

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Paulo Vitor de Oliveira Santos
Raphaela Campanholo Gaetan
Richard da Silva Cunha
Sthéffani Savala Alves
Vinícius Yudi Bartheman Shinkai

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE COCO PARA
REMOÇÃO DO AZOCORANTE VERMELHO DE METILA

Fernandópolis
2023

Paulo Vitor de Oliveira Santos
Raphaela Campanholo Gaetan
Richard da Silva Cunha
Sthéffani Savala Alves
Vinícius Yudi Bartheman Shinkai

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE COCO PARA REMOÇÃO DO AZOCORANTE VERMELHO DE METILA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Química Integrado ao Ensino Médio, no
Eixo Tecnológico de **Produção Industrial**,
à Escola Técnica Estadual Professor
Armando José Farinazzo, sob orientação
da Professora **Flávia Meira Cotrim**

Fernandópolis
2023

Paulo Vitor de Oliveira Santos
Raphaela Campanholo Gaetan
Richard da Silva Cunha
Sthéffani Savala Alves
Vinícius Yudi Bartheman Shinkai

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE COCO PARA REMOÇÃO DO AZOCORANTE VERMELHO DE METILA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Química Integrado ao Ensino Médio, no
Eixo tecnológico de **Produção Industrial**,
à Escola Técnica Estadual Professor
Armando José Farinazzo, sob orientação
da Professora **Flávia Meira Cotrim**

Examinadores:

Jessica Laira de Araujo Esgoti Uliana

Luana Menezes

Flávia Meira Cotrim

Fernandópolis
2023

DEDICATÓRIA

Dedica-se total respeito aos companheiros de TCC, por se entregaram completamente para a finalização dessa pesquisa. Agradecemos também aos professores e familiares, que trabalham e modelam o ensinamento em nossas vidas: Perfeitos e eternos mentores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos pais, irmãos, amigos e professores que contribuíram sobremaneira para a realização de nossos estudos e para a nossa formação como seres humanos.

EPÍGRAFE

“Alguns vivem como se nunca fossem morrer. Outros morrem como se nunca tivessem vivido. Eu não vivo em vão, eu vivo para ser feliz!” – Charlie Brown.

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE COCO PARA REMOÇÃO DO AZOCORANTE VERMELHO DE METILA

Paulo Vitor de Oliveira Santo
Raphaela Campanholo Gaetan
Richard da Silva Cunha
Sthéffani Savala Alves
Vinícius Yudi Bartheman Shinkai

RESUMO: Em meio a inúmeros impactos ambientais provocados em corpos hídricos, há entre eles os azocorantes, ou seja, corantes sintéticos que contribuem com a bioacumulação e ecotoxicidade no ambiente aquático. A ocorrência destes prejuízos se dá por meio do contato direto entre os azocorantes com uma enzima chamada azoreductase em meio aquoso, a qual quebra a ligação dupla de nitrogênio (-N=N-) presente na composição molecular da substância e possibilita a liberação de aminas aromáticas tóxicas e compostos mutagênicos que agregam nos problemas supracitados. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo a produção de carvão ativado da casca do coco e análise da sua eficácia na remoção, por adsorção, do azocorante vermelho de metila, descartado em corpos hídricos, e posterior quantificação da concentração removida por meio da técnica de espectrofotometria UV-vis. Para produção do carvão, foram calcinadas 8 gramas de biomassa de casca de coco. Após a carbonização da matéria prima, o carvão foi lavado e ativado com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L sob agitação e, depois, lavado e teve seu pH neutralizado com HCl. Para verificação da adsorção, realizou-se teste com solução de vermelho de metila na concentração de 0,6 g/L (600 mg/L), a partir da curva de calibração, estipulou-se as concentrações do corante removidas. Como resultado, o teste de adsorção apresentou um percentual de remoção de 97,17%, o que aponta a viabilidade do material produzido para ser empregue no tratamento de água para remoção do corante vermelho de metila.

Palavras-chave: Adsorção. Azocorante. Carvão Ativado. Espectrofotometria Uv-vis. Vermelho de Metila.

ABSTRACT: Among the countless environmental impacts on water bodies are azo dyes, i.e. synthetic dyes that contribute to bioaccumulation and ecotoxicity in the aquatic environment. This damage is caused by direct contact between the azo dyes and an enzyme called azoreductase in an aqueous environment, which breaks the nitrogen double bond (-N=N-) present in the substance's molecular composition and enables the release of toxic aromatic amines and mutagenic compounds that contribute to the aforementioned problems. The aim of this study was to produce activated coconut shell charcoal and analyze its effectiveness in removing methyl red azo dye from water bodies by adsorption, and then quantify the concentration removed using UV-vis spectrophotometry. To produce the charcoal, 8 grams of coconut shell

biomass were calcined. After carbonizing the raw material, the charcoal was washed and activated with a 0.1 mol/L sodium hydroxide solution under agitation, then washed and its pH neutralized with HCl. To check adsorption, a test was carried out with a methyl red solution at a concentration of 0.6 g/L (600 mg/L), and the concentrations of the dye removed were determined from the calibration curve. As a result, the adsorption test showed a removal percentage of 97.17%, which indicates that the material produced is viable for use in water treatment to remove methyl red dye.

Keywords: Adsorption. Azocorant. Activated carbon. Uv-vis spectrophotometry. Methyl Red.

RESUMEN: Entre los innumerables impactos ambientales en las masas de agua se encuentran los colorantes azoicos, es decir, tintes sintéticos que contribuyen a la bioacumulación y la ecotoxicidad en el medio acuático. Este daño es causado por el contacto directo entre los colorantes azoicos y una enzima llamada azorreductasa en medio acuoso, que rompe el doble enlace nitrogenado (-N=N-) presente en la composición molecular de la sustancia y permite la liberación de aminas aromáticas tóxicas y compuestos mutagénicos que contribuyen a los problemas mencionados. El objetivo de este estudio era producir carbón activado de cáscara de coco y analizar su eficacia en la eliminación por adsorción del colorante rojo de metilo de las masas de agua, para después cuantificar la concentración eliminada mediante espectrofotometría UV-vis. Para producir el carbón vegetal, se calcinaron 8 gramos de biomasa de cáscara de coco. Tras carbonizar la materia prima, el carbón vegetal se lavó y activó con una solución de hidróxido de sodio 0,1 mol/L bajo agitación, después se lavó y su pH se neutralizó con HCl. Para comprobar la adsorción, se realizó una prueba con una solución de rojo de metilo a una concentración de 0,6 g/L (600 mg/L), y las concentraciones del colorante eliminado se calcularon a partir de la curva de calibración. Como resultado, la prueba de adsorción mostró un porcentaje de eliminación del 97,17%, lo que indica que el material producido es viable para su uso en el tratamiento del agua para eliminar el colorante rojo de metilo.

Palabras clave: Adsorción. Azocorante. Carbón activado. Espectrofotometría Uv-vis. Rojo de metilo.

1. INTRODUÇÃO

Conforme o avanço da industrialização, a contaminação de águas naturais apresentou-se como um dos grandes obstáculos da sociedade atual. O descarte inconsciente de efluentes prejudiciais em meio aquático segue com tamanha predominância em inúmeras indústrias, principalmente às relacionadas ao setor têxtil. E respectiva advertência se deve ao despejo constante, por parte das indústrias

têxteis, de metais pesados, biocidas, sais e, sobretudo, corantes – fontes mais alarmantes (KUNZ et al., 2002).

Os corantes, principalmente aqueles de origem sintética, são utilizados no tingimento de tecidos devido à característica de elevada persistência, todavia o mesmo atributo que se garante lucro para o setor abordado, resulta em problemas ambientais graves – pois resíduos de corantes são frequentemente descartados nos rios e, mesmo após processos de tratamento da água, os subprodutos de sua degradação não são eliminados completamente e apresentam potencial toxicidade. (KHALED et al., 2009).

Neste horizonte, há os azocorantes relativamente estáveis, contudo, apresentam subprodutos oriundo de degradações com toxicidade elevada. A enzima azoreductase, responsável pela toxidade, é quem reduz a ligação azo (-N=N-) presente nos azocorantes e libera produtos menores, produzindo aminas aromáticas tóxicas e compostos mutagênicos. Dessa forma, o seu despejo por meio de efluentes industriais ocasiona a ecotoxicidade – contaminação dos corpos hídricos. Ademais, como contêm uma composição colorida, bloqueiam a luz solar facilmente, o que dificulta a propagação de algas – consideradas a base da cadeia trófica. Isso ocorre somente pela dispersão ou absorção da luz (KHALED et al., 2009).

Desse modo, consciente das problemáticas, algumas fiscalizações e normas regulatórias são sugeridas. A Resolução CONAMA n° 430/11 – que faz menção ao descarte de efluentes prejudiciais, somente sejam despejados em corpos d'água superficiais, não permitindo o descarte com concentração de cor acima de 75 mg PT-Co L-1(Platinum Cobalt) – segue comprometida na redução sucessiva dos problemas supracitados. Todavia, devido à demanda de produção que aumenta gradualmente, tais normas e fiscalizações atrasam-se nessa tarefa (GORINI, 2000).

Em contrapartida, como mostram-se resistentes à degradação física, química ou biológica, os corantes acabam desprovidos de uma remoção eficaz quanto ao tratamento de efluentes convencional. A equipe do portal de informações, intitulado Tratamento de Água (2020), menciona que a descoloração dos efluentes pode ser realizada por meio de reação de oxidação química com ozônio que apresenta alto poder oxidante. O processo de ozonização é capaz de decompor as moléculas de corante que assim podem ser facilmente biodegradadas, contudo, além de caro, tal processo demanda alta quantidade de energia, tal qual o processo de floculação também se torna inviável por formar uma lama contaminada com os próprios produtos

de degradação dos corantes. (AZEVEDO et al, 2020). Logo, o estudo de métodos alternativos para a remoção da cor das águas de rejeito têxtil tem recebido grande destaque e os métodos de tratamento físico por adsorção apresentam –se viáveis e com grande capacidade de retenção de corantes.

Em suma, visto que o carvão ativado obtido pelo processo de carbonização apresenta uma taxa de porosidade elevada, ele apresenta-se como um material promissor quanto à adsorção de espécies químicas. Como esse recurso é feito por intermédio de biomassas ricas em carbono, tal fonte é submetida à elevada temperatura e, sequentemente, ativado a fim de incorporar bolhas de ar em seu interior – assim ampliando a área superficial do carvão. Outrossim, dentre as principais matérias-primas ricas em carbono, destaca-se o coco, o qual exhibe propriedades de adsorção superiores e, sobretudo, contribuição significativa na purificação da água (PEREIRA, 2023).

A priori, quanto ao carvão ativado e a biomassa de coco, em conformidade com a pesquisa realizada, em 2009, pela Embrapa, a região sudeste localiza-se na 2ª posição da lista de maiores regiões produtoras de coco no país. Essa macrorregião mostra-se extremamente produtiva se comparada aos territórios restantes – exceto o Nordeste. Ao relevar a razão entre produtividade e área cultivada, a geração de coco se torna 55% mais eficiente na região sudoeste se comparada à região norte (MARTINS; JÚNIOR, p. 16-17, 2011). Em acréscimo, tem-se como exemplo maior Espírito Santo, o qual garante aproximadamente 173.716 frutos, enquanto o Rio Grande do Norte apresenta somente 62.293 – mesmo tendo o dobro de área cultivada (IBGE, 2014).

Por conseguinte, o objetivo principal do presente trabalho é a produção do carvão ativado feito a partir da casca de coco para a remoção do corante vermelho de metila dispensado em curso de água, principalmente pelas indústrias têxteis. Os testes laboratoriais têm como intuito a comprovação da adsorção do corante vermelho e posterior quantificação da concentração removida por meio da técnica de espectrofotometria UV-vis, e desse modo, definir a eficácia dos recursos manuseados para tal finalidade.

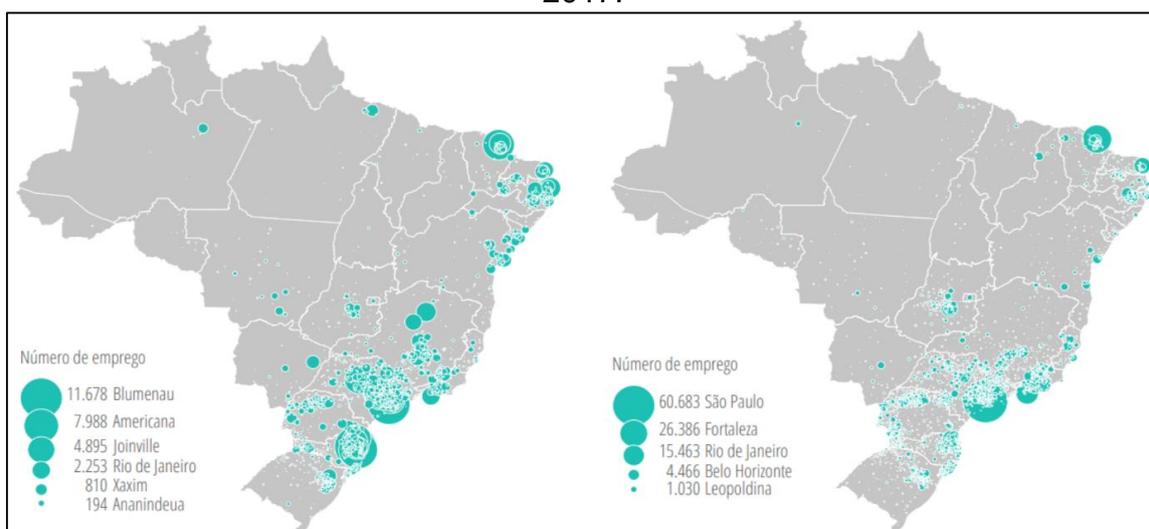
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INDÚSTRIAS TÊXTEIS

Atrás somente das empresas petrolíferas, a indústria têxtil está historicamente ligada ao processo socioeconômico – surgindo após os eventos das revoluções industriais – e distingue-se das demais indústrias pela sua extrema adequação ao cotidiano, visto que se mistura com a cultura de cada localidade. Segundo Abit¹ apud Almeida; Dilarri; Corso (2016, p. 2), no país brasileiro, esse setor tem-se destacado como 5º maior produtor mundial de têxteis.

Tendo a região Sudeste e Sul como as principais zonas industriais, o Valor de Transformação Industrial (VTI) da Pesquisa Industrial Anual do IBGE² apud Novais (2021, p. 1) incrementa verificações quanto a participação dos estados nessa área e suas respectivas contribuições e nele há a relevância, sobretudo, da indústria têxtil e de confecções do estado de São Paulo. A princípio, 2018 foi o ano pelo qual 30,0% do VTI correspondia às indústrias têxteis e confecções paulistas em âmbito nacional. Desse modo, 36,9% pertenciam ao setor têxtil e 24,9% às confecções (NOVAIS, 2021). Na Figura 1 há a quantidade de emprego no setor têxtil e confecções, por municípios:

Figura 1. Distribuição de emprego no setor têxtil e confecções, por municípios – 2017.



Fonte: (NOVAIS, 2021)

¹ ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>.

² IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>

Conforme os dados distribuídos na Figura 1, os dois mapas ilustram, respectivamente, a quantidade de emprego tanto no setor têxtil quanto nas confecções. Percebe-se que, em 2017, dos 738 municípios que apresentaram emprego nesse ramo, 257 eram do estado paulista. Com tal circunstância, Blumenau e São Paulo com seus devidos valores (11.678 e 60.683 postos de trabalho) simbolizam 9,0% do emprego no Brasil referente ao setor (NOVAIS, 2021).

2.1.1. Descarte de efluentes têxteis

Não é ignoto perceber a abundância de recurso hídrico perdido durante os processos de tingimento e lavagem do tecido. Em exemplo, quando o corante escolhido se fixa inteiramente à vestimenta, ela passa por diversas etapas que exigem altas quantidades de água. Nessa abordagem, a produção têxtil sustenta-se com gastos de 93 bilhões de metros cúbicos de água – todos os anos (CHAN, 2021).

E entre tantas atividades propostas para finalização do produto, como tecelagem plana, fiação e malharia, acabamento etc., o material poliéster – fibra mais utilizada no mercado – é sublinhado pelas emissões de carbono que dispersa, em toneladas globais, 32 das 57 milhões jogadas na atmosfera. O report da Ellen MacArthur Foundation cita que, mediante ao uso temporário de vestimentas devido à mudança rotineira do conceito de roupas atuais, ocorre maior descarte das mesmas anualmente, chegando a 500 bilhões de roupas largadas em aterros e, conseqüentemente, participando na emissão do gás carbônico (CAMARGO, 2021).

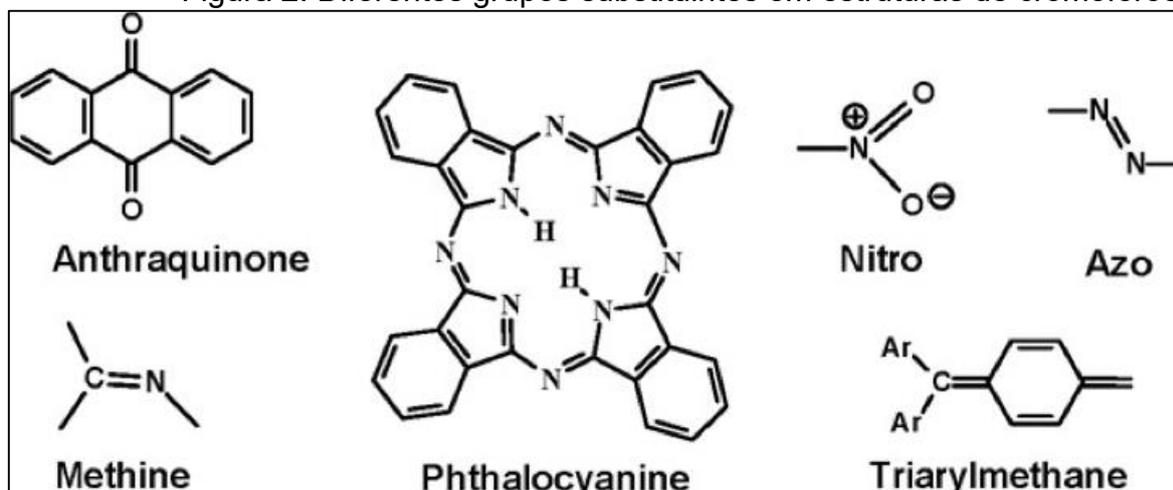
As indústrias têxteis representam significativamente 20% de contribuição na poluição aquática. Despejam efluentes complexadamente heterogêneos que contêm componentes de toxicidade alta, indo desde óleos, metais pesados, sólidos suspensos, compostos orgânicos clorados, surfactantes e vários outros – todos capazes de proporcionar eutrofização – poluição ambiental que gera o surgimento de nutrientes como nitrato e fosfato, o que incentiva o acúmulo de matéria orgânica em decomposição (KATAYAMA, [s.d.]).

2.2. CORANTES TÊXTEIS

A indústria têxtil, considerada uma proeminente fonte emissora de efluentes com variados produtos químicos oriundos de várias etapas dos seus processos de tingimento, destacam os corantes como os principais resíduos dessa problematização – devido à inerente resistência à degradação e acentuada recalcitrância (GUILHERME et al, 2021). Ao contrário da categoria de pigmentos caracterizados por sua insolubilidade em meios líquidos, o século XIX testemunhou uma era marcada pela preeminência dos corantes orgânicos sintéticos solúveis. Esses corantes foram adotados devido às suas notáveis capacidades de conferir uma diversidade cromática às fibras têxteis, ampliando o ramo de tingimentos que, até então, se definia somente pelo corante natural – de origem vegetal ou animal (GUILHERME et al, 2021).

Essa substituição foi de suma importância a partir da consciência sobre o menor custo de produção, o número de auxocrômicos diferenciados – leque de cores – e a síntese com outros grupos cromóforos que esses corantes providenciavam – fator crucial para a participação diária em tecidos (ZANONI; YAMANAKA, p. 7, 2016). Essa classe se distingue dos demais compostos orgânicos porque contém cores através da presença de pelo menos um cromóforo (grupo portador de cor) acompanhado pelo sistema conjugado – como ilustrado na Figura 2:

Figura 2. Diferentes grupos substituintes em estruturas de cromóforos.



Fonte: (SENAI, [s. d.])

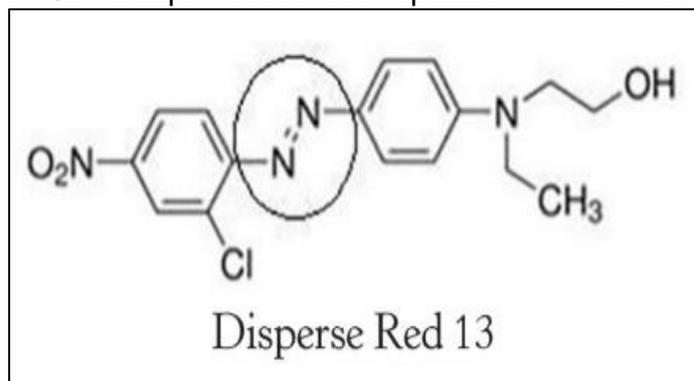
A Figura 2 destaca o sistema conjugado que se trata da estrutura apresentada com a organização de ligações duplas e simples alternadas entorno da cadeia carbônica, isto é, exibem uma estrutura molecular específica. Integrando essa configuração a qualquer cromóforo presente em corantes sintéticos, ela engendra uma mobilidade eletrônica aprimorada ao longo das ligações duplas, gerando uma maior estabilidade ao sistema – todavia, caso a ressonância de elétrons se ausente, a estabilização será perdida e, conseqüentemente, a cor também (SENAI, [s. d.]).

Não obstante, apresenta grupos auxiliares de cor, como o ácido carboxílico, ácido sulfônico, amino e hidroxila – os quais não influenciam diretamente na fixação da cor do corante, porém corroboram na solubilidade do mesmo (SENAI, [s. d.]). E conforme o mercado experimentou um crescimento de natureza exponencial, instituiu-se a implementação de classificações distintivas para os corantes, com base na manifestação peculiar dos seus grupos cromóforos e funcionais. Essa estruturação classificatória emerge a partir da sua composição química e da aplicabilidade a que se destinam, culminando em uma hierarquização intrinsecamente ligada ao potencial de adesão às fibras têxteis. As principais categorias englobam os corantes ácidos, azóicos, básicos, entre outros (ROMOALDO et al, 2010).

2.2.1. Corantes azoicos ou azocorantes

Comumente manuseados em diversas indústrias têxteis devido à elevada persistência, os azocorantes de origem sintética são demasiadamente necessários para o processo de tingimento simples e extensão de cores brilhantes, incrementando-se em substratos como o algodão, acetato de celulose, seda e poliéster. Ostentam de uma síntese simples e, por serem derivados da anilina, tendem a ter matéria-prima o suficiente para sua produção – representando precisamente 65% da produção comercial de corantes (ZANONI; YAMANAKA, 2016). Adiante, visualiza-se na Figura 3 um exemplo de azocorante:

Figura 3. Exemplo de estrutura química dos azocorantes.



Fonte: (ZANONI; YAMANAKA, 2016)

Ademais, na Figura 3 é ressaltado o porquê de certas características como a resistência prolongada a luz e umidade desse grupo. Esse representa uma categorização distintiva de compostos orgânicos aromáticos, cuja singularidade reside na incorporação de um ou mais grupos azo (-N=N-) na complexidade de suas estruturas moleculares – sendo o resultado brusco da reação de diazônio – o que gera determinada estabilidade no produto e maior resistência (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

A manufatura de corantes da categoria “azo” é referida como o procedimento de diazotação, no qual uma amina aromática, também designada como o componente diazo, passa por uma transformação que a converte em um composto diazônio intermediário. Esse intermediário, por sua vez, engata em uma reação com um componente de acoplamento, que pode variar entre fenol, naftol ou outra amina, culminando na formação do corante final (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

2.2.2. Vermelho de Metila

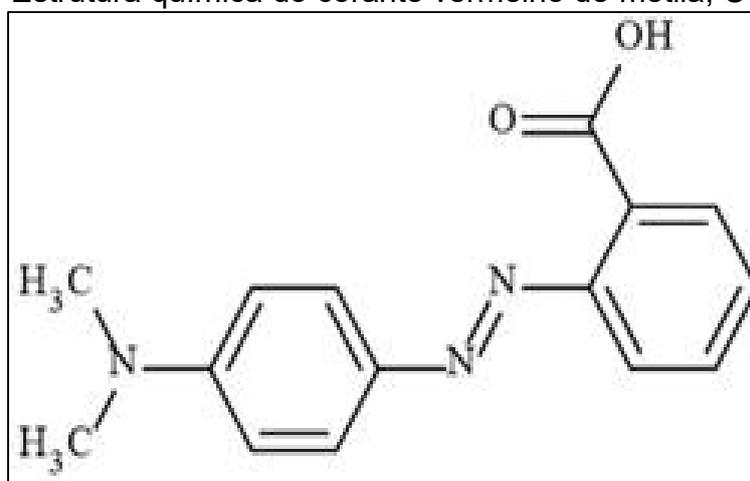
Empregue no setor têxtil a fim de providenciar coloração a uma ampla gama de fibras, o corante vermelho de metila, proveniente da classe de azoicos, obtém-se relevância na área pela fixação dominante da cor em tantos substratos. Outrossim, mencionado por Morita e Assumpção³ apud Nascimento et al (2019, p.1),

³ MORITA, T., ASSUMPÇÃO, R. M. V. Manual de soluções, reagentes e solventes. Editora Edgard Blucher. São Paulo: 2014

é dito que ele segue aplicado em testes analíticos como indicador de titulação e em testes microbiológicos para identificação de bactérias.

Porém, embora haja diversas aplicações desse produto nas mais diversas áreas, o corante vermelho de metila se define como prejudicial, pois a insistência em não se degradar é longa em meio aquático – justamente pela estrutura química trazendo à tona anéis aromáticos, ligações azoicas e grupos aminas (ZANONI; YAMANAKA, 2016). A seguir, na Figura 4 verifica-se a fórmula estrutural do corante vermelho de metila.

Figura 4. Estrutura química do corante vermelho de metila, $C_{15}H_{15}N_3O_2$.



Fonte: (CASTILLO et al, 2023)

Na Figura 4 tem-se a complexidade subjacente à degradação do vermelho de metila sendo uma resultante direta de sua estrutura molecular intrincada, na qual se destaca a presença do grupo carboxila posicionado de forma orto em relação ao grupo azo. Essa configuração molecular peculiar exerce uma influência substancial sobre as reações químicas que o composto é suscetível a sofrer, principalmente se estiver sujeito a condições adversas, como a exposição a uma intensa luminosidade, temperaturas elevadas e agentes reativos de alta potência (ZANONI; YAMANAKA, p. 43, 2016).

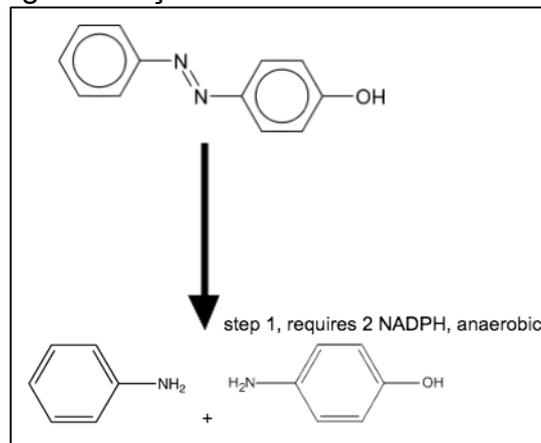
O desfecho desse processo reacional culmina na geração de uma diversidade ampla de produtos de degradação. Segundo Nascimento et al (2019, p.1), caso o vermelho de metila manifeste-se em ambientes aquáticos, desencadeia a liberação de aminas aromáticas, cujas propriedades carcinogênicas são amplamente reconhecidas.

2.2.3. Descarte de corantes

Os corantes sintéticos – os produtos mais manipulados no mercado têxtil – realçam que, além do gasto excessivo de recurso hídrico nas múltiplas etapas da produção de tecidos, perde-se entre 1% e 2% dos corantes durante sua complexa produção, que pode envolver até 500 etapas de síntese. Nesse ramo, cerca de 20% a 50% dos corantes são perdidos pela fixação inadequada. Logo, torna-se inevitável a presença do descarte errôneo de corantes em corpos aquáticos (ZANONIN; YAMANAKA, pg. 8, 2016).

Por meio das problemáticas, grande parte dos grupos de corantes sintéticos entram em contato com uma enzima denominada azoreductase que se compromete pela quebra da ligação de nitrogênio (-N=N-) presente na cadeia molecular desses corantes derivados da anilina (KHALED et al, 2009). Adiante, é destacado a enzima na Figura 5:

Figura 5. Ação da enzima azoreductase.



Fonte: (IGEM, 2014)

Ao quebrar determinada ligação, tal ação interfere diretamente na estabilidade do produto, pois na ausência da dupla mencionada, subprodutos como as aminas aromáticas tóxicas e compostos mutagênicos perigosos – frutos da degradação – são inseridos nos efluentes destinatários com o escopo de agregar, de modo simultâneo, na bioacumulação agrupada à ecotoxicidade (KHALED et al, 2009).

A bioacumulação, conhecida como a baixa degradabilidade, representa a incapacidade da decomposição natural mediante à resistência de corantes dessa

categoria. Não menos importante, a ecotoxicidade se remete à contaminação dos corpos d'água e prejuízo involuntário aos organismos aquáticos devido ao bloqueio da passagem de luz e posterior falta da fotossíntese, dificultando a expansão de algas (KHALED et al, 2009).

2.2.4. Formas de tratamento

Mediante às problemáticas ambientais supracitadas, técnicas de tratamento foram-se desenvolvidas para corantes – sejam elas físicas, químicas, biológicas ou a junção das três. As técnicas de degradação fotocatalítica e biológica servem como exemplo, todavia o preço elevado, baixa regeneração, implantação complexa e outros empecilhos dificultam sua rentabilidade. Tal como a coagulação, que mesmo sendo uma alternativa, visa ser ineficaz justamente pela formação de uma lama contaminada com os próprios produtos de degradação dos corantes (NUNES et al, p. 2, 2023).

Entretanto, a adsorção se garante mediante do baixo custo aplicado e a possibilidade de utilizar biomassas ao seu favor – até mesmo sendo aquelas provenientes de agroresíduos. Assim sendo, esse método acaba sendo demasiadamente utilizado para obter a remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos reduzida que se manifesta em seus efluentes (NUNES et al, p. 2, 2023).

2.2.5. Legislação

Na ausência de tratamento, ocasiona-se prejuízos na manutenção equilibrada dos corpos hídricos, aumentando a degradação do ciclo biológico dos seres vivos, inibição da fotossíntese e água potável contaminada. Dessa forma, constantemente recorre-se à cobrança de leis e regulamentos, que visam ditar o limite de descarte e os tipos de tratamentos tradicionais permitidos. Na nação brasileira, é liberado a aplicação de tratamentos químicos, físicos e biológicos – os quais podem variar conforme cada indústria e região (KATAYAMA, [s.d.]).

A Resolução CONAMA n° 430/11, complementar à Resolução CONAMA n° 357/05, portanto, destaca a importância do corpo receptor mantido em equilíbrio mesmo após intervenção de efluentes, não permitindo o descarte com concentração de cor acima de 75 mg PT-Co L-1 (BRASIL, 2011).

2.3. CARVÃO ATIVADO

Dependente de biomassas variáveis para originá-lo, o carvão ativado é uma forma de hidrocarboneto que passa por um processo de ativação a fim de gerar uma estrutura altamente porosa, cedendo à capacidade de adsorção de gases, fluidos ou toxinas no interior dos seus poros – ganhando destaque em sistemas de filtragem e estações de tratamento. Com base nisso, tem-se uma ótima retirada de odores e pureza de líquidos e gases, pois se caracteriza pela face repleta de poros que permitem a adsorção de impurezas e toxinas, logo, tende a ser demasiadamente manuseado para a remoção de compostos orgânicos (BUENO; FREITAS, [s.d.]).

Ele é obtido por meio da queima de resíduos ricos no elemento de carbono, sendo uma queima controlada com baixo teor de oxigênio e uma elevada temperatura até a devida formação do carbono puro, evitando que haja a perda total do material carbonizado. (MANGUEIRA, 2014). Ademais, determinado recurso abrange propriedades únicas de adsorção, onde a estrutura porosa cria pontos de adsorção onde substâncias inconvenientes podem se ligar fisicamente ao carbono e serem retiradas do local em que estão inseridas (SCHMIDT, 2011).

2.3.1. Matéria-prima

Todo material sólido orgânico e biodegradável é considerado uma biomassa, seja ele em estado natural (matéria-prima) ou na condição de subproduto. E a obtenção do carvão ativado tem como matéria-prima praticamente qualquer biomassa que seja de matriz vegetal e com um grande grau carbônico. Alguns

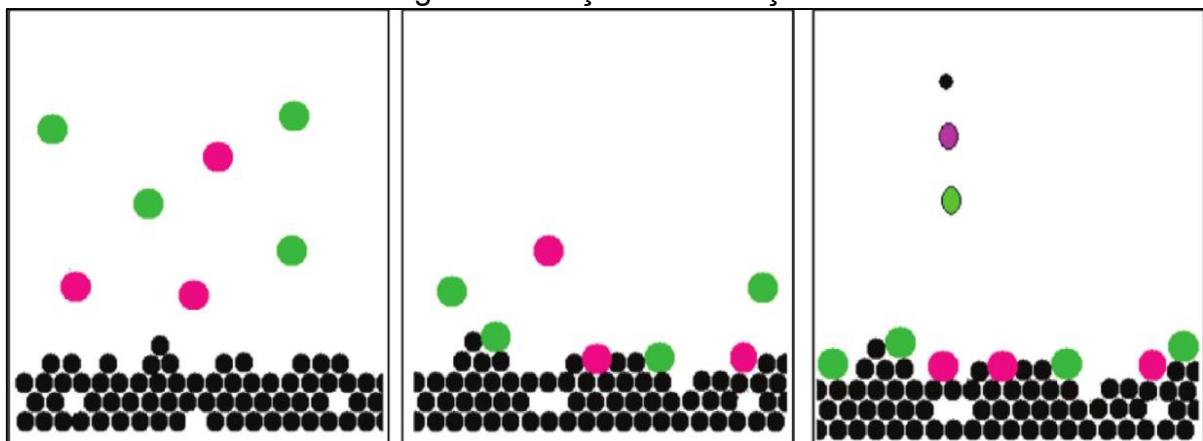
exemplos são resíduos lignocelulósicos, casca de coco, madeira e outras fontes (MUCCIACITO, 2009).

As propriedades do carvão dependem exclusivamente da matéria-prima manuseada e seus ativantes para ser, por fim, propriamente ativado. Em território nacional, uma das biomassas com maior escala de produção com aplicação direta em carvão costumam ser o bagaço da cana-de-açúcar, casca de coco, madeiras de acácias e outros tipos (MUCCIACITO, 2009).

2.3.2. Adsorção

A adsorção é descrita como um fenômeno físico-químico ligado intrinsecamente à atração e fixação de moléculas ou íons de uma substância na superfície de outra substância – em outras palavras, trata-se de um método de deslocamento de massa, normalmente da fase líquida para sólida. Nesse contexto, destaca-se o adsorvente como aquele cuja participação se encontra numa substância ou superfície sólida capaz de atrair e reter o adsorvato, o qual é considerado uma substância adsorvida na superfície do adsorvente – logo, o adsorvente é quem proporciona o local de adesão e o adsorvato é a substância que se liga a esse local (MIMURA; SALES; PINHEIRO, 2010). A Figura 6 ilustra adequadamente a ação de determinado método.

Figura 6. Função da adsorção.



Fonte: (MIMURA; SALES; PINHEIRO, 2010)

Na Figura 6, entende-se que em tal processo os contaminantes permanecem inalterados molecularmente, assim sendo, apenas são retirados de uma fase líquida e presos a uma fase sólida. A adsorção se divide em duas categorias principais: adsorção física (fisissorção) e adsorção química (quimissorção), cada uma com devidas características distintas (NASCIMENTO et al, 2014).

A adsorção física refere-se a atração das moléculas adsorventes à superfície do adsorvente devido às forças intermoleculares fracas, portanto, essas moléculas que se grudam na superfície podem ser facilmente removidas caso haja influência da elevação da temperatura e redução da pressão – que determinam na quantidade de adsorção física. Enquanto a adsorção química, ela consiste numa ligação entre as moléculas ou íons adsorvidos e a superfície do adsorvente, os quais entram em contato e geram uma redistribuição dos elétrons das moléculas da camada mais externa do adsorvato com os elétrons da superfície do adsorvente, resultando em uma atração eletrostática fortíssima. Ademais, a transferência de elétrons leva à formação de ligações químicas covalentes ou iônicas entre as duas fontes envolvidas (NASCIMENTO et al, 2014).

2.3.3. Ativantes

Diversos tipos de agentes ativantes, que são conhecidos como agentes ativadores, são reconhecidos pela sua capacidade intrínseca de aumentar a área superficial do carvão mediante a instauração de processos químicos localizados na envoltura do material. Destaca-se como um dos principais ativantes o hidróxido de potássio (KOH), o carbonato de potássio (K_2CO_3), o hidróxido de sódio (NaOH), o carbonato de sódio (Na_2CO_3), bem como o cloreto de magnésio ($MgCl_2$), entre outras variantes (MACEDO, 2005).

2.4. COCO VERDE

Perceptível visa ser a produção exponencial de coco que mostra-se importante para a economia brasileira, sendo parte expressiva da agroindústria, o qual promove uma gama de produtos a partir de toda a sua composição estrutural – tanto interna quanto externa (WARWICK et al, pg. 9, 2016). A Figura 7 adiante apresenta a composição do fruto mencionado:

Figura 7. Constituição do coco.



Fonte: (PASSOS, 2005)

O coco se origina por meio de uma semente denominada drupa e tende a ser constituído por um epicarpo (epiderme lisa), uma camada cuja característica física se estende na parte externa fina e lisa responsável por originar a sua casca. Mais internamente, há o mesocarpo, considerado o feixe de fibras, sendo a camada intermediária fibrosa. Por último, existe o endocarpo, a camada pétrea que fica entorno da parte comestível, o qual consiste numa textura lenhosa e dura (PASSOS, 2005).

No mesocarpo, localiza-se o encontro de fibras com elasticidade superior às demais fibras vegetais, proporcionando, inclusive, resistência à umidade e adaptação imediata às condições climáticas. Inobstante, essa fibra vegetal é contida por materiais lignocelulósicos, caracterizando-se pela baixa densidade, facilidade de modificação mediante a agentes químicos e bom processamento (PASSOS, 2005).

A sua composição relaciona-se com a presença de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. O polissacarídeo que atua como constituinte estruturante visa ser a celulose, a qual origina o polímero de glicose – fonte que aumentará a resistência das fibras. Enquanto à hemicelulose (polissacarídeo) se adapta como ligante entre a celulose e a lignina. A lignina, um polímero complexo, forma a parede celular do fruto, corroborando diretamente em sua morfologia – realçando, desse modo, que quanto mais lignina estiver envolvida na estrutura, mais flexível e preenchida por qualidade a fibra será (PASSOS, 2005).

2.4.1. Produção no Estado de São Paulo

O *cocos nucifera* tende a ser cultivado em cerca de 90 países, os quais normalmente têm o escopo de usá-lo para produção de copra e óleo – derivados reconhecidos no mercado internacional – e como recurso de bebida natural. A Indonésia, Filipinas e Índia, principais produtores mundiais representam 72,6% da área e 72,8% da produção mundial (BRAINER, p. 1, 2018).

No vasto território do Brasil, a cultura do coco mantém um forte destaque na pitoresca faixa litorânea do Nordeste, tendo uma extensão considerável de aproximadamente 282 mil hectares dedicada à produção desse fruto, servindo tanto os paladares que buscam o frescor natural quanto os setores da indústria alimentícia que dependem dela (WARWICK et al, p. 9, 2006). A seguir, a Tabela 1 realça dados importante quanto à área plantada e produção de coqueiro no Brasil.

Tabela 1. Área Plantada e Produção de coqueiro nas regiões do Brasil em 2009.

| Regiões do Brasil | Área Plantada (ha) | Produção (mil frutos) |
|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Nordeste | 228.911 | 1.337.358 |
| Norte | 30.353 | 281.746 |
| Sudeste | 21.564 | 311.143 |
| Centro oeste | 3.934 | 41.116 |
| Sul | 189 | 2.003 |
| Total/Brasil | 284.951 | 1.973.366 |

Fonte: (IBGE Produção Agrícola Municipal, 2009)

Na Tabela 1, presencia-se a superioridade nordestina perante as demais regiões do Brasil, onde, dos 10 maiores produtores de coco no país, 7 pertencem ao Nordeste. No estado da Bahia, há maior concentração de todo o fruto produzido – com Sergipe e Ceará atrás, os quais todos os três estados supracitados correspondem a 50% da manufatura de coco nacional (CUENCA; MARTINS; JUNIOR, 2021). Como aprofundamento, destaca-se na Tabela 2 a produção anual de coco nos municípios do estado de São Paulo:

Tabela 2. Produção de coqueiro nos municípios do Estado de São Paulo.

| EDR | Produção (1000 frutos) | | | | | | Part. % 2020 | Part. acumulada (%) |
|-----------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | | |
| General Salgado | 3.789,00 | 3.820,00 | 3.795,00 | 3.795,00 | 4.015,00 | 4.000,00 | 23,1 | 23,1 |
| Presidente Venceslau | 2.072,26 | 2.015,66 | 2.019,90 | 1.754,90 | 1.412,40 | 1.794,90 | 10,4 | 33,5 |
| Jaboticabal | 2.176,00 | 2.080,00 | 2.181,65 | 1.280,75 | 1.280,75 | 1.780,75 | 10,3 | 43,8 |
| São José do Rio Preto | 1.195,00 | 1.215,00 | 1.757,00 | 1.151,00 | 837,00 | 1.703,50 | 9,8 | 53,6 |
| Araçatuba | 956,00 | 686,00 | 616,00 | 1.366,00 | 1.373,50 | 1.373,50 | 7,9 | 61,5 |
| Pindamonhangaba | 1.250,00 | 1.250,00 | 1.262,00 | 1.262,00 | 1.250,00 | 1.250,00 | 7,2 | 68,7 |
| Lins | 1.128,00 | 1.048,00 | 975,25 | 1.175,25 | 1.105,25 | 905,25 | 5,2 | 74,0 |
| Jales | 729,00 | 758,00 | 769,00 | 752,00 | 779,00 | 789,00 | 4,6 | 78,5 |
| Presidente Prudente | 904,20 | 896,70 | 764,20 | 642,95 | 651,20 | 731,70 | 4,2 | 82,8 |
| Dracena | 558,35 | 633,15 | 777,40 | 792,40 | 807,40 | 648,50 | 3,7 | 86,5 |
| Demais | 7.476,05 | 5.249,14 | 5.363,53 | 3.741,20 | 3.489,60 | 2.337,20 | 13,5 | 100,0 |
| Estado | 22.233,86 | 19.651,65 | 20.280,93 | 17.713,45 | 17.001,10 | 17.314,30 | 100,0 | |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados básicos de INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Base de dados do levantamento sistemático de Previsões e Estimativas de Safras Agrícolas Paulistas. São Paulo: IEA: CDRS/CATI, 2020.

Fonte: (BAPTISTELLA; COELHO, 2020)

No ano de 2020, a análise estatística da Tabela 2 revela uma distribuição notável da produção nacional de coco, ressaltando que os principais protagonistas desse cenário – um grupo de dez municípios de SP – detiveram uma parcela substancial de 86,5% da produção no estado de São Paulo. Dentre esses, surgem como destaques General Salgado, contribuindo com impressionantes 23,1% do total, seguido por Presidente Venceslau, com uma participação significativa de 10,4%, e Jaboticabal, que não fica atrás com 10,3%. No entanto, vale ressaltar que a produção do estado sofreu um revés motivado por adversidades climáticas, particularmente a escassez de água em algumas regiões durante o ano de 2019. Agravando a situação, a ausência de sistemas de irrigação aprofundou o impacto negativo sobre a colheita (BAPTISTELLA; COELHO, 2020).

2.4.2. Utilização de casca de coco na indústria

O coco, como mencionado anteriormente, é constituído por diversas partes, e no caso do coco maduro, as cascas são geralmente utilizadas como combustível de caldeiras ou ainda processadas para beneficiamento de fibras. Entretanto, esta região do produto também vem sendo utilizada como um substrato para subseqüentes plantações, já que o substrato exerce a função do solo, fornecendo à planta sustentação, nutrientes, água e oxigênio. Dessa forma, o coco, devido à sua extensa produção, torna-se uma excelente escolha (ROSA et al, 2002).

Ademais, observa-se que o fruto também pode fazer parte do setor industrial, em que se torna possível a utilização de pó e fibra a partir do mesocarpo (parte mediana do coco). Ambos podem ser aproveitados, em específico o pó de coco, sendo visto em algumas construções civis, o qual é aplicado como parte da mistura do gesso, sendo utilizados de 1% a 20% do pó (ROSA et al, 2002).

2.4.3. Descarte inadequado

O agronegócio do coco tem gerado uma geração de grande quantidade de resíduos sólidos sem descarte adequado (OLIVEIRA, 2017). Visto que o coco possui fibras resistentes e de difícil decomposição, percebe-se que tal conjuntura pode promover um desequilíbrio ambiental. A lignina, presente na fibra do coco, funciona como uma barreira, dificultando a degradação da parede celular vegetal (LEÃO, 2012). De tal forma, esse atraso em relação à decomposição se acopla com o descarte incorreto em aterros e lixões, provocando maior produção de gás metano e uma criação de ambientes próprios para a proliferação de doenças.

3. METODOLOGIA

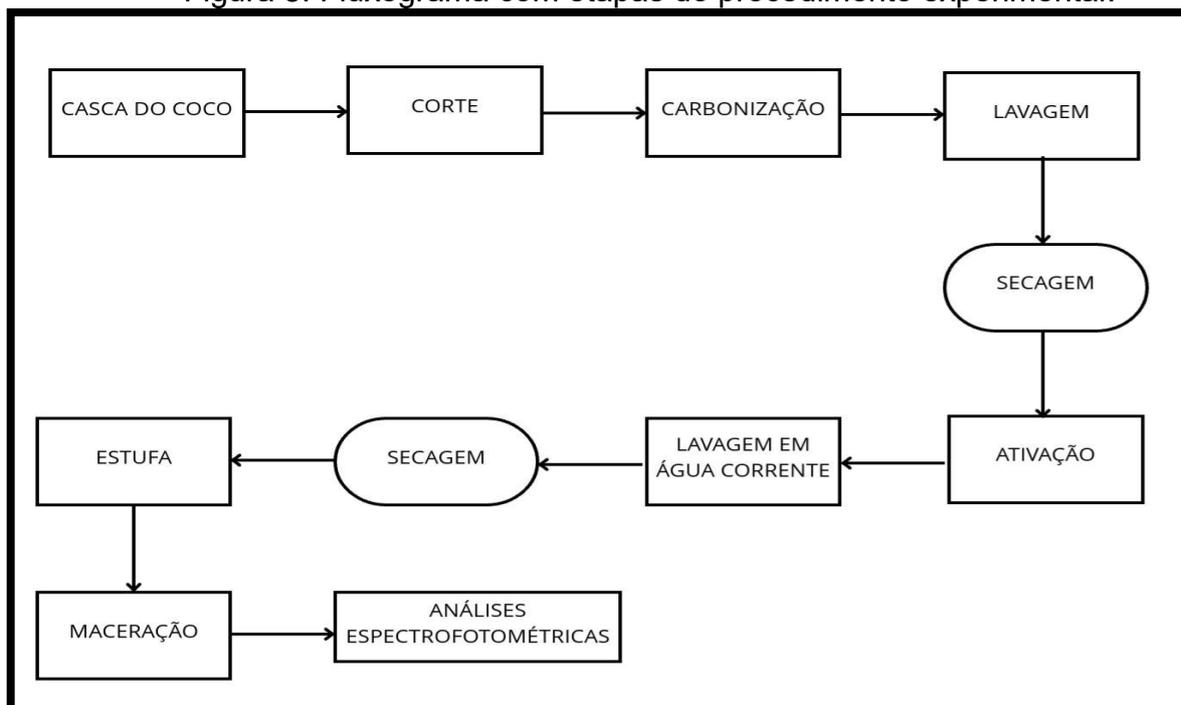
O presente trabalho configurou-se a partir de um levantamento bibliográfico voltado à produção de carvão ativado à base do mesocarpo oriundo do coco-verde para remoção de azocorantes em corpos hídricos através de trabalhos acadêmicos, revistas *on-line*, livros e publicações em sites. Caracteriza-se também como uma pesquisa experimental por se tratar da produção do carvão ativado a partir do resíduo de coco-verde, utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L como ativante, e análise da eficiência na remoção do corante vermelho de metila da água por meio da adsorção no carvão produzido. Teve-se como principal inspiração para embasamento no trabalho os estudos de Oliveira, Silva e Araújo (2021). Para a coleta de dados, foi empregado o método qualitativo (visual) para determinação da adsorção do corante têxtil no carvão ativado e também o método quantitativo por espectrofotometria UV-vis para determinação da quantidade de vermelho de metila removida da água.

4. DESENVOLVIMENTO

Acerca das inúmeras etapas para realização do carvão previamente ativado, visou-se a separação adequada de cada uma para posterior facilitação do processo providenciado em laboratório. Torna-se necessário salientar que as principais partes nessa produção se encontram na carbonização – também denominada calcinação – da biomassa e a ativação do produto.

Adiante, há ilustrado na Figura 8 um fluxograma sobre os procedimentos para produção de carvão ativado a partir do uso da biomassa de coco-verde à base da solução de hidróxido de sódio (NaOH) como ativante para verificação da eficácia do carvão ativado na remoção do azocorante vermelho de metila. Assim, é destacado o passo a passo da produção e devida caracterização do carvão ativado com o escopo de submetê-lo a testes de adsorção para compreensão acerca do seu potencial como forma de tratamento de água em ramo industrial.

Figura 8. Fluxograma com etapas do procedimento experimental.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.1. MATERIAIS E REAGENTES:

Tabela 3. Materiais e reagentes utilizados em todas as etapas do desenvolvimento.

| ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO | MATERIAIS | REAGENTES |
|---------------------------|--|---|
| CARBONIZAÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> • Balança semi-analítica • Béquer • Bico de Bunsen • Cadinho • Espátula • Placa de petri • Rolha • Suporte Universal • Termômetro • Tripé | <ul style="list-style-type: none"> • Água destilada • Mesocarpo do coco-verde |

| | | |
|---|--|---|
| ATIVACÃO | <ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético • Balança semi-analítica • Balão volumétrico • Bico de Bunsen • Dessecador • Erlenmeyer • Espátula • Filtro de papel • Fita de pH • Funil de vidro • Peneira – 60 mesh • Peixinho • Rolha • Tela de amianto • Termômetro • Tripé | <ul style="list-style-type: none"> • Água destilada • Carvão • Solução ativante NaOH – 0,1 mol/L • Solução de neutralização HCl – 2 mol/L |
| PREPARO DA SOLUÇÃO ESTOQUE E SOLUÇÕES DILUÍDAS | <ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético • Balão volumétrico • Pipeta volumétrica | <ul style="list-style-type: none"> • Água destilada • Etanol • Corante vermelho de metila |
| ESPECTRO DE ABSORÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> • Balão volumétrico • Cubeta de Quartzo • Espectrofotômetro UV – vis • Papel absorvente | <ul style="list-style-type: none"> • Água destilada • Solução hidroalcolica de corante – 2 g/L |
| CURVA ANALÍTICA | <ul style="list-style-type: none"> • Balão volumétrico • Cubeta de Quartzo • Espectrofotômetro UV-vis • Papel absorvente | <ul style="list-style-type: none"> • Água destilada • Soluções diluídas do vermelho de metila |

TESTE DE ADSORÇÃO

- Erlenmeyer
 - Agitador magnético
 - Béquer
 - Filtro de papel
 - Fita de pH
 - Funil de vidro
 - Água destilada
 - Solução diluída – 0,6 g/L
-

Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.2. PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

A princípio, fez-se uso de somente um coco-verde, o qual teve toda a sua estrutura dividida através do manuseio de uma faca. Priorizou-se somente a parte fibrosa – o mesocarpo. Assim, respectiva estrutura foi ramificada em pedaços de aproximadamente 5 cm para maior superfície de contato e, consecutivamente, submetida à secagem em temperatura ambiente para retirada prévia de sua umidade, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9. Separação do mesocarpo.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.3. CARBONIZAÇÃO

Em seguida, teve-se uma pesagem em balança analítica de 8 g da matéria-prima utilizada, quantidade obtida anteriormente através da divisão entre 4 cadinhos de porcelana com massas distintas. Cada recipiente foi acrescentado sobre

um triângulo de porcelana com auxílio da chama do bico de Bunsen para o prosseguimento de tal etapa – fazendo uso do bastão de vidro a fim de melhorar a distribuição da matéria prima no cadinho, a partir de sua mistura. E a cada obtenção de carvão formado, os cadinhos eram retirados por intermédio de uma pinça tenaz e colocados acima de uma tela de amianto para serem devidamente resfriados, como ilustra a Figura 10 a seguir:

Figura 10. Obtenção do carvão calcinado



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.4. LAVAGEM E SECAGEM

Adiante, preparou-se 200 mL de água destilada para lavagem e retirada de possíveis impurezas ali presentes, colocou-se em um erlenmeyer que foi direcionado ao bico de Bunsen até alcançar uma temperatura de 90°C – o que foi possível através de um termômetro – conforme apresentado na Figura 11. Posteriormente, os carvões presentes nos cadinhos foram despejados na água quente contida no interior da vidraria e, com acréscimo de uma barrinha magnética, este permaneceu sobre um agitador durante 10 minutos para uma devida limpeza da solução – assim como destacado na Figura 12.

Figura 11. Água destilada para lavagem.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Figura 12. Agitação da solução de carvão e água.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Concluído o tempo cronometrado de espera para respectiva agitação supracitada, o carvão diluído na água destilada seguiu posteriormente separado do volume utilizado por intermédio do método de separação de misturas conhecido como filtração simples. O carvão separado da solução foi colocado em uma estufa de secagem em 105°C durante 6 horas – quando obtive a conclusão de horário, a substância foi direcionada ao interior do dissecador com o escopo de gerar uma desidratação da substância, ou seja, retirar toda a umidade nela presente.

Posteriormente, deu início à maceração do carvão utilizando almofariz e pistilo. Todavia visou-se a necessidade do processo de peneiração, o qual teve a utilização de uma peneira de 60 mesh a fim de ampliar a superfície de contato do carvão e providenciar uma igualdade de granulometria – o qual foi peneirado por 3 vezes contínuas.

4.5. ATIVAÇÃO

Preparou-se uma solução de NaOH de $0,1\text{ mol/L}$ a partir de $0,4\text{ g}$ do produto despejado em 100 mL de água destilada em um balão volumétrico. Posicionou determinado volume para um erlenmeyer e, com acréscimo do carvão, a solução

encontrou-se em extremo movimento sobre o agitador magnético em um tempo de 30 minutos – seguido dessa etapa, o produto ficou submerso na solução durante 6 horas. Feito isso, o sistema de filtração simples foi montado com o escopo de separar a solução ativante do carvão oriundo da biomassa de mesocarpo. Com esse método efetivado, novamente o carvão, já ativado, passou pelo processo de lavagem com água destilada aquecida à 90° C (100 mL para 1 g de carvão) – finalizando a retirada total do ativante.

Por conseguinte, com o carvão consideravelmente ativado, o produto em particular foi submetido a testes de pH durante o processo de filtração com acréscimo de água destilada para reter o excesso de alcalinidade desencadeada pelo ativante básico. Contudo, embora a água destilada tenha sido despejada três vezes sobre o carvão umedecido para ser filtrado, o pH ainda permaneceu alcalino, tornando necessário à sua neutralização. Na Figura 13 ilustra o processo de filtração montado:

Figura 13. Filtração e teste de pH.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Para neutralização desejada, preparou-se uma solução de ácido clorídrico (HCl) de 2 mol/L. Quando acrescentado ao carvão, a solução foi levada ao agitador e ali permaneceu durante uma hora de agitação – até que fosse cumprido o horário e assim realizasse um novo teste de pH e, desse modo, obtendo pH 7 como neutro.

4.6. PREPARO DA SOLUÇÃO ESTOQUE E SOLUÇÕES DILUÍDAS

Em virtude de o carvão ativado encontrar-se pronto, preparou-se uma solução do corante azoico vermelho de metila em um balão de 100 mL, a partir de 20 mL de álcool 96% para solubilização do corante e então foi diluída em água destilada até que fosse completado o menisco da vidraria manuseada, a qual teve acréscimo de 0,2g do corante destacado no interior do recipiente, homogeneizando.

Ademais, obteve-se uma solução estoque de concentração 2 g/L – tornando importante salientar que a molaridade dessa solução sempre deve ser maior que a molaridade da solução diluída, pois a diluição mantém o número de mols da substância em questão e altera somente o volume, o que reduz a concentração molar dela ($M_1 > M_2$). A Figura 14 realça a solução estoque produzida:

Figura 14. Solução hidroalcoólica do corante vermelho de metila.



Fonte: (Dos próprios alunos, 2023)

Outrossim, por meio da solução estoque, realizou-se o preparo das soluções diluídas do azocorante para posterior obtenção da curva analítica. Desse modo, foi-se colocado em prática a fórmula da diluição abaixo:

$$C_1.V_1 = C_2.V_2 \quad (1)$$

Visto que:

C_1 = Concentração inicial;

C_2 = Concentração Final;

V_1 = Volume inicial;

V_2 = Volume Final.

A partir dos cálculos finalizados, as vidrarias como os balões volumétricos de 10 mL foram devidamente manuseados para a passagem dos volumes finais obtidos. Nesse contexto, obtiveram-se as seguintes soluções diluídas, como mostra a Tabela 4:

Tabela 4. Concentração da soluções diluídas.

| Solução | Concentração |
|---------|--------------|
| 1 | 1g/L |
| 2 | 0,8g/L |
| 3 | 0,6g/L |
| 4 | 0,4g/L |
| 5 | 0,2g/L |
| 6 | 0,1g/L |

Fonte: (Dos próprios alunos, 2023)

As soluções obtidas encontram-se ilustradas na Figura 15.

Figura 15. Soluções diluídas e suas respectivas concentrações.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.7. OBTENÇÃO DO ESPECTRO DE ABSORÇÃO

A fim de analisar a faixa de absorção do corante vermelho de metila, utilizou-se o espectrofotômetro de feixe único, no qual foi realizado uma varredura nos comprimentos de onda de 300 a 600 nm – apresentando o uso de uma cubeta de quartzo de 1 cm de caminho óptico – o motivo do uso de tal cubeta está voltado à interferência provocada pelas cubetas de vidro que absorvem na faixa do ultravioleta, logo, alterando no resultado da medida procurada. A princípio, a água destilada e etanol (na proporção 80:20) foi empregue para a calibração do branco, e entre as opções distribuídas, escolheu-se a solução diluída de 0,4 g/L oriunda da solução estoque para a varredura do intervalo de comprimento de onda de 300 nm a 600 nm.

4.7.1. Resultados

A Tabela 5 ilustra o resultado das leituras de absorção da solução hidroalcolica do corante azoico vermelho de metila no intervalo de 300 a 600 nm.

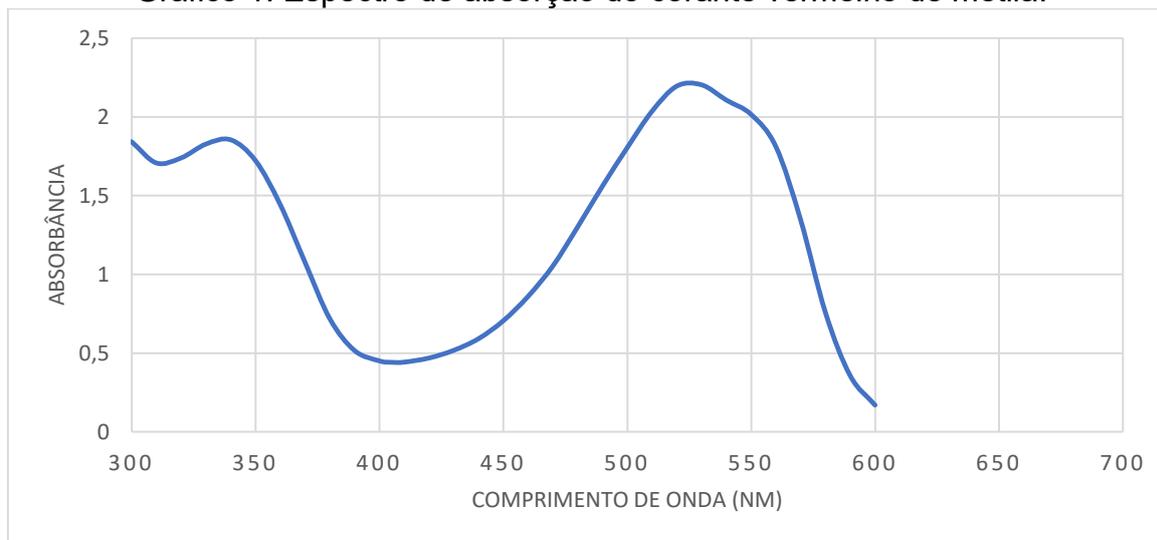
Tabela 5. Resultados da absorção do composto nas faixas de 300 a 600 nm.

| Comprimento de onda | Absorção | Comprimento de onda | Absorção |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| 300 | 1,843 | 450 | 0,706 |
| 310 | 1,708 | 460 | 0,861 |
| 320 | 1,740 | 470 | 1,054 |
| 330 | 1,828 | 480 | 1,302 |
| 340 | 1,855 | 490 | 1,561 |
| 350 | 1,723 | 500 | 1,805 |
| 360 | 1,443 | 510 | 2,036 |
| 370 | 1,076 | 520 | 2,196 |
| 380 | 0,718 | 530 | 2,204 |
| 390 | 0,516 | 540 | 2,107 |
| 400 | 0,451 | 550 | 2,016 |
| 405 | 0,442 | 560 | 1,811 |
| 410 | 0,443 | 570 | 1,345 |
| 420 | 0,469 | 580 | 0,757 |
| 430 | 0,518 | 590 | 0,356 |
| 440 | 0,592 | 600 | 0,170 |

Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

O Gráfico 1 faz menção ao espectro de absorção do corante vermelho de metila que realizou uma varredura no intervalo de 300 a 600 nm a fim de identificar em qual comprimento de onda apresentou um λ máxima, termo que se refere ao comprimento de onda o qual a substância utilizada tem sua absorção de fótons mais forte – o qual obteve λ max na faixa dos 530 nm, sendo então realizada a análise espectrofotométrica neste comprimento de onda.

Gráfico 1. Espectro de absorção do corante vermelho de metila.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.8. OBTENÇÃO DA CURVA ANALÍTICA

Conforme o conhecimento acerca da curva analítica, também conhecida como curva de calibração, entende-se que determinado procedimento é construído através da medição da absorvância do corante em várias soluções-padrão com concentrações relativamente conhecidas do corante avaliado. Portanto, visou-se a necessidade da criação de respectiva curva analítica a fim de determinar a concentração da substância em uma solução desconhecida.

Assim, o método consiste na produção de várias soluções padrões diluídos do corante com concentrações distintas – a partir da solução estoque. Após isso, realiza-se uma comparação das amostras com uma solução em branco – contendo a mesma matriz da solução padrão – e apresentando uma leitura no comprimento de onda de 530 nm, considerado o valor de referência para o composto.

4.8.1. Resultados

Os resultados para a curva analítica na faixa de trabalho de concentrações de 0,1 g/L a 1 g/L, encontram-se expressos na Tabela 6 a seguir:

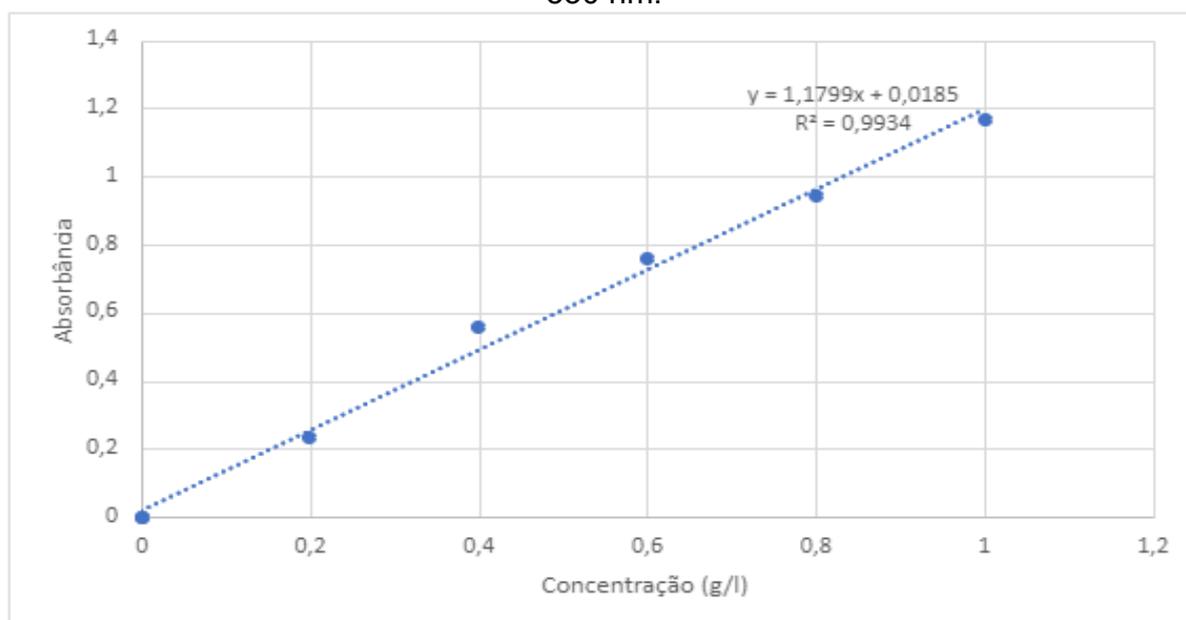
Tabela 6. Resultados de absorvância proveniente das soluções diluídas.

| Concentração (g/L) | Absorbância |
|--------------------|-------------|
| 0 | 0 |
| 0,1 | 0,052 |
| 0,2 | 0,235 |
| 0,4 | 0,559 |
| 0,6 | 0,764 |
| 0,8 | 0,944 |
| 1 | 1,167 |

Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Em seguida, há exposto o Gráfico 2 com a curva de calibração efetuada:

Gráfico 2. Curva analítica utilizada para determinação do corante, com leitura em 530 nm.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

Mediante o coeficiente de correlação linear (R^2) obtido pelo cálculo de absorbância (y) providenciado pelo próprio gráfico, verificou-se um resultado de $R^2=0,9934$, dado extremamente positivo tendo em vista sua proximidade com o valor 1, o qual, dentro das condições estabelecidas pela espectrofotometria, é recomendado de chegar.

4.9. TESTE DE ADSORÇÃO EM VERMELHO DE METILA

A primórdio, realizou-se um teste de adsorção com 100 mL da solução vermelho de metila 0,6 g/L para 1 grama de carvão ativado, os quais foram mantidos sob agitação em agitador magnético, por uma hora, e posteriormente o carvão foi filtrado e a solução foi encaminhada para a centrífuga – mantida em um prazo de 10 minutos em 400 rpm. Segue-se o produto final obtido após a filtração da solução tratada, sendo o carvão recuperado no final do processo (Figura 16).

Figura 16. Carvão ativado obtido.



Fonte: (Dos próprios autores, 2023)

4.9.1. Leitura da amostra tratada com carvão

No espectrofotômetro, foi feita a análise da solução após exposição ao carvão ativado, no comprimento de onda fixo de 530 nm, e visualizou-se uma leitura de 0,038 de absorbância, possibilitando a realização de cálculos a respeito da

porcentagem de vermelho de metila retido pela área superficial do carvão ativado. A equação segue destacada abaixo:

$$y = a \cdot b + 0,0185 \quad (2)$$

Onde:

y = absorvância;

b = concentração;

a = ângulo da reta.

Logo:

$$y = 1,1799 \cdot x + 0,0185$$

$$0,038 = 1,1799 \cdot x + 0,0185$$

$$0,0195 = 1,1799 \cdot x$$

$$X = 0,0185 / 1,1799$$

$$X = 0,0165 \text{ g/L}$$

Adiante, há o acréscimo do cálculo de eficiência do carvão ativado de coco:

$$\begin{array}{l} 0,6 \text{ g/L} \text{ ----- } 100\% \\ 0,017 \text{ g/L} \text{ ----- } X \end{array}$$

$$X = 1,7 / 0,6$$

$$X = 2,83 \%$$

$$100\% - 2,83\% = 97,17\%$$

Portanto, tornou-se possível verificar que houve uma adsorção eficiente de 97,17% por parte do carvão ativado quanto ao corante vermelho de metila em meio aquoso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho se justifica por meio dos impactos ambientais provocados pelo despejo de corantes, especificamente daqueles pertencentes à categoria azo, em ambientes aquáticos. Se caso tenham suas ligações duplas de nitrogênio (-N=N-) quebradas ao entrar em contato com a enzima azoreductase presente nos corpos hídricos, aminas aromáticas carcinogênicas e compostos mutagênicos que geram a bioacumulação e ecotoxicidade são ali mesmo liberados.

Mediante à problemática abordada, a meta estabelecida visou ser a elaboração de uma forma de tratamento econômico, eficaz e sustentável utilizando, então, o carvão ativado que tem como princípio o método de adsorção, logo, a retenção do corante em sua superfície. A biomassa utilizada foi o coco-verde para produção do carvão ativado e este apresentou considerável eficácia de remoção do corante têxtil, quantificada através da técnica de espectrofotometria UV-vis.

Após os testes feitos por meio do método, constatou-se a eficácia na obtenção da curva analítica para quantificação, sendo linear na faixa de 0,2 g/L a 1 g/L de vermelho de metila em solução hidroalcoólica – determinando as concentrações do corante removidas. Logo, determinada linearidade representa a proporcionalidade da relação entre absorvância e concentração, em que a absorvância aumenta igualmente à concentração.

Após a curva de calibração, realizou-se o teste de adsorção e posterior leitura por intermédio do espectrofotômetro no comprimento de onda de 530 nm, obtendo a amostra a absorvância de 0,0038 após tratamento, dado crucial que auxiliou no cálculo de eficiência do carvão ativado, apresentando, desse modo, um percentual de remoção de 97,17%. Logo, pode se concluir que há uma enorme relevância a aplicação do material produzido para ser acrescentado no tratamento de água para remoção do corante vermelho de metila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Érika; DILARRI, Guilherme; CORSO, Carlos. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os**

seus efluentes. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, SP. Acesso em: 09 de ag. de 2023.

AZEVEDO, F. et al. **Tratamento de efluentes na remoção de corantes utilizando biomassas.** 17 de janeiro de 2020. Acesso em: 24 mai. 2023.

ASSAF, A. **Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais. Tratamento de Água,** 2009.

BAPTISTELLA, C. S. L.; COELHO, P. J. Cooicultura no Estado de São Paulo, 2015 a 2020. **Análises e Indicadores do Agronegócio,** São Paulo, v. 16, n. 11, p. 1-6, nov. 2021. Disponível em: IEA (agricultura.sp.gov.br). Acesso em: 23 de ag. de 2023.

BRAINER, M. S. C. **Produção de coco: O Nordeste é destaque nacional.** Caderno Setorial ETENE, n° 61.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 de jul. 2023

BRUNELLI, T. F. T. et al. **Degradação fotoeletroquímica de corantes dispersos em efluente têxtil utilizando fotoanodos de Ti/TiO₂.** São Paulo. 2008, p. 67. V. 32.

BUENO, S. M; FREITAS, L. C. S. **Carvão ativo: Breve histórico e estudo de sua eficiência na retenção de fármacos.** Disponível em: <<http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoatual/Sumario/2014/downloads/6.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2023.

CAVALCANTI, A. M. SANTOS, G. F. (2022, jul./set.). **A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial.** *Exacta.* 20(3), 706-726. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.

CAMARGO, F. **O custo por trás da indústria da moda é maior do que você pensa.** ESTADÃO. Disponível em: <<https://investidor.estadao.com.br/colunas/fernanda-camargo/impacto-ambiental-industria-moda/#:~:text=De%20acordo%20com%20o%20report%20da%20Ellen%20MacArthur,perdidos%20com%20o%20descarte%20de%20roupas%20nos%20aterros>>. Acesso em: 19 de jul. 2023.

CAMBUIM, K. B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações.** 2009. 136f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2009. Acesso em: 09 mai. 2023.

CHAN, E. (2021, março). **A indústria da moda está usando muita água - saiba como reduzir seu consumo.** VOGUE. Disponível em: <<https://vogue.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/03/industria-da-moda-esta->

usando-muita-agua-saiba-como-reduzir-seu-consumo.html#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Ellen%20MacArthur%20Foundation%2C%20a,nesse%20n%C3%ADvel%20%C3%A9%20sentido%20principalmente%20nas%20regi%C3%B5es%20secas.>. Acesso em: 19 jul. 2023.

CASTILHO, L. F. F. **Fibra de coco**. Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR. 2011. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 430/11**. 17 de março de 2005. Acesso em: 24 de maio de 2023.

COUTRIM, M. X. (22 ab. 2016). **QUI346 Espectrofotometria**. Disponível em: <http://professor.ufop.br/sites/default/files/mcoutrim/files/qui_346_uvvis_3a_aula_2016-1.pdf>. Acesso em: 03 ag. 2023.

CPRH – **Agência Estadual de Meio Ambiente**, Recife. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/home/43543%3B61447%3B10%3B0%3B0.asp>>. Acesso em: 19 de jul. 2023.

CUENCA, M. A. G.; MARTINS, C. R.; JUNIOR, L. A. J.; **Estatística da produção**, Embrapa, 2021. Acessado em: 20 de ag. de 2023.

DOS RAMOS, G. M. **Consumo de Água e Geração de Efluentes na Indústria Têxtil**. Disponível em: <<https://www.flushengenharia.com.br/consumo-de-agua-e-geracao-de-efluentes-na-industria-textil>>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FERREIRA FERNANDES, R.; **Indicador de ácido-base**. Faculdade de ciencias da univercidade do porto. Revista de ciência elementar, v. 2, n. 1, 2014.

FURLAN, F. R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2008. Acesso em: 09 de maio de 2023.

FURTADO, D. et al. **Elaboração de um filtro ecológico de um filtro oriundo do caroço de manga no tratamento e qualidade da água obtida para consumo humano**. João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016. Acesso em: 17 de maio de 2023

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes têxteis**. *Química nova*, v. 23, n. 1, p. 71–78, 2000.

GONÇALVES, F. S. **Progesterona**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/hormonios/progesterona/>. Acesso em: out. 2019.

GORINI, A.N.F **Panorama do setor têxtil no Brasil e no mundo: reestruturação e perspectivas**. [S.l.: s.n.], 2000. Acesso em: 09 de maio de 2023. Acesso em: 09 de maio de 2023.

GUILHERME, G. K. S. et al; **Estudo de adsorção dos corantes têxtil azul de metileno e violeta brilhante remazol por casca de arroz.** conapesc digital. 2021. Acesso em: 24 de ag. de 2023.

HARRIS, D. C. **Análise química quantitativa.** 8. Ed. São Paulo: LTC Editora, 2012. 920 p. HELERBROCK, R.; **"Espectro eletromagnético"**; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em 30 de agosto de 2023.

HLCCONSULTORIA (2021, maio). **Norma brasileira de Classificação de resíduos sólidos – NBR 10.004.** HLC consultoria - Engenharia Civil, Meio Ambiente e Qualidade. Disponível em: <https://hlcconsultoria.com.br/norma-brasileira-de-classificacao-de-residuos-solidos-nbr-10-004/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal.** Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisa>. Acesso em: 20 jul. 2023.

IGEM, 2014. **The Problem: Azo Dyes in the environment.** Disponível em: <https://2014.igem.org/Team:UCL/Project/About>. Acesso em: 20 set. 2023.

IND, F. Disponível em: <https://www.quimicabrasileira.com.br/wp-content/uploads/2018/06/VERMELHO-DE-METILA-PA-ACS.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Instituto SENAI de Tecnologia Têxtil, Moda e Confecção. **Química dos corantes.** Brás – São Paulo. Escola Senai "Francisco Matarazzo". Disponível em: <https://textil.sp.senai.br/5725/quimica-dos-corantes>. Acesso em: 25 de ag. 2023.

JACOME, R.; **Reações em solução Observação.** 2014. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1850005/>. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

KATAYAMA, V. **A influência no tratamento de efluente na Indústria Têxtil.** CONSEQ. Disponível em: <https://conseqconsultoria.com.br/a-influencia-do-tratamento-de-efluente-na-industria-textil/>. Acesso em: 19 jul. 2023

KHALED, A.; EL-NEMR, A.; EL-SIKAILY, A.; ABDELWAHAB, O. **Treatment of artificial textile dye effluent containing Direct Yellow 12 by orange peel carbon. Desalination.** v. 238, p. 210-232, 2009. Acesso em: 09 de maio de 2023.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORRA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002. Acesso em: 09 de maio de 2023.

LEÃO, R. M. **Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em materiais compósitos como reforço do polipropileno.** 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11071>. Acesso em: 29 aug. 2023

MACEDO, J. S. **Aproveitamento dos resíduos do beneficiamento de fibras de coco na obtenção de um eco-material: carbono ativado mesoporoso.** 2005. 106f. Dissertação (Mestrado em Química), Núcleo de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal de Sergipe.

MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da Baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin.** (Pós-graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Centro Tecnológico, 2014. Acesso em: 17 de agosto de 2023.

MARTINS, C. R. JÚNIOR, L. A. J. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional – Panorama 2010.** Embrapa, Aracaju, 2011.

MENDES, M. F. A. **Espectrofotometria.** Disponível em: <http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/conceito.html>. Acesso em: out. 2019.

MIMURA; SALES; PINHEIRO. **Atividades Experimentais Simples Envolvendo Adsorção Sobre Carvão.** Disponível em: <https://qnint.s bq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=50&semFrame=1>. Acesso em: 20 set. 2023.

MOPOUNG, S.; **Surface Image of Charcoal and Activated Charcoal from Banana Peel.** *Journal of Microscopy Society of Thailand*, v.22, p. 15-19, 2008.

MOREIRA, T. R. et al. **O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global.** *Revista Educação em Foco* – Edição nº 14. 2022. Disponível em: <<https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2022/06/O-IMPACTO-DA-A%C3%87%C3%83O-ANTR%C3%93PICA-NO-MEIO-AMBIENTE-AQUECIMENTO-GLOBAL-p%C3%A1g-22-a-27.pdf>>. Acesso em: 09 de maio de 2023.

MUCCIACITO, J. C. **Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais.** Tratamento de Água, 2009.

NASCIMENTO, N. et al. **Remoção de vermelho de metila utilizando membrana de microfiltração de polietersulfona modificada com polivinilpirrolidona e óxido de grafeno.** XI EPCC: Encontro Internacional de produção científica, 2019.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção aspectos teóricos e aplicações ambientais.** (Pós graduação)- Universidade federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Acesso em: 23 de agosto de 2023.

NOVAIS, L. F. **A indústria têxtil e de confecções no Estado de São Paulo.** 2º. Ed. São Paulo: Seade, 2021, p. 8.

NUNES, C. S. et al. **Potencial de resíduo não processado proveniente da obtenção do silício metálico como adsorvente do corante vermelho de metila.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 28, n. 1, p. e20230018, 2023.

OLIVEIRA, J. C. G. **Processos de valorização dos resíduos do coco**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/processos-de-valorizacao-dos-residuos-do-coco.pdf>. Acesso em: 29 aug. 2023.

PASSOS, Paulo Roberto de Assis. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulo_Roberto_de_Assis_Passos.pdf>. Acesso em: 25 ag. 2023.

PEREIRA, G. **O que é CARVÃO ATIVADO? Por que usar carvão ativado na filtragem de água?**. Disponível em: <https://youtu.be/L_JMaySGHOY>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ROSA, M. F. et al. **Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2002. Acesso em: 24 de ag. de 2023.

ROMOALDO, P. B. et al; **Corantes têxteis: o descarte inadequado e os impactos ambientais**. 2010. Acesso em: 23 de ag. de 2023.

SCHMIDT, C. G. **Desenvolvimento de filtros de carvão ativado para remoção da água potável**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de engenharia, 2011. Acesso em: 18 de agosto de 2023.

SENAI, S. P. **Portal SENAI-SP - Química dos corantes**. Disponível em: <<https://textil.sp.senai.br/5725/quimica-dos-corantes>>. Acesso em: 23 agosto de 2023.

WARWICK et al. **A cultura do coco**. Brasília: Embrapa, ed. 1ª. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11907/2/00078970.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2023.

ZANONI, M; YAMANAKA, H. **Corantes – caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.