



METAL ORGANIC FRAMEWORK (MOF) ORIGEM E TIPOS DE SÍNTESE: UMA REVISÃO

Adriele Sabrina Toderó¹, Fabiana de Oliveira Pereira, Marcelo Luís Mignoni.

¹Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, Brasil,
(adrieletoderó@gmail.com)

Resumo: Em razão do crescimento de pesquisas na literatura envolvendo aplicações com as estruturas metal-orgânicas, ou do inglês, Metal Organic Framework (MOF), este trabalho teve como intuito trazer uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto. Buscou-se apresentar a origem dos MOF's, alguns modelos de síntese, diferentes propriedades e suas características, podendo facilmente possuir diferentes combinações, como: zinco, cobre e grafeno; ou até rotas mais verdes, como: garrafas PET.

Palavras-chave: MOF; Origem; Sínteses; Meio científico.

INTRODUÇÃO

A expansão no meio científico a respeito do estudo das aplicações de estruturas metal-orgânicas (MOF) se deu, principalmente, por meio da publicação de Omar Yaghi e colaboradores sobre o chamado MOF-5, este, formado a partir de nós de Zn_4O com suportes de ácido 1,4-benzodicarboxílico entre os mesmos. Os MOFs podem ser definidos como um grupo de materiais cristalinos porosos, constituídos por íons metálicos ou aglomerados coordenados a ligantes orgânicos. Alguns empregos deste material são para armazenamento e separação de gases, catálise heterogênea, liberação de fármacos, fônica e outras (FREM et al., 2018). Esses materiais possuem características singulares, como sua estrutura porosa altamente definida, notável índice de estabilidade químico-térmica e áreas de superfície excepcionalmente altas fazendo com que possam ser suportes adequados para imobilização enzimática (NADAR; VAIDYA; RATHOD, 2020).

Além disso, os MOFs caracterizam-se por possuírem baixa condutividade térmica e instabilidades em ambientes eletroquímicos, já que, devido sua estrutura de ligações, normalmente são isolantes, dificultando sua aplicação em reações eletrocatalíticas (JIN, 2019). Em contra partida, também devido suas propriedades, como excelente transporte de carga coincidindo com a alta área de superfície e porosidade possibilita a empregabilidade de alguns em diversas áreas, como eletrocatalise, sensores quimiossistivos, supercapacitores, baterias e eletrônicos (LI et al., 2020).

Variando de acordo com a metodologia empregada, pode-se dividir os MOFs em três grupos. Os do primeiro grupo, conhecidos como primeira geração, exibem uma microestrutura bifásica inorgânica e orgânica. O segundo grupo, chamados de segunda

geração são identificados por terem suas superfícies alteradas ou organizadas por grupos funcionais químicos. Por fim, o terceiro grupo, MOFs de terceira geração, possibilitam abrigar em suas microestruturas agentes bioativos, íons, fármacos ou outros tipos de moléculas as quais lhe conferem finalidade específica (SILVA, 2019).

Dentre as sínteses abordadas para a obtenção dos MOFs destaca-se algumas com o emprego de recurso hidro ou solvotérmicos, por meio de aquecimento convencional ou aquecimento induzido utilizando micro ondas, processos mecanoquímicas, métodos ultrassônicos e técnicas eletroquímicas (KONNERTH et al., 2020). Além disso, devido as particularidades dos MOFs, em especial sua porosidade, estudos sobre a atuação dos mesmos sendo aplicados como catalisadores ou suportes de catalisador vem ganhando mais impacto. Sendo assim, entre essas transformações químicas, ressalta-se a polimerização, de forma que os MOFs possam ser empregados com catalisadores em uma reação de etileno mediada por coordenação a polimerizações radicais induzida por luz visível (GOETJEN et al., 2020). Quando ligada a processos sustentáveis e eficientes em questão de energia, recomenda-se que os catalisadores funcionem em condições de reação controlada com alta seletividade e estabilidade, com isso, os materiais derivados de MOF oferecem possibilidades de sínteses de catalisadores competentes para a produção de produtos químicos finos e seus intermediários (KONNERTH et al., 2020).

Em outra pesquisa, foram abordadas as vantagens da aplicação de um MOF à base de cromo para a recuperação de uma resina epóxi. Esta resina consiste em um polímero termofixo que se solidifica quando misturada com um agente catalisador. Neste caso, o acréscimo do MOF ao epóxi, ocasionou no



melhoramento da resistência à decomposição térmica da resina (JOUYANDEH et al., 2020).

Esta revisão tem como objetivo descrever o que a literatura apresenta sobre os MOFs, síntese e aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração desta pesquisa a metodologia utilizada estabeleceu-se por meio de uma análise de revisão narrativa da literatura, buscando artigos científicos, monografias, dissertações, teses e livros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SÍNTESES E APLICAÇÕES

Origem

Os materiais porosos ganham espaço na química reticular, esta, descrita como a química incluída no processo da ligação de unidades de composições moleculares em longas estruturas cristalinas que interagem por meio de fortes ligações originando estruturas altamente porosas (FERREIRA, 2018), um exemplo é conhecido como estruturas metal-orgânicas, ou do inglês e mais popularmente conhecidos, Metal-Organic Frameworks (MOFs). MOFs são descritos, desde 2012, de acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) como “uma rede de coordenação com ligantes orgânicos contendo cavidades potencialmente vazias” (FREM; ARROYOS; FLOR; ALVES; LUCENA; SILVA; COURA, 2018).

Ao que se refere a origem dos MOFs, trabalhos da literatura apresentam o trabalho de Kinoshita e colaboradores, no ano de 1959, como a primeira publicação a respeito destes materiais. O estudo descreveu a síntese e determinação da estrutura cristalina do complexo $[\text{Cu}(\text{ADI})_2](\text{NO}_3)$, formado por íons Cu^+ interligados por adiponitrilas $(\text{NC}(\text{CH}_2)_4\text{CN})$ originando uma rede polimérica similar com a do diamante (FERREIRA, 2018).

Estes primeiros materiais sintetizados, definidos como a primeira geração dos MOFs, eram formados por íons metálicos de transição como vértices da estrutura, e os ligantes como arestas. Entretanto, estes materiais apresentavam colapsos nas suas estruturas quando tentavam-se liberar as moléculas ou átomos adsorvidos dentro das cavidades desses sólidos porosos (THEODOROVIEZ, 2021). Foi então, que de acordo com a grande maioria das pesquisas, o grupo do Prof. Omar M. Yaghi, pela Universidade da Califórnia, ficou conhecido como o real responsável pelo principal parecer elaborado dos MOFs (FERREIRA, 2018). A então conhecida segunda geração dos MOFs apresenta os metais de transição sendo sintetizados utilizando clusters metálicos como vértices, de modo a ampliar a rigidez e a estabilidade

da estrutura (THEODOROVIEZ, 2021). Omar Yaghi descreveu em 1999 a síntese, do agora conhecido como MOF-5. Este material é sintetizado pela conexão de unidades de Zn_4O e ligantes de 1,4-benzenodicarboxilato para formar uma rede cúbica com a fórmula $\text{Zn}_4\text{O}(\text{BDC})_3$ (HAJIASHRAFI; KAZEMI, 2019).

De acordo com dados da “Web of Science” utilizando o termo de busca “Metal-Organic Framework”, desde o ano de 1995 até o presente momento, somam-se cerca de 47.875 trabalhos publicados, nas mais variadas aplicações. Dentre os assuntos presentes na literatura, ressaltam-se artigos de revisão e alguns livros, visando apresentar o design e as sínteses de MOFs, análises estruturais e topológicas, propriedades e aplicações, além de estudos de modelagem molecular (FREM et al., 2018).

Sínteses e tipos de MOF

Para a obtenção dos MOFs, é possível encontrar variadas rotas de síntese. Normalmente estas sínteses originam pós cristalinos com tamanhos de cristalitos alterando de nanômetros para centenas de microns (SILVA, 2019). Dentre as mais comuns, destacam-se as que alteram o solvente, com o intuito de obter determinadas propriedades. Uma forma de metodologia que ocorre em temperatura ambiente é a utilização da trietilamina durante a reação, para adquirir os materiais MOF-5, MOF-74, MOF-177 e MOF-199. Outra opção, é a com adição de líquidos iônicos (LIs), possibilitando a formação de compósitos MOFs + LIs. Além disso, outra possibilidade que está sendo estudada, devido apresentar menor tempo de reação e bons rendimentos é a cristalização da estrutura metal-orgânica por meio de micro ondas (COSTA, 2015). Em todas as diferentes formas de síntese, é necessário atentar-se a alguns parâmetros como pH, concentração, temperatura (normalmente, menor que 250°C), solvente e velocidade de aquecimento e resfriamento (SILVA, 2022).

A literatura apresenta variadas sínteses e aplicações para os metais orgânicos. Na sequência serão apresentados alguns destes trabalhos, como o MOF-5, bio-MOF-1, ZIF-8 e muitos outros. A síntese do MOF-5 merece destaque. Nela os autores descrevem a síntese na qual utilizaram o N, N - dimetilformamida (DMF) de ácido tereftálico com trietilamina e di-hidrato de acetato de zinco para a obtenção do sólido final. Esse material foi obtido em temperatura ambiente e sob agitação (TRANCHEMONTAGNE et al., 2008). Devido sua grande área superficial, o MOF-5 também serviu de estudo para produção em maior escala por meio de reator. O processo ocorreu de forma contínua com o emprego de um reator tanque agitado (CSTR) operando à pressão atmosférica, além disso, os



autores buscaram realizar duas sínteses, cada uma com um solvente diferente, sendo, N, N - dietilformamida (DEF) e DMF. Verificando que é possível fazer um sistema de reação contínua para a produção de MOF-5 e ter um material de alta pureza e alta área de superfície (MCKINSTRY et al., 2016).

Outro trabalho, adaptou a síntese do MOF-5 para uma rota verde, não utilizando solventes orgânicos (BRAZÃO et al., 2020). Um estudo exibiu uma síntese mais ecológica para a obtenção do MOF-74, otimizando também seu custo e tempo. Por meio de proporção estequiométrica, a síntese aplicou ZnO, H₄dhta e água como líquido de moagem (XIAO; LIU, 2019).

Uma metodologia que visa a sustentabilidade e reaproveitamento de materiais, é descrita utilizando resíduos de garrafas PET para materiais Cr-MOF. Estes resíduos atuam como fonte ligante de ácido BDC. O pó verde resultante do processo possibilita produzir materiais MOF suficientes para utilização de armazenamento de hidrogênio (REN et al., 2016).

Seguindo a proposta de rotas mais verdes, a literatura apresenta uma síntese de um bio-MOF-1. O método de síntese utilizado é o solvotérmico, este método também é empregado para a síntese do MOF UiO-66 (DESSIMONE, 2021). Por meio da metodologia do bio-MOF-1 é possível obter também um MOF à base de zinco (II) com adição de ácido acético e piridina como agentes moduladores (ARMANDO, 2022). Além disso, o autor também teve êxito ao realizar a síntese deste MOF empregado o método solvotérmico assistido por micro-ondas. O MOF denominado MIL-100 (Fe) é feito também com o emprego do equipamento de micro-ondas, onde se adquire um sólido avermelhado que passará por secagem em fluxo de N₂ (DESSIMONE, 2021). A respeito do MOF UiO-66, um trabalho conseguiu desenvolver um novo método de síntese, utilizando dióxido de carbono supercrítico (scCO₂). A pesquisa teve êxito ao alcançar um tempo de reação inferior a três segundos, sugerindo a possibilidade de fabricação em grande escala do material (RASMUSSEN et al., 2020).

Devido as diferentes rotas de síntese, pode se obter o MOF[Cu₃(BTC)₂.(H₂O)₃], por meio de uma rota eletroquímica amperométrica (SILVA, 2018). Existem mais sínteses com a utilização do cobre, como a para a obtenção do MOF Cu(BDC) (SILVA, 2019) e também metodologias realizadas em temperatura ambiente, onde é possível substituir o cobre por zinco (SILVA, 2019). Além disso, já existem sínteses com o emprego de CuMOFs e aditivos metálicos, como limalhas de ferro, dióxido de titânio e titanato de bário. Esta síntese procurou manter a sustentabilidade do processo, ou seja, sem aplicar qualquer espécie de solvente (BRÁS, 2021).

Outra publicação, traz a síntese em temperatura ambiente do Zinco (II) combinado ao ligante Fluconazol para a obtenção de um novo MOF (DESSIMONE, 2021). Com o emprego do Zinco é feito o procedimento de obtenção de um MOF com características de prisma hexagonal, aplicando o BTC a mistura que ocorre em temperatura ambiente (LIU et al., 2022). A MOF-205 conta também com a utilização do zinco, para a formação de uma estrutura metal-orgânica dupla porosa, tridimensional. Essa síntese ocorreu de forma rápida devido empregar energia de micro-ondas (BABU et al., 2016).

Por meio de adaptações, um estudo alcançou resultados satisfatórios ao desenvolver uma síntese da MOF-808 pelo método assistido por micro ondas, além de também aplicar durante o processo equipamentos com o ultrassom e moinho de bolas (THEODOROVIEZ, 2021). Ainda na ideia de modificações de metodologia padrões e aplicando também o processo solvotérmico, um estudo descreveu a obtenção da MOF Fe-TP, onde, o intuito era simplificar a técnica e aumentar o rendimento do material. A síntese apresentou resultados satisfatórios quando utilizada para adsorção de gás H₂S (KISTER, 2021). O processo solvotérmico e o reagente DMF também estão presentes na síntese para adquirir o Nd-BTC. Os autores visam aplicar o material como um adsorvente na absorção e adsorção de íons de Césio e Estrôncio em solução aquosa (ASGARI et al., 2019).

Ao contrário da síntese anterior, nesta foi aplicado o reagente BDC, juntamente ao sal estano, onde acarreta no MOF denominado Sn (II)-BDC, sintetizado com o auxílio de autoclaves (GHOSH; DAS, 2020). As autoclaves juntamente com o Teflon também são aplicadas na preparação do Ni-MOF, por meio do processo hidrotérmico em uma solução de mistura com DMF e água (GAO et al., 2018).

Há relatos com utilização de autoclaves e com utilização do processo hidrotérmico. Uma pesquisa para obter o MIL-101(Cr) e adiciona-lo em resinas epóxi para melhorar o seu desempenho térmico (JOUYANDEH et al., 2020) é um exemplo desta metodologia. A aplicação do reagente BDC também está descrita para a síntese do Cu-BDC MOF, material que resulta em um pó azul fino. Este trabalho combinou este produto ao óxido de grafeno e nanotubos de carbono, com o objetivo de investigar suas condições de adsorção dos nanomateriais híbridos elaborados para a remoção da água (AHSAN et al., 2019). O método hidrotérmico está presente também na síntese de obtenção do Mn-MOF-74 (JIANG et al., 2016).

Para o ZIF-8, é possível seguir a metodologia padrão, ou, como foi descrito em trabalhos mais recentes, aplicar rotas sintéticas como mecanoquímica (reator de bolas, sem solvente) e alterar os precursores



metálicos, podendo utilizar nitrato de zinco e brometo de zinco, assim como solventes distintos, podendo ser água, metanol e DMF15 (THEODOROVIEZ, 2021). Ainda sobre a ZIF-8, a literatura apresenta este MOF somado a íons de európio, onde ocorreu melhorias na estabilidade térmica do produto, possibilitando avanços em MOFs com dupla emissão (ROCHA, 2021). Outra ZIF muito presente na literatura é a ZIF-67, podendo ser realizada com uma mistura de água e solvente orgânico em temperatura ambiente. De maneira geral, o procedimento visa solubilizar os íons Co^{2+} e o 2-metilimidazol, obtendo no final uma estrutura cristalina (SILVA, 2021).

Como já descrito anteriormente, o método solvotérmico está muito presente nas sínteses dos metais orgânicos. Outro exemplo, é sua aplicação no preparo do Ni-Co-MOF. Este material possuiu ao final da liofilização uma coloração similar a lavanda e também foi somado ao óxido de grafeno, com o intuito de ampliar ainda mais sua taxa de capacitância de carga (HONG et al., 2019).

A literatura também apresenta outro estudo de MOF somado ao óxido de grafeno, mas neste caso, o reduzido. A síntese para a Zr-MOF, utilizou a composição *in situ* de rGO somada ao cloreto de zircônio (IV), ácido tereftálico e DMF. Com o material final, foi possível verificar que o óxido de grafeno reduzido não interferiu na cristalização do MOF (MUSYOKA et al., 2017). Um estudo apresentou o zircônio (Zr) aplicado a síntese do MOF-808 ou também chamado de Zr-808, por meio do método de irradiação de micro-ondas. Nessa pesquisa, o material foi submetido a testes que possibilitaram observar sua aplicação como adsorvente reutilizável para remoção rápida e de alta eficiência de arsênio da água (LI et al., 2015). Outra possibilidade com o emprego do Zr, é somado ao fumarato, obtendo um produto denominado Zr-fumarato MOF. Esta síntese pode ocorrer em uma temperatura de 120°C, tendo como tempo de reação 24h ou, à temperatura ambiente, ocasionando em uma duração de uma semana (ZAHN et al., 2015).

Em outro trabalho é descrito a metodologia para a obtenção do MOF-525. Nesse estudo o material obteve resultados satisfatórios em aplicações práticas em supercapacitores. Durante esta síntese, um cuidado importante é a respeito dos nanocristais do material. A estratégia usada para controlar o tamanho do cristal de MOF-525 refere-se à quantidade de aditivo modulador, concentrações menores de modulador, fazem com que a nucleação ocorra mais rapidamente, resultando em tamanhos de cristal menores (CHANG et al., 2017).

CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou apresentar um pouco sobre área dos MOFs e assim despertar ainda mais o interesse sobre ela. Por meio desta breve referência bibliográfica foi possível ver inúmeras publicações em diferentes aplicações, assegurando a infinidade das propriedades destes materiais. Os MOFs definidos como grupos de materiais cristalinos porosos, possuem dentre suas características baixa condutividade térmica e instabilidades em ambientes eletroquímicos, além de possibilitarem o emprego em sínteses hidro ou solvotérmicas, por meio de aquecimento convencional ou aquecimento induzido utilizando micro ondas, processos mecanoquímicas, métodos ultrassônicos e técnicas eletroquímicas. Portanto, é fundamental instigar novos grupos de pesquisas a explorarem a classe dos MOFs.

AGRADECIMENTOS

À Capes, CNPq, FAPERGS, URI – Erechim.

REFERÊNCIAS

AHSAN, Md Ariful; JABBARI, Vahid; ISLAM, Md Tariqul; TURLEY, Reagan S.; DOMINGUEZ, Noemi; KIM, Hoejin; CASTRO, Edison; HERNANDEZ-VIEZCAS, Jose Angel; CURRY, Michael L.; LOPEZ, Jorge. Sustainable synthesis and remarkable adsorption capacity of MOF/graphene oxide and MOF/CNT based hybrid nanocomposites for the removal of Bisphenol A from water. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 673, p. 306-317, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.219>.

ALBUQUERQUE, Dantiele Werneck de Souza. Síntese e caracterização do material híbrido metal-orgânico, mg-mof-74, e sua aplicação em membrana polimérica para a captura de CO₂. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Ufrj, Rio de Janeiro, 2015.

ARMANDO, Renan Augusto Marson. Síntese e caracterização de BioMOFs (Biocompatible Metal-Organic Frameworks) de Zn(II) para aplicação em drug delivery de metalofármacos anticancerígenos. 2022. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Unesp, Araraquara, 2022.

ASGARI, P.; MOUSAVI, S.H.; AGHAYAN, H.; GHASEMI, H.; YOUSEFI, T.. Nd-BTC metal-organic framework (MOF); synthesis, characterization and investigation on its adsorption behavior toward cesium and strontium ions. *Microchemical Journal*, [S.L.], v. 150, p. 104188,



nov. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2019.104188>.

BABU, Robin; ROSHAN, Roshith; KATHALIKKATTIL, Amal Cherian; KIM, Dong Woo; PARK, Dae-Won. Rapid, Microwave-Assisted Synthesis of Cubic, Three-Dimensional, Highly Porous MOF-205 for Room Temperature CO₂ Fixation via Cyclic Carbonate Synthesis. *Acs Applied Materials & Interfaces*, [S.L.], v. 8, n. 49, p. 33723-33731, 29 nov. 2016. American Chemical Society (ACS).
<http://dx.doi.org/10.1021/acsami.6b12458>.

BRÁS, Joana Margarida Neves. SÍNTESE SUSTENTÁVEL DE MOFs E SUA APLICAÇÃO COMO CATALISADORES DINÂMICOS. 2021. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química e Biológica, Isel, Lisboa, 2021.

BRAZÃO, Paula Ranielle Barros; ROCHA, Talita da Silva; MENDONÇA, Erika Letícia Varela; ARAÚJO, Antonio Marcos Urbano; NASCIMENTO, Alian Paiva de Arruda; MOURA NETO, Érico; NASCIMENTO, Jarley Fagner Silva. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MOFs UTILIZANDO ÁCIDO 1,4- BENZENODICARBOXÍLICO E ZINCO: nova rota verde hidrotérmica. *Holos*, [S.L.], v. 3, p. 1-10, 3 ago. 2020. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).
<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2020.9823>.

CHANG, Ting-Hsiang; YOUNG, Christine; LEE, Min-Han; SALUNKHE, Rahul R.; ALSHEHRI, Saad M.; AHAMAD, Tansir; ISLAM, Md. Tofazzal; WU, Kevin C.-W.; HOSSAIN, Md. Shahriar A.; YAMAUCHI, Yusuke. Synthesis of MOF-525 Derived Nanoporous Carbons with Different Particle Sizes for Supercapacitor Application. *Chemistry - An Asian Journal*, [S.L.], v. 12, n. 21, p. 2857-2862, 4 out. 2017. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/asia.201701082>.

COSTA, Gabriela de Carvalho. Estudo teórico-experimental de metal-organic frameworks (mofs) e líquidos iônicos aplicados na captura e separação de gases. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Unifal, Alfenas, 2015.

DESSIMONE, Mariana Laise. Desenvolvimento de MOF-fármaco e seus nanocompósitos multifuncionais com hidróxidos duplos lamelares

(HDL) de interesse terapêutico. 2021. 121 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Química, Unesp, Araraquara, 2021.

FERREIRA, Gabriel Fernandes. A química das redes metal-orgânicas e seu potencial em questões ambientais. 2018. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Ufsj, São João Del-Rei, 2018.

FREM, Regina; ARROYOS, Guilherme; FLOR, Jader; ALVES, Renata; LUCENA, Guilherme; SILVA, Caroline; COURA, Mariana. MOFs (METAL-ORGANIC FRAMEWORKS): uma fascinante classe de materiais inorgânicos porosos. *Química Nova*, [S.L.], v. 41, n. 10, p. 1178-1191, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170285>.

GAO, Shuwen; SUI, Yanwei; WEI, Fuxiang; QI, Jiqiu; MENG, Qingkun; HE, Yezeng. Facile synthesis of cuboid Ni-MOF for high-performance supercapacitors. *Journal Of Materials Science*, [S.L.], v. 53, n. 9, p. 6807-6818, 12 jan. 2018. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10853-018-2005-1>.

GHOSH, Arnab; DAS, Gopal. Green synthesis of Sn(II)-BDC MOF: preferential and efficient adsorption of anionic dyes. *Microporous And Mesoporous Materials*, [S.L.], v. 297, p. 110039, maio 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110039>.

GOETJEN, Timothy A.; LIU, Jian; WU, Yufang; SUI, Jingyi; ZHANG, Xuan; HUPP, Joseph T.; FARHA, Omar K.. Metal-organic framework (MOF) materials as polymerization catalysts: a review and recent advances. *Chemical Communications*, [S.L.], v. 56, n. 72, p. 10409-10418, 2020. Royal Society of Chemistry (RSC).
<http://dx.doi.org/10.1039/d0cc03790g>.

HAJIASHRAFI, Shirin; KAZEMI, Negar Motakef. Preparation and evaluation of ZnO nanoparticles by thermal decomposition of MOF-5. *Heliyon*, [S.L.], v. 5, n. 9, set. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02152>.

HONG, Jihwa; PARK, Soo-Jin; KIM, Seok. Synthesis and electrochemical characterization of nanostructured Ni-Co-MOF/graphene oxide composites as capacitor electrodes. *Electrochimica*



Acta, [S.L.], v. 311, p. 62-71, jul. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2019.04.121>.

JIANG, Haoxi; WANG, Caixia; WANG, Huiqin; ZHANG, Minhua. Synthesis of highly efficient MnOx catalyst for low-temperature NH3-SCR prepared from Mn-MOF-74 template. Materials Letters, [S.L.], v. 168, p. 17-19, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2015.12.150>.

JIN, Song. How to Effectively Utilize MOFs for Electrocatalysis. ACS Energy Letters, [S.L.], v. 4, n. 6, p. 1443-1445, 14 jun. 2019. American Chemical Society (ACS).
<http://dx.doi.org/10.1021/acseenergylett.9b01134>.

JOUYANDEH, Maryam; TIKHANI, Farimah; SHABANIAN, Meisam; MOVAHEDI, Farnaz; MOGHARI, Shahab; AKBARI, Vahideh; GABRION, Xavier; LAHEURTE, Pascal; VAHABI, Henri; SAEB, Mohammad Reza. Synthesis, characterization, and high potential of 3D metal-organic framework (MOF) nanoparticles for curing with epoxy. Journal Of Alloys And Compounds, [S.L.], v. 829, p. 154547, jul. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154547>.

KISTER, Jocacia Murieli de Oliveira Miranda. AVALIAÇÃO DE COMPOSTO METALORGÂNICO CONTENDO FERRO E ÁCIDO TEREFTÁLICO COMO ADSORVENTE EM SISTEMA SÓLIDO-LÍQUIDO E SÓLIDO-GÁS: INOVAÇÃO PARA SOLUÇÕES AMBIENTAIS. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Ufpr, Apucarana, 2021.

KONNERTH, Hannelore; MATSAGAR, Babasaheb M.; CHEN, Season S.; PRECHTL, Martin H.G.; SHIEH, Fa-Kuen; WU, Kevin C.-W.. Metal-organic framework (MOF)-derived catalysts for fine chemical production. Coordination Chemistry Reviews, [S.L.], v. 416, p. 213319, ago. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213319>.

LAHEURTE, Pascal; VAHABI, Henri; SAEB, Mohammad Reza. Synthesis, characterization, and high potential of 3D metal-organic framework (MOF) nanoparticles for curing with epoxy. Journal Of Alloys And Compounds, [S.L.], v. 829, p. 154547, jul. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154547>.

LI, Wen-Hua; DENG, Wei-Hua; WANG, Guan-E; XU, Gang. Conductive MOFs. Energychem, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 100029, maio 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enchem.2020.100029>.

LI, Zong-Qun; YANG, Ji-Chao; SUI, Ke-Wen; YIN, Na. Facile synthesis of metal-organic framework MOF-808 for arsenic removal. Materials Letters, [S.L.], v. 160, p. 412-414, dez. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2015.08.004>.

LIU, Nana; LIU, Xiaoguang; PAN, Junqing. A new rapid synthesis of hexagonal prism Zn-MOF as a precursor at room temperature for energy storage through pre-ionization strategy. Journal Of Colloid And Interface Science, [S.L.], v. 606, p. 1364-1373, jan. 2022. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2021.08.105>.

MCKINSTRY, Colin; CATHCART, Russell J.; CUSSEN, Edmund J.; FLETCHER, Ashleigh J.; PATWARDHAN, Siddharth V.; SEFCIK, Jan. Scalable continuous solvothermal synthesis of metal organic framework (MOF-5) crystals. Chemical Engineering Journal, [S.L.], v. 285, p. 718-725, fev. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.10.023>.

MIGNONI, Marcelo Luis. Zeólitas obtidas com líquidos iônicos como direcionadores de estrutura: síntese e reatividade. 2012. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Ufrgs, Porto Alegre, 2012.

MUSYOKA, Nicholas M.; REN, Jianwei; LANGMI, Henrietta W.; NORTH, Brian C.; MATHE, Mkhulu; BESSARABOV, Dmitri. Synthesis of rGO/Zr-MOF composite for hydrogen storage application. Journal Of Alloys And Compounds, [S.L.], v. 724, p. 450-455, nov. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.07.040>.

NADAR, Shamraja S.; RATHOD, Virendra K.. Magnetic-metal organic framework (magnetic-MOF): a novel platform for enzyme immobilization and nanozyme applications. International Journal Of Biological Macromolecules, [S.L.], v. 120, p. 2293-2302, dez. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.126>.

NADAR, Shamraja S.; VAIDYA, Leena; RATHOD, Virendra K.. Enzyme embedded metal organic



framework (enzyme–MOF): de novo approaches for immobilization. *International Journal Of Biological Macromolecules*, [S.L.], v. 149, p. 861-876, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.240>.

RASMUSSEN, Elizabeth G.; KRAMLICH, John; NOVOSSELOV, Igor V.. Scalable Continuous Flow Metal–Organic Framework (MOF) Synthesis Using Supercritical CO₂. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, [S.L.], v. 8, n. 26, p. 9680-9689, 3 jun. 2020. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01429>.

REN, Jianwei; DYOSIBA, Xoliswa; MUSYOKA, Nicholas M.; LANGMI, Henrietta W.; NORTH, Brian C.; MATHE, Mkhulu; ONYANGO, Marice S.. Green synthesis of chromium-based metal-organic framework (Cr-MOF) from waste polyethylene terephthalate (PET) bottles for hydrogen storage applications. *International Journal Of Hydrogen Energy*, [S.L.], v. 41, n. 40, p. 18141-18146, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.040>.

ROCHA, Thiago Rodrigo da. ESTUDO DA PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, ESTRUTURAIS E FOTOFÍSICAS DE COMPOSTOS DE COORDENAÇÃO DE DUPLA EMISSÃO BASEADOS EM ZIF-8 DOPADO COM EURÓPIO. 2021. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Ufal, Maceió, 2021.

SILVA, José Ewerton da. PREPARAÇÃO DE MOFS VIA ELETROQUÍMICA E SUA APLICAÇÃO COMO FASE ESTACIONÁRIA PARA ISOLAMENTO DE VOLÁTEIS PELA TÉCNICA DE HEADSPACE. 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais., Ufpe, Recife, 2019.

SILVA, Joyce Gabriella Dias da. Desenvolvimento de acabamento têxtil antimicrobiano utilizando eco-mof. 2019. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Utfpr, Apucarana, 2019.

SILVA, Leonardo Lima e. A elaboração de um texto de divulgação científica sobre metal organic frameworks para o ensino de química. 2022. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Unesp, Araraquara, 2022.

SILVA, Luciara Costa da. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE REDES METALORGÂNICAS E A BUSCA PELA ATIVIDADE BIOMIMÉTICA TIPO PEROXIDASE. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Ucs, Caxias do Sul, 2021.

SILVA, Renata Pereira da. SÍNTESE ELETROQUÍMICA DA ESTRUTURA METAL-ORGÂNICA DE [Cu₃(BTC)₂.(H₂O)₃]_n E SUA APLICAÇÃO EM BIOSSENSORES E MEIO AMBIENTE. 2018. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Ufrpe, Recife, 2018.

SILVA, Viviane Viana. SISTEMAS CARREADORES DE LIBERAÇÃO A BASE DE REDES METALORGÂNICAS (METAL ORGANIC FRAMEWORKS - MOFS) PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS. *Saúde e Meio Ambiente, Três Lagoas*, v. 9, n. 2, p. 1-16, 13 jul. 2019.

THEODOROVIEZ, Lucas Bitencourt. O papel da funcionalização de MOFs (Metal-Organic Frameworks) para a melhoria da eficiência e seletividade de adsorção de metais pesados. 2021. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Unesp, Araraquara, 2021.

TRANCHEMONTAGNE, David J.; HUNT, Joseph R.; YAGHI, Omar M.. Room temperature synthesis of metal-organic frameworks: mof-5, mof-74, mof-177, mof-199, and irmof-0. *Tetrahedron*, [S.L.], v. 64, n. 36, p. 8553-8557, set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tet.2008.06.036>.

XIAO, Tong; LIU, Dingxin. The most advanced synthesis and a wide range of applications of MOF-74 and its derivatives. *Microporous And Mesoporous Materials*, [S.L.], v. 283, p. 88-103, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.03.002>.

ZAHN, Gesa; SCHULZE, Hendrik Albert; LIPPKE, Jann; KÖNIG, Sandra; SAZAMA, Uta; FRÖBA, Michael; BEHRENS, Peter. A water-born Zr-based porous coordination polymer: modulated synthesis of zr-fumarate mof. *Microporous And Mesoporous Materials*, [S.L.], v. 203, p. 186-194, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.10.034>