutações no gene, bombardeio de partículas e eletroporação. Para modificar um organismo é necessário selecionar o gene requerido, assim o fragmento do DNA desejado com a característica é inserido na célula hospedeira (CASES et al., 2005).

4.5 Biossorção de materiais orgânicos para poluentes

A biossorção é um processo que envolve a remoção de poluentes do ambiente usando materiais orgânicos vivos ou partes deles, como bactérias, fungos, algas, plantas ou seus subprodutos e estes materiais orgânicos possuem propriedades que permitem a adesão e o acúmulo de poluentes em sua superfície, resultando na sua remoção efetiva do ambiente. Eles são amplamente estudados e aplicados para tratar vários tipos de poluentes orgânicos, como

compostos aromáticos, hidrocarbonetos, corantes, metais pesados e pesticidas (LENGRUBER et al., 2015).

Várias indústrias produzem águas residuais que apresentam uma quantidade considerável de corantes e metais pesados, e um dos maiores problemas ambientais atuais está relacionado ao processo convencional de saneamento das águas residuais, que é incapaz de remover completamente os corantes e os metais pesados existentes, e por isso, uma das tecnologias de tratamento de água amplamente utilizadas é a biossorção. Os biossorbentes são considerados uma alternativa verde emergente, rentável e eficiente. Entre os fatores que podem afetar na biossorção estão o pH da solução devido a presença de diferentes grupos funcionais, a hidrofobicidade e eficácia da adsorção, pois a biossorção aumenta com o aumento da temperatura (GEROGIN et al., 202).

4.6 Fibras de casca de coco

O coco (*Cocos nucifera* L.), fruto da palmeira do coqueiro, pode ser colhido nos estádios de maturação verde (6 a 8 meses) e maduro/seco (11 a 13 meses). Apesar do coco não ser uma espécie brasileira, ela está bem adaptada às condições edafoclimáticas do país, o que justifica o conhecimento dos produtos alimentícios obtidos a partir da palmeira, visto que muitos possuem alto valor de mercado (APPAIAH et al., 2014; DEBMANDAL et al., 2011).

Os produtos alimentícios que podem ser gerados a partir do coco verde são, principalmente, a água de coco (base para a nata e o vinagre de coco) e a polpa de coco verde. A polpa do coco maduro, crua ou seca, pode ser utilizada para a produção de leite de coco, além da produção do coco ralado, óleo de coco, manteiga de coco, farinha de coco e derivados destes. Produtos fermentados e não fermentados também podem ser produzidos a partir da obtenção da seiva da inflorescência do coqueiro (APPAIAH et al., 2014).

O fruto é caracterizado como uma drupa fibrosa, formado por uma epiderme lisa (epicarpo ou exocarpo), além de possuir como camadas subjacentes o mesocarpo (fibroso) e o endocarpo, casca que recobre a polpa (FONTES et al., 2006). O endosperma sólido, possui diferentes consistências a depender do estágio de maturação, no coco verde é gelatinoso e translúcido, e no coco maduro (coco seco) fica espesso, rígido e adquire aspecto branco. O endosperma sólido possui outras denominações como endosperma carnosos, albúmen sólido, castanha, amêndoa, polpa ou pelo termo inglês kernel (FONTES et al., 2006; DEBMANDAL et al., 2011; VYSACH et al., 2014).

4.6.1. Características físicas e químicas das fibras de coco

A fibra de coco é um material natural amplamente utilizado em várias aplicações devido às suas características químicas e físicas únicas. Essa fibra é derivada da casca do coco, a camada rígida e fibrosa que protege o interior da fruta (BLEDZKI et al., 2002). A Tabela 3 apresenta as principais propriedades químicas, físicas e mecânicas do coco.

Tabela 3. Características Químicas e Físicas da Fibra de Coco, apresentando a quantidade em percentual mínimo e máximo de cada propriedade que o fruto pode apresentar.

COMPOSIÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DA FIBRA DE COCO	
Característica	Quantidade
Celulose (%)	35,0 - 45,0
Lignina (%)	45,0 - 46,0
Comprimento (mm)	0,3 - 1,0
Largura (%)	0,10 - 0,45

Fonte: BATHIA et al., (2008).

As fibras de coco são constituídas por lignocelulose, característica que influencia positivamente na durabilidade do produto por possuir um teor maior em comparação com outras fibras naturais. Devido à combinação com a celulose, as fibras possuem um alto índice de rigidez e a impermeabilidade do composto, sendo responsável por tornar um agente anti-ataque, possuindo fatores biológicos que indicam resistência a fungos e roedores (SENHORAS et al., 2003).

A fibra de coco fornece um ambiente favorável para o crescimento e atividade de microrganismos benéficos no solo, que desempenham um papel crucial na degradação de contaminantes, transformando-os em formas menos tóxicas ou inertes (BHATT et al., 2021). Além disso, possui uma estrutura porosa e uma grande área superficial, o que viabiliza uma alta capacidade de adsorver contaminantes presentes no solo, como metais pesados, compostos orgânicos e pesticidas (QIU et al., 2022).

A incorporação da fibra de coco ao solo pode melhorar suas propriedades físicas, como aeração, porosidade e capacidade de retenção de água criando um ambiente propício para o crescimento das raízes das plantas e a atividade microbiana, o que contribui para a recuperação do solo contaminado (BITENCOURT et al., 2008). E por ser um subproduto natural e renovável, a fibra do coco e seu uso na biorremediação promove a sustentabilidade e o

aproveitamento de resíduos, e quando em comparação com outros materiais, como eólitas ou carvão ativado, a fibra de coco é mais acessível financeiramente (ROCHA et al., 2017).

Os benefícios da utilização da fibra de coco, o tornam uma escolha atrativa na biorremediação de solos contaminados, contribuindo para a restauração e recuperação de áreas afetadas pela contaminação. No entanto, é importante considerar que a eficiência da biorremediação pode variar dependendo das condições específicas do local contaminado e das técnicas de aplicação da fibra de coco (BITENCOURT et al., 2008; ROCHA et al., 2017).

4.6.2. Uso das fibras de coco na biorremediação.

A utilização da fibra de coco na biorremediação tem recebido grande destaque como tecnologia alternativa para retirada de poluentes no solo por proporcionem um menor impacto ambiental, associado a características como uma baixa densidade, propriedades mecânicas interessantes (DE MATOS, 2020). As fibras naturais provenientes do coco verde apresentam, devido à sua composição química, maior rigidez e resistência mecânica comparada a outras fibras vegetais (WEARN et al., 2020).

As cascas do coco verde são um exemplo de biomassa residual, correspondendo a cerca de 6,7 milhões de toneladas que são descartadas por ano em aterros sanitários e sendo cerca de 70% dos resíduos produzidos no litoral das grandes cidades brasileiras. As cascas do coco representam cerca de 80-85% do peso bruto do fruto e levam mais de 8 anos para se decompor, sendo designado a aterros e vazadouros como potenciais emissores de gases estufa, seja por transmissores de doenças, pelo mau cheiro ou pelas contaminações de solo e água (EMBRAPA, 2018; FURTADO, 2012).

A fibra em forma de manta é um excelente material para ser usado em superfícies sujeitas à erosão provocada pela ação de chuvas ou ventos, como em taludes nas margens de rodovias e ferrovias, em áreas de reflorestamento, em parques urbanos e em qualquer área de declive acentuado ou de ressecamento rápido e a utilização da cobertura morta apresenta vantagens potenciais, como a reciclagem de nutrientes, a redução das perdas de água por evaporação da superfície do solo e a manutenção de níveis de umidade e temperatura, nas camadas superficiais do solo, adequados ao desenvolvimento de raízes e de microrganismos benéficos para as culturas (MIRANDA et al., 2004).

A fibra pode ser extraída tanto do mesocarpo quanto do epicarpo, e o peso médio do fruto varia de 3 a 4 kg e a casca do coco verde possui teores de potássio, cálcio e nitrogênio que podem contribuir de forma positiva para a adubação das culturas (ROSA et al., 2002;

CASTILHOS et al., 2011). Por outro lado, o material pode apresentar níveis tóxicos de tanino, de cloreto de potássio e de sódio, cuja acumulação pode causar alterações das propriedades químicas e físicas do solo. Este fato sugere que a aplicação da casca de coco verde em cobertura morta deve ser acompanhada do monitoramento contínuo da salinidade do solo, a fim de prevenir futuras alterações nas propriedades físicas e químicas do solo e danos para a cultura e isolamento térmico (CARRIJO et al., 2002).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Procedimentos

Para a realização do estudo, foram utilizadas fibras de coco em doses crescentes em solução contendo corante, submetido posteriormente a uma agitação e centrifugação do material objetivando quantificar a remoção do corante Azul de Metileno. A medida da concentração residual do corante foi realizada via leitura de absorbância em espectrofotômetro.

As fibras de coco foram adquiridas por meio comercial, em uma embalagem lacrada da marca “Coquim” na embalagem de 200g em forma de substrato, naturalmente indicada para adubação de plantas. Para homogeneizar as linhas da fibra, elas foram cortadas manualmente utilizando uma tesoura e em seguida foram passadas em uma peneira de malha 75 mm para retirar as fibras maiores e mais grosseiras.

5.2 Concentração do corante

A solução do corante Azul de metileno foi preparada de forma padrão durante as testagens. Foram estabelecidos nove tratamentos com quatro repetições cada, representando as concentrações distintas de fibra de coco em Erlenmeyer contendo 50 ml padrão da solução do corante azul de metileno a 20mg L^{-1} . No total, cinco tratamentos foram utilizando o corante de azul de metileno a 20 mg L^{-1} , variando a quantidade de fibra de coco conforme se segue: (1) $0,1\text{ g L}^{-1}$ de fibra de coco; (2) $0,2\text{ g L}^{-1}$; (3) $0,4\text{ g L}^{-1}$ e (4) $0,6\text{ g L}^{-1}$ e (5) com 0g de fibra como apresentada na Tabela 4 e na Figura 1.

Tabela 4. Classificação das amostras no ensaio contendo tratamentos de concentração de $0,1$ a $0,6\text{ g L}^{-1}$ de fibra de coco em solução de corante de azul de metileno 20 mg L^{-1} , e os tratamentos controle com fibra de coco, mas sem corante de azul de metileno.

	TRATAMENTO	MASSA DA FIBRA DE COCO	CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO (g L^{-1})
TRATAMENTO COM CORANTE	1	0,005g	$0,1\text{ g L}^{-1}$
	2	0,01g	$0,2\text{ g L}^{-1}$
	3	0,02g	$0,4\text{ g L}^{-1}$
	4	0,03g	$0,6\text{ g L}^{-1}$
	5	0g	$0,0\text{ L}^{-1}$
TRATAMENTO CONTROLE	6	0,005g	$0,1\text{ g L}^{-1}$
	7	0,01g	$0,2\text{ g L}^{-1}$
	8	0,02g	$0,4\text{ g L}^{-1}$
	9	0,03g	$0,6\text{ g L}^{-1}$

Figura 1- Representação das amostras do ensaio contendo o corante azul de metileno em ordem crescente de concentração dos tratamentos com solução de 0,1 a 0,6 g L⁻¹ de fibras de coco e tratamento controle com 0 g L⁻¹ organizados em tratamento da fibra de coco com e sem corante de azul de metileno.



Fonte: Lara,2023.

Para controle do efeito da Fibra de Coco na absorção em espectrofotômetro devido a possíveis mudanças na coloração da solução, também foram realizadas quatro repetições dos mesmos tratamentos, porém sem a solução com o corante de Azul de Metileno (Figura 2). Para a pesagem da fibra de coco foi utilizado uma balança eletrônica semi analítica, e com auxílio de uma pinça as fibras foram pesadas e adicionadas nos Erlenmeyer já contendo os 50 ml de solução com corante, e para os controles analíticos contendo 50 ml somente a água destilada e fibras em sua solução.

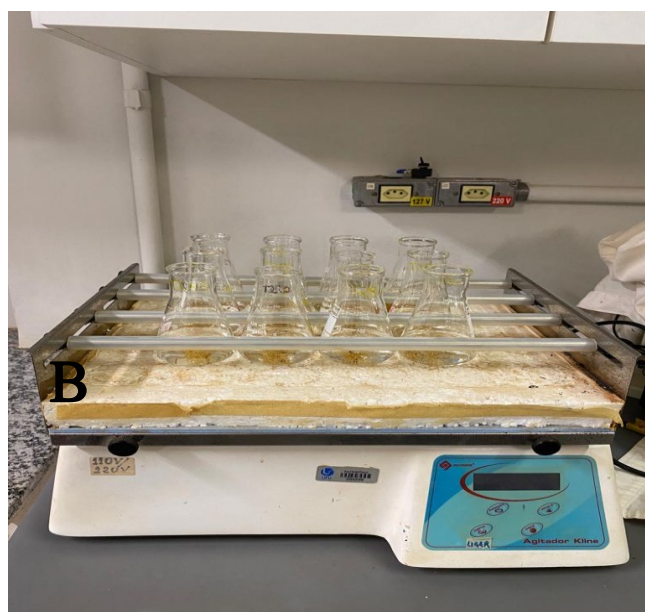
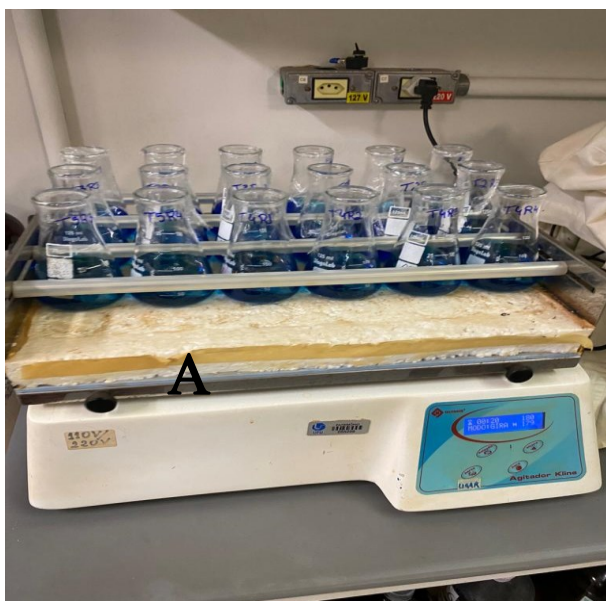
Figura 2- Tratamentos contendo somente água com adição de fibras de coco para análise de interferências na leitura das amostras no espectrofotômetro separados em concentração de fibra de coco de 0,1 g L⁻¹, 0,2 g L⁻¹ e 0,4 g L⁻¹ com tempo de ensaio de 45 minutos.



A: Tratamento 6 com ausência de corante e adição de 0,1 g L⁻¹ de fibras de coco. B: Tratamento 7 com ausência de corante e concentração de 0,2 g L⁻¹ de fibras de coco. C: Tratamento 8 com ausência de corante e concentração de 0,4 g L⁻¹ de fibras de coco. (Fonte: Lara,2023)

Os ensaios foram submetidos a incubação com agitação orbital de 180 rpm em um agitador da marca Kline a 180 rpm durante 40 minutos para homogeneização da solução, conforme a Figura 3. O ensaio foi montado em quatro repetições, com delineamento inteiramente aleatorizado.

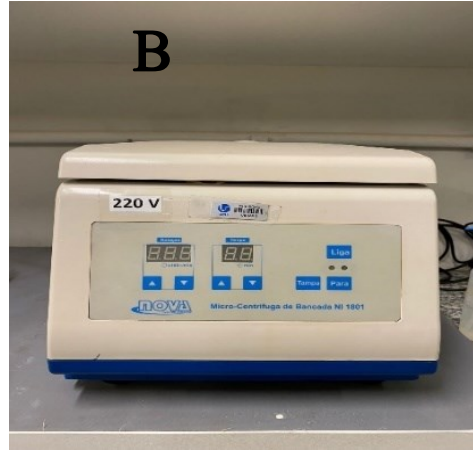
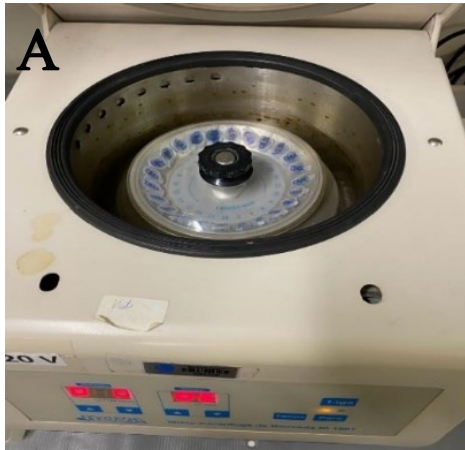
Figura 3- Amostras do Tratamento da Água pela Fibra de Coco com e sem Corante de Azul de Metileno Organizados e Submetidas a Agitação por 40 minutos a 180 rpm no Laboratório LAMIC (Laboratório de Microbiologia Ambiental) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), possuindo amostras de concentração dos tratamentos de água com 0,1 a 0,6 g l⁻¹ de fibras e coco.



A: Tratamento da Fibra de Coco com o corante de Azul de Metileno. B: Tratamento da Fibra de Coco sem o corante de Azul de Metileno. (Fonte: Lara,2023)

Após a agitação, uma alíquota de 2 ml da solução foi pipetada e adicionada em micro tubo para centrifugação em uma Micro-Centrífuga de Bancada da marca NOVA modelo NI1801 à 5000 rpm pelo período de 5 minutos (Figura 4).

Figura 4- Amostras do Tratamento contendo amostras de concentração de solução de 0,1 a 0,6 g l⁻¹ alocadas na Micro Centrífuga á 5000 rpm mantidos por 5 minutos no aparelho para decantação das fibras de coco antes da leitura.



A: Amostras alocadas no interior da centrífuga. B: Painel de configuração de tempo, rotação e liga/desliga da centrífuga. (Fonte: Lara,2023)

Em seguida, o ensaio foi colocado na bancada e foi utilizada uma pipeta para retirar o líquido flutuante a fim de realizar a leitura da absorbância (Figura 5). Para isto, foi necessário configurar o Espectrofotômetro da marca BEL, com repouso de 30 minutos para estabilização do aparelho e a água destilada foi inserida na cubeta e no aparelho. Em seguida, o comprimento de onda foi selecionado de 550 NM. Este processo foi realizado corretamente para que o aparelho estivesse apto para realizar a leitura. As leituras foram realizadas sequentemente, do Tratamento 9 (controle sem corante) ao Tratamento 1 (com corante), lavando a cubeta após cada repetição, e trocando a ponteira da pipeta após cada teste para que não houvesse contaminação.

Figura 5- Espectrofotômetro Digital utilizado para a leitura das Absorbâncias das amostras no laboratório LAMIC da Universidade Federal de Uberlândia.



Fonte: Lara, 2023.

Para calcular a Absorbância Efetiva dos Tratamentos e retirar a interferência da fibra de coco dos valores de absorbância para cada parcela de cada tratamento, foi considerada como efetiva da seguinte forma:

$$\text{Absorbância Efetiva} = \text{ABS 1 (Tratamento Com Corante)} - \text{ABS 2 (Tratamento Somente Com Fibra)}$$

Com isso, foi possível determinar a concentração final do corante azul de metileno nas amostras de água pelo uso da curva padrão.

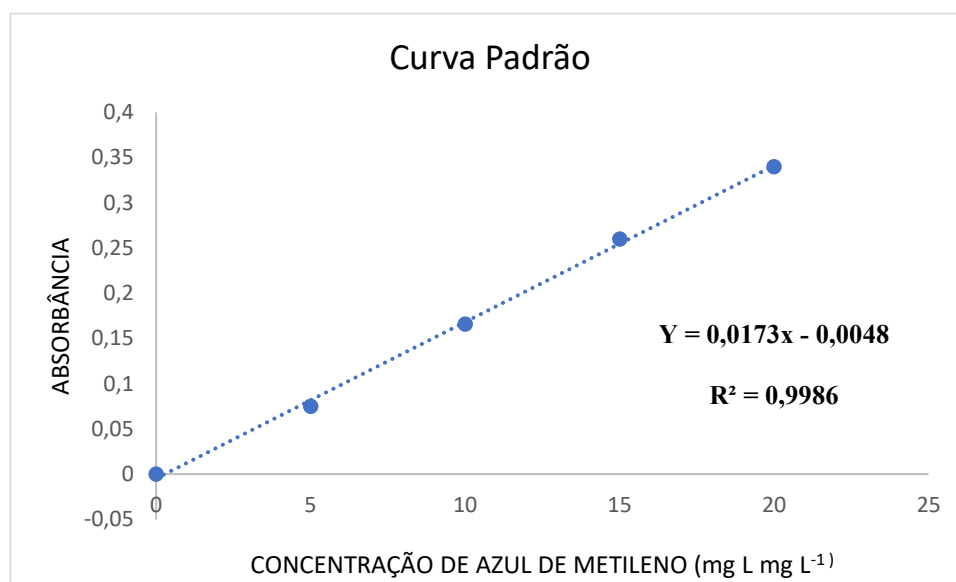
5.3. Preparo da curva padrão

Para preparar uma curva padrão que auxiliará na visualização dos resultados foram utilizadas amostras de 5 mg L⁻¹, 10 mg/L, 15 mg/L e 20 mg/L de azul de metileno, que posteriormente sejam lidas no espectrofotômetro a fim de elaborar uma curva de calibração (para determinar a concentração do corante azul de metileno pela leitura do espectrofotômetro).

A faixa de absorção eletrônica do corante azul de metileno ocorre entre 500 e 700nm (SENA et al., 2013), o qual foi testado a faixa média de 600nm, 500nm e 550nm para verificar qual faixa seria mais apropriada para realizar a leitura. Logo, determinou-se que fosse utilizado a leitura com 550nm devido a ser o comprimento de onda que não houve transmitância superior a 1, e apresentou leituras completas de absorbância. As soluções foram colocadas no espectrofotômetro para realizar a leitura e assim determinar a melhor intensidade do feixe de luz a ser utilizado.

A equação da reta a partir dos valores de absorvância para se obter a concentração de corante foi $y = 0,0173x - 0,0048$, onde y é a absorvância das amostras à 500nm e X representa a concentração do azul de metileno em mg L^{-1} como representado na Figura 6.

Figura 6- Curva Padrão com os dados obtidos na Leitura de Absorvância de amostras Padrão obtidas após 45 minutos de ensaio e Concentração do Corante Azul de Metileno de 5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} , 15 mg L^{-1} e 25 mg L^{-1} , evidenciando a Equação da Reta e o Coeficiente de Correlação entre as variáveis.



Y: Equação da reta obtida por meio dos pontos interseccionados entre a leitura de absorvância e concentração de corante na solução presentes no gráfico. R^2 : Coeficiente de Correlação que explica o grau de relacionamento entre duas variáveis.

5.4 Análise de regressão

O objetivo principal da análise de regressão foi entender como as mudanças em uma ou mais variáveis independentes estão relacionadas a mudanças na variável dependente. A variável dependente é aquela que queremos prever ou explicar, enquanto as variáveis independentes são aquelas que usamos para fazer a previsão ou explicação. Para avaliarmos a correlação entre as variáveis estudadas, a análise fornece medidas de ajuste do modelo, como o coeficiente de determinação (R^2), indicando a proporção da variação da variável dependente explicada pelas variáveis independentes. Os dados foram obtidos pelo programa *Sisvar* Versão 5.6, e foi considerado significativo o $p < 0,05$.

Para realizar o Método Estatístico foi usado o programa Sisvar, usado para testar a relação entre as variáveis estudadas. Foram analisadas todas as repetições do ensaio e suas respectivas leituras de absorvância, que foram importadas no programa em formato dBase. Após selecionar a variável dependente e independente da pesquisa, foi concluída a análise de regressão linear e quadrática, e também o Gráfico Anova, responsável por comparar as variâncias entre ou médias de grupos diferentes.

6 RESULTADOS

A absorvância das soluções contendo os tratamentos pela fibra de coco com e sem corante de azul de metileno com as concentrações nos tratamentos (0 g L^{-1} ; $0,1 \text{ g L}^{-1}$; $0,2 \text{ g L}^{-1}$; $0,3 \text{ g L}^{-1}$ e $0,6 \text{ g L}^{-1}$) foi verificada. Nos tratamentos com o corante de azul de metileno, foi observado uma variação de 0,026 (tratamento com $0,03 \text{ g L}^{-1}$ de fibra de coco) a 0,3195 (tratamento com 0 g L^{-1} de fibra de coco), e nos tratamentos sem o corante de azul de metileno foi observada uma variação de 0,000 (tratamento com $0,06 \text{ g L}^{-1}$ de fibra de coco) a 0,002 (tratamento com $0,02$ e $0,04 \text{ g L}^{-1}$ de fibra de coco) representados na Tabela 5. Nos tratamentos controle que não utilizaram o tratamento de azul de metileno foram utilizados 50 ml de água destilada com objetivo de anular possíveis interferências das fibras na leitura.

Tabela 5- Leitura da concentração da solução, da concentração da fibra de coco e da absorção das amostras de tratamento com e sem o corante azul de metileno de concentrações de $0,005 \text{ g L}^{-1}$ a $0,03 \text{ g L}^{-1}$ lidas no espectrofotômetro após 45 minutos de ensaio.

	TRATAMENTO	[] DA SOLUÇÃO	[] DA FIBRA DE COCO	ABS (média)
Tratamento Corante	1	$0,1 \text{ g L}^{-1}$	0,005g	0,022
	2	$0,2 \text{ g L}^{-1}$	0,01g	0,087
	3	$0,4 \text{ g L}^{-1}$	0,02g	0,033
	4	$0,6 \text{ g L}^{-1}$	0,03g	0,026
	5	-	-	0,319
Tratamento Controle	6	$0,1 \text{ g L}^{-1}$	0,005g	0,001
	7	$0,2 \text{ g L}^{-1}$	0,01g	0,002
	8	$0,4 \text{ g L}^{-1}$	0,02g	0,002
	9	$0,6 \text{ g L}^{-1}$	0,03g	0,000

[]: concentração; ABS Média: Absorvância média.

Utilizando a equação da curva padrão foi possível encontrar a concentração final de corante que restava nas amostras, chegando assim na relação de eficiência da absorção do tratamento com e sem o corante azul de metileno em detrimento de diferentes concentrações de fibras de coco (Tabela 5).

Quando comparamos as amostras com o tratamento de corante de azul metileno sem fibra de coco, observamos um percentual de remoção do contaminante em cada tratamento, para avaliar qual concentração de fibra de coco se mostrou de mais eficaz na remoção do azul de metileno (Tabela 6). Com isso, observamos que a medida que a quantidade do adsorvente foi aumentada, a quantidade

adsorvida também aumentou, ou seja, quanto maior a quantidade de corante, menor foi a quantidade de concentração final de corante.

Tabela 6- Leitura da concentração da solução, da fibra de coco e da final de azul de metileno da solução e porcentagem de remoção do contaminante em cada tratamento.

	Trat	Fibra de coco	concentração final de azul de metileno	% de remoção
	Controle	-	21,242 g L ⁻¹	0 %
Tratamento Corante	1	0,1 g L ⁻¹	13,381 g L ⁻¹	63,94 %
	2	0,2 g L ⁻¹	7,659 g L ⁻¹	71,49 %
	3	0,4 g L ⁻¹	4,552 g L ⁻¹	78,17 %
	4	0,6 g L ⁻¹	4,190 g L ⁻¹	80,27 %

TRAT: tratamento; []: concentração; %: percentual.

A Figura 7a apresenta a equação quadrática da curva evidenciando o percentual de remoção de cada concentração no tratamento realizado.

Figura 7a - Gráfico da relação entre concentração de fibras de coco e remoção do corante azul de metileno, contendo a equação polinomial de segundo grau e coeficiente de correlação do gráfico.

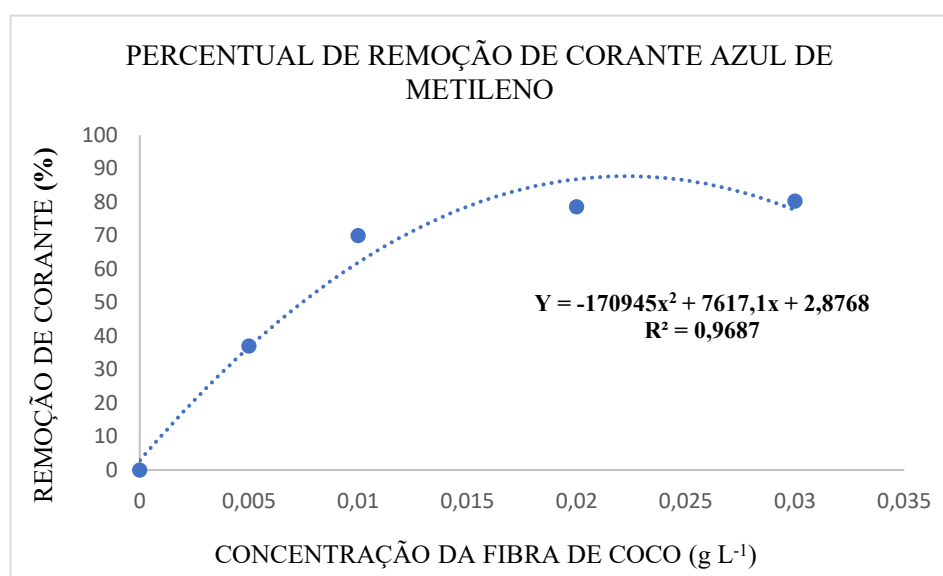
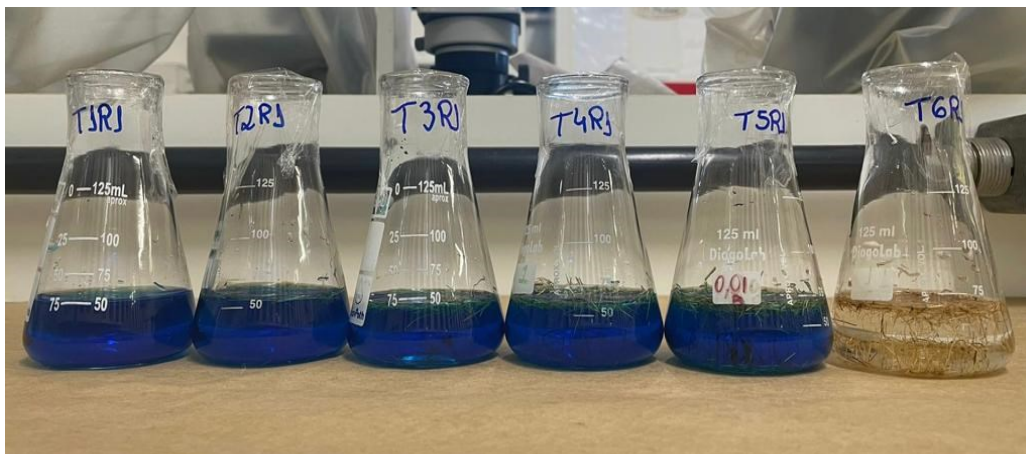


Figura 7b - Foto comparativa da solução antes e depois do tratamento envolvendo fibras de coco para remoção do corante de concentração 0,1 a 0,6 g L⁻¹ Azul de Metileno no Lamic.



Fonte: Lara,2023.

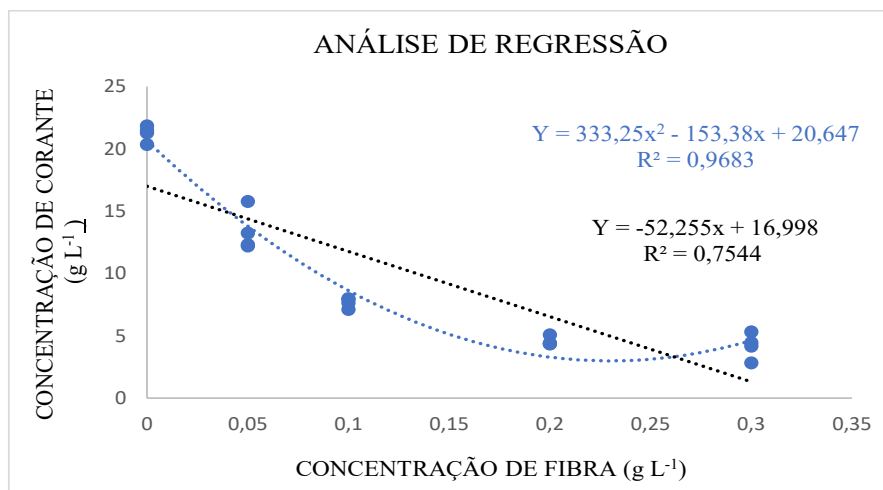
A tabela 7 apresenta as leituras da concentração final nas após todas as testagens e repetições realizadas no ensaio, que foram utilizadas para encontrar o coeficiente de relação das variáveis estudadas, a fim de averiguar a probabilidade dos dados se comportarem de acordo com a equação linear ou quadrática. A análise para testar a hipótese de uma interação existente entre a variável corante e fibra de coco foi realizada pela análise de logística de regressão. O nível de significância adotado foi de 5%.

Tabela 7 - Análise de regressão dos dados utilizando o programa sisvar entre resultados de concentração e de fibra e concentração de corante final.

ANOVA (ANÁLISE DE VARIÂNCIA)					
		SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	0,149163	0,149163	48,37757734	2,32097E-06
Resíduo	17	0,052416	0,003083		
Total	18	0,201579			

As análises de regressão linear e quadrática foram significativas (Figura 8), os dados das doses de concentração de fibra de coco e das respectivas concentrações finais do corante azul de metileno. Há um comportamento dependente entre essas duas variáveis.

Figura 8. Análise de regressão representando a partir do ensaio de biorremediação de azul de metileno contendo concentrações de 0,1 a 0,6 g L⁻¹ de fibra de coco em solução, com intuito de analisar a probabilidade das variáveis se justificarem, incluindo no gráfico a equação linear e quadrática dos pontos, além do coeficiente de correlação.



Como R² representa a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo. A representatividade do modelo na análise de regressão linear, o coeficiente R indica que o modelo explica cerca de 75% a variabilidade dos dados. Já na análise de regressão quadrática explica 97% da variabilidade dos dados, se tornando o modelo mais ajustável aos valores. De acordo a regressão, o valor -p para cada termo testa a hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero, ou seja, não possui efeito. Um valor-p baixo (< 0,05) indica que se

pode rejeitar a hipótese nula. Como na análise realizada encontrou-se o valor de -p de 0,00, o modelo é considerado significativo, sendo os resultados obtidos serem devido aos tratamentos realizados (probabilidade de se comportarem de acordo com a equação linear ou quadrática). Portanto, comprovou-se a remoção do azul de metileno em solução aquosa se deu por meio da adição da fibra de coco.

7 DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a biorremediação utilizando as fibras de coco pode ser uma estratégia viável para o tratamento de descontaminação do corante azul de metileno. Foi possível verificar que a segunda dose mais alta de fibra com concentração de $0,2 \text{ g L}^{-1}$ em um tempo de ensaio de 45 minutos, foi capaz de remover cerca de 78,2% do corante azul de metileno.

Diante dos resultados obtidos, nota-se uma remoção eficaz realizada pelas fibras de coco na remoção do corante azul de metileno, representando de melhor resultado cerca de 80% de remoção usando a concentração de $0,3 \text{ g L}^{-1}$ de fibras de coco. Contudo, a aplicação de $0,2 \text{ g L}^{-1}$ também apresentou bons resultados e próximos à maior taxa de remoção, se mostrando também eficaz no experimento e dispensando a necessidade de uma maior quantidade de fibra de coco. Logo, a fibra de coco, mesmo em pequena quantidade e em um curto tempo de ensaio conseguiu alcançar valores positivos de remoção do corante azul de metileno

Baseando-se na equação da curva, a partir da concentração de $0,3 \text{ g L}^{-1}$, a adsorção se torna susceptível a homogeneização no percentual de remoção, ou seja, não aumenta consideravelmente a taxa de corante absorvido. Acredita-se que, à medida que a quantidade da partícula aumentava, também aumentasse a quantidade de poros existentes (como a sorção é controlada por difusão), porém na concentração de $0,2 \text{ g L}^{-1}$ e de $0,3 \text{ g L}^{-1}$, constatando assim que as amostras já apresentaram em média sua capacidade máxima de sorção.

As fibras celulósicas são capazes de absorver os corantes, no caso da fibra de coco os componentes celulósicos ficam revolidos por uma camada de lignina na fibra in natura, sendo o tratamento químico responsável por expor estes componentes e ativar a superfície da fibra, assim eliminando a lignina, mantendo a polaridade da superfície da fibra e por esta razão a absorção de corantes reativos é possível (SILVA et.al, 2002).

Alguns fatores não foram controlados no ensaio realizado, como temperatura e o pH da amostra, o que impossibilita a determinação da interferência desses dois fatores nos resultados da amostra, podendo ser a justificativa para a eficiência ter sido menor do que outros experimentos evidenciados com o uso da fibra na remoção de contaminantes. Isso deixa em aberto para novas pesquisas.

Corroborando com nossos achados, Velásquez et al. (2016) apresentaram os resultados da aplicação das fibras de coco, como exemplo para remoção de petróleo em

um solo contaminado, chegando a apresentar um resultado de até 95%, passando de 10 μ L de petróleo para 0,5 μ L em um solo de savana, o qual o tempo de exposição representa uma influência estatisticamente significativa, com todas as amostras alcançando o ápice de remoção com 28 dias de tratamento.

A planta *Moringa oleifera* também foi testada como um bioissorvente ecológico para o tratamento de águas contaminadas com metais pesados e corantes, e obteve um resultado de cerca de 94% de absorção, passando de 7,1 mg. ml⁻¹ para 0,6 mg. ml⁻¹, em um ensaio de 60 minutos (LOPES et al., 2021).

As fibras também podem ser utilizadas como matriz de crescimento microbiano visando a biorremediação. Elas podem ser utilizadas como suporte celulósico com bactérias no procedimento de imobilização com objetivo de biodegradação do contaminante hexadecano, podendo alcançar um aumento de até 50% na degradação do contaminante com 60 dias de incubação. (HAJIEGHRARI et al., 2020).

Tem-se estudado vários processos para remoção do corante azul de metileno, como por exemplo, baseado na utilização de cascas de pequi como material adsorvente, apresentando um resultado significativo de 73%, passando de 22,4 g L⁻¹ para 6 g L⁻¹ de concentração de corante em um ensaio com duração de 35 minutos (BARROSO et al., 2019).

Como o corante representa grande parte da causa de poluição dos recursos hídricos, novas alternativas de bioissorção do azul de metileno também foram pesquisadas, como por exemplo, a adsorção por algas marinhas da espécie *Bifurcaria bifurcata*, indicando um equilíbrio em 15 minutos de tratamento uma eficiência de mais de 96%, sendo um biomaterial em potencial para ser utilizado como um bioissorvente na eliminação de corantes catiônicos e aniônicos de efluentes têxteis (BOUZIKRI et al., 2020).

Após um tratamento real com as fibras, os resíduos podem ser usados como fonte de energia, como combustível em geradores elétricos, sempre havendo um controle de emissão de gases (PISANU,2017). A compostagem também é uma técnica de reuso eficiente, gerando adubo orgânico para plantas até utilizando outros contaminantes (SOUZA,2015). Outro meio seria usar em vasos com controle de lixiviado, e também para criação de utensílios prensados e resinados, como em móveis (MACEDO,2012).

Como limitações do estudo, observamos que devido as fibras terem sido cortadas à mão, pode ter prejudicado a uniformidade das partículas e isto pode ter gerado oscilações no resultado da leitura das absorvâncias no espectrofotômetro, que para

amenizar possíveis alterações nas cores dos tratamentos e conseqüentemente em sua leitura, houve a anulação das absorbâncias dos tratamentos somente contendo as fibras de coco, com intuito de eliminar possíveis interferências nos resultados. Além disso, não foi possível verificar a correlação do tempo com a taxa de remoção do corante, devido o tempo de agitação e centrifugação serem semelhantes para todas as amostras, porém este tempo utilizado foi suficiente para que houvesse uma adsorção significativa de corante.

8 CONCLUSÃO

A capacidade adsorção segue uma equação quadrática de acordo com a concentração crescentes de fibras de coco. As fibras como substrato adsorvente apresentaram uma remoção significativa, com cerca de 80% do corante azul de metileno no tempo de 45 minutos e na concentração de biossorvente de $0,3 \text{ g L}^{-1}$. Com isso, comprova-se que a fibra de coco é um potencial adsorvente do corante azul de metileno, mesmo em baixa concentração e com baixo tempo de tratamento. Além disso, são consideradas uma alternativa sustentável em comparação com outros materiais de remediação disponíveis no mercado. O uso dessas fibras auxilia na redução do impacto ambiental, por serem um substrato biodegradável e proveniente de uma fonte renovável, evitando assim a dependência de materiais sintéticos não renováveis, como carvão ativado, além de contribuir para a diminuição da geração de novos resíduos.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, Agostinho; SIDINEI, Thomaz; GOMES, Luiz. **Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil**. Megadiversidade. Paraná, v. 1, n. 1, p. 70-78, jan 2005.
- AL-GHOUTI, Mohammad. A.; R. S. Al Absi. “**Mechanistic understanding of the adsorption and thermodynamic aspects of cationic methylene blue dye onto cellulosic olive stones biomass from wastewater,**” *Scientific Reports*, [s.l.] .Vol. 10, pp. 1–18, 2020.
- BOUZIKRI, Said *et al.* **Alga marinha “Bifurcaria bifurcata”: Biossorção de Reactive Blue 19 e azul de metileno a partir de soluções aquosas**. *Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição*, [s.l.] v. 27, p. 33636-33648, fev 2020.
- CASTILHOS, Lisane. **Aproveitamento da fibra de coco**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (BRT)- Dossiê técnico. Instituto de Tecnologia do ParanáTECPAR. Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossietecnico/downloadsDT/NTY0MA==>. Acesso em 20 de abril de 2022.
- COSTA, Patricia. **Tratamento eletroquímico de efluente proveniente de caixas separadoras de água e óleo de postos revendedores de combustíveis**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- DAVARI, P.; MAIBACH, H. I. **Contact urticaria to cosmetic and industrial dyes**. *Clinical and experimental dermatology*, [s.l.] v. 36, n. 1, p. 1-5, 2011.
- DIAS, Gustavo; COSTA, Pablo. **Estudo de geração distribuída a partir da biomassa de resíduos sólidos urbanos em smart grid**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- DOS SANTOS, Palloma; DAIBERT, João. **Análise dos solos formação, classificação e conservação do meio ambiente**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2014.
- DULLEY, Richard. **Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais**. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 15-26, jul- dez 2004.

FERREIRA, Isabelle *et al.* **Remoção do corante azul de metileno por adsorção em bagaço de coco (*Cocos nucifera L.*)**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS. Alagoas, v. 5, n. 2, p. 399-399, 2019.

GADD, Geoffrey; BRANCO, Cristóvão. **Tratamento microbiano da poluição por metais - uma biotecnologia funcional?** Trends in Biotechnology. Cambridge, v. 11, n. 8, pág. 353-359, ago 1993.

GOMES, Marcos; SOARES, Beatriz. **Reflexões sobre qualidade ambiental urbana. Estudos Geográficos**. Revista Eletrônica de Geografia. Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 21-30, dez2004. DOI:<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/252>.

HAIJEGHRARI, Mahdiyeh; HEJAZI, Parisa. **Enhanced biodegradation of n-Hexadecane in solid-phase of soil by employing immobilized Pseudomonas Aeruginosa on size-optimized coconut fibers**. Journal of hazardous materials, v. 389, p. 122134, 2020.

JACQUES, Rodrigo *et al.* **Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons**. Ciência Rural, v. 37, p. 1192-1201, 2007.

LEONEL, Lillian *et al.* **Biorremediação do solo**. Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa. Filadélfia, v. 26, n. 51, p. 37-52, jul-dez 2018.

LIN, Su-Hsia; JUANG, Ruey-Shin. **Adsorção de fenol e seus derivados da água utilizando resinas sintéticas e adsorventes naturais de baixo custo: uma revisão**. Revista de gestão ambiental. Dundee, v. 90, n. 3, pág. 1336-1349, [s.l.] nov 2009.

LOPES, Carolina. **Avaliação do uso da casca da semente de Moringa oleifera como biossorvente na remoção do corante azul de metileno**. 2021. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2021.

MAILA, M.P., Cloete, T.E. **Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: Are simplicity and cost-effectiveness the only advantages?** Rev Environ Sci Biotechnol 3, p 349–360 (2004). <https://doi.org/10.1007/s11157-004-6653-z>.

MODI, Shreya *et al.* **Recent and emerging trends in remediation of methylene blue dye from wastewater by using zinc oxide nanoparticles.** *Water*, [s.l.] v. 14, n. 11, p. 1749, may 2022.

NASCIMENTO, Luciano; MELNYK, Anastasia. **A química dos pesticidas no meio ambiente e na saúde.** *Revista Mangaio Acadêmico. João Pessoa*, v. 1, n. 1, p. 54-61, jan./jun 2016.

QIU, Muqing *et al.* **Biochar for the removal of contaminants from soil and water: a review.** *Biochar*, v. 4, n. 1, p. 19, mar 2022.

RAIMUNDO, Renata. **Utilização de biorreatores no tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo.**[s.l.] 2002.

ROCHA, Jennifer. **Biorremediação de zinco utilizando fungos filamentosos.** 2017. (Graduação de Ciências Biológicas)- Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2017.

SANCHES, Sérgio. **Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água.** *Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente*, [s.l.], v.13,dez.2003.Disponível em:<https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/3165/2538>.

SHANNON, Michael; UNTERMAN, Ronald. **Avaliando a biorremediação: distinguindo fato da ficção.** *Revisão anual de microbiologia. Nova Jersey*, v. 47, n. 1, pág. 715-736, 1993.

STEFFEN, G. P. K., Steffen, R. B., Antonioli, Z. I. **Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos.** *Tecno-Lógica*, [s.l.] pg 15-21 dezembro de 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v15i1.2016>. Acesso em 15 de maio de 2023.

TAVARES, S. R. L. 2009. **Fitorremediação em solo e águas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,2009.

TORRES, J. P. M., Lailson-Brito, J., Saldanha, G. C., Dorneles, P., Silva, C. E. A. e., Malm, O., Guimarães, J. R., Azeredo, A., Bastos, W. R., Silva, V. M. F. da ., Martin, A. R., Cláudio, L., & Markowitz, S. (2010). **Persistent toxic substances in the Brazilian**

Amazon: contamination of man and the environment. Journal of the Brazilian Chemical Society, pg 571–571. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103>.

VELÁSQUEZ, Tomás. **Análisis comparativo de la eficiencia dispersora de asfaltenos de productos a base de aceite de coco (Cocus nucifera) como componente activo y dispersantes comerciales aplicados a muestras de petróleo del Campo el Furrial, Estado Monagas, Venezuela.** Revista Tecnológica-ESPOL. Venezuela, v. 28, n. 2, 2015.

WEARN, Y. N., Montagna, L. S., Passador, F. R. **Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes.** Matéria (Rio De Janeiro),p25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0873>.

BARROSO, Junia; LOPES, Larissa; DA CUNHA, Renata. **Estudo da adsorção de azul de metileno utilizando cascas de pequi.** Study of methylene blue adsorption using small peels. Brazilian Journal of Development, [s.l.] v. 5, n. 12, p. 29349-29356, 2019.

DE MATOS, Antônio Teixeira. **Poluição ambiental: impactos no meio físico.** Editora UFV, 2020.

WEARN, Yves; MONTAGNA, Larissa; PASSADOR, Fábio. **Compósitos de fibra de coco.** LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, 2020

SAROJ, S.; DUBEY, S.; AGARWAL, P.; PRASAD, R.; SINGH, R. P. **Evaluation of the efficacy of a fungal consortium for degradation of azo dyes and simulated textile dye effluents.** Sustainable Water Resources Management, 1, p 233-243, 2015.

NASSEN, J. *et al.* **Assessment of the working (in) ability of older employees by general practitioners and insurance physicians.** [s.l.] Tijdschrift voor Geneeskunde, v. 72, n. 21, p. 1215-1223, 2016.

KHAN, Matiullah; CAO, Wenbin. **Preparation of Y-doped TiO₂ by hydrothermal method and investigation of its visible light photocatalytic activity by the degradation of methylene blue.** Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, v. 376, p. 71-77, 2013.

DA SILVA, J. D., Park, S. E., Weber, H. P., & Ishikawa-Nagai, S. **Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction.** The Journal of prosthetic dentistry, p 361-368, 2008.

OLIVEIRA, J. M.; SILVA, M. R. D. L.; ISSA, C. G.; CORBI, J. J.; DAMIANOVIC, M. H.; Foresti, E. **Intermittent aeration strategy for azo dye biodegradation: a suitable alternative to conventional biological treatments?** Journal of hazardous materials, 385, 2020.

MARTINELLI, F. R. B.; RIBEIRO, F. R. C.; MARVILA, M. T.; MONTEIRO, S. N., Filho, F. D. C. G.; AZEVEDO, A. R. G. D. **A review of the use of coconut fiber in cement composites.** Polymers [s.l], p 1309, 2023.

IKEM, Abua; EGIEBOR, Nosa O. **Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America).** Journal of food composition and analysis, v. 18, n. 8, p. 771-787, 2005.

BREVIK, Eric. **Soil health and productivity.** Soils, plant growth and crop production, v. 1, p. 106, 2010.

ORESTE, Eliézer *et al.* **New design of cold finger for sample preparation in open system: determination of Hg in biological samples by CV-AAS.** Microchemical Journal, v. 109, p. 5-9, 2013.

GILDEN, R.; PLISKO, M.; HITESHEW, K.; FRIEDMANN, E.; MILTON, D. **Pesticide monitoring on soccer fields via shoe wipes and urine samples.** Environmental research, [s.l], p294-296, 2016.

CUNNINGHAM, Scott; BERTI, William. **Remediation of contaminated soils with green plants: an overview.** In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, [s.l] v. 29, p. 207-212, 1993.

MAGDALENA, Carina. **Adsorption of reactive remazol red RB dye of aqueous solution using zeolite of the coal ash and evaluation of acute toxicity with Daphnia similis.** 2010.

CHIBUIKE, G. U. *et al.* **Use of mycorrhiza in soil remediation: a review.** Sci Res Essays, [s.l.] v. 8, n. 35, p. 679-1687, 2013.

KEHRIG, Matthias *et al.* **The cyclicity of productivity dispersion.** US Census Bureau Center for Economic Studies Paper No. CES-WP, p11-15, 2011.

MARTINDALE MQ, PANG K, FINNERTY JR. **Investigating the origins of triploblasty: ‘mesodermal’ gene expression in a diploblastic animal, the sea anemone *Nematostella vectensis* (phylum, Cnidaria; class, Anthozoa),** [s.l.] 2004.

JYOTI, Anurag; TOMAR, Rajesh. **Detection of pathogenic bacteria using nanobiosensors.** Environmental Chemistry Letters, [s.l.] v. 15, n. 1, p. 1-6, 2017.

FLETCHER, Richard *et al.* **Perinatal parents: designing parenting support via text messages for mothers with severe mental illness (SMI) and their partners.** Advances in Mental Health, [s.l.] v. 17, n. 1, p. 85-95, 2019.

RODRÍGUEZ-GALÁN, Mónica *et al.* **Remediation of acid mine drainage.** Environmental Chemistry Letters, v. 17, p. 1529-1538, 2019.

MONTEIRO, Cristina; CASTRO, Paula; MALCATA, F. **Capacity of simultaneous removal of zinc and cadmium from contaminated media, by two microalgae isolated from a polluted site.** Environmental chemistry letters, [s.l.] v. 9, p. 511-517, 2011.

THIRUVENKATACHARI, R.; VIGNESWARAN, S.; NAIDU, R. **Permeable reactive barrier for groundwater remediation.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 14, n. 2, p. 145-156, 2008.

MARIANO, Adriano, *et al.* **Use of vinasse, an ethanol distillery waste, as an amendment to bioremediation of diesel oil contaminated soils.** In: XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering, CIIQ 2006 and V Argentinian Congress of Chemical Engineering, CAIQ 2006-Innovation and Management for Sustainable Development. 2006.

THOMÉ, Antônio *et al.* **Bioventing in a residual clayey soil contaminated with a blend of biodiesel and diesel oil.** Journal of Environmental Engineering, v. 140, n. 11, p. 06014005, 2014.

MEAGHER, Richard. **Phytoremediation of toxic mercury and arsenic pollution**. In: *Plant Biotechnology 2002 and Beyond: Proceedings of the 10 th IAPTC&B Congress June 23–28, 2002 Orlando, Florida, USA*. Springer Netherlands, 2003. p. 473-478.

VANGRONSVELD, Jaco *et al.* **Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 16, p. 765-794, 2009.

CRISPIM, C ezar; GAYLARDE, C. C. **Cyanobacteria and biodeterioration of cultural heritage: a review**. *Microbial ecology*, v. 49, p. 1-9, 2005.

BENNETT, Oliver. **Cultural pessimism: Narratives of decline in the postmodern world**. Edinburgh University Press, 2019.

ANTAR, Mohammed *et al.* **Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 139, p. 110691, 2021.

JENNERJAHN, Tim C. **Biogeochemical response of tropical coastal systems to present and past environmental change**. *Earth-Science Reviews*, v. 114, n. 1-2, p. 19-41, 2012.

KOYANDE AK; CHEW KW, RAMBABU K, *et al.* **Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans**. *Food Science and Human Wellness*, 2019, p 16-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.

GNANAMOORTHY, G.; PRIYA, P.; ALI, D.; LAKSHMI, M.; YADAV, V.K.; VARGHESE, R. **A new CuZr2S4/rGO and their reduced graphene oxide nanocomposites enhanced photocatalytic and antimicrobial activities**. *Chem. Phys. Lett.* 2021, [s.l].

SOUZA, Priscila; *et al.* **Growth of eucalyptus rooted cuttings in toxic organic waste compost of textile industry**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l] v. 19, p. 829-834, 2015.

PISANU, Luciano; LEONARDO, B.; MENEZES, S. **Economic feasibility analysis of a spinoff for sustainable composites production**. *Custos e Agronegócio*, [s.l] v. 13, n. Special Edition, p. 183-202, 2017.

MACEDO, Maria. **The Importance of the Choice of the Consumer for Environmental Protection**. *Veredas do Direito*, [s.l] v. 7, p. 125, 2010.

SILVA, M. *et al.* **Absorção de corantes da indústria têxtil por fibras de côco**. Universidade Federal de Sergipe, Sergipe. Departamento de Química, 2002.