

USO DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA COMO FERRAMENTA PARA O LEVANTAMENTO DE ESTUDOS SOBRE A METABOLÔMICA APLICADA NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS IMPACTADAS POR HIDROCARBONETOS

Bruna P. da Costa^a, Camila P. Dantas^a, Beatriz B. Miranda^a, Danusia F. Lima^a, Olívia Maria C. de Oliveira^a, Karina S. Garcia^a, Gisele A. B. Canuto^{b,*} e Leonardo S. G. Teixeira^b

^aInstituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 40170-110 Salvador - BA, Brasil

^bInstituto de Química, Universidade Federal da Bahia, 40170-110 Salvador - BA, Brasil

Recebido em 27/05/2022; aceito em 22/09/2022; publicado na web 21/10/2022

USE OF BIBLIOMETRIC ANALYSIS AS A TOOL FOR SURVEYING STUDIES ON METABOLOMICS APPLIED TO THE BIOREMEDIATION OF AREAS IMPACTED BY HYDROCARBONS. Bibliometric reviews, carried out from access to databases of scientific articles associated with software for data processing, can be helpful for qualitative and quantitative assessments of existing publications on a given topic. Several petroleum hydrocarbons are carcinogenic and immunotoxic agents, causing adverse effects on the biota, and the study of metabolites generated in bioremediation processes has been the object of current research. Therefore, in this work, the use of bibliometric analysis as a tool for surveying studies on the applied metabolomics bioremediation of areas impacted by hydrocarbons is presented. A bibliometric review was carried out in the Scopus Preview and Web of Science databases with data analysis using RStudio software with the bibliometrix package. The survey gathered the studies and prominent publications of the last seven years, making it possible to present gaps and opportunities in the area.

Keywords: bibliometric analysis; data base; petroleum hydrocarbons; biodegradation; metabolites.

INTRODUÇÃO

Desde seu surgimento, a indústria do petróleo gera sérias preocupações em relação à poluição ambiental, devido, principalmente, ao destino dado aos seus resíduos e impactos gerados por toda a cadeia produtiva, desde a exploração até a distribuição e comercialização de seus produtos. Entre os impactos observados, estão os acidentes com derrame de óleo em ambientes naturais e sua consequente contaminação.¹ O derramamento do óleo e seus derivados pode ocorrer durante a exploração, produção, transporte, refino e distribuição.^{2,3} As consequências dos derramamentos são observadas através de contaminação direta de solos e águas, refletindo na fauna, flora e saúde humana, pois grande parte dos compostos presentes no petróleo, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), são cancerígenos e imunotóxicos, causando efeitos adversos ao meio ambiente e a saúde humana.^{4,5} A título de exemplo, pode-se citar os efeitos respiratórios agudos e crônicos,⁶ toxicidade neurológica, câncer de pulmão, fadiga, dores de cabeça, tonturas, náuseas, letargia, depressão, irritação nos olhos e na garganta, causados por vários contaminantes oriundos do petróleo e seus derivados.⁷⁻⁹

A biorremediação é um dos processos mais aplicados na remoção de contaminantes provenientes do petróleo, mitigando os efeitos prejudiciais de poluentes orgânicos sobre o meio ambiente, por meio da degradação desses poluentes por microrganismos em águas, solos e sedimentos contaminados, por exemplo.¹⁰ A degradação realizada pelos microrganismos consiste em uma metabolização das substâncias químicas, muitas vezes, em uma forma menos tóxica.¹¹⁻¹³ De maneira geral, os microrganismos transformam, enzimaticamente, os hidrocarbonetos do petróleo em metabólitos, presumidamente, menos tóxicos. Esse processo depende do metabolismo microbiano e, conforme inferências no âmbito da metagenômica, existem microrganismos que usam o petróleo como única fonte de carbono e que podem ser explorados para esse fim,¹⁴ de forma que o benefício atrelado à biorremediação seja mútuo: tanto para o meio de ação

quanto para os agentes, fazendo desta uma estratégia potencialmente “verde” e economicamente viável.¹⁵

Nesse sentido, a compreensão do metabolismo microbiano e seus efeitos no meio ambiente é de grande importância, uma vez que informações sobre a resposta de um organismo a doenças, toxicidade ou manipulação genética podem ser úteis no desenvolvimento e proposição de novas aplicações.^{16,17} Dentre as estratégias para estudo do metabolismo, a metabolômica, análise abrangente dos metabólitos produzidos e/ou alterados por organismos biológicos, contribui sobremaneira para ampla compreensão do complexo metabolismo microbiano. De modo geral, este tipo de abordagem pode ser conduzida para quantificação de metabólitos previamente definidos, conhecidos por estarem alterados no organismo, denominada metabolômica alvo. Ou ainda, através de abordagens globais (metabolômica global), para a busca por espécies alteradas, sem conhecimento químico prévio das mesmas, realizando-se análises qualitativas ou semi-quantitativas.¹⁸ Considerando os estudos de biorremediação, e tendo em vista as características físico-químicas dos derivados do petróleo e a volatilidade dos metabólitos gerados no processo, é importante destacar o uso da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS) como ferramenta analítica frequentemente empregada nos estudos metabolômicos.

O petróleo é uma mistura complexa de vários compostos, sendo os hidrocarbonetos a maior fração. Suas características variam de acordo com a bacia petrolífera de origem e é essa variabilidade, associada à sua complexidade, que tornam o tratamento de áreas contaminadas um tema importante e com vasto campo de pesquisa. É visando a diminuição do caráter tóxico de dada substância que o emprego da biorremediação busca sua degradação em produtos de menor toxicidade. De maneira ideal, buscam-se as condições para degradação completa dos poluentes, gerando como produtos gás carbônico e água.¹⁹ Entretanto, tal situação, em geral, não é alcançada e estudos envolvendo processos de degradação incompleta são importantes para avaliação dos metabólitos intermediários obtidos e a toxicidade dos produtos gerados.¹⁵

*e-mail: gisele.canuto@ufba.br

Os metabólitos gerados na degradação do petróleo têm sido alvos de pesquisas, visando estimar os impactos ambientais que geram, podendo envolver persistência, potencial de bioacumulação ou toxicidade. A dificuldade na elucidação da identidade desses compostos se deve às baixas concentrações que são gerados, em alguns casos, e às vias de degradação extremamente complexas. Os estudos também visam obter métodos que evitem intermediários tóxicos ou que consigam seguir a via de degradação além deles.²⁰ Nesse sentido, levantamentos bibliográficos da literatura existente são importantes para atualização do estado da arte em relação ao tema escolhido e, também, para conhecer novas técnicas, metodologias e pesquisadores atuantes na área.

A análise bibliométrica é uma ferramenta de mapeamento de um tema específico que, atualmente, é amplamente conhecida e aplicada como método para avaliar tópicos academicamente detalhados nas bibliotecas de ciência da informação. Trata-se de um dos métodos mais proeminentes na avaliação das tendências de pesquisa e de tópicos específicos.²¹ Dessa forma, o uso da análise bibliométrica, como ferramenta para o levantamento de estudos, reunindo as principais publicações nos últimos sete anos sobre a metabolômica aplicada a biorremediação de áreas impactadas por hidrocarbonetos, é empregada. O trabalho foi desenvolvido visando conhecer a evolução dos estudos sobre os metabólitos secundários dos hidrocarbonetos do petróleo e identificar os principais artigos, lacunas e/ou oportunidades de pesquisa.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada empregando como estratégia metodológica a abordagem bibliométrica, onde a coleta de dados foi realizada em janeiro de 2022. Para a busca de fontes científicas, utilizou-se as bases de dados *Scopus Preview*²² e *Web of Science (WoS)*,²³ visto que ambas são consideradas como as maiores bases de periódicos acadêmicos.²⁴

Como palavras-chave, foram utilizados os termos em inglês *Metabolites AND hydrocarbons AND bacteria*. A busca por esses termos abrangeu os títulos (*article title*), resumo (*abstract*) e palavras-chave (*keywords*). Adotou-se como caráter de exclusão, pesquisas curtas, artigo de revisão, artigo de negócios, documentos de conferência, cartas, notas, livros e capítulos de livros, restringindo-se somente a documentos do tipo artigo de pesquisa. Foram considerados artigos tanto de acesso aberto quanto de acesso restrito para todos os idiomas disponíveis na base. Os dados coletados para a investigação compreendem o período de 2015 a 2021.

A análise de dados de dados foi feita utilizando o software R²⁵ e RStudio versão 4.0.2 utilizando o pacote *bibliometrix*²⁶ e a interface do *Bilioshiny*.²⁷ A seleção dos artigos e exclusão das duplicatas ocorreu por meio da leitura do título e do resumo de cada documento obtido nas bases de dados a fim de manter somente as pesquisas que mais se assemelhavam ao tema proposto. O Microsoft Office 2016®, através do Microsoft Excel® versão 2018,²⁸ foi utilizado para compilação dos resultados e posterior produção dos gráficos. Para a representação gráfica, foram utilizados os dez principais resultados de maior ocorrência em cada categoria: periódicos, países e rede de palavras-chave dos autores. Este último foi feito com o *Biblioshiny*²⁷ (versão atualizada em 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando os critérios de busca, foram encontrados 220 artigos na base de dados WoS e 91 artigos na Scopus. Foi feita uma triagem para a exclusão de artigos duplicados e seleção daqueles que possuíam semelhança com o objetivo deste trabalho. Na Tabela 1, é apresentado um sumário dos parâmetros bibliométricos obtidos.

Foram selecionados 214 artigos que possuíam relação com o tema central do levantamento: a biorremediação de áreas impactadas por hidrocarbonetos do petróleo e seus metabólitos.

Tabela 1. Principais informações bibliométricas de estudos sobre metabólitos dos hidrocarbonetos do petróleo no período de 2015 a 2021

Parâmetro	Quantidade
Artigos	214
Revistas	131
Palavras-chave	769
Autores	1022
Países	50

Nota: Pesquisa realizada na base de dados da *Web of Science* e *Scopus*, utilizando os termos em inglês *Metabolites AND hydrocarbons AND bacteria*, limitando a busca por artigos publicados no período de 2015-2021.

Na Figura 1, são apresentadas a quantidade de artigos que foram publicados no período analisado e citações. Como pode-se observar, entre 2015 e 2017, houve um aumento do número de publicações e, apesar de se observar uma diminuição nesse número entre 2017 e 2019, no ano de 2020, o interesse por metabólitos do petróleo voltou a crescer. Apenas em 2020, o número de artigos publicados correspondeu a 23,6% do total de trabalhos selecionados. Este aumento pode estar relacionado ao aumento de publicações em 2020 devido a pandemia do novo Coronavírus, onde muitos pesquisadores, em trabalho remoto, puderam dedicar mais tempo na escrita de manuscritos.²⁹ Ressalta-se que essa ponderação poderá ser confirmada nos próximos anos, caso o número de artigos publicados no tema volte aos patamares anteriores. O número de artigos publicados em 2020 demonstra também o interesse por abordagens que possam ser aplicadas ao meio ambiente como a aplicação da biorremediação em conjunto com a metabolômica, sobretudo para compreender a interação dos organismos com o ambiente e avaliar a sua resposta diante do agente tóxico, que nesse caso é representado pelo petróleo.³⁰

Em relação ao número de citações por ano, que está representado pela linha laranja no gráfico da Figura 1, observa-se que houve um decréscimo do ano de 2015 até 2021. Apesar de o número de citações ser menor no ano de 2021, isso não quer dizer que o interesse nessa área de estudo tenha sido reduzido ao longo dos anos. Esse resultado é esperado uma vez que as citações se acumulam com o tempo, sendo natural que, de maneira geral, artigos mais antigos sejam mais citados.³¹⁻³³

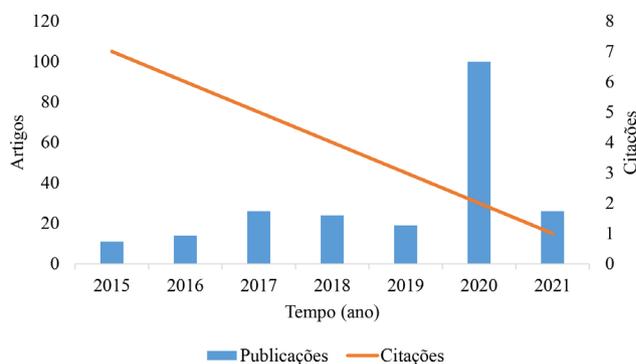


Figura 1. Evolução das publicações de artigos e citações ao longo de 2015 a 2021 sobre metabólitos do petróleo

Na Tabela 2, são apresentados os 10 periódicos com maior número de publicações referentes ao tema pesquisado. Em um estudo bibliométrico é muito importante se conhecer os principais periódicos,

Tabela 2. Periódicos que mais publicaram trabalhos sobre hidrocarbonetos do petróleo e seus metabólitos no período de 2015 a 2021, com respectivos índice-H e fator de impacto

Periódicos	Nº de publicações	Índice-H ^a	Fator de impacto ^b (2020)
<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	10	129	6,291
<i>Science of the Total Environment</i>	10	244	7,963
<i>Frontiers in Microbiology</i>	9	135	5,640
<i>Applied and Environmental Microbiology</i>	6	327	4,792
<i>Environmental Pollution</i>	6	227	8,071
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	6	284	10,588
<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i>	5	221	4,813
<i>Chemosphere</i>	5	248	7,086
<i>International Biodeterioration and Biodegradation</i>	5	103	4,320
<i>Environmental Microbiology</i>	4	188	5,491

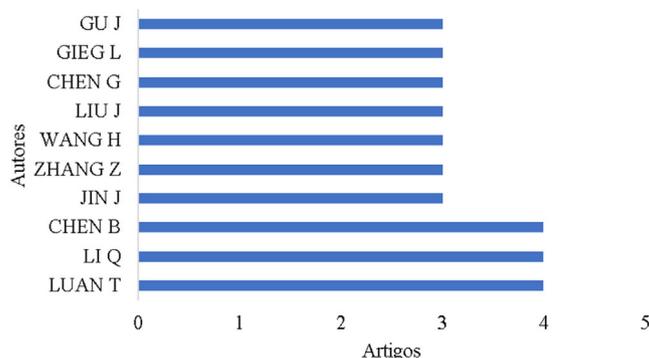
Nota: Pesquisa realizada na base de dados da *Web of Science* e *Scopus*, utilizando os termos em inglês *Metabolites AND hydrocarbons AND bacteria*, limitando a busca por artigos publicados no período de 2015-2021. ^aDados obtidos no portal da *Scimago Journal & Country Rank (JSR)*. ^bDados obtidos no portal da *Journal Citation Reports (JCR)*.

que publicam dentro do âmbito da pesquisa de interesse, objetivando conhecer as revistas potenciais para a submissão de um trabalho com maior visibilidade e impacto científico.

Embora o índice-H tenha sido criado para relacionar a quantidade de trabalhos publicados por um pesquisador com o número de citações do seu trabalho, objetivando a aferição da relevância da sua pesquisa,³⁴ o mesmo índice também pode ser utilizado para avaliar o impacto dos periódicos³⁵ como uma avaliação da notoriedade dos mesmos. É importante salientar que o índice-H apresentado aqui, refere-se ao valor fornecido pelo *Scimago Journal & Country Rank (JSR)*,³⁶ e não está diretamente ligado a Lei de Bradford, que descreve como os artigos sobre um determinado assunto estão espalhados pelo conjunto de periódicos. Já o fator de impacto (FI), calculado pelo *Journal Citation Reports (JCR)*, foi criado como uma métrica para avaliação da qualidade de uma revista científica, obtido através da razão do número de citações com o número de publicações dos últimos dois anos.³⁷

Muitos autores contribuíram com estudos sobre biodegradação de hidrocarbonetos do petróleo e seus metabólitos. Na Figura 2, encontra-se a lista dos dez autores que mais publicaram artigos dentro desta temática. Como pode ser observado, os autores que possuem maior número de publicações são Baowei Chen, Tiangang Luan e Qing Li que correspondem cada um a 12,12% do total de artigos publicados, seguido por Jin-Feng Liu, Jing-Nan Jin, Ji-Dong Gu, Zuotao Zhang, Guang Chen e Lisa Gieg. Vale salientar que o número de publicações não está relacionado, necessariamente, aos autores principais dos artigos, mas também para os que configuram como coautores. Muitos desses autores, como Baowei Chen e Tiangang Luan, compartilham das mesmas publicações. Esse levantamento de autores é importante para avaliação da rede de colaboradores e o nível de internacionalização do tema e para se prospectar possíveis parcerias, conforme similaridade dos objetivos das pesquisas.

Nessas colaborações, percebeu-se a atenção dada para estudos em que se buscou a compreensão das vias metabólicas de degradação de compostos aromáticos por bactérias. Nos artigos publicados através da colaboração de Tiangang Luan,³⁸ por exemplo, identificou-se sete metabólitos (4-fenantrol, 1-hidroxi-2-naftaldeído, 2-hidroxi-1-naftaldeído, ácido 1-hidroxi-2-naftóico, ácido 2-hidroxi-1-naftóico, naftaleno-1,2-diol, e ácido salicílico) a partir da degradação de fenantreno e dez metabólitos na degradação de 1-metilfenantreno realizada por *Sphingobium* sp. MP9-4. O trabalho de Chen e colaboradores (2016) foi baseado no estudo da degradação do pireno através da *Mycobacterium* sp. A1-PYR. O fenantreno e o fluoranteno

**Figura 2.** Autores que mais publicaram sobre metabólitos do petróleo no período de 2015 a 2021

foram investigados e um único metabólito, o 4,5-pirenodiol, foi identificado através da análise por GC-MS.³⁹ Liu e colaboradores (2020) analisaram a comunidade microbiana anaeróbica em um campo petrolífero de baixa temperatura, assim como seus metabólitos, dando um grande passo na compreensão da degradação de hidrocarbonetos metanogênicos.⁴⁰ Li e colaboradores (2020) estudaram como a bactéria *Klebsiella* sp. PD3 foi capaz de biodegradar o fenantreno como única fonte de carbono.⁴¹ Neste trabalho, os autores também utilizaram GC-MS como técnica analítica para a determinação dos metabólitos. O estudo dos produtos do metabolismo do fenantreno se mostra relevante, uma vez que este é um contaminante extremamente prejudicial à saúde e ao meio ambiente.⁴¹ Wang e colaboradores (2016) também avaliaram a biodegradação completa do fenantreno, utilizando um consórcio microbiano aeróbico denominado de ZY-PHE, capaz de biodegradar o fenantreno, pireno e fluoreno em mais de 96%, utilizando esses compostos como únicas fontes de carbono.⁴² Entre os artigos pesquisados, verificou-se a necessidade de uma maior investigação acerca da relação entre os microrganismos degradadores e as vias de degradação dos hidrocarbonetos do petróleo para um estudo de viabilidade de remediação de solos contaminados em uma situação real.⁴³

Além de estudos com bactérias, existem trabalhos utilizando a metabolômica no estudo da biodegradação de hidrocarbonetos aromáticos por fungos. Por exemplo, diferentes cepas nativas de *Ganoderma* sp., produtoras de enzimas lacases, foram investigadas quanto ao potencial de degradação de HPAs.⁴⁴ Neste trabalho, os autores verificaram a possibilidade de oxidação dos HPAs (em especial, naftaleno, fenantreno e fluoreno) com a produção de

metabólitos mais polares como ácido benzóico, catecol, ácidos ftálico e protocatecuico, com proposição de vias de degradação para esses HPAs. Outro exemplo, que mostra o potencial do uso de leveduras na degradação de hidrocarbonetos, é o uso do *Basidioascus persicus* na biodegradação de pireno, fenantreno e antraceno.⁴⁵ Com o auxílio da espectrometria de massas, foi possível inferir a via do ácido ftálico como rota metabólica de degradação do pireno pelo *B. persicus*. Ainda neste trabalho, observou-se um potencial efeito sinérgico da cocultura da levedura com a bactéria *Pseudomonas putida*, na presença de ramnolipídio, o que mostra mais uma tendência de estudos de bioremediação visando limpeza de derramamentos de óleo.

Na Figura 3, são mostrados os países de origem dos pesquisadores que mais publicaram na área no período de 2015 a 2021. As barras na cor azul representam o número total de manuscritos publicados por país. Esses países foram: China (59), Índia (37), Estados Unidos (20), Alemanha (16), Arábia Saudita (5), Irã (5), México (5), Rússia (5), Canadá (4) e Coreia do Sul (4). A linha laranja representa o número total de citações: China (265), Índia (96), Estados Unidos (123), Alemanha (139), Arábia Saudita (31), Irã (1), México (25), Rússia (16), Canadá (8) e Coreia do Sul (0).

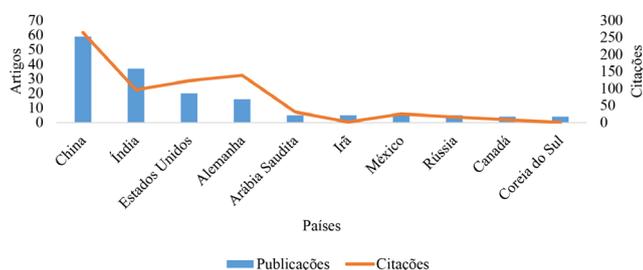


Figura 3. Países mais produtivos por autor correspondente e que mais publicaram sobre biodegradação de hidrocarbonetos do petróleo e metabólitos

Essas informações são importantes, pois mostram quais países estão liderando a pesquisa no tema em estudo. Nesse caso, a China tem demonstrado maior interesse nessa área de investigação, verificado tanto pelo número de publicações quanto pelas citações. Esse fato demonstra que, além de ter uma grande quantidade de artigos publicados, as pesquisas realizadas na China também despertam interesse para a comunidade científica mundial. É possível que o interesse dos pesquisadores chineses no tema esteja relacionado com a expansão industrial do país, o que pode levar a investimentos em estudos mitigantes de poluição, especialmente de derivados do petróleo.

Na Figura 4, apresenta-se uma rede de países que publicaram trabalhos em colaboração com outros países. O país com a maior contribuição é a China, que por sua vez possui publicações em colaboração com a Coreia do Sul e Índia. Os Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Grécia e Reino Unido também possuem pesquisas em colaboração, assim como a Arábia Saudita, Indonésia e Malásia. A colaboração entre pesquisadores de diferentes países possibilita, além do compartilhamento de tecnologias, que os resultados sejam discutidos por diferentes profissionais que possuem experiência no tema, contribuindo para a aprendizagem, novas parcerias e fortalecendo a divulgação científica. Deste modo, além do aprofundamento no tema escolhido, essas colaborações podem ajudar no financiamento de pesquisas em parcerias com outras universidades e instituições de pesquisa, bem como na otimização de esforços frente a resposta para demandas científicas e tecnológicas da área.⁴⁶

A palavra-chave mais utilizada pelos autores que atuaram em colaboração foi biodegradação, seguida por fenantreno, pireno, rota metabólica, HPA, metabólitos, hidrocarbonetos aromáticos do petróleo e biorremediação. Conhecer as principais palavras-chave,

facilita a recuperação de um conteúdo específico e eficiente para o pesquisador, além de serem ferramentas úteis na indexação na base de dados.⁴⁷

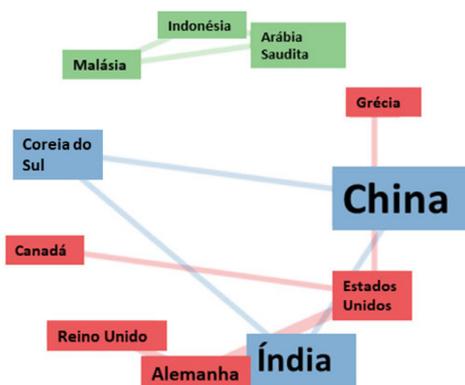


Figura 4. Países que atuaram em colaboração com outros países (nota: colaboração com no mínimo dois documentos)

Com os resultados obtidos nesta busca, foi gerada uma nuvem de palavras-chave mais utilizadas nas publicações no período de 2015 a 2021 (Figura 5). Esse tipo de visualização gráfica pode conter diferentes cores para facilitar a visualização por parte do leitor. O tamanho gráfico das palavras está associado com a frequência em que esta se repete.^{48,49} As palavras-chave que mais se destacam na imagem abaixo são: fenantreno (do inglês, *phenanthrene*), pireno (do inglês, *pyrene*), metabólitos (do inglês, *metabolites*), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (do inglês, *polycyclic aromatic hydrocarbons*) e biorremediação (do inglês, *bioremediation*), seguido de metabolômica (do inglês, *metabolomics*), degradação (do inglês, *degradation*), hidrocarbonetos (do inglês, *hydrocarbons*) e *Pseudomonas*. Provavelmente, as palavras-chave fenantreno, pireno e hidrocarbonetos estejam em destaque por serem os contaminantes de maior interesse nas pesquisas, além de serem mutagênicos e lipofílicos, adentrando facilmente nas células dos organismos vivos causando diversos tipos de câncer.⁵⁰ Outro destaque é observado na palavra-chave metabólitos, que vem ganhando espaço devido aos avanços da metabolômica (também destacada na nuvem) desde o início dos anos 2000 nas mais diversas áreas do conhecimento.

Dentre os trabalhos encontrados nesta busca bibliométrica, pode-se destacar as publicações de Wang e colaboradores (2016) e Li e colaboradores (2018), que tratam da biorremediação de ambientes impactados por petróleo e estudos dos metabólitos gerados a partir da biodegradação microbiana. No primeiro, foi empregada a técnica de bioaugmentação e de consórcio misto de microrganismos para biodegradação do fenantreno. Essas técnicas aumentam a taxa de biodegradação dos componentes do petróleo.⁵¹ No segundo trabalho, os autores utilizaram uma única cepa de *Pseudomonas aeruginosa* na degradação do pireno e, através da determinação dos metabólitos, realizada por cromatografia gasosa, concluíram que este microrganismo utilizou duas rotas distintas para biodegradar o pireno: a rota do naftaleno e do ácido ftálico.⁵² Com isso, demonstrou-se a importância de se conhecer as rotas enzimáticas dos microrganismos no processo de biodegradação de hidrocarbonetos do petróleo e, a partir dessas informações, entender se os metabólitos produzidos serão tóxicos para o meio ambiente.^{51,52}

A avaliação aqui apresentada nesta revisão enfatiza a importância de um estudo bibliométrico como um passo inicial para conhecer as pesquisas mais recentes sobre um tema de interesse científico, na qual são facilmente identificados os principais autores, periódicos e as palavras-chave mais utilizadas. Além disso, mesmo considerando

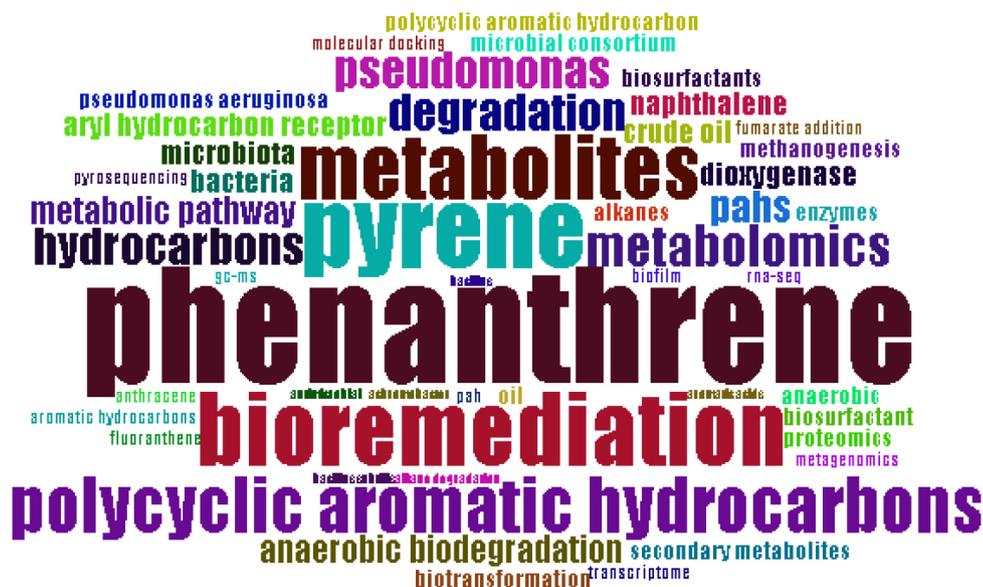


Figura 5. Nuvem de palavras-chave mais citadas no período de 2015 a 2021 relacionadas aos metabólitos do petróleo feito no Biblioshiny

que a metabolômica é relativamente recente, o termo surgiu em 2001, esta análise mostra que esta área está em ascensão e precisa ser mais explorada, principalmente, levando em consideração as questões ambientais envolvidas, em especial, a recuperação de áreas impactadas por derrame de petróleo.

CONCLUSÃO

Com o uso de ferramentas bibliométricas foi possível reunir as principais publicações, nos últimos sete anos (2015-2021), sobre a metabolômica aplicada em estudos de biorremediação de áreas impactadas por hidrocarbonetos. Com o levantamento realizado, foi possível traçar a linha de evolução dos trabalhos sobre os metabólitos secundários dos hidrocarbonetos do petróleo, a fim de coletar referências para a construção de um referencial teórico. Confirmou-se que, atualmente, o interesse em estudos envolvendo os metabólitos a partir da biorremediação tem aumentado nos últimos anos e isso é um bom indicativo de que a metabolômica pode trazer informações mais contundentes sobre a resposta da interação de um microrganismo frente aos compostos tóxicos e, a partir deste ponto, soluções possam ser encontradas para remediar o ambiente de forma mais rápida e eficaz. Todas as informações encontradas nesta pesquisa serviram para apontar quais os autores mais ativos no tema, assim como os periódicos e palavras-chave. Os temas que envolvem o estudo da metabolômica aplicada na biorremediação de ambientes contaminados por hidrocarbonetos do petróleo ainda estão em desenvolvimento, visto que esta é uma nova ferramenta que surgiu no início dos anos 2000, confirmando-se, com o levantamento aqui apresentando, que existe um amplo espaço para aplicação das pesquisas nesta área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Shell Brasil por meio do projeto “Pesquisa em Geomicrobiologia: Biotecnologia Microbiana Aplicada à Biodegradação do Petróleo e Recuperação de Áreas Degradadas do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA) GEOQPETROL - GEOMICRO” ANP 20720-9 e a importância estratégica do apoio dado pela ANP por meio da regulamentação da taxa de P&D. O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES (Código de Financiamento 001). Os autores agradecem, também a

FAPESB (nº BOL0883 / 2017) pela concessão da bolsa de estudos e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- Singh, P.; Borthakur, A.; *J. Cleaner Prod.* **2018**, *196*, 1669. [Crossref]
- Alvarez, P. J.; Vogel, T. M.; *J. Appl. Environ. Microbiol.* **1991**, *57*, 2981. [Crossref]
- Das, N.; Chandran, P.; *Biotechnol. Res. Int.* **2011**, *2011*, 13. [Crossref]
- Peng, C.; Lee, J. W.; Sichani, H. T.; Ng, J. C.; *J. Hazard. Mater.* **2015**, *284*, 10. [Crossref]
- Gao, P.; da Silva, E.; Hou, L.; Denslow, N. D.; Xiang, P.; Ma, L. Q.; *Environ. Int.* **2018**, *119*, 466. [Crossref]
- Deary, M. E.; Ekumankama, C. C.; Cummings, S. P.; *J. Hazard. Mater.* **2016**, *307*, 240. [Crossref]
- Abdel-Shafy, H. I.; Mansour, M. S. M.; *Egypt. J. Pet.* **2016**, *25*, 107. [Crossref]
- Fowles, J. R.; Banton, M. I.; Boogaard, P. J.; Ketelslegers, H. B.; Rohde, A. M.; *Toxicol. Lett.* **2016**, *254*, 52. [Crossref]
- Lima, S. D.; Oliveira, A. F.; Golin, R.; Caixeta, D. S.; Lima, Z. M.; Moraes, E. B.; *Revista Ambiente & Água* **2017**, *12*, 299. [Crossref]
- Wang, Z.; Yang, Y.; Dai, Y.; Xie, S.; *J. Hazard. Mater.* **2015**, *286*, 306. [Crossref]
- Mello, J. M. M.; Brandão, H. L.; Souza, A. A. U.; Silva, A.; Souza, A. M. A. G. U.; *J. Pet. Sci. Eng.* **2010**, *70*, 131. [Crossref]
- Megharaj, M.; Ramakrishnan, B.; Venkateswarlu, K.; Sethunathan, N.; Naidu, R.; *Environ. Int.* **2011**, *37*, 1362. [Crossref]
- Wang, S.; Fang, H.; *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *95*, 150. [Crossref]
- Cole, G. M.; *Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Site*, 1st ed.; Routledge: Florida, 2018.
- Daccò, C.; Girometta, C.; Asemoloye, M. D.; Carpani, G.; Picco, A. M.; Tosi, S.; *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2020**, *147*, 104866. [Crossref]
- Belinato, J. R.; Bazioli, J. M.; Sussulini, A.; Augusto, F.; Fill, T. P.; *Quim. Nova* **2019**, *42*, 5. [Crossref]
- Viant, M. R.; *Mol. Biosyst.* **2008**, *4*, 980. [Crossref]
- Canuto, G. A. B.; Costa, J. L.; Cruz, P. L. R.; Souza, A. R.; Faccio, A. T.; Klassen, A.; Rodrigues, K. T.; Tavares, M. F. M.; *Quim. Nova* **2018**, *41*, 75. [Crossref]
- Sleight, T. W.; Khanna, V.; Gilbertson, L. M.; Ng, C. A.; *Environ. Sci. Technol.* **2020**, *54*, 10735. [Crossref]

20. Zhao, L.; Deng, J.; Sun, P.; Liu, J.; Ji, Y.; Nakada, N.; Qiao, Z.; Tanaka, H.; Yang, Y.; *Sci. Total Environ.* **2018**, *627*, 1253. [Crossref]
21. Andrade, J. A.; Augusto, F.; Jardim, I. C. S. F.; *Eclética Quim. J.* **2010**, *35*, 17. [Crossref]
22. <https://www.scopus.com>, acessada em Março 2022.
23. <https://www.webofknowledge.com>, acessada em Março 2022.
24. Mongeon, P.; Paul-Hus, A.; *Scientometrics* **2016**, *106*, 213. [Crossref]
25. <https://www.r-project.org/>, acessada em Março 2022.
26. Aria, M.; Cuccurullo, C.; *Journal of Informetrics* **2017**, *11*, 959. [Crossref]
27. <https://www.bibliometrix.org/home/>, acessada em Março 2022.
28. Microsoft Excel®, versão 2108; Microsoft Office Professional Plus®, 2016.
29. Gianola, S.; Jesus, T. S.; Bargeri, S.; Castellini, G.; *PLoS One* **2020**, *15*, e0240123. [Crossref]
30. De Sotto, R.; Medriano, C.; Cho, Y.; Seok, K.S.; Park, Y.; Kim, S.; *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2016**, *127*, 127. [Crossref]
31. Petersen, A. M.; Wang, F.; Stanley, H. E.; *Phys. Rev. E* **2010**, *81*, 036114. [Crossref]
32. Kamdem, J. P.; Duarte, A. E.; Lima, K. R. R.; Rocha, J. B. T.; Hassan, W.; Barros, L. M.; Roeder, T.; Tsopmo, A.; *Food Chem.* **2019**, *294*, 448. [Crossref]
33. Antunes, A. A.; *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões* **2015**, *42*, 17. [Crossref]
34. Kamdem, J. P.; Roos, D. H.; Sanmi, A. A.; Calabró, L.; Abolaji, A. O.; Oliveira, C. S.; Barros, L. M.; Duarte, A. E.; Barbosa, N. V.; Souza, D. O.; Rocha, J. B. T.; *Science and Engineering Ethics* **2019**, *25*, 1037. [Crossref]
35. <https://www.scimagojr.com>, acessada em outubro 2021.
36. Vickery, B. C.; *J. Doc.* **1948**, *4*, 198. [Crossref]
37. <https://jcr.clarivate.com>, acessada em outubro 2021.
38. Zhong, J.; Luo, L.; Chen, B.; Sha, S.; Qing, Q.; Tam, N. F.; Zhang, Y.; Luan, T.; *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, *114*, 926. [Crossref]
39. Chen, B.; Huang, J.; Yuan, K.; Lin, L.; Wang, X.; Yang, L.; Luan, T.; *Mar. Pollut. Bull.* **2016**, *105*, 73. [Crossref]
40. Liu, J. F.; Lu, Y. W.; Zhou, L.; Li, W.; Hou, Z. W.; Yang, S. Z.; Wu, X. L.; Gu, J. D.; Mu, B. Z.; *Sci. Total Environ.* **2020**, *746*, 141290. [Crossref]
41. Li, X.; Peng, D.; Zhang, Y.; Ju, D.; Guan, C.; *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2020**, *201*, 110804. [Crossref]
42. Wang, S.; Fang, H.; *Appl. Therm. Eng.* **2016**, *95*, 150. [Crossref]
43. Wang, F.; Li, C.; Wang, H.; Chen, W.; Huang, Q.; *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2016**, *115*, 286. [Crossref]
44. Torres, F. G.; Manzano, L. A. M.; Rineau, F.; Ramos, L. M.; Thijs, S.; Jambon, I.; Put, J.; Czech, J.; Guerra, R. G.; Carleer, R.; Vangronsveld, J.; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2019**, *103*, 7203. [Crossref]
45. Kamyabi, A.; Nouri, H.; Moghimi, H.; *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2018**, *163*, 471. [Crossref]
46. Oliveira, E. H. C.; *Revista Pan-Amazônica de Saúde* **2018**, *9*, 1. [Crossref]
47. Garcia, D. C. F.; Gattaz, C. C.; Gattaz, N. C. A.; *Revista de Administração Contemporânea* **2019**, *23*. [Crossref]
48. Vilela, R. B.; Ribeiro, A.; Batista, N. A.; *Millenium* **2020**, *2*, 29. [Crossref]
49. Liu, Y.; Qu, Y.; Lei, Z.; Jia, H.; *Sustainable Development* **2017**, *25*, 414. [Crossref]
50. Lima, E. J. C.; Pereira, E. F.; Almeida, F. V.; Dórea, J. G.; Souza, J. R.; *Resumos da 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia, Brasil*, 2008.
51. Wang, F.; Li, C.; Wang, H.; Chen, W.; Huang, Q.; *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2016**, *115*, 286. [Crossref]
52. Li, X.; Zhang, X. Y.; Zhou, J.; Song, J.; Wang, J. G.; Yong, X. Y.; Jia, H. H.; *Chin. J. Environ. Sci.* **2018**, *39*, 1794. [Crossref]