

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ
FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Alexandre Santini Da Silva
Emily Eduarda Da Silva Mazuqui
Guilherme Dos Santos Paschoalini
Isabele Caberlino Caetano

HIDROCARVÃO A PARTIR DO MÉTODO HTC DO LODO RESIDUAL
DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COMO ADSORVENTE DE
MALATHION

Fernandópolis
2025

Alexandre Santini Da Silva
Emily Eduarda Da Silva Mazuqui
Guilherme Dos Santos Paschoalini
Isabele Caberlino Caetano

HIDROCARVÃO A PARTIR DO MÉTODO HTC DO LODO RESIDUAL DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA COMO ADSORVENTE DE MALATHION

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial
para obtenção da Habilitação
Profissional Técnica de Nível Médio de
Técnico em Química, no Eixo
Tecnológico de **Produção Industrial**, à
Escola Técnica Estadual de
Fernandópolis, sob orientação da
Professor **Alex De Lima**.

Examinadores:

Alex De Lima

Luan Souza Nascimento

Tais Marino

Fernandópolis
2025

RESUMO: O uso de agrotóxicos para o controle de pragas na agricultura vem se intensificando no decorrer dos anos, teve início com substâncias químicas à base de cobre e arsênio, porém com o passar do tempo evoluiu para o uso intensificado de organoclorados (compostos que contém cloro), como o diclorodifeniltricloroetano (DDT), e atualmente são utilizados diversos agrotóxicos, incluindo o Malathion. Esse inseticida é muito utilizado no agronegócio brasileiro, tem atuação no bloqueio da enzima acetilcolinesterase (AChE) responsável pela passagem dos impulsos nervosos, porém sua aplicação de forma excessiva vem gerando graves impactos ambientais, como a contaminação do solo, da água e do ar, além disso com uso incorreto pode acarretar sérios danos à saúde humana. Processos naturais ou industriais, como a lixiviação e a percolação, e atitudes antrópicas, como a maneira incorreta de descarte de embalagens, intensificam essa contaminação. Outro resíduo formado no setor da agricultura é a vinhaça, subproduto das indústrias sucroalcooleiras. O lodo obtido a partir de sua decantação é reconhecido pelo seu benefício fertilizante, entretanto, devido aos microrganismos presentes nessa matéria, apresenta complicações quando adicionado diretamente no solo, sem nenhum tratamento. Uma alternativa promissora é a carbonização hidrotermal (HTC), um método eficiente e de baixo custo, que transforma resíduos orgânicos em hidrocarvão, material carbonáceo, que pode ser utilizado como combustível sólido, adsorvente e condicionador de solo. Esse processo ocorre no meio aquoso, sob altas temperaturas, dessa forma ocorre a valorização dos resíduos agrícolas e a diminuição de seus impactos ambientais. O hidrocarvão obtido por esse método tem propriedades adsorptivas, devido sua alta porosidade e quimissorção, portanto, tem grande capacidade para adsorver o poluente Malathion de recursos hídricos.

Palavras-chave: Carbonização Hidrotermal, Contaminação Ambiental, Hidrocarvão Malathion e Vinhaça.

ABSTRACT: The use of pesticides for pest control in agriculture has intensified over the years. Initially, chemical substances based on copper and arsenic were employed, later evolving into the widespread application of organochlorines, such as dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT). Currently, a variety of pesticides is used, including Malathion. This insecticide, widely applied in Brazilian agribusiness, inhibits the enzyme acetylcholinesterase (AChE), which is essential for nerve impulse transmission. However, its excessive or improper use has generated severe environmental impacts, including soil, water, and air contamination, as well as significant risks to human health. Natural or industrial processes, such as leaching and percolation, along with inadequate disposal of pesticide containers, further intensify this contamination. Another residue produced in the agricultural sector is vinasse, a by-product of sugar-alcohol industries. The sludge obtained after its decantation is recognized for its fertilizing potential; nevertheless, due to the microorganisms present in this material, it poses complications when applied directly to the soil without prior treatment. A promising alternative is hydrothermal carbonization (HTC), an efficient and low-cost method that converts organic residues into hydrochar, a carbonaceous material that can be used as a solid fuel, adsorbent, or soil conditioner. This process occurs in an aqueous medium under high temperatures, enabling the valorization of agricultural residues while reducing their environmental impacts. The hydrochar produced through HTC exhibits strong adsorptive properties due to its high porosity and chemisorption capacity, making it highly effective for removing the pollutant Malathion from water resources.

Keywords: Hydrothermal carbonization; Environmental contamination; Hydrochar; Malathion; Vinasse.

RESUMEN: El uso de plaguicidas para el control de plagas en la agricultura se ha intensificado a lo largo de los años. Inicialmente, se empleaban sustancias químicas a base de cobre y arsénico, pero con el tiempo se avanzó hacia el uso extendido de organoclorados, como el diclorodifeniltricloroetano (DDT). En la actualidad, se utilizan diversos agroquímicos, incluido el Malathion. Este insecticida, ampliamente utilizado en el agronegocio brasileño, actúa inhibiendo la enzima acetilcolinesterasa (AChE), responsable de la transmisión de los impulsos nerviosos. No obstante, su aplicación excesiva o incorrecta ha generado graves impactos ambientales, como la contaminación del suelo, del agua y del aire, además de representar riesgos significativos para la salud humana. Procesos naturales o industriales, como la lixiviación y la percolación, junto con prácticas antrópicas, como el desecho inadecuado de envases, intensifican esta contaminación. Otro residuo generado en el sector agrícola es la vinaza, subproducto de las industrias sucroalcoholeras. El lodo obtenido tras su decantación es reconocido por su potencial fertilizante; sin embargo, debido a los microorganismos presentes en este material, su aplicación directa al suelo sin tratamiento previo puede ocasionar complicaciones. Una alternativa prometedora es la carbonización hidrotermal (HTC), un método eficiente y de bajo costo que transforma residuos orgánicos en hidrocarbón, un material carbonáceo que puede emplearse como combustible sólido, adsorbente o acondicionador de suelos. Este proceso ocurre en un medio acuoso bajo altas temperaturas, permitiendo la valorización de residuos agrícolas y la reducción de sus impactos ambientales. El hidrocarbón obtenido mediante este método presenta destacadas propiedades adsorptivas debido a su alta porosidad y quimiosorción, lo que le confiere gran capacidad para adsorber el contaminante Malathion en recursos hídricos.

Palabras clave: Carbonización hidrotermal; Contaminación ambiental; Hidrocarbón; Malathion; Vinaza.

1. INTRODUÇÃO

Há anos, o uso de produtos químicos para o controle de pragas é recorrente na agricultura em todo o mundo, de acordo com o artigo publicado na revista Cadernos de Saúde Pública os compostos orgânicos de início eram usados em pequenas quantidades, em destaque suas formulações envolviam os elementos químicos cobre e arsênio. No decorrer do tempo com explosão demográfica e o aumento do consumo de alimentos, os produtores foram forçados a buscar meios de suprir essa necessidade, após um longo tempo, ocorreu a inclusão dos primeiros produtos orgânicos. Esse avanço foi apenas o começo de toda uma sequência de pesquisas e análises que formaram o mercado atual de produtos agrícolas (Faria M. et al., 2006).

Atualmente, um dos grandes problemas correlacionadas ao uso dos inseticidas no meio agrícola são as casos de contaminação, da mesma forma que esses produtos apresentam grande eficiência para o controle de pragas nos meios de culturas, durante a sua aplicação ou decorrências da natureza é inevitável a alta contaminação dos locais próximos os de aplicação que representa um alto risco à saúde humana e ao meio ambiente (Santos, A. P., 2024). Existem diversas formas de contaminação hídrica ocasionadas pelos resíduos químicos das indústrias agrícolas, uma das formas de contaminação causadas pela própria ação da natureza é a partir da lixiviação, que consiste na “lavagem” do solo, no qual acontece a passagem de nutrientes e dos compostos químicos aplicados á lavoura que são transportados para os corpos hídricos. Além dessa maneira também existem as pulverizações aéreas, a lavagem de materiais e equipamentos, o descarte incorreto de embalagens, entre outros que motivos para o aumento dessa contaminação (Gurgel A., 2024).

O agronegócio brasileiro tem forte impacto na economia, o Brasil ocupa a terceira posição no ranking dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo. Em meio a essa realidade, o inseticida Malathion tem forte referência de uso entre os agricultores no combate aos insetos e pragas, além disso também é usado nas residências, na saúde pública e nas indústrias (RAMOS et al., 2006).

Dentre os inseticidas presentes no mercado, a EPA (United States Environmental Protection Agency) apresenta o Malathion como um tipo de inseticida que age no bloqueio da enzima chamada acetilcolinesterase ocasionando paralisia e

morte do inseto. Ele pode ser utilizado no controle pragas em plantações e jardins, também tem função no combate a mosquitos em áreas abertas.

De acordo com Delgado (2006), a utilização do Malathion nas lavouras no Brasil, entre 1991 e 2001, passou de 1.850 para 7.627 toneladas cúbicas, tendo um aumento de aproximadamente 312%, devido às políticas governamentais para agricultura, e hoje, graças a essa utilização exacerbada do produto temos um dos organofosfatos com maior índice de intoxicações. Essa atual situação de contaminação juntamente com a inexistência de alguma política de controle e fiscalização das vendas e usos de certos agrotóxicos acaba limitando o registro dos números de contaminações que ocorrem e uma carência de conscientização e informação para o produtor e trabalhadores quanto ao manejo adequado dos defensivos agrícolas e estimula esses casos de infecção dos meios hídricos entre outros. (Faria et al., 2007).

Em meio a esse mundo do agronegócio e seus produtos, existe a formação da vinhaça que é o resíduo líquido formado na destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar nas indústrias sucroalcooleiras, também conhecida em algumas regiões como o resto do vinhoto (Gemtos et al., 1999). Essa vinhaça é armazenada em tanques da usina durante a safra e a entressafra, com o tempo, a matéria orgânica presente no vinhoto vai decantar formando uma camada que é o lodo, composto por areia, bagaço e outros sedimentos. Esses subprodutos gerados apresentam sérios problemas ao meio ambiente, já que a sua dispersão pode ocasionar contaminação do solo e de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos (Santos W., 2025).

Como alerta (Silva et al., 2007), esse subproduto aplicado em altas doses pode acarretar diversos problemas no desenvolvimento do plantio e principalmente uma salinização do solo e poluição dos lençóis freáticos. Colocando em análise, pode-se estudar a probabilidade dos efeitos do Malathion de forma menos agressiva que a aplicação do subproduto, mas ainda assim seria um tipo de contaminação que coloca em risco a saúde da fauna, da flora e da saúde humana.

Entretanto, existe uma forma de usá-lo de maneira eficaz e com finalidade sustentável para a natureza. O método de carbonização hidrotermal (HTC) vem se destacando, devido ao seu baixo custo, simplicidade e eficiência energética (Román, S. et al., 2013). Essa técnica consiste em reagir o precursor com água em

uma autoclave utilizando temperaturas entre 150 e 260 °C, sob pressões autogeradas (Catalkoprl, A. K. et al., 2017).

O método HTC destaca-se dos demais métodos existentes (como a pirólise), uma vez que não necessita do processo de pré-secagem (no qual apenas uma parcela da quantidade de água é retirada da matéria), descando esse processo como essencial para que o uso da biomassa seja efetuado corretamente, apresentando todas as suas propriedades desejadas. Com base em suas características esse método é abrangente e pode ser aplicado em diversas biomassas, sem que haja custo excessivo e gasto exacerbado de energia durante o processo de secagem da matéria prima, uma vez que não exige que ela esteja completamente seca antes de ser submetida à autoclavagem, desse modo se torna um processo mais viável economicamente e mais rápido do que outros métodos (Manandhar A. et al., 2021).

O hidrocarvão obtido pela pirólise hidratada (HTC), possui diversas propriedades benéficas em seu uso, uma delas é a propriedade adsorvente; isso se deve à sua estrutura físico-química, que permite a melhor permeabilidade de compostos químicos em sua superfície (Tsarpali M. et al.; 2021). Sua estrutura microporosa (configurada de micro espaços) aumenta a proporção de área superficial, proporcionando mais pontos de contato, que por meio da força de atração física se juntam ao adsorvato (substância a ser adsorvida). Essa adsorção ocorre por meio das interações químicas, envolvendo troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorvato, que permitem a permeabilidade de outros compostos pelas ligações iônicas (Lima., 2020).

Diante da situação o uso do hidrocarvão a partir do lodo residual de indústrias sucroalcooleiras gera alternativas viáveis de adsorção (mais naturais e menos invasivas) no tratamento de resíduos de efluentes, uma vez que suas características físico-químicas, principalmente sua microporosidade e sua riqueza em carbono, conferem a sua capacidade de adsorver contaminantes em recursos hídricos, viabilizando uma alternativa de melhoria de qualidade de vida para a população (Agra I., 2021).

Portanto, por meio da pesquisa sobre a problemática, foi possível desenvolver um hidrocarvão com o intuito de reutilizar a matéria (lodo da vinhaça), e usufruir das propriedades adsorptivas do carvão, de forma que seja possível realizar a

descontaminação de corpos hídricos com um material sustentável e econômica, promovendo saúde ambiental e humana.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MALATHION

Em decorrência do aumento populacional, também ocorreu um crescimento na demanda alimentícia, tornando-se um problema e forçando os produtores a procurar meios de suprir essas necessidades. De início, em tempos de Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945), o Brasil teve a introdução das máquinas, do veneno e do transgênico nos campos. Em seguida, ainda para sanar essa grande necessidade, ocorreu uma revolução verde em 1960, que aconteceu com uma promessa de modernizar o campo, erradicar a fome e aumentar a produção (Lazzari F. et al., 2017). É nesse momento que se inicia os avanços do setor agrícola, que levou a agricultura aos setores de monoculturas extensivas e de grande utilização de produtos químicos (Menezes, 2005).

Dentre os avanços nesse setor, temos os inseticidas, pois desde que o homem iniciou as atividades agrícolas é presente a existência de insetos que além de se multiplicarem com alta eficiência dificultando sua mobilização trazem, muitas vezes problemas à saúde do cultivo (Schlichting C. et al., 2007). Forçando realizar procuras de outras formas para diminuir os níveis desses insetos.

De início teve o uso dos inseticidas naturais, em destaque o alcaloide nicotina (extraída da folha de *Nicotina tabacum* e *Nicotiana glauca*) associado à nomicotina e anabasina, que durou até meados de 1940. Em sequência, teve o surgimento dos inseticidas sintéticos que substituiu por completo os agentes naturais devido a sua alta funcionalidade. (Corrêa et al., 2007).

O inseticida malation, que possui como nomes mais comuns malathion, malatião ou malationa, pertencente aos organofosforados, que são compostos químicos oriundos do ácido fosfórico, podendo ser tióis, amidas ou ésteres, contendo cadeias laterais orgânicas como o cianeto tiocianato ou o fenoxi. Esses compostos apresentam várias combinações de nitrogênio, hidrogênio, carbono, oxigênio, enxofre e fósforo (Kumar et al., 2016). Existem relatos que apontam o uso desses inseticidas em meados do século XX como armamento químico em meio à Segunda Guerra Mundial (Villalobos Et al., 2017). Sua produção teve início na década de 1950, por

Jack T. Cassaday adjunto da American Cyanamid (empresa química e farmacêutica em Stamford, CT). Esse organofosforado entre outros produtos, foram solicitados como formulações de matéria na patente americana 2.578.652 em 1951 e a sua embalagem comumente encontrada em casas de produtos agrícolas é a apresentada na Figura 1 (American Chemical Society., 2022).

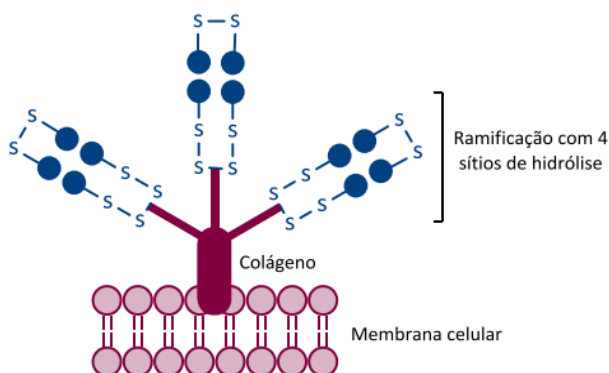
Figura 1. Imagem do malathion.



Fonte: (Agropan, Agronegocios. 2025).

O inseticida O, O-dimetil-S-(1,2-dicarboxietil) fosforoditioato, tem forma molecular ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$) e massa molar 330,36 g/mol, é um líquido de odor semelhante ao de alho ou gambá (American Chemical Society., 2022). Ele atua no sistema nervoso do inseto, inibindo a enzima acetilcolinesterase representada na Figura 2, que tem papel na passagem dos impulsos nervosos, dessa maneira paralisando a praga (BRAGA Et al., 2007).

Figura 2. Desenho esquemático da AChE.

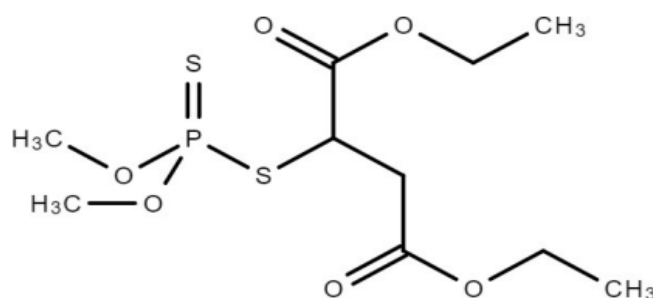


Fonte: (Patrick, G. L.; 2009).

O Malathion é um inseticida amplamente utilizado, como no tratamento de culturas agrícolas, nas residências, nos setores de saúde e até mesmo em indústrias (Ferreira V., 2022). Muito utilizado também na substituição do DDT (Dicloro-Difenil-Tricloroetano) para a proteção do milho em armazéns (GUEDES et al., 1995; SANTOS et al., 1986), para o combate do mosquito da dengue, pela pulverização do inseticida (HUCULECI et al., 2009; BRASIL, 2014), nos Estados Unidos foi destaque no controle dos insetos (Department of Health Services., 1991).

Suas propriedades físicas estão apresentadas no Quadro 1 e sua estrutura está representada na Figura 3. Esse organofosforado também apresenta uma classificação toxicológica II ou III sendo entre altamente e medianamente tóxico, de acordo com a ANVISA (Agência Nacional de *Vigilância Sanitária*), 1985. Ele tem atuação no controle de insetos sugadores e mastigadores (Cheminova., 2002).

Figura 3. Fórmula estrutural do Malathion.



Fonte: (FUSIGER F, 2022).

Quadro 1. Propriedades físicas do Malathion.

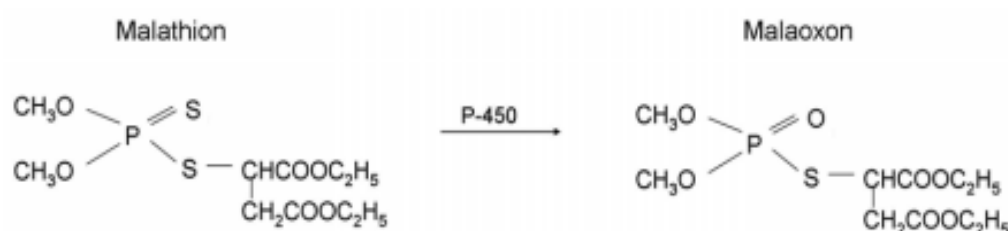
Estado de agregação	Líquido
Cor	Amarelo
Ponto de fusão	2.9 °C
Ponto de ebulição	156-157 °C
Pressão de vapor	1.78 x 10 ⁻⁴ mmHg a 25 °C
Densidade	1.23 g/cm ³
Solubilidade em água	145mg/L a 20-25°C

Fonte: (Cuambe, 2011)

O seu consumo no Brasil, em meados de 1991 a 2001, teve um aumento de aproximadamente 312,27% indo de 1.850 toneladas para 7.627 toneladas devido a sua grande eficiência e ações governamentais. Tendo como consequência um uso descontrolado do inseticida tornando-o causador de muitas intoxicações (Delgado., 2006).

O Malathion vendido comercialmente, que é usado na agricultura e extirpação de pragas, pode ter em sua formulação em torno de 12 tipos de impurezas, em destaque o Malaoxon representado na Figura 4 que é formado na oxidação do Malathion sendo desenvolvidas nos produtos por conta da sua estocagem (Flessel et al., 1993). Essas substâncias acabam potencializando a toxicidade desse inseticida, podendo conter até 40 vezes mais toxicidade que o próprio inseticida (Brenner., 1992).

Figura 4. Bioativação do Malathion em Malaoxon por oxidação



Fonte: (BIANCHI J, 2008).

Além dessa impureza existe também outro problema, já que a sua ação potencializa a toxicidade do Malathion, durante a isomerização (conversão de moléculas em seus isômeros) térmica ou fotoquímica, que normalmente ocorre durante a estocagem do produto a forma como ela ocorre está representada na Figura 5 (Blasiak et al., 1999).

Figura 5. Transformação do Malathion em Isomalathion, por isomerização térmica ou fotoquímica.



Fonte: (BIANCHI J, 2008).

2.1.1 Ação no Meio Ambiente

O conhecimento prévio sobre os problemas causados no uso desse inseticida é crucial. Ainda que existam grandes benefícios fornecidos pelos organofosforados, há sérios problemas relacionados a esse uso, como a contaminação do meio ambiente, que não é compatível com os produtos químicos, decorrente das condições naturais anteriores à implementação desses produtos (Moreira et al., 1996).

Após a dispersão do inseticida na área desejada, podem ocorrer diversas situações que resultam na contaminação do ambiente onde são aplicados ou atingir até mesmo locais distantes. Isso ocorre pela degradação e volatilização do produto, além de problemas decorrentes do processo de realização do trabalho ou até mesmo falta de cuidado de quem está manuseando o inseticida (Soares, 2011).

Existem diversas formas de contaminação do meio em que foi aplicado o produto e como citado antes, contaminar também áreas distantes. As gotículas de inseticida libertadas podem se unir à poeira presente no ar, poluindo o mesmo. Além disso, as chuvas e ventos auxiliam nesse transporte dos inseticidas influenciando a propagação do produto. Essas pequenas gotículas além de unir a poeira, têm uma baixa velocidade de sedimentação, o que permite essas partículas de Malathion se deslocarem por lugares distintos antes de chegarem ao solo. (Chaim, 1989).

Quando o Malathion atinge o solo pode ter vários destinos, sendo alguns deles: escoar na superfície, ser adsorvido ou infiltrar-se, ocorrendo a lixiviação, que basicamente é a lavagem e transporte dele para os meios hídricos, superficiais e subterrâneos, por meio da chuva (Coleone, 2014). Após processos no solo como a erosão, escoamento superficial e chuvas, resquícios químicos dos compostos podem ser levados para os corpos d'água. Em quaisquer ambientes, pode ocorrer a decomposição ou a permanência do produto por diferentes períodos, dessa forma prolongando os efeitos do inseticida em locais inadequados (Soares, 2011).

A água é o meio condutor mais comum no carreamento de agrotóxicos, ela é responsável por levar os compostos dos locais onde foram aplicados até outras fontes hídricas. O solo se torna uma fonte de resíduos que podem se espalhar para a atmosfera, águas subterrâneas e organismos, capazes de utilizar esses resíduos como fonte de carbono (Ribeiro et al., 2010).

De acordo com a American Chemical Society, no ano de 2017 a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos avaliou o Malathion como um possível gerador de impactos negativos na maior parte de espécies ameaçadas de extinção, assim também compromete seus habitats naturais. Já em 2021, de acordo com análises da EPA, O Serviço de Pesca e Vida selvagem dos EUA concluiu que esse produto com suas aplicações iria possivelmente afetar em torno de 78 espécies e as 23 áreas necessárias para a conservação. Portanto, a EPA e o Serviço de Pesca e Vida Selvagem se uniram com o intuito de criar medidas para auxiliar na redução dos efeitos do Malathion.

A ACS (American Chemical Society) também informa que em março de 2021, o Departamento de Pesca e Vida Selvagem concluiu que, por meio da adoção de medidas de mitigação, essas espécies que apresentam risco de extinção não serão prejudicadas pelo uso do inseticida, além disso a EPA (Environmental Protection Agency) prevê que até o final de 2023 novas rotulações serão aplicadas ao produto. No entanto, alguns ambientalistas não concordaram com as medidas estabelecidas, sugerindo a adoção de controles mais rígidos. Um deles defende que é mais eficaz confiar nas promessas de respeitar as leis estabelecidas, ao invés de criar medidas de conservação no campo.

2.1.2 Ação na Saúde Humana

O uso em excesso de agrotóxicos, principalmente organofosforados, tem sido um motivo do aumento nos casos de intoxicação, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil. A ausência de normas rigorosas em relação ao uso adequado dos equipamentos de proteção e a ausência da obrigatoriedade de notificação acabam tornando esse cenário mais agravante para a saúde pública. No corpo humano os organofosforados são rapidamente absorvidos e se espalham por diferentes tecidos, sendo processados pelo fígado e eliminado principalmente pela urina em até dois dias (Secretaria de Saúde do Paraná, 2024).

Na maior parte de casos de câncer registrados no planeta têm uma ligação direta com os riscos ambientais, sendo cerca de 80 a 85% relacionados à exposição aos agentes químicos, físicos ou biológicos presentes no ambiente (Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. Nota Pública acerca do posicionamento do Instituto Nacional de Câncer sobre o Projeto de Lei nº 1459/2022).

Esses compostos de fósforo são utilizados em diversas funções, podendo ser como antioxidantes e estabilizantes em plástico e óleos industriais, também têm um papel importante em outros setores, como resistência a corrosão, extração e complexação e em agroquímicos como o inseticida Malathion (Martins. R. S. V. et al. 2006).

Apesar desses produtos terem grande importância para as práticas agrícolas, são altamente perigosos para a saúde humana. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) apresenta dados de que existem registros em torno de 20 mil casos de morte por ano devido ao consumo de agrotóxicos (Instituto Nacional de Câncer., 2022).

Ainda que apontado como um organofosforado que apresenta baixa toxicidade por algumas instituições, o Malathion ainda continua sendo um grande responsável por diversos casos de intoxicação e mortes. Esse inseticida tem seus efeitos relacionados a pureza da substância, o modo de contaminação e a dose (Delgado., 2006). Compostos com essas características costumam ser lipossolúveis - que se dissolvem em gorduras - e biodegradáveis, podendo ser decomposto por organismos vivos. Essas características permitem que o composto seja hidrolisado rapidamente no meio ambiente e nos processos de meios biológicos, acontecendo a absorção pelos tecidos orgânicos, barreiras placentárias e hematoencefálicas de forma rápida (Ganash et al., 2016) e (Organophosphorus., 2003).

Quando o estímulo nervoso passa em uma sinapse, caracterizada pela conexão onde um neurônio se comunica com outra célula, uma enzima age quebrando a acetilcolina (neurotransmissor), se dividindo em acetato e colina (Slotkin., 2004) (Ministério da Saúde.,1998). Os organofosforados são um tipo de inseticida tóxicos para os nervos, já que inibem as enzimas chamadas colinesterases (responsável por quebrar a acetilcolina) ao se ligarem a elas. Ocasionalmente o acúmulo de acetilcolina no organismo, desenvolvendo várias síndromes colinérgicas, superestimulação de nervos, músculos e glândulas, levando a visão turva, diarreia, náuseas, fraqueza muscular, paralisia e em casos graves parada respiratória. (Fundação instituto Osvaldo Cruz., 2016) e (Almeida., 1995).

No Brasil, há pouca informação na literatura sobre a intoxicação do Malathion. Um estudo feito em 2018 por Oliveira Buriola relata a gravidade de acidentes causados por inseticidas que inibem a acetilcolinesterase. De um total de 44 casos, oito deles foram datados como intoxicações por Malathion.

2.2 LODO DA VINHAÇA

O lodo é classificado como um resíduo semissólido e pastoso, constituído principalmente por matéria orgânica. É uma fonte importante de macro e micronutrientes capazes de melhorar a retenção de água e resistência do solo à erosão, além de contribuir positivamente para diferentes áreas ambientais, tais características fazem com que o lodo apresente elevado potencial para reaproveitamento. (Pedroza *et al.*, 2019). As propriedades físico-químicas do lodo como - pH, umidade, sólidos totais, sólidos fixos, nutrientes, matéria orgânica, fósforo total - variam de acordo com a composição do meio no qual é formado e dos processos empregados para o tratamento do sistema (Gonçalves¹ et al. apud Freddo, 2014).

As usinas sucroalcooleiras desempenham papel significativo na economia brasileira, sendo o país o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e um dos líderes na produção de açúcar e etanol. No processo de fabricação do etanol, ocorre a destilação — processo físico destinado a separar os componentes de uma mistura líquida com base em seus diferentes pontos de ebulição — a partir da qual são formados dois produtos principais: o etanol e a vinhaça. O etanol, ou álcool etílico, é amplamente utilizado como combustível e em diversos setores industriais. A vinhaça, por sua vez, é um subproduto líquido e pastoso, rico em potássio, matéria orgânica e outros nutrientes, sendo amplamente empregada como fertilizante nas próprias lavouras de cana-de-açúcar da usina, devido à sua elevada concentração de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

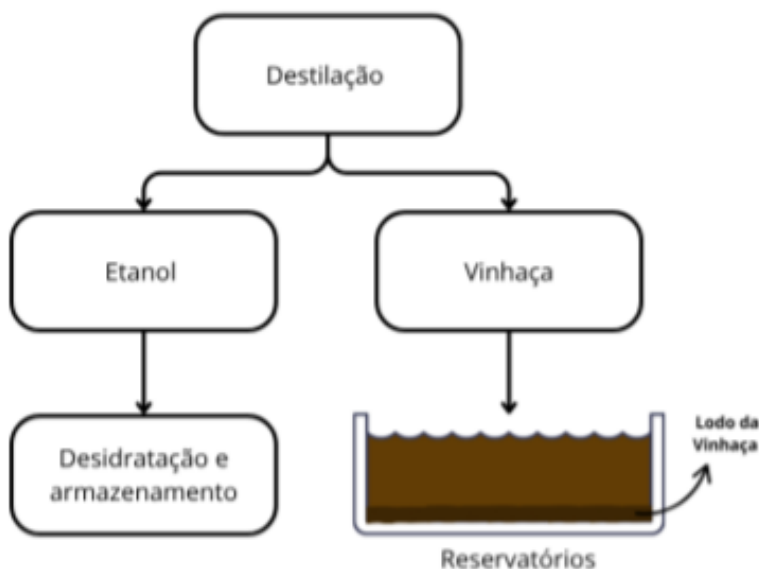
Essa forma de reutilização contribui para maior sustentabilidade na produção de açúcar e etanol, visto que torna o processo mais viável economicamente ao aproveitar um subproduto gerado de forma contínua. Entretanto, devido à sua alta carga orgânica, pH ácido, corrosividade e capacidade erosiva, a vinhaça também constitui um potencial poluente ambiental, o que exige manejo adequado para evitar a contaminação do solo e de corpos hídricos. (Santos, 2025).

Segundo Santos (2025, p. 16), a vinhaça destinada à fertirrigação é bombeada para tanques e distribuída ao campo por meio de tubulações, chegando

¹ GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. R. P.; PASSAMANI, F. R. F. Características Físico – Químicas e Microbiológicas do lodo de lagoas. Capítulo 4. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Espírito Santo, 1999, 79p.

posteriormente aos Reservatórios de Distribuição (RDs). Mesmo durante o período de entressafra — no qual os tanques deixam de receber vinhaça — é necessário preservar a membrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), mantendo-se uma pequena quantidade de vinhaça em seu interior. Em razão de diversos fatores que influenciam o processo, formam-se sedimentos compostos principalmente por matéria orgânica e vinhaça no fundo dos reservatórios (Figura 6). Caso não sejam realizadas limpezas de forma preventiva, esses sedimentos podem gerar prejuízos econômicos e ambientais para a empresa. Quando descartado diretamente no solo sem tratamento adequado, o resíduo apresenta risco de contaminação de corpos hídricos e de lençóis freáticos.

Figura 6. Processo de obtenção do lodo da vinhaça.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Entretanto, o lodo acumulado no fundo dos tanques apresenta elevadas concentrações de macro e micronutrientes, além de outros minerais que, quando manejado adequadamente conforme as características do solo, pode tornar-se uma fonte rica de nutrientes, deixando de atuar como potencial poluente dos corpos hídricos.

Dessa forma, a vinhaça não gera retorno econômico ou ambiental para a usina sucroalcooleira, pois exige a limpeza dos reservatórios de distribuição e o descarte adequado desse sedimento orgânico. Contudo, o processo de limpeza e descarte pode ocasionar prejuízos econômicos, sobretudo devido ao transporte do

material, que requer caminhões específicos preparados para lidar com características como a elevada densidade e umidade do lodo.

Além disso, o descarte envolve custos associados ao tratamento prévio, cujo objetivo é reduzir a umidade, estabilizar a matéria orgânica e diminuir a concentração de poluentes por meio de secagem térmica, compostagem e análises laboratoriais frequentes, necessárias para o atendimento às normas ambientais vigentes. Esses procedimentos elevam os gastos da usina; entretanto, tais perdas podem ser evitadas mediante a adoção de alternativas de reaproveitamento desse material, reduzindo custos e contribuindo para a preservação ambiental.

2.3 CARBONIZAÇÃO HIDROTHERMAL

A carbonização hidrotermal (hydrothermal carbonization, HTC) é um processo de reação lenta que consiste no tratamento de uma matéria-prima com água em temperaturas elevadas, geralmente entre 150 e 260 °C. Para tal processo, utiliza-se um reator ou autoclave capaz de gerar pressão autógena. Ao longo da reação, o precursor passa por etapas de estruturação e decomposição, iniciando-se pela hidrólise, seguida por reações de desfuncionalização, como desidratação e descarboxilação, e, posteriormente, pela recondensação, resultando em um material carbonáceo denominado hidrocarvão, conforme ilustrado na Figura 7 (ANTERO et al., 2013).

Figura 7. Fluxograma da produção do hidrocarvão



Fonte: (Autoria própria, 2025).

A carbonização hidrotermal (HTC) é uma técnica realizada em meio aquoso, utilizando água quente comprimida em condições subcríticas ou supercríticas como meio reacional. Por se tratar de um processo que emprega água, uma de suas vantagens consiste na não necessidade de pré-secagem da biomassa, permitindo que a matéria-prima seja utilizada ainda úmida e reduzindo, assim, o consumo energético associado à etapa de secagem (Nogueira G., 2020, p. 33).

Os primeiros experimentos relacionados à carbonização hidrotermal foram iniciados em 1911 pelo químico alemão Friedrich Bergius (1884–1949), cujo objetivo inicial era estudar a produção de hidrogênio por meio da oxidação de carvão. Bergius observou que, quando utilizada uma matéria orgânica — no caso, a turfa como precursor — o processo resultava em um material carbonáceo com características semelhantes às do carvão mineral. Como reconhecimento por suas contribuições ao desenvolvimento de processos químicos em alta pressão, Bergius recebeu o Prêmio Nobel de Química (Titirici et al., 2015).

Em comparação ao processo seco de torrefação, o HTC opera com temperaturas relativamente inferiores. A carbonização hidrotermal ocorre entre 150 °C e 280 °C, enquanto a torrefação ocorre entre 200 °C e 300 °C. Consequentemente, mesmo quando submetido a condições de temperatura e tempo de reação semelhantes às da torrefação, o hidrocarvão obtido por HTC apresenta maior poder calorífico superior (PCS) (Yan et al., 2014).

De acordo com Nogueira G. (2020, p. 36), “na carbonização hidrotérmica, a hemicelulose e a celulose podem ser hidrolisadas em monômeros e oligômeros, enquanto a lignina, em grande parte, não é afetada”. Os produtos líquidos provenientes do processo podem ser separados por extração com solventes polares, como o diclorometano. A fração solúvel em solventes orgânicos costuma ser a mais desejada devido ao seu potencial como biocombustível e à sua aplicação em indústrias de química fina. Suas propriedades podem ser aprimoradas por hidrodesoxigenação catalítica (HDO), processo no qual o oxigênio é removido de compostos orgânicos utilizando hidrogênio e um catalisador, geralmente sob alta pressão e temperatura (Reza et al., 2014). Nos primeiros 20 minutos de reação, ocorre a formação dos principais produtos líquidos; após esse período, o rendimento dessa fração diminui, aumentando-se, por consequência, a formação de sólidos e gases (Knežević; Van Swaaij; Kersten, 2009).

O HTC permite a utilização de uma ampla variedade de biomassas. Estudos relatam sua aplicação em bagaço de cana-de-açúcar (Lopes et al., 2024), celulose e nanocelulose (Castro et al., 2018), casca de arroz (Possami et al., 2025), lodo de esgoto (Canencio et al., 2025), cascas de banana e melancia (Dinis et al., 2025), resíduos de acerola (Costa et al., 2022), entre outras matérias-primas.

Os hidrocarvões obtidos pelo HTC apresentam diversas possibilidades de aplicação. Pesquisas indicam seu uso como combustíveis sólidos, fonte de proteína, melhoradores de solo, substitutos da turfa em meios de crescimento orgânico e adsorventes de poluentes em meio aquático, como metais pesados, corantes e agrotóxicos (Lynam et al., 2011).

Bargmann (2013) destaca a possibilidade de aplicação de hidrocarvões ao solo, visando à melhoria e preservação de suas propriedades. Além de reduzir a concentração de compostos fitotóxicos e íons metálicos por meio da adsorção, sua estrutura porosa contribui para o aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes, em razão da elevação da troca catiônica. Dessa forma, diminui-se o estresse abiótico em períodos de seca, resultando em maior desenvolvimento e crescimento das plantas.

2.4 ADSORÇÃO

A adsorção pode ser definida como a capacidade de certos sólidos de aderir à sua superfície certos fluidos, permitindo a separação dos componentes dessas substâncias e possibilitando a transferência de massa. Normalmente, os adsorventes são sólidos com alta porosidade (Nascimento R. et al., 2014). Esse processo pode ser utilizado em diversos âmbitos industriais, por exemplo, na remoção de metais pesados e outros contaminantes, fármacos, corantes, entre outros, variando de acordo com o material a ser adsorvido e com as características do adsorvente (Fernandes S., 2021).

Amélia M. et al. (2010) registrou a definição de adsorvente e adsorvato como:

As moléculas, situadas na interface entre as duas fases, poderão sofrer atrações desiguais das moléculas das duas fases e, em caso de condições termodinâmicas e cinéticas favoráveis, adsorver-se na superfície da fase mais atrativa, chamada de adsorvente. A substância adsorvida é chamada de adsorvato.

Logo, a exemplificação dessa definição pode ser observada na Figura 8.

Figura 8. Relação entre adsorvente e adsorvato.

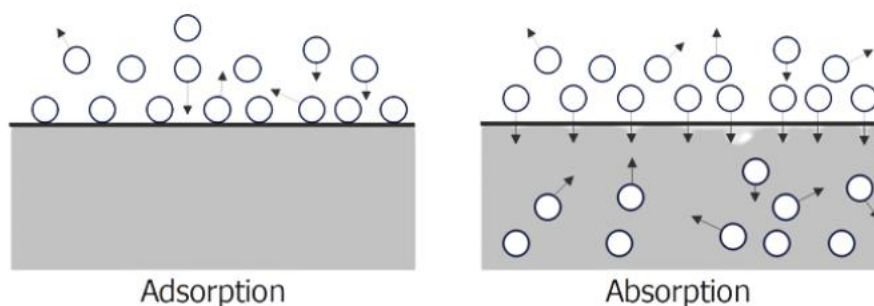


Fonte: (Carvalho L, 2021).

Raras (1995), citado por Pinto et al. (2023), destaca que a sorção é um fenômeno ambiental de grande relevância, que ocorre de duas formas: adsorção e absorção. Ambos os processos têm como finalidade acumular partículas do sorvato no sorvente para possibilitar a separação de componentes. No entanto, existem diferenças entre eles. A adsorção caracteriza-se pela acumulação do soluto na superfície da biomassa empregada, enquanto a absorção ocorre pela penetração do soluto no interior do sorvente. Assim, ambos os processos apresentam expressiva importância ambiental e são caracterizados conforme as propriedades da biomassa.

Na Figura 9, é possível observar a diferença entre os processos de adsorção e absorção.

Figura 9. Relação entre adsorção e absorção



Fonte: (Vedantu, 2025).

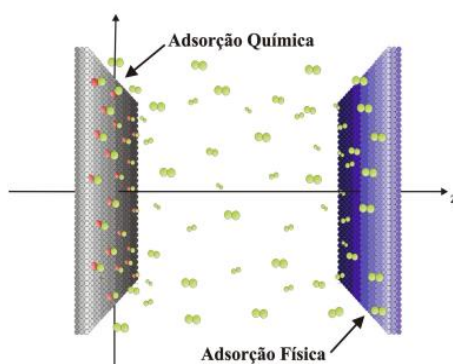
2.4.1 Adsorção física e química

As interações entre adsorvente e adsorvato podem ser classificadas em: adsorção física e adsorção química. Entretanto, durante o processo, podem ocorrer os dois tipos simultaneamente, ambos apresentados na Figura 10.

A adsorção física, também chamada de *fissorção*, ocorre quando as forças entre adsorvato e adsorvente são do tipo van der Waals. O calor envolvido no processo é baixo e a adsorção é menos intensa. O aumento da temperatura reduz a consideravelmente a adsorção física.

A adsorção química, também chamada de *quimissorção*, ocorre quando as interações entre adsorvente e adsorvato são reações químicas. No processo, o calor envolvido na reação é equivalente às entalpias da reação química (Amélia M. G. do Val et al., 2010).

Figura 10. Adsorção química e física



Fonte: (Guimarães, 2015).

2.4.2. Mecanismos de interação

O fenômeno de adsorção ocorre pela atuação de diversas forças físico-químicas que obedecem às propriedades de cada adsorvente e adsorvato. Dessa forma, alguns fatores influenciam esse processo, conforme a natureza das substâncias envolvidas. Alguns desses fatores incluem a dimensão dos poros, a área superficial, a densidade, a polaridade, o pH e os grupos funcionais presentes.

Segundo Nascimento R. F. et al. (2014), o fator área superficial é de grande importância.

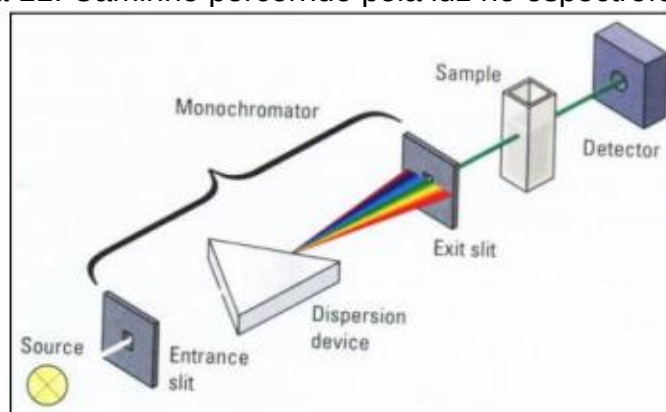
A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, visto que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção

As propriedades do adsorvente e do adsorvato são fatores cruciais para o processo. Ademais, não apenas os grupos funcionais e as substâncias presentes influenciam esse mecanismo. No adsorvente, a distribuição e o volume específico dos poros são de extrema importância, uma vez que são responsáveis pela adsorção da matéria presente. Já no adsorvato, as substâncias presentes são essenciais para interagir com o adsorvente e possibilitar o processo de adsorção (Nascimento R. F. et al., 2014).

2.5 ESPECTROFOTOMETRIA

A espectrofotometria de absorção no UV-Vis é uma técnica quantitativa amplamente utilizada devido a suas inúmeras vantagens, como, por exemplo, sua elevada precisão. Esse método possui ampla aplicação em análises químicas, físicas, farmacológicas, bioquímicas, entre diversas outras áreas (Galo A. et al., 2009). A técnica fundamenta-se na interação da luz com a matéria, observada conforme o comprimento de onda específico de cada substância analisada e o caminho óptico da cubeta, recipiente que contém a amostra e que pode ser fabricado em vidro, plástico ou quartzo (Canassa T. et al., 2018). A Figura 11 ilustra o percurso da luz durante a análise no espectrofotômetro.

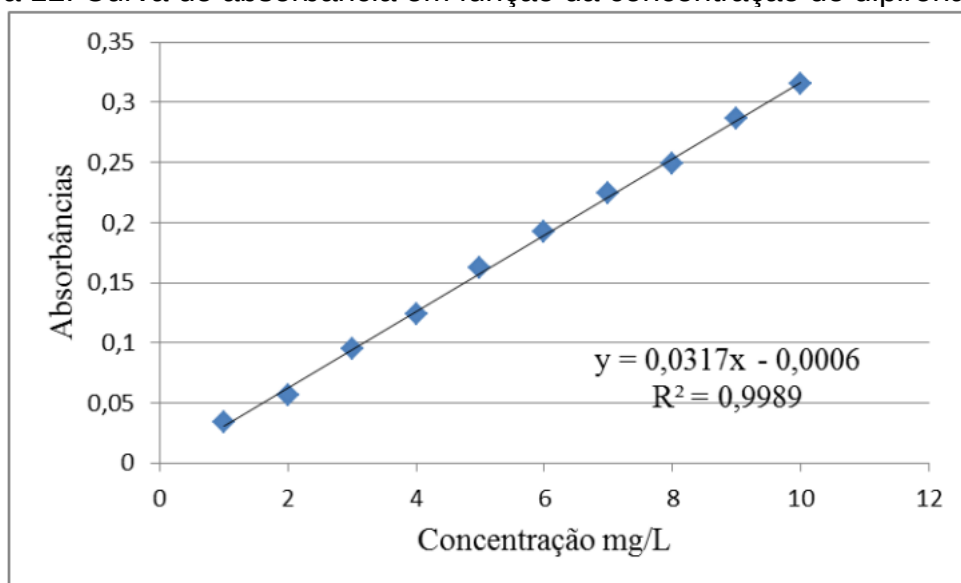
Figura 11. Caminho percorrido pela luz no espectrofotômetro.



Fonte: (Cercomp, 2013)

A partir desse fundamento, é possível obter o gráfico de absorção, no qual se encontra a equação da reta que relaciona os valores de absorbância e concentração de uma amostra, sendo essencial para quantificar a concentração desconhecida de substâncias em determinados fluidos (Bicalho A. et al., 2017). Essa relação pode ser observada na Figura 12, que ilustra a aplicação desse princípio na determinação do teor de dipirona sódica em uma amostra.

Figura 12. Curva de absorbância em função da concentração de dipirona sódica.



Fonte: (Aurélio B, 2017)

2.5.1 Curva com adição de padrão

Segundo Brito, citado por Quarezemin (2017), o método de adição de padrão, é utilizado a partir da análise espectrofotométrica em análises cujo objetivo é detectar o analito desejado na presença de interferentes na matriz. Segundo Cassiano N. (2009), considera-se interferente tudo o que está presente na amostra que não é o analito desejado, ou seja, a matriz. Em uma análise de urina no sangue, por exemplo, a matriz é a urina (analito que se deseja quantificar) e os interferentes são o plasma e o soro (presentes no sangue).

Portanto, para que a análise seja realizada com eficiência é necessário que os interferentes não sejam relevantes durante o processo. Sendo assim, é crucial

a aplicação do método de adição de padrão na análise, em que, utiliza-se duas amostras, a amostra que deseja ser analisada, ou seja, a matriz; e a amostra que é constituída apenas pelos interferentes, chamada de amostra branco. Logo, para realizar as análises de absorvância, desconsidera-se o valor de concentração da amostra branco, para que assim reste apenas a quantificação da concentração da matriz (Cassiano N. et al., 2009).

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem exploratória e experimental, com o objetivo de explorar uma abordagem sustentável para descontaminação hídrica, utilizando um hidrocarvão. A primeira fase do estudo consistiu em uma revisão bibliográfica em artigos para compreender o lodo da vinhaça (matéria-prima utilizada para o hidrocarvão), explorar o método HTC (Carbonização Hidrotermal), o funcionamento da adsorção, os riscos à saúde provenientes do malathion e o hidrocarvão em si. A segunda fase foi experimental, realizada no Laboratório de Química e Microbiologia da ETEC Prof. Armando José Farinazzo, onde foi produzido o hidrocarvão e foram realizadas análises espectrofotométricas e físico-químicas do material, visando reconhecer o percentual de adsorção.

3 DESENVOLVIMENTO

Após a realização de pesquisas bibliográficas em artigos, iniciou-se o processo de desenvolvimento prático e analítico, elaborando o hidrocarvão e observando suas propriedades adsorventes.

3.1 Materiais e Reagentes

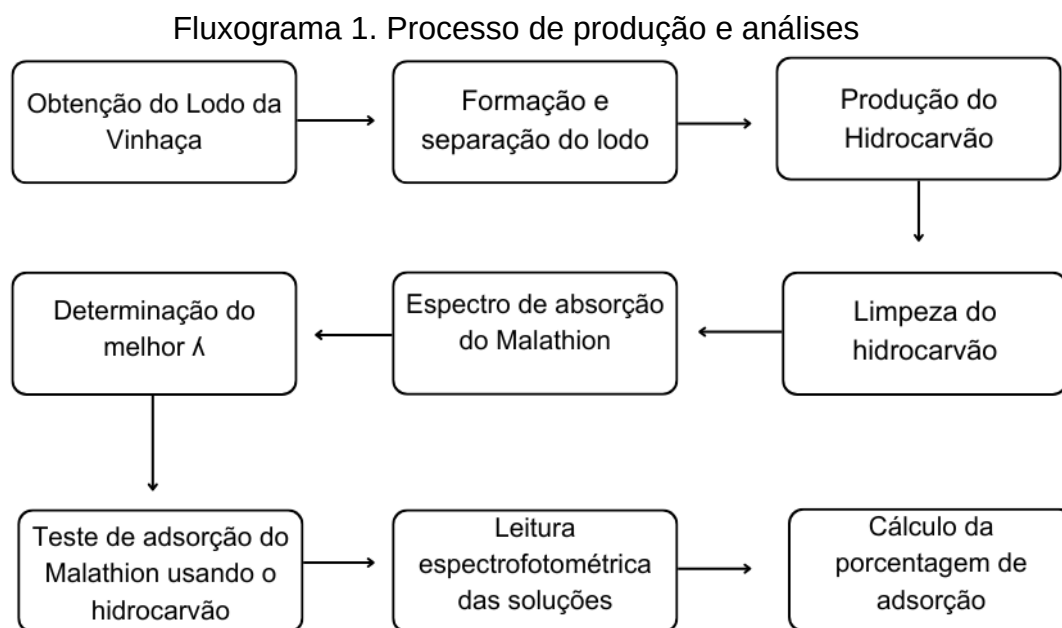
Quadro 2. Tabela de materiais e reagentes

Materiais	Reagentes
02 Agitadores magnéticos;	Álcool 70%
02 Almofarizes;	Álcool 96%
02 Barras magnéticas;	Lodo da Vinhaça
02 Pistilos;	Malathion
08 Balões Volumétricos 10ml;	Vinhaça
Autoclave;	

Balança;	
Balão Volumétrico 100ml;	
Balão Volumétrico 50ml;	
Bastão de vidro;	
Béqueres;	
Centrífuga;	
Cubeta de Quartzo;	
Espátulas;	
Espectrofotômetro;	
Estufa;	
Funil de Separação;	
Funil de Vidro;	
Garras;	
Papel filme;	
Papel filtro;	
Pipeta Automática;	
Pipeta de Pasteur;	
Pipetas Volumétricas;	
Placas de Petri;	
Ponteiras;	
Proveta;	
Suporte universal;	
Tubos Falcon;	
Vidro relógio;	

(Autoria própria, 2025)

3.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO



Fonte: (Autoria própria, 2025).

3.3 OBTENÇÃO DA VINHAÇA E FORMAÇÃO DO LODO

Inicialmente, obteve-se a biomassa necessária para a produção do hidrocarvão (vinhaça proveniente do processo sucroalcooleiro), conforme a Figura 13. Para obtenção somente do lodo, a vinhaça, inicialmente com seis litros, foi submetida à decantação por aproximadamente uma semana para que o lodo depositasse no fundo, como ilustrado na Figura 14. Após sedimentação, a fase líquida da vinhaça foi despejada em outro recipiente e a fase sólida (lodo da vinhaça) foi submetida à secagem em papel filtro, uma vez que a parte sólida estava excessivamente úmida (Figura 15 e 16). Repetiu-se a sedimentação e filtragem até que não houvesse mais formação de matéria orgânica. O lodo filtrado foi retirado do papel filtro, macerado para aumentar a superfície de contato, e por fim pesado.

Figura 13. Matéria-Prima adquirida com a usina Alcooeste Bioenergia, em torno de 6 litros de vinhaça.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 14. Primeiro lodo formado na sedimentação.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 15. Primeira filtração do lodo com papel de filtro



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 16. Resultado da primeira filtragem do lodo realizada com o papel de filtro.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

3.3.1 Resultados

A Partir do processo realizado para formação e separação do lodo com a vinhaça, o produto formado foi de 17,06 gramas de lodo a partir de seis litros de vinhaça (2,84 g/L). De acordo com uma estimativa realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) em 2024, no Brasil, foram produzidos cerca de 408 bilhões de litros de vinhaça e aproximadamente 1.115 toneladas de lodo, o que evidencia a elevada produção de lodo, uma matéria orgânica de baixo valor econômico, mas relevante para as usinas.

4.4 PRODUÇÃO DO HIDROCARVÃO

Com a matéria devidamente preparada (lodo seco e reduzido a partículas menores), como demonstrado no processo anteriormente, iniciou-se o processo de Carbonização Hidrotermal do lodo da vinhaça para obtenção do hidrocarvão. Pesou-se 5 g do lodo da vinhaça para submeter a carbonização hidrotermal (Figura 17). A carbonização foi realizada na autoclave de esterilização (Figura 18) a 130°C e 1,5 bar de pressão por uma hora e meia, interrompendo o processo a cada meia hora para conferir a amostra e o nível da água. Após a carbonização, colocou-se o hidrocarvão na estufa a 80 °C por uma hora com o objetivo de remover a umidade do produto e macerou-se. Depois da obtenção do hidrocarvão,

lavou-se aproximadamente dez vezes com água destilada e cinco vezes com etanol para remover as impurezas da amostra, como apresentado na Figura 19 obtendo-se o hidrocarvão livre de impurezas coloridas.

Figura 17. Pesagem do lodo da vinhaça



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 18. Autoclave de esterilização usada para realizar a carbonização hidrotermal



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 19. Processo de lavagem da amostra

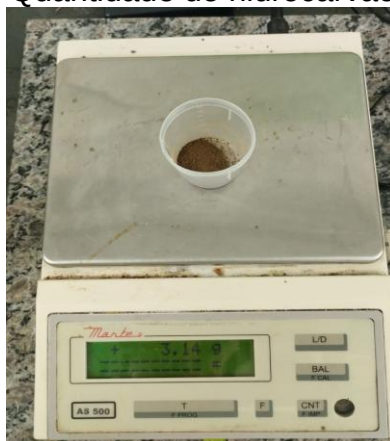


Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.4.1 Resultados

Com esse processo foi obtido 3,14 g como massa final (Figura 20) após a lavagem dos 5 g de lodo (massa inicial), sendo a diferença entre as massas atribuída à umidade presente no lodo.

Figura 20. Quantidade de hidrocarvão produzido



Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.5 ESPECTRO DE ABSORÇÃO DO MALATHION

Com o hidrocarvão já pronto para uso, deu-se início à produção das soluções de amostra. Primeiramente, preparou-se a amostra A de malathion com concentração de 100 µg/mL, utilizando etanol como solvente, a fim de verificar se 240 nm seria o melhor comprimento de onda, conforme a metodologia apresentada no artigo “Desenvolvimento e Validação de Método Analítico de Malathion por Espectrofotometria UV”. Realizou-se o espectro de absorção da solução A entre 200 nm e 260 nm, registrando a absorbância a cada cinco nanômetros.

4.5.1 Resultados

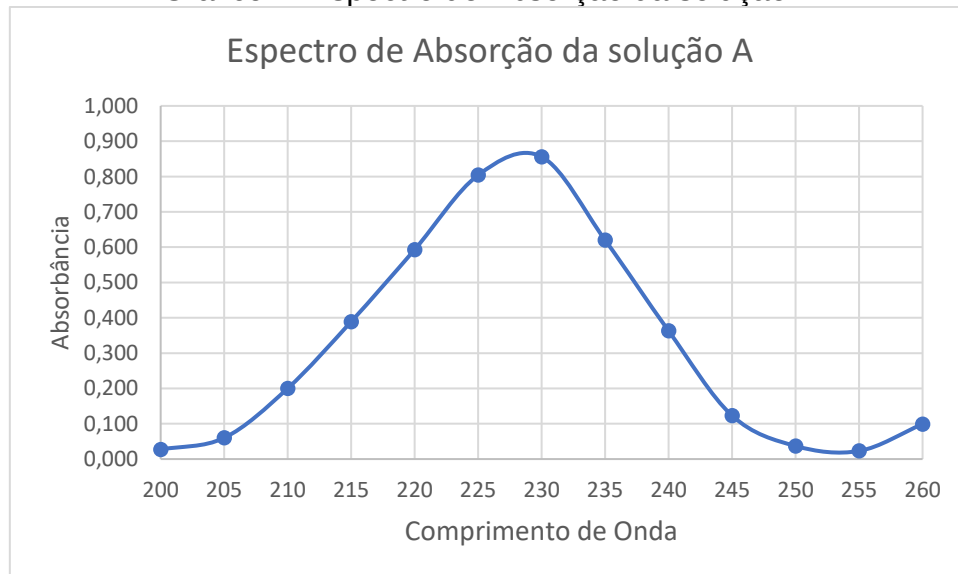
Conforme o Quadro 3, foi possível notar que o pico mais alto foi em 230nm (Gráfico 1), diferenciando-se ligeiramente ao estudo de base na literatura, que aponta o pico de maior absorbância do malathion no comprimento de onda (λ) de 240nm. A alteração pode ter ocorrido por conta da diferença de solvente utilizado, no qual a literatura apresenta o solvente base como metanol, entretanto, foi utilizado nas análises o etanol.

Quadro 3. Espectro de absorção da solução A

Comprimento de onda (nm)	Absorbância
200	0.027
205	0.060
210	0.200
215	0.389
220	0.593
225	0.804
230	0.856
235	0.620
240	0.363
245	0.123
250	0.037
255	0.023
260	0.099

Fonte: (Autoria própria, 2025).

Gráfico 1. Espectro de Absorção da solução A



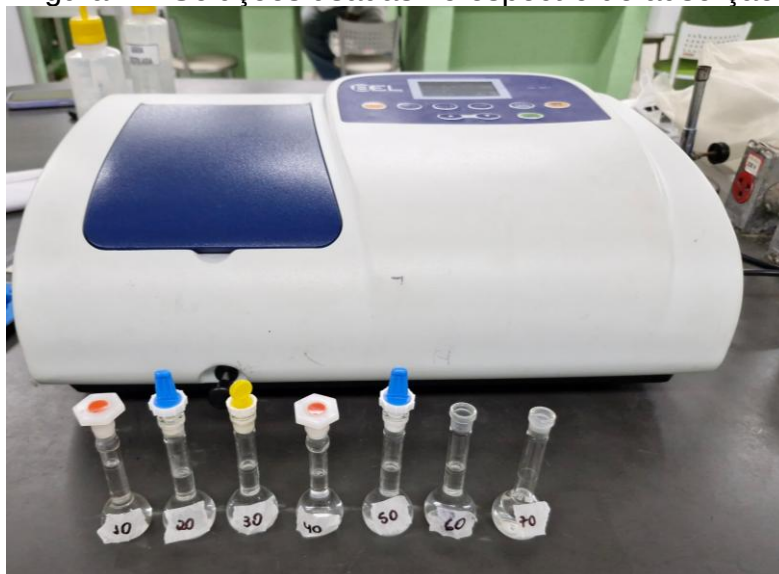
Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.6 CURVA ANALÍTICA DO MALATHION

Com o resultado do espectro de absorção, determinou-se 230 nm como o comprimento de onda em que seriam realizadas as análises. Foi elaborada uma curva analítica da solução A com concentrações de 10 µg/mL, 20 µg/mL, 30 µg/mL, 40 µg/mL, 50 µg/mL, 60 µg/mL e 70 µg/mL.

Essa análise tem como finalidade demonstrar a relação entre a absorbância e a concentração da amostra, além de fornecer a equação da reta, que permite determinar a concentração de outras amostras a partir da curva obtida. O valor de R^2 possibilita avaliar se houve interferências significativas, sendo de grande relevância, uma vez que o R^2 na curva analítica representa a proporção da variância total — isto é, a relação entre X e Y — e, quando próximo de 1 (100%), indica uma forte relação linear, conferindo maior confiança às análises.

Figura 21. Soluções usadas no espectro de adsorção



Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.6.1 Resultados

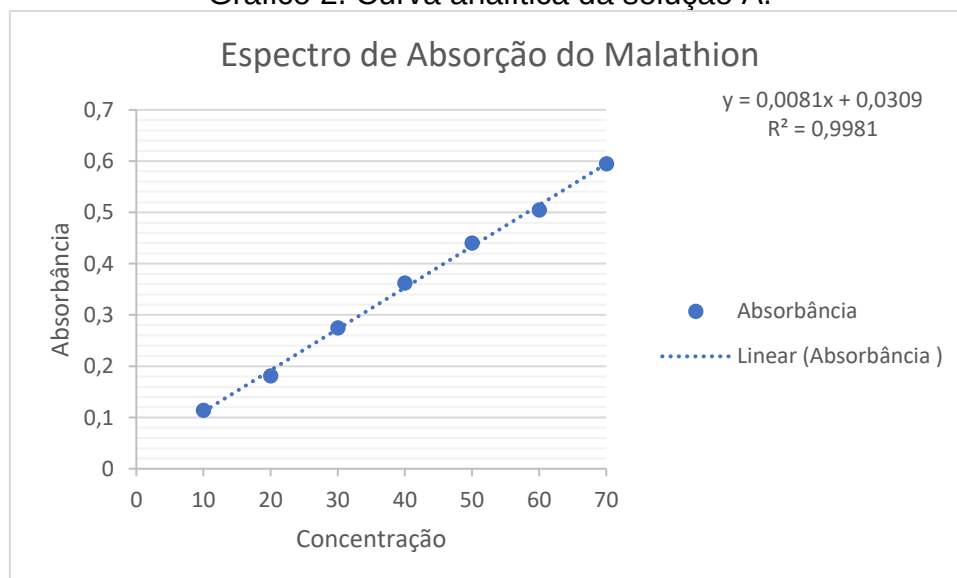
Com a análise realizada por meio do espectrofotômetro, foi possível verificar que a curva analítica foi obtida com sucesso, uma vez que não apresentou desvios nos valores da reta, conforme apresentado no Gráfico 2, obtido a partir dos valores do Quadro 4.

Quadro 4. Curva analítica da solução A em diferentes concentrações

Solução	Concentração de solução A	Absorbância em 230nm
10	10%	0.114
20	20%	0.181
30	30%	0.275
40	40%	0.362
50	50%	0.440
60	60%	0.505
70	70%	0.595

Fonte: (Autoria própria, 2025).

Gráfico 2. Curva analítica da solução A.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.7 TESTE DE ADSORÇÃO DO MALATHION USANDO O HIDROCARVÃO

Diante dos resultados obtidos na curva analítica, realizou-se o teste de adsorção do contaminante. Para isso, foram preparadas duas soluções: a primeira contendo Malathion e hidrocarvão, destinada à quantificação da adsorção; e a segunda composta por etanol e hidrocarvão, utilizada como solução em branco, permitindo isolar apenas o valor de absorbância referente ao Malathion.

Foram submetidos à agitação 1,5 g de hidrocarvão com 15 mL da solução de Malathion, cuja concentração era de 41,93 $\mu\text{g/mL}$ (Figura 22). Paralelamente, preparou-se outra solução formada por 1,5 g de hidrocarvão e 15 mL de etanol (Figura 23). Ambas permaneceram sob agitação por 20 minutos. Em seguida, as duas misturas foram filtradas (Figura 24), e realizou-se a leitura espectrofotométrica da solução em branco, cujo valor foi utilizado como referência para a correção da leitura seguinte. Posteriormente, efetuou-se a leitura da solução contendo hidrocarvão e Malathion.

Com ambas as leituras obtidas, utilizou-se o valor de absorbância, juntamente com a equação da reta, para determinar a concentração final do Malathion após o processo de adsorção.

Figura 22. Solução de hidrocarvão com malathion submetida a agitação



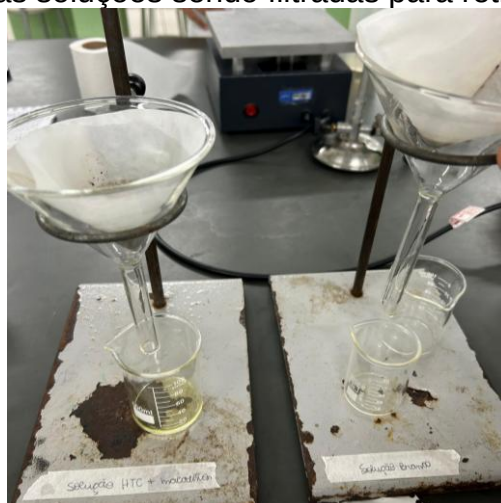
Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 23. Solução de hidrocarvão com etanol submetida a agitação



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Figura 24. As duas soluções sendo filtradas para retirar o hidrocarvão.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.7.1 Resultados

A leitura da amostra com hidrocarvão e etanol foi adotada e utilizada como solução branco para zerar o valor. Posteriormente, realizou-se a leitura da solução de hidrocarvão com Malathion e o resultado foi de 0.0075.

Após isso, foi utilizada a equação da reta fornecida pela curva analítica para encontrar a concentração da solução:

$$Y = 0.0081x + 0.0303$$

$$0.075 = 0.0081x + 0.0303.$$

$$X \approx 5.52 \text{ } \mu\text{g/mL de concentração final, após a adsorção.}$$

Então, com esses resultados foi possível constatar que com 20 minutos de contato do hidrocarvão junto do Malathion foi capaz de adsorver em torno de 36,41 $\mu\text{g/mL}$ do contaminante, ou seja, 86% do Malathion presente na solução.

4.8 CURVA DE ADIÇÃO DE PADRÃO

A fim de determinar algum tipo de interferência na matriz nos resultados, tornou-se necessário realizar a curva de adição de padrão para observar se havia alguma interferência do efeito de matriz ou de outros componentes na solução. A curva de adição de padrão é um método de calibração que foi usado com função de determinar a concentração da amostra do Malathion já adsorvido pelo hidrocarvão, a escolha desse método foi devido a influência da matriz na leitura que dispersou coloração na amostra.

Primeiramente, realizou-se duas soluções: padrão e estoque. A solução padrão com concentração 1000 $\mu\text{g/mL}$ de Malathion e a estoque, preparada com 5 mL da solução padrão e 45 mL de etanol, logo, uma solução de 100 $\mu\text{g/mL}$.

Posteriormente, através delas foram feitas oito soluções. A primeira com 0 μL da solução estoque e a partir da segunda, aumentando a concentração gradativamente em 1000 μL até a última solução, como mostra o Quadro 5, adicionando 1000 μL da solução de Malathion já adsorvida pelo hidrocarvão, adicionada a todas as oito soluções preparada na última análise. Todas as leituras feitas em 230nm.

Com o resultado da absorbância de todas as amostras, a curva analítica é elaborada e observa-se a equação da reta.

Figura 25. Solução padrão e solução estoque



Fonte: (Autoria própria, 2025).

4.8.1 Resultados

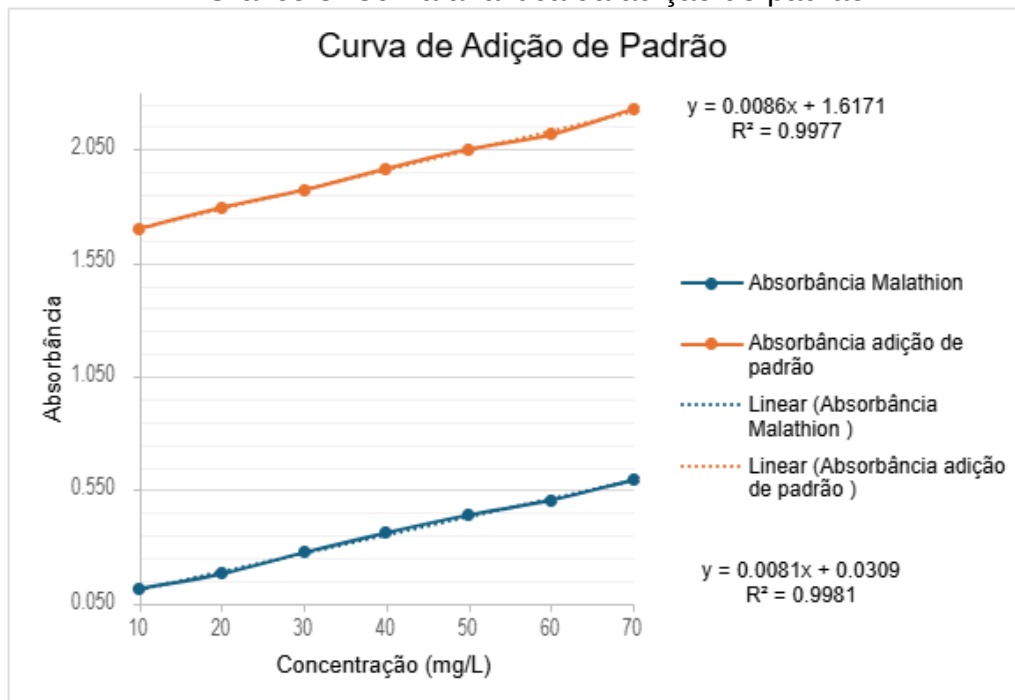
De início determinou-se uma quantidade padrão de solução estoque e solução adsorvida em cada balão conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5. Curva analítica por adição de padrão da solução da malathion pós adsorção

Solução	Solução estoque (μL)	Solução de malathion adsorvido (μL)	Absorbância em 230nm
1	0μL	1000μL	1.700
2	1000μL	1000μL	1.794
3	2000μL	1000μL	1.872
4	3000μL	1000μL	1.965
5	4000μL	1000μL	2.050
6	5000μL	1000μL	2.115
7	6000μL	1000μL	2.228

Fonte: (Autoria própria)

Gráfico 3. Curva analítica da adição de padrão



Fonte: (Autoria própria, 2025).

Portanto, através dos dados e do gráfico obtido, pode-se afirmar que não houve interferências na matriz, uma vez que a curva de absorbância do Malathion (azul) e a curva com adição de padrão (laranja), têm coeficientes angulares (inclinações) muito semelhantes, apontando que não apresentam interferência nas análises espectrofotométricas.

4.9 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para a realização das análises físico-químicas foram utilizados os parâmetros: pH e turbidez da solução.

Analisando-se o pH, utilizou-se inicialmente o pHmetro. Após a calibração, mergulhou o eletrodo em uma solução constituída por Malathion 41,93 µg/mL com hidrocarvão, à temperatura ambiente. Logo após utilizou-se também a fita indicadora de pH, mergulhando-a nessa mesma solução.

Para medir a turbidez, foi utilizado o equipamento turbidímetro. Após realizar o procedimento de calibração necessário, a amostra foi despejada no recipiente do turbidímetro e submetida a análise no mesmo.

4.9.1 Resultados

Com tais análises, foi possível obter os seguintes resultados: pH em torno de 6; turbidez encontrada de 32 NTU. Com esses valores foi possível evidenciar que o pH da solução não teve alterações relevantes, uma vez que o Malathion antes do hidrocarvão apresenta pH neutro. Logo, com a ausência de aumento ou diminuição, torna-se um fluido que não exige tratamentos complexos para que esteja em pH correto para consumo. Sendo assim, o hidrocarvão não altera drasticamente o pH do meio.

Já a turbidez encontrada evidencia que a amostra tem alta turbidez, isso devido às partículas sólidas restantes do hidrocarvão, sendo necessário realizar filtração do fluido, podendo ser feita a partir do filtro portátil desenvolvido.

4.10. ELABORAÇÃO DE FILTRO DE ÁGUA PORTÁTIL

Após denotar a eficiência adsortiva do hidrocarvão produzido, foi desenvolvido um filtro de água portátil constituído por camadas como: hidrocarvão e algodão. Tendo como objetivo promover a aplicação da ODS 6 – “Água limpa e Saneamento” -, uma vez que o filtro elaborado tem capacidade de descontaminação de recursos hídricos para que se torne potável, sendo de fácil aplicação e uso.

Além disso, uma logomarca foi desenvolvida, com o objetivo de conferir relevância e visibilidade ao produto. O nome HTCCarbon foi elaborado a partir da junção do método que foi utilizado, HTC, e o produto obtido, o carvão (Carbon). A marca visa não apenas identificar o produto, mas também promover o empreendedorismo juvenil e destacar sua relevância ambiental e social.

4.10.1. Resultados obtidos

Portanto, pode-se elaborar conjuntamente o esboço do produto (Figura 26) e logomarca (Figura 27).

Figura 26. Ilustração do funcionamento do filtro.



Fonte: (Banggood, 2018).

Figura 27. Logomarca desenvolvida.



Fonte: (Autoria própria, 2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou sanar a problemática que tange a contaminação de recursos hídricos pelo Malathion, inseticida utilizado em grande escala no setor agrícola. Desse modo, o hidrocarvão e o filtro portátil a partir do mesmo são propostas de intervenção eficazes nesse âmbito. Para obtenção desse resultado, foi empregado o método de Carbonização Hidrotermal (HTC), que busca gerar menos gases poluentes, como o CO_2 , produto da combustão de quaisquer matérias, contendo a mesma funcionalidade de outros processos poluentes, como a queima comum, por exemplo. Além disso, a matéria-prima adotada foi o lodo da vinhaça proveniente da indústria sucroalcooleira, que possui propriedade adsortiva, podendo gerar grandes lucros para as indústrias agrícolas.

Para analisar as propriedades adsorptivas da matéria, metodologias como Espectrofotometria e observação das propriedades organolépticas foram necessárias para qualificar e quantificá-las. Posteriormente a tais análises, pode-se constatar o alcance do objetivo, uma vez que, em 20 minutos de contato com o Malathion, o hidrocarvão adsorveu 86% da substância presente na amostra, demonstrando a elevada eficiência do produto na descontaminação, além de se tratar de um procedimento sustentável, que viabiliza a reutilização de compostos e tem grande redução na emissão de gases poluentes na atmosfera.

Portanto, pode-se concluir que o trabalho obteve sucesso, em que os índices de adsorção obtidos mostram grande relevância do hidrocarvão. Além disso, o produto elaborado - o filtro de água portátil - tem grande relevância atualmente, possibilitando o acesso à água potável em qualquer ambiente sem riscos à saúde humana, além de ter grande viabilidade econômica e alta relevância no desenvolvimento e empreendedorismo do país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, F. et al. **Ecotoxicity and environmental risk assessment of larvicides used in the controlo of *Aedes aegypti* to *Daphnia magna* (Crustacea, Cladocera).** Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 77, p. 37-45, 2014. Acesso em: 17 setembro 2025.

AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ (ADAPAR). **Malathion CCAB 1170 UL. 2024.** Acesso em: 27 maio 2025.

AGRA, I. M. **Síntese e caracterização de compósitos hidrocarvão/simonskolleite e seus precursores para aplicação na remoção adsorptiva do antibiótico rifampicina em solução aquosa.** 2021. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2021. Acesso em: 31 maio 2025.

ALMEIDA W.F. **Trabalho agrícola e sua relação com saúde/ doença.** In: Mendes R, editor. Patologia do trabalho. Rio de Janeiro: Atheneu; 1995. Acesso em 07 de outubro de 2025.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **Malathion.** Molecule of the Week, 2008. Disponível em: <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/m/malathion.html>. Acesso em: 10 agosto 2025.

ANTERO, R. et al. **Obtenção de *hydrochar* a partir de carbonização hidrotérmica de cascas do fruto de *Magonia pubescens* A. St. Hil. (Sapindaceae): caracterização e avaliação em processo de adsorção.** *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 2, 2019. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/LYfjDXYnydjsWD4dhySCbzm/>. Acesso em: 18 agosto 2025.

BARGMANN, V. et al. **Determinação de compostos aromáticos via cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas**. Journal of Analytical Chemistry, v. 67, n. 3, p. 215-223, 2012. Acesso em: 15 set. 2025.

BASTOS, P. et al. **Carcinogenicidade e mutagenicidade do malathion e seus dois análogos: uma revisão sistemática**. Ciência & saúde coletiva, v. 25, n. 8, p. 3273–3298, 2020. Acesso em: 14 junho 2025.

BLASIAK, J. et al. **In vitro studies on the genotoxicity of the organophosphorus insecticide malathion and its two analogues**. Mutation Research, v.445, p.275-283, 1999. Acesso em: 09 julho 2025.

BRAGA, I. A.; VALLE, D. **Aedes aegypti: inseticidas, mecanismos de ação e resistência**. Epidemiol. Serv. Saúde, V.16, n.4, p.279-293, 2007. Acesso em: 20 agosto 2025.

BRENNER, L. **Malathion Fact Sheet**. Journal of Pesticide Reform. v. 12, n.4. 1992. Acesso em: 09 julho 2025.

CANÊNCIO. **Carbonização hidrotérmica do lodo de esgoto**. 2022. 110 f. Dissertação (Mestrado) – UTFPR, Londrina, 2022. Acesso em: 15 set. 2025.

CASSIANO, N. et al. **Validação em métodos cromatográficos para análises de pequenas moléculas em matrizes biológicas**. Química Nova, v. 32, n. 4, p. 1021–1030, 2009.

CASTRO, A. J. R. **Carbonização hidrotérmica de celulose e nanocelulose e preparação de compósitos magnéticos em única etapa**. 2018. 220 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2018. Acesso em: 15 set. 2025.

CATALKOPRU, A. K., KANTARLI, I. C., YANIK, J. **“Effects of spent liquor recirculation in hydrothermal carbonization”**. Bioresource Technology, v. 226, pp. 89–93, Fev. 2017. Acesso em: 01 abril 2025.

CHAIM, A. **Processos de aplicação de produtos fitossanitários e contaminação ambiental**. EMBRAPA, 24p., 1989. Acesso em: 25 agosto 2025.

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. **Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, [S. l.], 2019. Acesso em: 25 agosto 2025.

COSTA, R. S. **Estudo da carbonização hidrotérmica de biomassa lignocelulósica**. 2019. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2019. Acesso em: 15 set. 2025.

DA, S.; FERNANDES, S. **Universidade federal rural do semi-árido pró-reitoria de graduação centro multidisciplinar de angicos curso bacharelado em ciência e**

tecnologia materiais adsorventes e suas aplicações: uma revisão bibliográfica. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bccef72e-63c1-4545-bc00-8252e4a64348/content>>. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

DE LICENCIATURA, T.; AMOSSE, A. **Universidade eduardo mondlane faculdade de ciências departamento de química intercalação directa dos insecticidas fenitrotião, malatião e pirimifos metílico na bentonite de boane.** Acesso em: 14 junho 2025.

Delgado EHB. **Disfunção respiratória mitocondrial e estresse oxidativo após exposição crônica ao malathion (dissertação Mestrado).** Criciúma-SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2006. Acesso em: 18 maio 2025.

DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES. **Health Risk Assessment of Aerial Application of Malathion-Bait Summary Report.** 1991. Acesso em: 25 agosto 2025.

DINIS, M. L. **Produção de biocarvão a partir de resíduos agrícolas.** 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2020. Acesso em: 15 set. 2025.

FERREIRA, V. **Comparação da eficácia do malatião com a da ivermectina no tratamento da pediculose.** *RevSALUS*, v. 4, supl., p. 124, 2022. DOI: 10.51179/revsalus.4.suppl.n2.2022.124. Disponível em: <https://revsalus.com/index.php/RevSALUS/article/view/354/189>. Acesso em: 17 setembro 2025.

FERREZ, C. A. L. **Agrotóxicos: saúde humana e natureza.** *Revista FT*, São Paulo, v. 28, n. 136, jul. 2024. Acesso em: 25 agosto 2025.

FIRMINO, A. **A atuação do enfermeiro na prevenção dos efeitos nocivos causados pelo uso indiscriminado do inseticida malation.** *Webartigos*, 21 fev. 2010. Acesso em: 20 abril 2025.

FLESSEL, P.; QUINTANA, P.J.E.; HOOPER, K. **Genetic toxicity of malathion: a review.** *Environmental Molecular Mutagenesis*, v. 22, p. 7-17, 1993. Acesso em: 15 maio 2025.

Fundação Instituto Oswaldo Cruz. **Nota técnica N.º 4 e Diretoria.** V. 1, 14 de julho de 2016. Acesso em 07 de outubro de 2025.

FUSIGER, F. A. **Efeitos adversos do inseticida malation sobre anfíbios.** 2022. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade) — Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/server/api/core/bitstreams/56e207d4-ed3d-4ef3-8bc3-0b8c5184451b/content>. Acesso em: 12 agosto 2025.

GALO, A. L.; COLOMBO, M. F. **Espectrofotometria de longo caminho óptico em espectrofotômetro de duplo-feixe convencional: uma alternativa simples para investigações de amostras com densidade óptica muito baixa.** Química Nova, v. 32, p. 488–492, 2009.

GANASH, M. A.; ABDEL, G. T. M.; RAYAD, A. M. **Pleurotus ostreatus as a Biodegrator for Organophosphorus Insecticide Malathion.** J Environ Anal Toxicol. 2016;6:3.doi:10.4172/2161-0525.1000 369. Acesso em 07 de outubro de 2025.

GUEDES, R. et al. **Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of Sitophilus zeamais Motsch. (Coleoptera: Curculionidae).** Journal of Stored Products Research, v. 31, n. 2, p. 145–150, 1995. Acesso em: 18 agosto 2025.

GURGEL, P. A. **Água: O veneno que corre nas veias do Brasil.** Disponível em: <<https://br.boell.org/pt-br/2024/01/17/agua-o-veneno-que-corre-nas-veias-do-brasil>>. Acesso em: 31 maio. 2025.

HUCULECI, R. et al. **Malathion-Induced Alteration of the Antioxidant Defence System in Kidney, Gill, and Intestine of Carassius auratus gibelio.** Environmental Toxicology, v. 24, n. 6, p. 523– 530, 2009. Acesso em: 15 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – INCA. **Agrotóxico.** GOV.BR, 20 maio 2022 (atualizado em 20 dez. 2023). Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>. Acesso em 07 de outubro de 2025.

KASVI. **Espectrofotometria: análise da concentração de soluções.** 16 fev. 2018. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>. Acesso em: 10 maio 2025.

KING, A.M.; AARON, C. K. **Organophosphate and carbamate poisoning.** Emerg Med Clin North Am. 2015; 33(1); p.133–51. Acesso em: 7 outubro 2025.

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. **Revolução Verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE: mídias e direitos da sociedade em rede, 4., 2017, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 2017. p. 1–16. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/563/2019/09/4-3-1.pdf>. Acesso em: 10 agosto 2025.

LOPES, J. R. **Desenvolvimento de adsorventes magnéticos a partir da carbonização hidrotérmica de bagaço de cana-de-açúcar e ativação com CO₂.** 2024. 84 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), São José do Rio Preto, 2024. Acesso em: 15 set. 2025.

LYNAM, P.; et al. **Hydrothermal liquefaction of biomass: yield and product characterization.** Biotechnology for Biofuels, v. 5, n. 12, p. 1-14, 2011. Acesso em: 15 set. 2025.

MARTINS, E. L. **Previsão da lixiviação de agrotóxicos utilizados na cultura de algodão em Mato Grosso**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

MENEZES, E.L.A. **Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola**. Seropédica, Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2005. Acesso em: 20 agosto 2025.

Ministério da Saúde (BR). **Sistema Nacional de Informações Tóxicos-Farmacológicas**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ; 1998. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

MOREIRA, O.; ARAÚJO, B.. **Impacto ambiental e administração de problemas toxicológicos na utilização de inseticidas agrícolas**. *Cadernos de Administração Rural*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 28–35, jan/jul. 1996. Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/121>. Acesso em: 23 agosto 2025.

OHIO STATE UNIVERSITY EXTENSION. FABE-6622: **Hydrothermal Carbonization of Biomass**. *Ohioline*, 2023. Disponível em: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-6622>. Acesso em: 31 maio 2025.

OLIVEIRA, M.L.F; BURIOLA A.A. Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS. CONITEC. **Diretrizes Brasileiras para Diagnóstico e Tratamento de Intoxicações por Agrotóxico**. Rev. Gaúcha Enferm. 2018. Acesso em 07 de outubro de 2025.

Organophosphorus ester-induced chronic neurotoxicity. *Arch Environ Health*. 2003; 58(8); 484-97. Acesso em 07 de outubro de 2025.

ORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. **Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão**. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 500–506, 2011. DOI: 10.1590/S1516-05722011000400016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/d5SxQVKhnYNCcjYfphdPNgn/>. Acesso em: 20 agosto 2025.

PINTO, A. et al. **Biomassa proveniente da laranja como biossorvente do glifosato para descontaminação em meio aquoso**. 2023. Acesso em 13 novembro 2025.

QUAREZEMIN, M. et al. **Avaliação do método de adição de padrão para determinação de Co e Mo em tecido vegetal via ICP-OES**. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1072782/1/137.pdf>>.

RAMOS, A.; FILHO, J. F. da S. **Exposição a pesticidas, atividades laborativas e agravos à saúde**. *Revista Médica de Minas Gerais*, Belo Horizonte, v.14, n. 1, p. 41-45, 2004. Acesso em: 20 agosto 2025.

RIBEIRO, D. H. B.; VIANA, E. **Avaliação do potencial de impacto dos agrotóxicos no meio ambiente**. Comunicados Técnicos, n. 124, 2010. Acesso em: 17 setembro 2025.

ROMÁN, S. et al., “**Production of low-cost adsorbents with tunable surface chemistry by conjunction of hydrothermal carbonization and activation processes**”, Microporous and Mesoporous Materials, v. 165, pp. 127–133, Jan. 2013. Acesso em: 20 agosto 2025.

SANTOS, L. et al. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, p. e1185, 2020. Acesso em: 31 maio 2025.

SANTOS, W. T. dos. **Impacto do uso de lodo de vinhaça em solo agrícola em águas superficiais** – dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde-GO, 2025. Acesso em: 06 de outubro de 2025.

SCKROTK, R. et al. **Efeito dos organofosforados na saúde humana: um estudo de revisão**. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 10, 2024. Disponível em: <https://bjhs.emnuvens.com.br/bjhs/article/view/4013/4084>. Acesso em: 18 agosto 2025.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. de A. R. **Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: efeito no solo e na produtividade de colmos**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 38–43, 2014. Acesso em: 10 maio 2025.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007. Acesso em: 15 maio 2025.

SLOTKIN, T.A. **Cholinergic systems in brain development and disruption by neurotoxicants: nicotine, environmental tobacco smoke, organophosphates**. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2004; 198(2); 132–51. Acesso em 07 de outubro de 2025.

SOARES, A. F. S. **Uso de agrotóxicos, contaminação de mananciais e análise da legislação pertinente: um estudo na região Manhuaçu-MG**. 2011. 300p. Tese (doutorado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Acesso em: 17 setembro 2025.

TITIRICI, M. et al. **Back in the black: Hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO₂ problem**. *New Journal of Chemistry*, v. 32, p. 109–117, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229422809_Back_in_the_black_hydrothermal_carbonization_of_plant_material_as_an_efficient_chemical_process_to_treat_the_CO2_problem. Acesso em: 10 agosto 2025.

TITIRICI, M.M.; THOMAS, A.; ANTONIETTI, M. **Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO₂**

problem? New Journal of Chemistry, v. 31, n. 6, p. 787–789, 2007. Acesso em: 18 agosto 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Pesticida usado na agricultura e no controle da dengue é fator de risco para diabetes gestacional.** *Notícias da UFSC*, 4 jan. 2023. Acesso em: 31 maio 2025.

VAL, A. M. G. do; DOMINGUES, R. Z.; MATENCIO, T. **FQ II: aulas 1 e 2.** **Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, 2010.** Disponível em: https://www2.ufjf.br/quimicaead/wp-content/uploads/sites/224/2013/09/FQ_II_Aulas-1-e-2.pdf. Acesso em: 29 setembro 2025.

VEIGA, M. et al. **Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil.** *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11, p. 2391-2399, nov. 2006. Acesso em: 06 junho 2025.

VILLALOBOS, J. U. G.; FAZOLLI, S. A. **Agrotóxicos um enfoque multidisciplinar.** Eduem, 2017. Acesso em: 04 julho 2025.