

UTILIZAÇÃO DE ADSORVENTES PARA REMOÇÃO DE COMPOSTOS FARMACÊUTICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO

USE OF ADSORBENTS FOR REMOVAL OF PHARMACEUTICAL COMPOUNDS IN WATER TREATMENT: A REVIEW

Rafaela Gamba Pimentel¹; Natália Rezende²; Cláudia Telles Benatti³; Sandro Rogério Lautenschlager⁴; Rosangela Bergamasco⁵

1. Engenheira Ambiental e Sanitarista. Aluna de Pós-Graduação, nível mestrado, em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá (UEM). rafaelagpimentel@gmail.com
2. Engenheira Ambiental. Aluna não regular no Programa de Pós-Graduação, nível mestrado, em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá (UEM). nati.rezende.p@gmail.com
3. Engenheira Civil. Professora Dra. do Departamento de Engenharia Civil e Pós graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM). ctbenatti@uem.br
4. Engenheiro Civil. Professor Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Pós graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM). srlager@uem.br
5. Engenheira Química. Professora Dra. do Departamento de Engenharia Química e Pós graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM). ro.bergamasco@hotmail.com

RESUMO

O acesso à água é essencial a manutenção da vida dos seres humanos, entretanto mesmo sendo indispensável, a própria atividade antrópica a torna poluída. Faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas alternativas que sejam eficientes na remoção de poluentes, de fácil implementação e possuam viabilidade econômica, dentre tais alternativas o processo de adsorção apresenta-se como uma boa solução. A adsorção consiste na separação de uma fase fluida denominada adsorvato, por meio de uma fase sólida porosa denominada adsorvente, que possui características para aderir uma das espécies que estavam contidas na fase fluida inicialmente, tal capacidade dos adsorventes varia dependendo das características dos materiais, da extensão das alterações químicas, e da concentração de adsorvato. Os compostos farmacêuticos são substâncias amplamente presentes na sociedade moderna, produzidos para atingirem rotas metabólicas de seres humanos e animais, causam por consequência efeitos colaterais, tais produtos estão sendo encontrados no ambiente em níveis que variam de ng L^{-1} a $\mu\text{g L}^{-1}$, assim sendo conhecidos como contaminantes emergentes. O objetivo deste artigo foi analisar os trabalhos realizados dos últimos dez anos presentes nas principais bases de dados, para a obtenção de um levantamento qualitativo dos materiais publicados. Para tal, foram realizadas pesquisas quanto a utilização de diferentes adsorventes para a remoção de compostos farmacêuticos da água. Além disso, também foram verificados os melhores materiais e condições para execução deste método de tratamento.

PALAVRAS CHAVE

Adsorção; Água para consumo; Fármacos; Nanomateriais.

ABSTRACT

Access to water is essential for the maintenance of life for human beings, however, even though it is essential, human activity itself makes it polluted. It is necessary to develop alternative techniques that are efficient in removing pollutants, easy to implement and have economic feasibility, among such alternatives the adsorption process presents itself as a good solution. Adsorption consists of the separation of a fluid phase called adsorbate, through a porous solid phase called adsorbent, which has characteristics to adhere to one of the species that were initially contained in the fluid phase. This capacity of the adsorbents varies depending on the characteristics of the materials, extent of chemical changes, and adsorbate concentration. Pharmaceutical compounds are substances widely present in modern society, produced to reach the metabolic pathways of humans and animals, and consequently cause side effects, such products are being found in the environment at levels ranging from ng L^{-1} to $\mu\text{g L}^{-1}$, thus being known as emerging contaminants. The aim of this article was to analyze the work carried out in the last ten years present in the main databases, in order to obtain a qualitative survey of the published materials. To this end, research was carried out on the use of different adsorbents for the removal of pharmaceutical compounds from water. In addition, the best materials and conditions for carrying out this treatment method were also verified.

KEY WORDS

Adsorption; Drinking water; Drugs; Nanomaterials.

1. INTRODUÇÃO

O acesso à água é essencial a manutenção da vida dos seres vivos e para atender as necessidades básicas dos seres humanos, assim como o desenvolvimento de suas atividades econômicas, culturais e de lazer. Contudo, ainda que a água seja indispensável, a atividade antrópica pode torná-la poluída e imprópria para uso (Sana et al., 2020).

Ademais, de acordo Nishi et al. (2011), a contaminação dos recursos hídricos tem se constituído em fator de risco para a saúde da população, com a água assumindo importante papel como fonte de transmissão de doenças.

Alguns exemplos de processos eficientes na remoção de poluentes são: adsorção, membranas, osmose reversa, precipitação, tratamentos eletroquímicos e troca iônica (Dan et al., 2021).

Entretanto, os tratamentos convencionais alcançam mínimas remoções para os contaminantes dissolvidos e em concentrações muito baixas, tais como os fármacos, seus metabolitos e produtos de transformação no meio aquático (Gracia-lor et al., 2012).

Desta forma, é necessário desenvolver técnicas alternativas, que proporcionem eficiência na remoção de poluentes mesmo em baixas concentrações, facilidade de implementação e que propiciem reduzidos custos de operação, como é o caso da adsorção (Schmitz et al., 2021).

Embora diferentes abordagens tenham suas vantagens inerentes, uma das abordagens mais conhecidas é a adsorção, devido ao seu baixo custo e facilidade de operação (Quesada et al., 2019; Shen et al., 2019).

Ademais, a adsorção apresenta vantagens significativas quando comparadas com outros métodos de tratamento, que além da facilidade e viabilidade econômica, dispõe de flexibilidade na sua aplicação, desempenho versátil e baixo consumo energético associado (Oliveira, 2020).

Entretanto, a capacidade dos adsorventes varia dependendo das características dos materiais, da extensão das alterações químicas, e da concentração de adsorvato, assim, certas modificações no material também podem melhorar a afinidade e a capacidade de adsorção (Babel e Kurniawan, 2003).

Isto posto, este trabalho visa averiguar os trabalhos já realizados utilizando diferentes adsorventes na remoção de compostos farmacêuticos na obtenção de água para consumo humano, a fim de realizar uma síntese dos melhores materiais e condições para tal finalidade.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa visa verificar a eficiência de diferentes adsorventes, a fim de encontrar uma opção eficaz e economicamente viável para remoção de compostos farmacêuticos de águas de abastecimento, e que durante o processo, não agridam o meio ambiente.

O estudo abrangeu um levantamento qualitativo de artigos publicados nos últimos 10 anos com a problemática envolvendo a poluição hídrica por compostos farmacêuticos. Sendo realizadas pesquisas nas principais bases de dados nacionais e internacionais para se obter uma visão mais ampla sobre o assunto.

Foi realizada uma investigação de diferentes materiais adsorventes viáveis para aplicação em estações de tratamento de água. Foi verificada a remoção de diferentes compostos, com boa eficiência e custo benefício, a fim de que sejam de interesse das Estações de Tratamento de Água (ETAs) para implantarem o processo em suas instalações.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INDÚSTRIA FARMACÊUTICA E SEUS COMPOSTOS

Entre os setores industriais, a cadeia farmacêutica é uma das mais inovadoras e uma das mais rentáveis em escala global (Pinto e Barreiro, 2013). E as estatísticas mostram que a indústria

farmacêutica vem se consolidando cada vez mais. Em 2017 houve um aumento de 5,2% em sua produção, em 2019, esse valor foi de 9,25%, e em 2020, alcançou um crescimento de 12,13%.

Diante disso, os compostos farmacêuticos acabam sendo substâncias amplamente presentes na sociedade moderna (Junior, 2020). Eles estão classificados como contaminantes emergentes, o que conforme a Agência de Proteção Ambiental (EPA), são compostos químicos sem estatuto regulamentar, na qual o impacto sobre o meio ambiente e saúde humana e animal são pouco compreendidos (KUHL, souza e hamm, 2021).

Portanto, os efeitos que os micropoluentes emergentes (MEs) podem ter sobre a vida selvagem e a saúde humana não são totalmente conhecidos, mas alguns estudos mostraram que eles podem atuar como substâncias desreguladoras endócrinas (DEs) (WARING, R.H., HARRIS, R.M., 2005).

Eles possuem uma natureza tóxica, carcinogênica e mutagênica, podendo ocasionar grandes problemas com relação à saúde pública e às questões ambientais (Supong et al., 2019). E podem ser encontrados no ambiente em níveis de concentração que variam de ng L^{-1} a $\mu\text{g L}^{-1}$ (Nikolaou et al., 2007; Björlenius et al., 2018).

Ademais, estes compostos são produzidos para atingir órgãos ou rotas metabólicas e moleculares específicas tanto nos humanos como em animais (Konzen, 2018). Por conseguinte, causam frequentemente efeitos colaterais importantes, como por exemplo, a indução de processos fisiológicos anormais e deficiência reprodutiva, aumento da incidência de câncer e o desenvolvimento de bactérias resistentes a antibióticos (HASHIM et al., 2021).

3.2 PRESENÇA DE COMPOSTOS FARMACÊUTICOS NA ÁGUA POTÁVEL

A presença de compostos farmacêuticos no meio ambiente e seus efeitos adversos têm se tornado um tema de interesse científico nos últimos anos, o primeiro trabalho sobre a presença de drogas em águas residuais tratadas foi relatado ainda em 1970 nos Estados Unidos, por Hignite e Azarnoff (Correia e Marcano, 2016). Contudo, de acordo com Cervantes et al. (2017), essa temática só passou a ser mais abordada no início da década de 1990, porque até então ainda havia dificuldade na determinação da presença desses micropoluentes orgânicos em concentrações baixas nas águas superficiais ou subterrâneas.

Essa contaminação dos ecossistemas aquáticos por resíduos farmacêuticos intensificou-se nos últimos anos, devido ao aumento da produção e ao consumo massivo de medicamentos pela população a nível mundial (Leal, 2020). Fator agravado pelo fato de que muitos países, como por

exemplo, o Brasil, não possuem nenhuma legislação estabelecida que regulamente o descarte e controle desta classe de contaminante.

Além disso, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), assim como as Estações de Tratamento de Água (ETAs), possuem uma baixa eficiência de remoção destes compostos (Hughes et al., 2013; Nikolaou et al., 2007), ou ainda, de acordo com Massariol (2019), quando não são absorvidos pelo corpo e conseqüentemente são eliminados nos esgotos domésticos, levando estes compostos a entrarem em contato com as águas de abastecimento.

Ademais, ao permanecerem biologicamente ativos nos corpos d'água, os compostos farmacêuticos são capazes de atravessar as membranas biológicas e atingir células e tecidos, o que pode desencadear efeitos indesejáveis em organismos não alvos e à saúde humana (CARVALHO, 2021).

3.3 ADSORÇÃO

No tratamento de água há diferentes métodos que podem ser utilizados. Alguns exemplos de processos que podem ser eficientes para isso, são: adsorção, membranas, osmose reversa, precipitação, tratamentos eletroquímicos e troca iônica (DAN et al., 2021). E dentre estes processos, é a adsorção que vem se destacando nos últimos anos.

A adsorção consiste na separação de uma fase fluida, chamada de adsorvato, por meio de uma fase sólida porosa, denominada adsorvente. Essa é uma técnica de remoção de massas, em que um composto em fase líquida é removido para a fase sólida, em virtude da característica dos adsorventes de absorver substâncias em solução (Ross e Possetti, 2017).

É um processo de baixo custo, simples operação e que não gera subprodutos perigosos, devido a deposição do contaminante na superfície do adsorvente (Sajid et al., 2018). Isto porque a técnica não apresenta a necessidade de uma grande área física para sua aplicação, caracterizando-a por ser uma técnica relativamente rápida e total remoção da molécula do contaminante, não deixando nenhum subproduto tóxico no efluente (Dilarri et al., 2016).

Diante de tais características, a técnica está associada a diversas práticas, como controle de poluição, purificação de líquidos, separação de gases, dissecantes e catálise, sendo um dos métodos mais eficientes e acessíveis no tratamento de água (Soares, 2017). Portanto, os processos de adsorção estão se tornando cada vez mais uma abordagem atraente para o tratamento de água, especialmente

se o adsorvente for barato e não necessitar de uma etapa de pré-tratamento antes de sua aplicação (Crini, 2006).

O método já provou ser superior a outras técnicas para uma variedade de razões, incluindo a simplicidade do design, baixo custo, alta eficiência de remoção, facilidade de operação e disponibilidade (Mohammed et al., 2011). Entretanto, não é qualquer material que possui esta capacidade. O adsorvente a ser utilizado deve possuir seletividade para aderir uma das espécies que estavam contidas no adsorvato inicialmente (Ali; Assim; Khan, 2012; Sá et al., 2017).

3.4 ADSORVENTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Geralmente, processos de adsorção podem reduzir significativamente os custos de capital, custos operacionais e custos totais de tratamento em comparação com os sistemas convencionais de tratamento de água (Abdolali et al., 2014). Diante disso, diversos materiais têm sido estudados a fim de encontrar condições ótimas de operação, financeiras e de compatibilidade com o meio ambiente (Carolin et al., 2017; Sajid et al., 2018; Tien, 2019).

E para o sucesso do processo, os adsorventes devem apresentar algumas características fundamentais, como grande área superficial, alta seletividade, cinética favorável entre o adsorvente e o adsorvato, estabilidade térmica e química e baixa ou nenhuma solubilidade, dureza e força mecânica para evitar o estrangulamento dos poros e a erosão das partículas, sem tendência de realizar reações químicas indesejáveis e apresentar baixo custo (Blanco, 2017). Por isso, sua seleção deve levar em consideração fatores como: acessibilidade do material, periculosidade, carbono e teor de oxigênio, resistência à abrasão, estabilidade térmica, diâmetro dos poros e a alta capacidade de adsorção e regeneração (Ali et al., 2012; Quesada et al., 2019).

Dentre os adsorventes mais utilizados no mercado hoje, podemos citar as argilas, o carvão ativado, óxido de grafeno e algumas partes de plantas ou outros materiais com alto teor de carbono, como resíduos de frutas e biomassas. E de acordo com Arakawa et al. (2019), nanopartículas compostas por elementos como prata (Ag), zinco (Zn), níquel (Ni), ferro (Fe) e platina (Pt) têm atividade antibacteriana e pode ser usado em diversas áreas, como o campo médico, processamento de alimentos, catálise e tratamento de água.

4. RESULTADOS

Foram selecionados sete artigos recentes, publicados nos últimos dez anos, a respeito da temática do tratamento de água para remoção de compostos farmacêuticos através da adsorção, que foram exemplificados na tabela a seguir (Tabela 1). Entre os estudos analisados, o carvão ativado e o óxido de grafeno foram os compostos mais utilizados para a adsorção.

Tabela 1. Artigos encontrados nas bases de dados sobre o tema, analisados no presente estudo.

Autores	Adsorvente	Poluente
Paredes, E. et al. (2016)	Areia e carvão ativado granular	18 diferentes micropoluentes orgânicos
Sarker, M.; Song, J. Y.; Jhung, S. H. (2017)	Compósito sintetizado a partir de Óxido de Grafeno e Cromo	Naproxeno e cetoprofeno
Liu, W. et al. (2019)	Estrutura orgânica de metal à base de Cu	Diclofenaco sódio, cloridrato de clorpromazina e dicloridrato de amodiaquina
Varga, M. et al. (2019)	Carvão ativado	Diclofenaco, naproxeno e carbamazepina
Polonio, E. F. et al. (2020)	Carvão ativado	Acetaminofeno, cafeína e ibuprofeno
Souza, R. M. et al. (2021)	Casca de soja modificada	diclofenaco de potássio em casca de soja modificada
Vidovix, T. B. et al. (2019)	Casca de coco de babaçu	Bisfenol A
Werkne et al. (2021)	Nanopartículas de Ag e CuO decoradas com óxido de grafeno e carvão ativado	Cefalexina

Fonte: Autor

Paredes e colaboradores (2016) avaliaram biofiltros de areia e carvão ativado como pós tratamento para remoção de 18 micropoluentes orgânicos, sendo três antiflogísticos, quatro antibióticos, um antidepressivo, um antiepilético, um tranquilizante, três fragrâncias de almíscar e cinco compostos endócrino desreguladores. Foi possível observar que a adsorção de matéria orgânica e amônio foram eficazes com o carvão ativado e areia, enquanto nitrato foi removido apenas com o carvão ativado.

No estudo de Sarker e colaboradores (2017) foram utilizados compósitos de estrutura metal-orgânica, altamente porosa, sintetizados pela combinação de MIL-101 com óxido de grafeno para a adsorção de drogas anti inflamatórias como naproxeno (NAP) e cetoprofeno (KTP) da água. Sendo considerado de fácil síntese, eficiente adsorção e possibilidade de reutilização, o compósito foi considerado um promissor adsorvente.

Na investigação dos fatores que influenciam a adsorção, Liu e colaboradores (2019) analisaram a remoção de três compostos farmacêuticos diclofenaco de sódio, cloridrato de clorpromazina e amodiaquina dihidroclorato, além de produtos de higiene pessoal, utilizando-se de uma estrutura orgânica de metal à base de Cu (II) estável em água. Os resultados mostraram que a adsorção do diclofenaco de sódio foi quase dez vezes melhor em comparação aos outros compostos, indicaram também os parâmetros que influenciaram na adsorção sendo concentração inicial, tempo de contato, temperatura, pH, bem como segue a isoterma de Freundlich.

Varga e colaboradores (2019) analisaram a adsorção por carvão ativado granular para a remoção de diclofenaco, naproxeno e carbamazepina de matrizes aquosas, os dados obtidos foram avaliados aplicando diferentes modelos de isotermas de adsorção. Neste trabalho chegou-se à conclusão de que a disponibilidade dos poros dos grânulos foi um dos principais fatores que influenciam a adsorção, entre outros fatores as características físico-químicas das moléculas (melhor ajuste nos poros, flexibilidade da estrutura molecular e presença de anéis aromáticos condensados) foram os mais importantes.

Em 2020, Ferrer-Polonio e colaboradores analisaram a remoção de três fármacos, sendo paracetamol, cafeína e ibuprofeno, através da combinação de um tratamento biológico com adsorção por carvão ativado. Como resultado foi possível observar que a adsorção foi significativa apenas para o paracetamol, sendo removido totalmente após cinco horas de reação, já a remoção da cafeína foi de apenas 1,9% e para ibuprofeno 5,6%, entretanto o sistema híbrido promoveu um efluente livre de compostos farmacêuticos.

Souza e colaboradores (2021) utilizaram a casca de soja, após tratamento térmico, como adsorvente para avaliar a remoção de diclofenaco de potássio em amostras de água, bem como os fatores que influenciam na adsorção. O estudo apontou o adsorvente como eficaz, demonstrando alta capacidade de adsorção do diclofenaco de potássio, indicando alto potencial e baixo custo para utilização.

Schmitz e colaboradores em 2021, avaliaram a remoção do corante azul de metileno utilizando o carvão ativado impregnado com o óxido de grafeno, chegando a conclusão de que o adsorvente apresentou eficiência na remoção do composto como também reduziu o tempo de equilíbrio na operação, assim indicando potencial de redução de custos operacionais para o processo.

5. CONCLUSÃO

Considerando o cenário atual, devido a pandemia que está afetando o mundo todo, a indústria farmacêutica vem sendo um dos setores que mais cresce, e conseqüentemente, que gera efluentes. Efluentes que possuem alta carga orgânica e muitas vezes não passam por um tratamento adequado antes de serem lançados no corpo hídrico.

Em consequência, estes compostos permanecem na água coletada para abastecimento, onde o tratamento convencional realizado nas estações de tratamento de água (ETAs) não realiza uma remoção eficaz, por isso, o estudo de métodos, como a adsorção, é de suma importância para eliminar estes poluentes e melhorar a qualidade da água consumida.

E conforme exposto no tópico anterior, já há estudos mostrando a eficácia dos adsorventes para remover compostos farmacêuticos da água potável, entretanto, ainda há a necessidade mais investigações referentes a implantação deste processo nas ETAs, visto que, existem diferentes materiais e portanto, diferentes condições como: quantidade de adsorventes e de adsorvato, pH, temperatura e tempo de contato para realizar a técnica de modo eficiente.

REFERÊNCIAS

- Abd-Elhamid, A.I. et al. 2019. Evaluation of graphen e oxide-activated carbon as effective composite adsorbent toward the removal of cationic dyes: Composite preparation, characterization and adsorption parameters. *Journal of Molecular Liquids*, v. 279, p. 530-539, Alexandria.
- Abdolali, A., Guo, W.S., Ngo, H.H., Chen, S.S., Nguyen, N.C., & Tung, K.L. 2014. Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review. *Bioresour. Technol.* 160, 57–66.

Andrade, Murilo Barbosa. 2021. Desenvolvimento e avaliação de adsorventes magnéticos produzidos à partir de óxido de grafeno e nanopartículas de óxido de ferro, zinco e cobalto para a remoção de cafeína e ácido diclorofenoxiacético de solução aquosa. Dissertação submetida à Universidade Estadual de Maringá como parte integrante para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.

Andrijanto, E. et al. 2018. Preparation of Graphene Oxide Sand Composites as Super Adsorbent for Water Purification Application. MATEC Web of Conferences, v. 156, p. 1–5.

Arakawa, F. S. et al. 2019. Activated carbon impregnation with ag and cu composed nanoparticles for escherichia coli contaminated water treatment. Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 97, n. 9, p. 2408–2418, Maringá - PR.

Babel, S.; Kurniawan, T. A. 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. Journal of Hazardous Materials, v. 97, n. 1–3, p. 219–243.

Björlenius, B. et al. 2018. Pharmaceutical residues are widespread in Baltic Sea coastal and offshore waters – Screening for pharmaceuticals and modelling of environmental concentrations of carbamazepine. Science of The Total Environment, v. 633, p. 1496-1509. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.276>>

Buss, M. V. et al. 2015. Tratamento dos Efluentes de Uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento. Revista de Engenharia Civil IMED, v. 2, n. 1, p. 2–10.

Correia, A.; Marcano, L. 2016. Evaluación de las rutas de entrada de compuestos farmacéuticos de uso doméstico al ambiente caso estudio: municipio Valencia, estado Carabobo, Venezuela. Rev. Int. Contam. Ambient, v. 32, n. 1, p. 77-86, Naguanagua - México.

Crini, G.; Peindy, H. N. 2006. Adsorption of C.I. basic blue 9 on cyclodextrin-based material containing carboxylic groups. Dyes and Pigments, v. 70, p. 204-211.

Dan, Y.; Xu, L.; Qiang, Z.; Dong, H.; Shi, H. 2021. Preparation of green biosorbent using rice hull to preconcentrate, remove and recover heavy metal and other metal elements from water, Chemosphere, v. 262.

Daza, Rudy Roxana Ayala; Vieira, Palmir Ponte; Valverde, Jhonny. 2020. Reduction of organic and biological pollutants from affluents of the Ancón wastewater treatment plant using microanobubbles of air and graphene. Journal of Nanotechnology, vol. 4, no 1, pp. 1-7.

Dilari, G.; De Almeida, É. J. R.; Pecora, H. B.; Corso, C. R. 2016. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of Saccharomyces Cerevisiae (Meyen). Water, Air & Soil Pollution, v. 227.

Domingues, L. F. et al. 2021. Produção De Carvão a Partir Da Casca De Laranja Ativado Com Cloreto De Cálcio (CaCl₂) E Sua Aplicação Em Tratamento De Água Contaminada Com Nitrato (NO³⁻)/ Production of Charcoal From Orange Peel Activated With Calcium Chloride (CaCl₂) and Its Applicatio. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 404–413.

Dreyer, D. R. et al. 2010. The chemistry of graphene oxide. Chemical Society Reviews, v. 39, n. 1, p. 228–240.

- Ferreira, Regiane Cristina. 2013. Dissertação submetida à de Mestrado Universidade Estadual de Maringá como parte integrante do para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.
- Ferrer-Polonio, Eva; Fernández-Navarro, Julián; Iborra-Clar, María-Isabel; Alcaina-Miranda, María-Isabel; Mendoza-Roca, José Antonio. 2020. Removal of pharmaceutical compounds commonly found in wastewater through a hybrid biological and adsorption process. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 263, p. 110368.
- Filho, R. W. R.; Barreiro, J. C.; Vieira, E. M.; Cass, Q. B. 2007. Fármacos, ETEs e corpos hídricos. *Revista Ambiente & Água*, v. 2, n. 3, p. 54–61.
- Fraga, T. J. M.; et al. 2019. Ancoragem de óxido de grafeno-amino-funcionalizado em carvão de resíduo de madeira e sua aplicação na adsorção do azul de metileno. 10º Forum Internacional de Resíduos Sólidos. João Pessoa - PB.
- Geda, O. M. R. N. D. 2006. Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas da produção de milho. Dissertação (Mestrado Engenharia do Ambiente). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Geim, A. K.; Novoselov, K. S. 2007. The Rise of Graphene. *Nature Materials*, vol. 6, p.183-191.
- Gomide, R. 1988. Operações Unitárias: operações de transferência de massa. Vol. 4. Edição do autor. São Paulo.
- Gracia-Lor, E. et al. 2012. Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the spanish mediterranean area of valencia. *Chemosphere*. v. 87, p. 453-462. 2012.
- Hughes, S.R., Kay, P., Brown, L.E. 2013. Global synthesis and critical evaluation of pharmaceutical data sets collected from river systems. *Environ. Sci. Technol.* 47:661–677. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/es3030148>>.
- Hummers, W. S.; Offeman, R. E. 1958. Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, n. 6, p. 1339.
- Jacovone, Raynara Maria Silva. 2020. Estudo do comportamento eletroquímico do óxido de grafeno reduzido/Ni sintetizado por radiação ionizante. Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear. São Paulo.
- Konzen, R. D. A. 2018. Aplicação De Carvão Pulverizado E Óxido De Grafeno Na Remoção De Bisfenol a Da Água. p. 81.
- Kuhl, G. O.; Souza, F. S.; Hamm, J. S. 2021. Avaliação da adsorção do fármaco Atenolol em sedimentos de fundos coletados no Arroio Esteio/RS. *Geomae, Campo Mourão*, v.12, n.1, p.158-171, Campo Mourão - PR. Disponível em: <<https://doi.org/10.33871/21783306.2021.12.1.158-171>>
- Kunz, A. et al. 2002. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Quimica Nova*, v. 25, n. 1, p. 78–82.
- Leal, A. P. B. 2020. Fármacos em Águas Residuais: Análise, Remoção e Biorecuperação. Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

- Lima, D. R. S. 2013. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos de águas naturais por clarificação associada à adsorção em Carvão Ativado em pó. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Ouro Preto - MG.
- Liu, Weicong; Shen, Xin; Han, Yaoyao; Liu, Zhaohui; Dai, Wei; Dutta, Archisman; Kumar, Abhinav; Liu, Jianqiang. 2019. Selective adsorption and removal of drug contaminants by using an extremely stable Cu(II)-based 3D metal-organic framework. *Chemosphere*, v. 215, p. 524-531.
- Maia, L. F. O. 2019. Avaliação toxicológica e remoção de mercúrio em águas contaminadas e residual de mineração da bacia do rio doce usando nano adsorventes de FEOOH modificado quimicamente. Tese – (Programa de Pós-Graduação em Multicêntrico em Química). Universidade federal dos vales do jequitinhonha e mucuri. Teófilo Otoni – MG.
- Marin, Priscila. 2017. Remoção de flúor utilizando adsorventes comerciais e um novo material sintetizado à base de grafeno. Dissertação submetida à Universidade Estadual de Maringá como parte integrante do para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.
- Mohammed, F. M.; Roberts, E. P. L.; Hill, A.; Campen, A. K.; Brown, N. W. 2011. Tratamento contínuo da água por adsorção e regeneração eletroquímica. *Water Research*, 45 (10), 3065–3074. Disponível em: <doi.10.1016 / j.watres.2011.03.023>.
- Nishi, L. et al. 2011. Coagulação / Flocculação com Sementes de Moringa oleifera Lam para Remoção de Cistos de Giardia spp. e Oocistos de Cryptosporidium spp. da água. 3º International Workshop Advances in Cleaner Production, p. 1–9.
- Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Zhang, Y., Dubonos, S. V.; Grigorieva, I. V.; Firsov, A. A. 2004. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science* 306, p. 666–669.
- Oliveira, A. B. F. 2020. Potencial de reutilização de lamas de ETA para remoção de sulfatos Caso de estudo: ETA de Santa Águeda. Tese de mestrado(Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa.
- Paredes, L.; Fernandez-Fontaina, E.; Lema, J.M.; Omil, F.; Carballa, M. 2016. Understanding the fate of organic micropollutants in sand and granular activated carbon biofiltration systems. *Science Of The Total Environment*, v. 551-552, p. 640-648.
- Pastrana-Martínez, L. et al. 2020. Nanotubos e grafeno: os primos mais jovens na família do carbono! *Lcm*, v. 128, p. 21–27, 2013. Dissertação submetida ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- Pinto, A. C.; Barreiro, E. J. 2013. Desafios da indústria farmacêutica brasileira. *Química Nova* [online], v. 36, n. 10, pp. 1557-1560. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000012>.
- Quesada, H. B.; Baptista, A. T. A.; Cusioli, L. F.; Seibert, D.; Bezerra, C. O.; Bergamasco, R. 2019. Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review, *Chemosphere*, v. 222, p. 766-780.
- Ross, B. Z. L; Possetti, G. R. C. 2020. Tecnologias potenciais para o saneamento. Remoção de metais de água de abastecimento público. Ed. 1, v. 2, Curitiba-PR, 2018. RUDI, N, N et al. Evolution of adsorption process for manganese removal in water via agricultural waste adsorbents. *Heliyon*, v. 6, n. 9.

- Sá, A.; Abreu, A. S.; Moura, I.; Machado, A. V. 2017. Polymeric materials for metal sorption from hydric resources. In: Water Purification. Academic Press, p. 289-322.
- Samartini, M. M. P. 2017. Aplicação de grafeno e nanocompósitos de grafeno na remoção de compostos orgânicos aromáticos de matriz aquosa: uma revisão. Dissertação apresentada à Universidade do Estado do Rio de Janeiro como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.
- Sana, F.; Muzammal, M.; Rehman, A.; Ali Rustam, S.; Shehzadi, Z.; Mehmood, A.; Waqar, M. 2020. Water pollution of heavy metals and its effects on fishes. International. Journal of Fisheries and Aquatic Studies, v. 8, n. 3, p. 6-14.
- Sarker, Mithun; Song, Ji Yoon; Jhung, Sung Hwa. 2018. Adsorptive removal of anti-inflammatory drugs from water using graphene oxide/metal-organic framework composites. Chemical Engineering Journal, v. 335, p. 74-81;
- Schmitz, Ana Paula et al. 2021. Estudo da cinética de adsorção do carvão ativado impregnado com óxido de grafeno. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.1, p10732-10743.
- Segundo, J. E. D. V.; Vilar, E. O. 2016. Grafeno: uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 11, n. 2, p. 54-57.
- Silva, Maryne Patricia da. 2021. Desenvolvimento de fotocatalisador à base de grafeno funcionalizado para a degradação de corante têxtil. Dissertação submetida à Universidade Federal de Pernambuco como parte integrante do para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.
- Soares, V. C. 2017. Avaliação das propriedades adsorptivas de carvões ativados produzidos via tratamento termoquímico convencional e não convencional com vistas à remoção de cádmio em meio aquoso. Tese de mestrado (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - BH.
- Souza, Renata Mariane De; Quesada, Heloise Beatriz; Cusioli, Luís Fernando; Fagundes-Klen, Márcia Regina; Bergamasco, Rosângela. 2021. Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) by agro-industrial by-product with chemical and thermal modification: adsorption studies and mechanism. Industrial Crops And Products, [S.L.], v. 161, p. 113200.
- Tambosi, J.L. 2008. Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos de degradação através de tecnologias avançadas de tratamento. (Tese) Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 141 f.
- Varga, Margit; Elabadsa, Mohammed; Tatár, Enikő; Mihucz, Victor G. 2019. Removal of selected pharmaceuticals from aqueous matrices with activated carbon under batch conditions. Microchemical Journal, [S.L.], v. 148, p. 661-672.
- Vidovix, T. B. et al. 2019. Bisfenol A adsorption using a low-cost adsorbent prepared from residues of babassu coconut peels. Environmental Technology (United Kingdom), v. 42, n. 15, p. 2372-2384, Maringá - PR. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1701568>>
- Waring, R.H., Harris, R.M. 2005. Endocrine disrupters: a human risk? Mol. Cell. Endocrinol. 244 (2), 2-9.

Wernke, G. et al. 2021. Ag and CuO nanoparticles decorated on graphene oxide/activated carbon as a novel adsorbent for the removal of cephalexin from water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 627, Maringá - PR. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127203>>

Yamaguchi, N. U.; Bergamasco, R.; Hamoudi, S. 2016. Magnetic MnFe₂O₄-graphene hybrid composite for efficient removal of glyphosate from water. *Chemical Engineering Journal*, v. 295, p. 391–402.