



Revista Ambientale

Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL
e-ISSN 2318-454X, Ano 15, Vol. 15, (nº 2), abril-julho, 2023
<https://doi.org/10.48180/ambientale.v15i2.467>

Remoção de hidrocarbonetos em meio aquoso com uso de biomassas

Antonio Rony da Silva Pereira Rodrigues

Universidade Estadual do Ceará,
E-mail: antonio.rony@aluno.uece.br

RESUMO - A indústria petrolífera é responsável por graves impactos aos ecossistemas, decorrente da cadeia de exploração e refino do petróleo, bem como por problemas de derramamento de petróleo e seus derivados. Os hidrocarbonetos são tóxicos e perigosos a saúde humana e animal, no meio ambiente as camadas de hidrocarbonetos impedem a respiração e entrada luz nos ambientes aquáticos. O presente estudo buscou através da literatura propor uma síntese dos principais estudos que agregam conhecimentos relevantes sobre o potencial de biomassas na adsorção de compostos de hidrocarbonetos em meio aquoso. A busca foi realizada através das fontes primárias de pesquisa: Scopus, CAB -Direct, CiteSeerX e ScienceDirect, através de conjuntos de termos, junto aos operadores booleanos AND e OR. Os resultados demonstraram que múltiplas espécies de plantas, algas, fungos e bactérias podem auxiliar na remoção de compostos de hidrocarbonetos em meio aquoso. Espécies do gênero *Pseudomonas*, representa o principal gênero fúngico descrito na literatura como potencial biomassa adsorvente. A espécie de alga marinha *Halodule uninervis*, também se destaca por possuir alta taxa de adsorção de compostos de hidrocarbonetos em meio



aquoso, testes em ambiente controlado de temperatura, dosagem e pH demonstraram taxas de 98,8% na remoção de hidrocarbonetos totais. O avanço e difusão do conhecimento sobre a temática é essencial, para manter a segurança dos recursos hídricos, protegendo a saúde do meio ambiente, humana e animal.

Palavras-chave: Biorremediação. Compostos orgânicos. Meio ambiente.

ABSTRACT - The oil industry is responsible for serious impacts on ecosystems, resulting from the oil exploration and refining chain, as well as for problems of oil spills and their derivatives. Hydrocarbons are toxic and dangerous to human and animal health, in the environment the layers of hydrocarbons prevent breathing and light entry into aquatic environments. The present study sought through the literature to propose a synthesis of the main studies that add relevant knowledge about the potential of biomass in the adsorption of hydrocarbon compounds in aqueous medium. The search was performed through the primary research sources: Scopus, CAB -Direct, CiteSeerX and ScienceDirect, through sets of terms, together with the Boolean operators AND and OR. The results showed that multiple species of plants, algae, fungi, and bacteria can assist in the removal of hydrocarbon compounds in aqueous medium. Species of the genus *Pseudomonas*, represents the main fungal genus described in the literature as potential adsorbent biomass. The species of seaweed *Halodule uninervis*, also stands out for having a high rate of adsorption of hydrocarbon compounds in aqueous medium, tests



in controlled environment of temperature, dosage and pH showed rates of 98.8% in the removal of total hydrocarbons. The advancement and dissemination of knowledge on the subject is essential to maintain the security of water resources, protecting the health of the environment, human and animal.

Keywords: Bioremediation. Organic compounds. Environment.

INTRODUÇÃO

A busca por produção de energia e a industrialização fez que os hidrocarbonetos se destacassem como a principal fonte de combustíveis e de geração de energia no planeta, principalmente o petróleo. A indústria petrolífera, por ter risco para o ambiente, é motivo de preocupação para sociedade geral. Uma das maiores catástrofes ambientais que podem acontecer são os grandes derrames de petróleo, principalmente quando estes ocorrem em regiões costeiras (PALADINO, 2000).

O processo de exploração do petróleo envolve atividades de alto potencial poluidor, por fazer uso de tecnologias não sustentáveis nas etapas de exploração e refino, gerando resíduos não recicláveis e altamente tóxicos (ROGOWSKA; NAMIEŚNIK, 2010).

O derramamento ou resíduos da cadeia exploratória petrolífera pode ser danosa em muitos aspectos no território brasileiro, pois impacta na vida marinha, saúde humana e até no turismo. A conservação dos ecossistemas marinhos na região do nordeste brasileiro, estão ameaçados pela exploração de petróleo



na região. Os impactos potenciais do petróleo incluem ameaças a fauna e flora da costa brasileira, podendo afetar o turismo nas praias da região (BERNADINO; SUMIDA, 2017).

Na necessidade de alternativas para tratar o meio ambiente dos hidrocarbonetos advindos da indústria petrolífera, inúmeros pesquisadores voltaram suas pesquisas para buscar novos meios através de formas naturais ou sintéticas para adsorção e remoção desses resíduos poluidores. Os métodos de adsorção se destacam por possuir alta seletividade molecular, permitindo a separação de vários componentes. A adsorção ocorre de uma superfície sólida exposta a um gás ou líquido, definida pelo enriquecimento do material ou aumento da densidade do fluido (FERREIRA, 2016).

A aplicação de biomassas vegetais recebeu destaques por apresentarem alta eficiência. O uso de biomassa de cana-de-açúcar é uma alternativa avaliada na adsorção de hidrocarbonetos por ser de baixo custo por se tratar de um resíduo agroindustrial pouco utilizável e amplamente produzido. As taxas de adsorção para bagaço de cana-de-açúcar apresentam níveis de até 83,4% na primeira hora de fluxo (LIMEIRA et al., 2021).

Tendo em vista a necessidade da ampliação dos conhecimentos acerca do uso de biomassas adsorventes na remoção de resíduos da indústria petrolífera e biorremediação de hidrocarbonetos em corpos d'água, o presente estudo buscou avaliar na literatura estudos relevantes sobre a temática e trazer uma abordagem geral sobre a eficiência das principais biomassas adsorventes de hidrocarbonetos.



MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo se trata-se de uma revisão de literatura. A revisão da literatura auxilia a delimitar o problema, buscar novas linhas de pesquisa, identificar trabalhos já realizados e evitar que o pesquisador faça mais do mesmo (BRIZOLA; FANTIN, 2016). Inicialmente para realização da busca por trabalhos na literatura foi proposta a seguinte pergunta norteadora para o estudo: “Quais são as biomassas que podem ser aplicadas na remoção de compostos derivados de hidrocarbonetos em meio aquoso?”.

A busca por artigo foi realizada entre dezembro de 2022 e janeiro de 2023 nas bases de dados Scopus, CAB -Direct, CiteSeerX e ScienceDirect, as fontes primárias de pesquisa foram acessadas através do portal de periódicos da Capes (Periódicos CAPES). A pesquisa foi feita com uso dos conjuntos de termos: (“*Biomass*” AND “*Hydrocarbon*” AND “*Removal of hydrocarbons*” AND “*Aqueous medium*”) OR (“*Hydrocarbon derivatives*” AND “*Water*” AND “*Hydrocarbon contamination*”), OR (“*Biomass adsorptives*” AND “*Removal in aqueous medium*” AND “*Hydrocarbon adsorption*”), em língua inglesa e portuguesa.

Os artigos foram selecionados com a aplicação de critérios de inclusão, sendo incluídos trabalhos publicados entre 2019 e 2023, em qualquer idioma, que estivesse disponível na íntegra e respondesse à pergunta norteadora. Todos os trabalhos foram analisados através do software *Rayyan* (<https://rayyan.ai/>) para



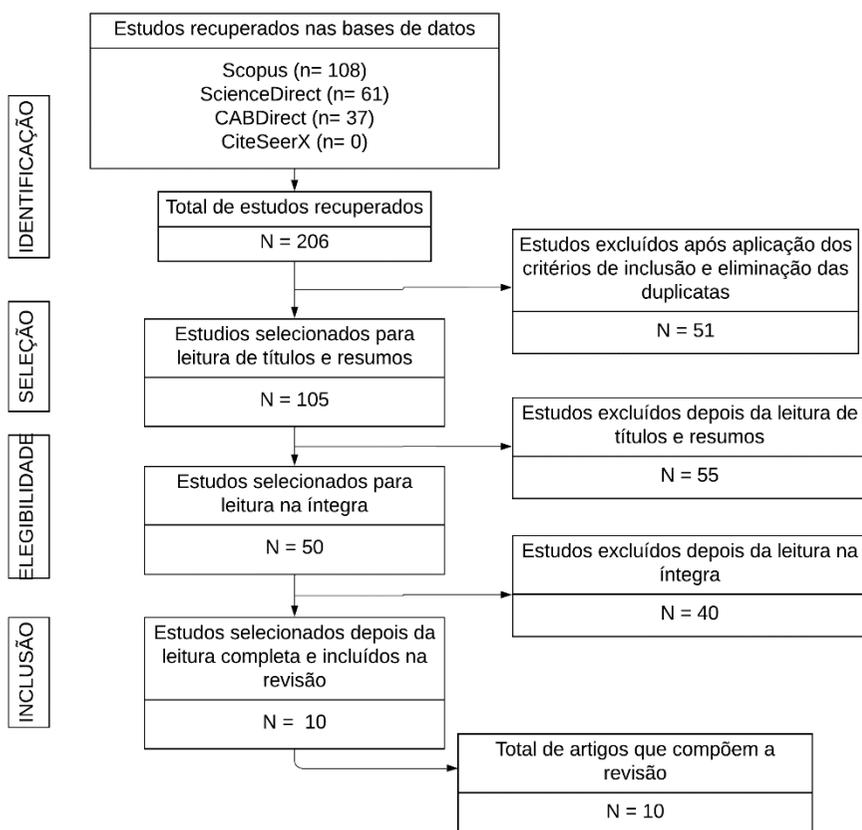
remoção das duplicatas e aplicação dos critérios de inclusão, posteriormente os artigos selecionados foram dispostos no *Microsoft Excel* para ser analisados as características específicas dos estudos e seleção dos artigos mais relevantes, que compõem esta revisão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo 206 estudos foram recuperados nas bases de dados, sendo 51 excluídos por possuir duplicação, 105 estudos foram excluídos na fase de leitura de títulos e resumos, por não se adequarem ao escopo do estudo, descreverem outros tratamentos que não envolvia biomassa ou hidrocarbonetos, 50 estudos foram lidos na íntegra, sendo selecionado 10 estudos que dentro do escopo do estudo e foram incluídos na realização da revisão final.



Figura 1. Fluxograma *PRISMA* para seleção dos estudos que integram a RI.



Fonte: Autor, 2023.



Tabela 1. Caracterização dos estudo que compõem a RI.

Autor/ano	Local	Biomassa	Resultados obtidos
Akinpelu et al., 2021	Arábia Saudita	<i>Halodule uninervis</i>	Na dose ótima de 2 g/L, apresentou a maior eficiência de remoção de 90,54% para flouranteno
Asadu et al., 2022	Nigéria	Casca banana	de Apresentou alta taxa de adsorção em um pH baixo de 4 com 96,8% de remoção de óleo
Boleydei et al., 2018	Irã	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	A eficiência de sorção do petróleo bruto e do óleo irradiado foi de 72 e 80% na água doce e 86 e 90% na água do mar, respectivamente
Cheng et al., 2020	China	<i>Ophiostoma stenoceras</i> e <i>Pseudomonas veronii</i>	A taxa de absorção para adsorvente fúngico foram 49,68 mg·g ⁻¹ (acetato de etila), 39,07 mg·g ⁻¹ (α -pineno) e 25,22 mg·g ⁻¹ (n-hexano), que foram 1,83, 2,01 e 2,40 vezes maiores que os valores do biossorvente bacteriano.



Kaur; Sharma, 2019	Índia	<i>Prosopis juliflora</i>	Demostrou eficiência de extração para fenantreno de 74,62% e 66. 59% para naftaleno
Mukhopadhyay et al., 2023	Índia	<i>Murraya paniculata</i>	Os resultados mostraram bons rendimentos de extração para <i>M. paniculata</i> (280,17 ± 15,46 µg g ⁻¹)
Nazal et al., 2022	Arábia Saudita	<i>Halodule uninervis</i>	<i>H. uninervis</i> demostou taxa de extração de 98,8% em 300 minutos com uma capacidade de adsorção de 23,5 mg/g
Rajan et al., 2019	Índia	<i>Scenedesmus abundans</i>	A eficiência de remoção de petróleo aumenta de 1 para 4 g/L em concentração de <i>S. abundans</i> e tende a diminuir na dose de 5 g/L
Smulek et al., 2020	Polônia	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>P. fluorescens</i> demonstrou redução de até 80% para xilenos e clorotolueno
Zhang et al., 2022	China	<i>Saccharum officinarum</i>	Experimento, com nível alto de significância, demonstrou adsorção nas faixas de 0,4 – 1,0 g/L, 20 – 160 g/L e 2,21 – 9,42 g/L

Fonte: Autores, 2023.



Na literatura diferentes biomassas são descritas como potencial material adsorvente para hidrocarbonetos e seus derivados em meio aquoso. Foi encontrado biomassas fúngicas como a de *Ophiostoma stenoceras*, bacterianas como *Pseudomonas veronii* e *Pseudomonas fluorescens* (CHENG et al., 2020; SMUŁEK et al., 2020). O uso de biomassas vegetais se destaca, com uso de biomassas de algas como *Enteromorpha intestinalis*, *Halodule uninervis*, *Gracilaria corticata* e *Scenedesmus abundans* (BOLEYDEI et al., 2018; NAZAL et al., 2022; LI et al., 2021; RAJAN et al., 2019). Outras espécies vegetais como a *Murraya paniculata* e *Trifolium alexandrinum* (MUKHOPADHYAY et al., 2023; KAUR; SHARMA, 2019).

Estudo utilizando biomassa da erva marinha *Halodule uninervis* em sistema água-petróleo em medidas de 10 mg do adsorvente com 10 mL de água contaminada com 9,2 mg/L de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP). Os testes de efeito da dosagem de adsorvente foram investigados sobre concentrações 0,2, 0,4, 0,8, 1,0, 1,2 e 2,0 g/L de adsorvente com 25,0 mL de água contaminada com hidrocarbonetos com uma concentração de HTP de 5,2 mg/L a pH 7 e em temperatura ambiente (25°C). A biomassa de *Halodule uninervis* demonstrou efeito satisfatório para HTP, o aumento da dosagem de adsorvente de 0,2 g/L para 2,0 g/L aumentou a porcentagem de remoção de HTPs de 61,7% para 98,8%. A concentração inicial de HTP demonstrou influência na adsorção, a porcentagem de remoção de HTPs diminuiu quando a concentração inicial aumenta. Com aumento da concentração inicial de 4,3 para 22,5 mg/L, a porcentagem de remoção de HTP diminuiu de 95,5% para 50,0% (NAZAL et al., 2022).



Outro estudo avaliando a capacidade de adsorção da *Halodule uninervis* também revelou a capacidade adsorvente de hidrocarbonetos pela biomassa da alga marinha. As isotermas de adsorção medidas através do modelo Freundlich, dada pela equação 1:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (1)$$

onde K_f (mg/g)(L/mg)^{1/n} e n são constantes de Freundlich, e q_e (mg/g) é a quantidade adsorvida por massa do adsorvente em equilíbrio.

Os parâmetros lineares exibidos foram significativamente pequenos, com cerca de 9,34% e 14,05% para q_e e k_L , respectivamente (AKINPELU et al., 2021).

Estudos utilizando a biomassa da fúngica de *O. stenoceras* e uma cepa bacteriana de *P. veronii*, buscaram avaliar a capacidade adsorvente das biomassas frente aos hidrocarbonetos α -pineno, n-hexano e acetato de etila. Tendo o desempenho de adsorção calculado pelas equações abaixo:

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \quad (3)$$

sendo R a eficiência de adsorção (%), C_0 a concentração de compostos orgânicos voláteis (COV) em $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, antes da adsorção, C_t a concentração de COV ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) após a adsorção t , q a quantidade adsorvida (g), V o volume do frasco de



agitação (m^3) e m a massa do adsorvente (g). Os resultados demonstraram que as taxas de adsorção foram de $49,68 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ para acetato de etila, $39,07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ para α -pineno e $25,22 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ para n-hexano, taxas consideradas altas (CHENG et al., 2020).

Zhang et al. (2022), identificou que a biomassa de *Saccharum officinarum* (Cana-de-açúcar), nas faixas de 0,4 – 1,0 g/L, 20 – 160 g/L e 2,21 – 9,42 g/L, possuem alta eficiência na remoção de petróleo. Outros estudos relacionam a biomassa de cana-de-açúcar a remoção de hidrocarbonetos, identificando que a biomassa tem ponto de ruptura em $C/C_0 = 0,3$ ou 30%, em coluna de leito fixo. Alcançando bons resultados, em dosagem de 8,29 g do efluente após 1 hora (LIMEIRA et al., 2021; PAULA et al., 2017).

CONCLUSÕES

Após a análise da revisão, foi possível observar que múltiplas biomassas de diferentes fontes podem atuar como material adsorvente na remoção de hidrocarbonetos e seus derivados de recursos hídricos. O estudo dessas biomassas revelam a aplicação de compostos agroindustriais que comumente são descartados, agora sendo reciclados e aplicados com finalidade sustentável.

O presente estudo contribui com uma nova síntese sobre as biomassas adsorventes de hidrocarbonetos, que pode auxiliar como base de pesquisa bibliográfica de norteio para novos estudos



sobre a temática, além de cooperar com a divulgação de conhecimento sobre o tema.

AGRADECIMENTOS

Fundação Cearense de Apoio Científico e Tecnológico – FUNCAP.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que o trabalho não possui conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

AKINPELU, A. A.; NAZAL, M. K.; ABUZOID, N. Adsorptive removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated water by biomass from dead leaves of *Halodule uninervis*: kinetic and thermodynamic studies. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-13, 2021.

ASADU, C. O.; EKWUEME, B. N.; ONU, C. E.; ONAH, T. O.; IKE, I. S.; EZEMA, C. A. Modelling and optimization of crude oil removal from surface water via organic acid functionalized biomass using machine learning approach. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 9, p. e104025, 2022.



BERNADINO, A. F.; SUMIDA, P.Y.G. Deep risks from offshore development. **Science**, v. 358, p. 312, 2017.

BOLEYDEI, H.; MIRGHAFARI, N.; FARHADIAN, O. Comparative study on adsorption of crude oil and spent engine oil from seawater and freshwater using algal biomass. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 21024-21035, 2018.

BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos**, v. 3, n. 2, 2016.

CHENG, Z.; FENG, K. E.; SU, Y.; YE, J.; CHEN, D.; ZHANG, S.; DIONYSIOU, D. D. Novel biosorbents synthesized from fungal and bacterial biomass and their applications in the adsorption of volatile organic compounds. **Bioresource Technology**, v. 300, p. e122705, 2020.

DE PAULA, R. G.; BONI, H. T.; DE SOUZA, A. A. U.; YAMAMOTO, C. I.; TAKESHITA, E. V. Potencial de sorção do bagaço da cana-de-açúcar na contenção e remoção de derramamento de petróleo e derivados. **Engvista**, v. 19, n. 1, p. 122-131, 2017.

FERREIRA, H. B. **Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, RN, 2016.



KAUR, V.; SHARMA, P. Role of Prosopis juliflora biochar in poly-aromatic hydrocarbon remediation using Trifolium alexandrinum L. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1-11, 2019.

LI, Y.; ZHU, C.; JIANG, J.; YANG, Z.; FENG, W.; LI, L.; HU, J. Catalytic hydrothermal liquefaction of Gracilaria corticata macroalgae: Effects of process parameter on bio-oil up-gradation. **Bioresource Technology**, v. 319, p. e124163, 2021.

LIMEIRA, V. et al. Aplicação do bagaço de cana-de-açúcar para remoção de petróleo da água produzida. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 7, n. 1, p. 111-126, 2021.

LIMEIRA, V.; DA SILVA, R.; SILVA, W. J.; DOS SANTOS, J. B. Aplicação do bagaço de cana-de-açúcar para remoção de petróleo da água produzida. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-Alagoas**, v. 7, n. 1, p. 111-111, 2021.

MUKHOPADHYAY, S.; DUTTA, R.; DHARA, A.; DAS, P. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by *Murraya paniculata* (L.) Jack in South Kolkata, West Bengal, India: spatial and temporal variations. **Environmental Geochemistry and Health**, p. 1-21, 2023.

NAZAL, M. K.; ILYAS, M.; GIJJAPU, D.; ABUZOID, N. Treatment of water contaminated with petroleum hydrocarbons using a biochar derived from seagrass biomass as low-cost



adsorbent: isotherm, kinetics and reusability studies. **Separation Science and Technology**, v. 57, n. 15, p. 2358-2373, 2022.

PALADINO, E. E. **Modelagem matemática e simulação numérica de trajetórias de derrames de petróleo no mar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, 2000.

RAJAN, P. S.; GOPINATH, K. P.; ARUN, J.; PAVITHRA, K. G. Hydrothermal liquefaction of the biomass of *Scenedesmus abundans* spent for effluent oil waste sorption and post-hydrothermal liquefied effluent recycling studies. **Bioresource Technology**, v. 283, p. 36-44, 2019.

ROGOWSKA, J.; NAMIEŚNIK, J. Environmental implications of oil spills from shipping accidents. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 206, p. 95-114, 2010.

SMULEK, W.; ZDARTA, A.; GRZYWACZYK, A.; GUZIK, U.; SIWIŃSKA-CIESIELCZYK, K.; CIESIELCZYK, F.; KACZOREK, E. Evaluation of the physico-chemical properties of hydrocarbons-exposed bacterial biomass. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 196, p. e111310, 2020.

ZHANG, R.; CHEN, Y.; LI, S.; WEI, Z.; HUANG, H.; XIE, T. Remediation and optimisation of petroleum hydrocarbon degradation in contaminated water by persulfate activated with bagasse biochar-supported nanoscale zerovalent iron. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 15, 2022.