

CONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES POR AMOXILINA: CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS E MÉTODOS EFICAZES DE REMOÇÃO

*CONTAMINATION OF EFFLUENTS WITH AMOXICILLIN: ENVIRONMENTAL
CONSEQUENCES AND EFFECTIVE METHODS OF REMOVAL*

VALDEMIR FONSECA DA SILVA¹
DELMIRA BEATRIZ WOLFF²
ELVIS CARISSIMI³

Recebido em 17/04/2022
Aprovado em: 25/06/2022

RESUMO

Por décadas consecutivas, tem se observado uma intensificação na poluição gerada pelas atividades humanas. Todos os dias são lançados efluentes, se não in natura, parcialmente tratados nos corpos hídricos receptores, causando sérios danos ao meio ambiente, sendo que dentre estes, os fármacos acabam trazendo uma grande preocupação, uma vez que, podem ser resistentes inclusive aos processos convencionais de tratamento de efluentes, o que acaba alertando para a problemática da falta de tratamento adequado para os mesmos. Este trabalho bibliográfico fez um levantamento de 38 artigos os quais passaram por uma severa seleção restando apenas 12 trabalhos que se encaixaram nos pré-requisitos estabelecidos para a realização deste estudo, o objetivo foi observar a literatura e realizar uma análise dos métodos de tratamento de efluentes utilizados para remoção e degradação do antibiótico do grupo β -lactâmicos, amoxicilina. Grande parte dos estudos selecionados desenvolveu suas análises em efluentes contaminados artificialmente, esses experimentos utilizaram-se das técnicas de adsorção, processos oxidativos avançados (POAs), *wetlands*, *Biorreator* com membranas submersas, filtro de carvão ativado e hidrólise. É importante ressaltar que cada artigo aqui utilizado operou com técnicas bastante particulares, sendo este o principal motivo dos diferentes resultados encontrados em métodos bastante semelhantes. A análise demonstrou que, dentre os métodos observados, apenas o processo tradicional de oxidação com reagente Fenton, e o método de remoção por Hidrólise Alcalina, com pH de 12,5 em 60 minutos atingiram a excelência de 100% da remoção do antibiótico. No outro extremo, observou-se que a técnica de remoção do antibiótico por meio de *wetlands* construídos atingiu a remoção mínima de 15% e o POA com fotólise natural em tempo de 360 minutos com remoção de 24%.

219

¹ Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Mestrando em engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Valdemir.fonseca@acad.ufsm.br

² Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. Delmirawolff@hotmail.com

³ Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria. ecarissimi@gmail.com

Os números encontrados apontam a importância de combinar os métodos de tratamento de esgoto para alcançar uma maior pureza do efluente que será lançado no ambiente.

Palavras-chave: Tratamento de efluente; Remoção; Amoxicilina.

ABSTRACT

For consecutive decades there has been an intensification of pollution generated by human activities, effluents are discharged every day, if not in nature, partially treated in the receiving water bodies, causing serious damage to the environment, among which, the drugs end up bringing a great concern, since they can be resistant even to conventional effluent treatment processes, which ends up alerting to the problem of the lack of proper treatment for them. This bibliographic work made a survey of 38 articles which underwent a severe selection, leaving only 12 works that fit the prerequisites established for this study, the objective was to observe the literature and perform an analysis of the effluent treatment methods used for removal and degradation of the beta lactam group antibiotic, amoxicillin. Most of the selected studies developed their analysis on artificially contaminated effluents, these experiments used the techniques of adsorption, advanced oxidative processes, *wetlands*, bioreactor with submerged membranes, activated carbon filter and hydrolysis. It is important to note that each article used here, operated with very particular techniques, this being the main reason for the different results found in very similar methods. Analysis showed that among the observed methods, only the traditional oxidation process with fenton reagent, and the Alkaline Hydrolysis removal method, with a pH of 12.5 in 60 minutes, reached the excellence of 100% of the antibiotic removal. At the other extreme, it was observed that the antibiotic removal technique by means of constructed *wetlands*, reached a minimum removal of 15% and the POA with natural photolysis in 360 minutes with removal of 24%. The numbers found point to the importance of combining sewage treatment methods to achieve greater purity of the effluent that will be released into the environment.

Keywords: Effluent treatment; Removal; Amoxicillin.

Introdução

Ao longo dos séculos, as atividades humanas têm gerado poluentes e causado danos ao meio ambiente, sendo isso um dos principais motivos de preocupação para atual sociedade. De todos os bens ambientais disponíveis à humanidade, os recursos hídricos estão entre os principais, pois são indispensáveis à vida, desta forma, estes recursos têm recebido uma atenção especial, haja vista os inúmeros danos causados pelo lançamento de poluentes orgânicos e inorgânicos no ambiente (KÜMMERER, 2001a; KÜMMERER, 2001b; KHETAN & COLLINS, 2007; LIM & FOX, 2013).

Os fármacos são fabricados para serem resistentes e preservarem sua natureza química a fim de cumprir seu propósito terapêutico, entretanto, estima-se que da dosagem utilizada, em torno de 50% a 90% é eliminado sem qualquer alteração nas suas características, persistindo, assim, no meio ambiente (BILA; DEZOTTI, 2003).

Os antibióticos são uma classe importante de medicamentos e, devido à sua atividade biológica específica, são causadores de um impacto ambiental significativo. A partir da década de setenta, o mundo voltou sua atenção para a presença desses fármacos no meio ambiente, mas foi só em meados dos anos noventa, com a intensificação do uso desses medicamentos e o desenvolvimento de novas tecnologias de análise, que a sua presença passou a causar uma certa preocupação. Isso se deu pelo fato de que vários desses compostos foram encontrados em efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e em águas superficiais e subterrâneas em concentrações na faixa de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1} em vários países (ANDREOZZI et al., 2004; LOPES, 2014; COSTA JUNIOR et al., 2014; MELO et al., 2009; LONGHIN, 2008).

Considerando-se estudos de exposição ambiental, concentrações de antibióticos na faixa de $\text{ng-}\mu\text{g L}^{-1}$ foram encontrados em esgoto bruto na Itália, em estações de tratamento de efluentes (ETE) na França, Grécia, Suécia e Suíça, o mesmo aconteceu em águas subterrâneas na Alemanha, e em águas superficiais nos EUA (GOLET et al. 2001; STALKELBERG et al. 2004; KOLPIN et al. 2002).

Atualmente, muito tem se discutido sobre os riscos e os impactos dos antibióticos no meio ambiente, e a capacidade de remoção ou destruição dessas substâncias por meio de sistemas de tratamento de efluentes, uma vez que estes fármacos apresentam alta toxicidade para bactérias ambientais, o que a longo prazo leva ao desenvolvimento de espécies bacterianas resistentes, tornando o medicamento ineficaz no tratamento de algumas doenças, além da baixa biodegradabilidade, não sendo possível ainda

determinar o efeito crônico que a exposição em seres humanos e animais pode acarretar e também como remover por meio dos métodos convencionais essas substâncias no tratamento de esgoto doméstico e industrial; sendo assim, o problema deixa de ser apenas ambiental, passando a ser também um problema de saúde pública (TERNES, 1998; HERNANDO et al., 2006; HOMEM, 2011; PLEITER et al., 2013).

As principais rotas de contaminação dos antibióticos ao meio ambiente são oriundas da utilização deliberada, seja por via oral ou por meio de injeção, na qual a parcela do medicamento não aproveitada pelo organismo é eliminada por excreção, além do descarte de medicamentos vencidos ou que já não são mais utilizados no esgoto ou no lixo comum (CARVALHO et al., 2009).

Conforme observado na Tabela 1, os dados divulgados em 2018, no relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), apontam que o Brasil supera a média da Europa, Canadá e Japão em número de doses de antibióticos consumidas. Nesta análise, foi utilizado como indicador o número de doses diárias (DD) consumidas para cada mil habitantes. Sendo que no Brasil esse índice ficou em 22 DD para cada mil habitantes, colocando o País como o 19º maior consumidor de antibióticos entre as 65 nações pesquisadas. Na figura 1, pode ser observado que o relatório ainda conclui que a amoxicilina é o antibiótico mais utilizado na América e está entre os mais utilizados em todo o mundo.

222

Tabela 1
Consumo total de antibióticos de acordo com o sistema de classificação ATC / DDD⁴

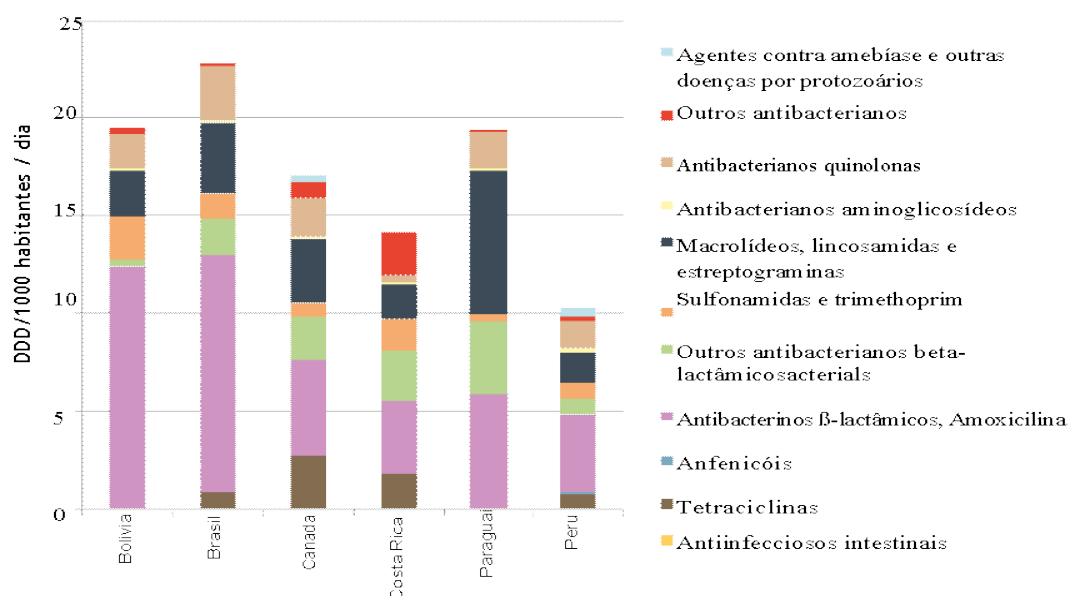
CLASSIFICAÇÃO	PAÍS	DDD / 1000 HABITANTES POR DIA
1º	Mongólia	64,41
2º	Irã	38,78
3º	Peru	38,18
4º	Sudão	35,29
5º	Grécia	33,85
6º	Sérvia	31,57
7º	Montenegro	29,33
8º	Romênia	28,5
9º	República da Coreia	27,68
10º	Tanzania	27,29
11º	Chipre	27,14
12º	Itália	26,62
13º	França	25,92
14º	Bélgica	25,57

⁴ Químico Terapêutico Anatómico (ATC) e valores de dose diária definida (DDD) subjacentes ao cálculo do consumo de antimicrobianos (versão 2019 ATC / DDD).

15º	Georgia	24,44
16º	Eslováquia	24,34
17º	Polônia	24,3
18º	Irlanda	23,27
19º	Brasil	22,75
20º	Nova Zelândia	22,68

Fonte: Adaptado pelo autor com base na OMS, 2018.

Figura 1
Consumo de antibióticos (DDD por 1000 habitantes por dia) por subgrupo farmacológico em seis países da Região das Américas (2015)



Fonte: OMS, 2018.

Como a presença deste antibiótico no meio ambiente é evidente, têm-se então a busca por soluções que visem evitar a disseminação deste problema. Na literatura, é possível encontrar métodos de degradação ou remoção para o tratamento de águas contaminadas com amoxicilina, portanto, o objetivo deste trabalho é fazer uma revisão de literatura sobre os métodos de tratamentos de efluentes contaminados pelo antibiótico amoxicilina e a eficiência de cada um deles na biodegradação do contaminante.

Metodologia

Para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, baseada na análise de estudos em forma de livros, artigos e literatura cinzenta, publicados em plataformas, disponíveis na internet e que possibilitaram que este trabalho estivesse devidamente fundamentado.

Acesso geral: <https://ojs.uva.br/index.php/revista-aquila>

Licença Copyleft: Atribuição-Uso não Comercial-Vedada a Criação de Obras Derivadas



Foram utilizados como critérios de inclusão para esta revisão artigos indexados escritos na língua portuguesa e inglesa, nas bases das plataformas de pesquisa do *Science Direct*, *Scopus* e *Periódicos Acadêmicos*. A busca foi realizada de duas formas, primeiro utilizou-se as seguintes palavras-chave: “emerging pollutants”, “poluentes emergentes”, “Amoxicillin”, “Amoxicilina”, “pharmaceuticals removal”, “remoção de fármacos”, “penicilina”, “penicillin”, “wastewater treatment”, “tratamento de água contaminada”, “industrial effluents treatment”, “Tratamento de efluentes industriais”, “ecotoxicological effects”, “efeitos ecotoxicológicos”.

Após selecionar a literatura pelas palavras-chave, foi feita a triagem por meio da leitura do título, palavras-chave e resumo, selecionando apenas os trabalhos que continham informações referentes ao tratamento de efluentes contendo amoxicilina.

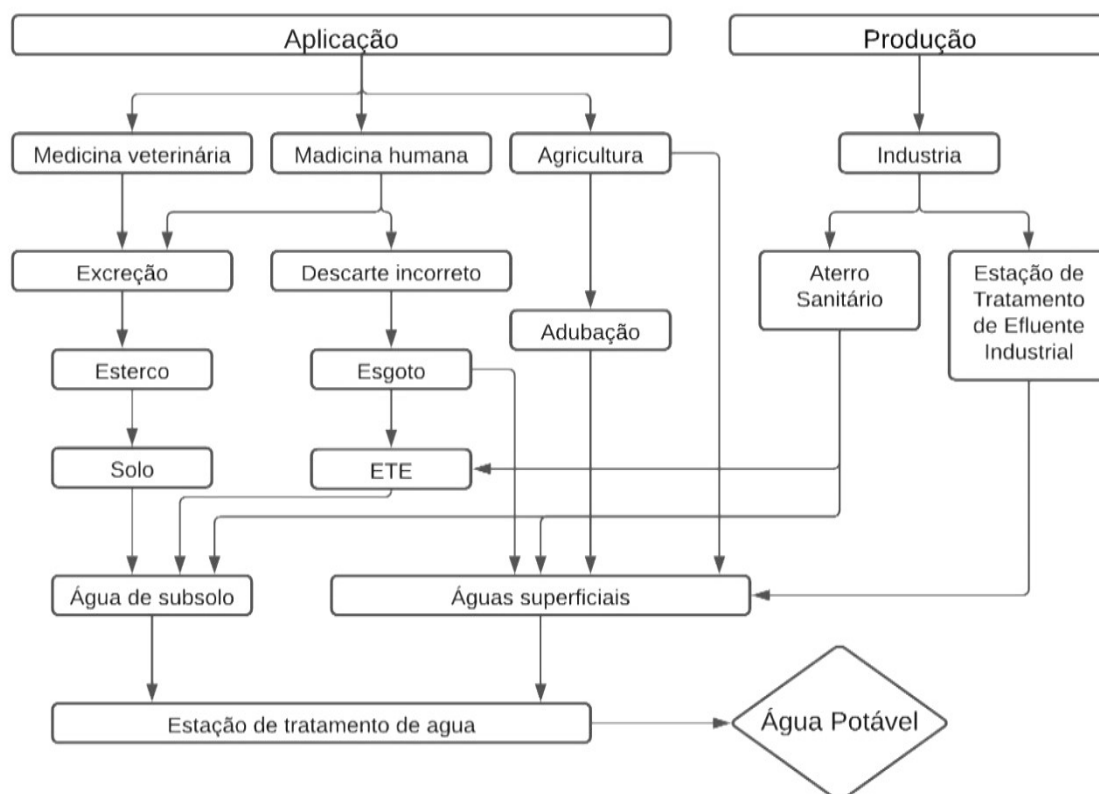
Foi realizada uma segunda avaliação, com o intuito de excluir referências em duplicata. Por fim, realizou-se a leitura dos artigos de forma integral e foram excluídos aqueles que apresentaram informações divergentes ao tema proposto neste estudo.

Ocorrência dos fármacos no ambiente

Rota de contaminação

Com o crescente aumento da utilização, não só humana, como também animal, os fármacos têm ganhado maior atenção da comunidade científica, e sua destinação final, tem sido alvo recorrente de estudos científicos. Diversas pesquisas têm demonstrado que há resquícios de fármacos em estações de tratamento de efluentes e nas águas naturais. Por meio do fluxograma da Figura 2, é possível visualizar parte da rota da contaminação provocada pelos fármacos, desde sua origem, até alcançarem os recursos hídricos. Nota-se que sua entrada no ambiente ocorre a partir de fontes diversas, das quais destacam-se os esgotos hospitalares, esgotos domésticos, áreas de irrigação adubadas com lodo de ETE, produção industrial, lixiviação de aterros, resíduos sanitários.

Figura 2
Fluxograma da destinação de fármacos após sua utilização e produção



Fonte: Adaptado de Bila; Dezotti (2003).

Na figura 2, é possível observar que a rota da contaminação da água por meio dos fármacos ocorre pelo conjunto de interações entre o resíduo contaminado e meio ambiente, sendo que o contaminante, em muitos casos, acaba chegando até o solo sem que tenha ocorrido qualquer tipo de tratamento e posteriormente para o lençol freático, ou então passa pelo tratamento na ETE, porém ineficaz para a remoção do contaminante, e de qualquer forma acaba atingindo as fontes de abastecimento de água potável. Ao longo deste percurso, ainda há uma exposição de inúmeros organismos aos contaminantes, acarretando a circulação dos resíduos de fármacos em diversos níveis tróficos. Na indústria farmacêutica, que possui um grande potencial poluidor, o que se observa é a ausência ou em muitos casos ineficiência de tratamento de efluentes, podendo, dessa forma, destinar substâncias químicas no meio ambiente. Estudos realizados não só no Brasil, como nos Estados Unidos e Europa, trazem à tona a detecção de fármacos na faixa de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1} , em águas residuais municipais, águas superficiais, subterrâneas e em menor medida em água potável (DESCHAMPS et al., 2012; BORRELLY et al., 2012; CUNHA et al., 2016).

Os efeitos da presença do contaminante no meio ambiente têm sido observados por meio de estudos, nos quais se apresentou a existência de bactérias que já desenvolveram resistência a maioria ou a todos os antibióticos atualmente utilizados; tais organismos sofreram mutações resultantes da exposição aos resíduos desses fármacos (OMS, 2014).

Estudos afirmam que, das doses de fármacos ingeridas, uma parte pequena, que pode variar de 10-20% é absorvida pelo organismo, a maior parte é expelido em sua composição original no meio ambiente, ou pode ainda ser metabolizado e excretado em forma de fezes e urina que, por sua vez, acabam tendo como destino as ETE, ou em alguns casos diretamente os cursos hídricos. Outra possibilidade que pode ocorrer é a de que este resíduo fármaco encontrado nos recursos hídricos tenha sua origem direta na indústria de farmacêutica que, por muitas vezes, tem um tratamento ineficiente para remoção do poluente (BOUND e VOULVOULIS, 2004).

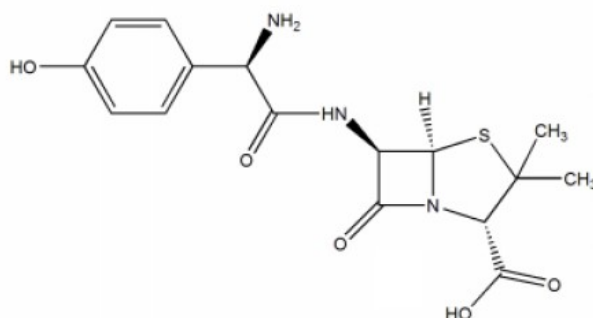
Dentre os fármacos, a classe que mais traz preocupação nas questões ambientais é a dos antibióticos, dos quais destaca-se neste estudo a amoxicilina que, de acordo com a OMS, é um dos mais utilizados não só no Brasil, como no mundo (OMS, 2018).

Amoxicilina

226

Um fármaco, antibiótico, da classe dos β -lactâmicos, considerado uma penicilina semissintética, diferenciado da ampicilina pela presença da hidroxila em vez do hidrogênio, chamado de amoxicilina, foi desenvolvido pelo laboratório Beecham em 1960, tornou-se disponível apenas em 1972, tendo sido desenvolvido para combater as bactérias patogênicas por meio da destruição da parede celular dos micro-organismos, sendo a segunda aminopenicilina a chegar ao mercado depois da Ampicilina em 1961, na figura 3, é possível observar a estrutura molecular da amoxicilina. Por apresentar-se no grupo amino, seu espectro de ação é amplo, possuindo maior biodisponibilidade, em relação à ampicilina, possuindo também uma melhor absorção após administração por via oral, atingindo concentrações duas vezes mais elevadas no sangue do que a ampicilina. Esses fatores, aliados a um baixo custo e poucos efeitos colaterais, tornou a amoxicilina um dos medicamentos mais utilizados e conhecidos, sendo um dos antibióticos mais prescritos para crianças (KOROLKOVAS e FRANÇA, 2008; THUROW, 2015).

Figura 3
Fórmula molecular da amoxicilina



Fonte: Vicentin, 2019.

Pan et al. (2008) confirmaram em seu estudo que, mesmo quando há baixas incidências da amoxicilina no ambiente aquoso, são registrados danos como efeitos tóxicos para algas e micro-organismos neste meio, portanto, o efeito negativo está atrelado a qualquer quantidade de contaminante presente.

Métodos de análise

Para mitigar os impactos da amoxicilina no ambiente e nos seres vivos, é importante identificar a presença do contaminante nos recursos hídricos, para a partir daí escolher o método mais adequado de remoção ou de degradação do fármaco no efluente. A Tabela 2 traz um breve levantamento bibliográfico das metodologias utilizadas para análise e para comprovação da presença destes resíduos, realizados antes de qualquer forma de tratamento.

Tabela 2
Métodos de análise da presença de amoxicilina em efluentes

MÉTODOS DE ANÁLISE	AUTOR
Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detecção por Ultravioleta (HPLC- UV)	WAGNER et al.(2017)
Cromatografia Líquida com espectrômetro de massa (LC-MS/MS <i>Agilent series G1100</i>)	ABBASSI et al. (2016)
<i>DQO - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1989)</i>	PACHAURI et al. (2009)
Espectrofotometria UV - vis (<i>CE-7400, Cecil</i>)	GHOLAMI et al. (2012)
Cromatografia Líquida com espectrômetro de massa (LC-MS/MS <i>Agilent series G1100</i>)	ELMOLLA e CHAUDHUR. (2010)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Resultados e discussão

Os artigos utilizados nesta pesquisa foram selecionados da seguinte maneira: na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico nas plataformas do *Science Direct*, *Scopus*, além de Periódicos Acadêmicos, o primeiro critério foi o uso das palavras-chave “emerging pollutants”, “poluentes emergentes” “Amoxicillin”, “Amoxicilina”, “pharmaceuticals removal”, “remoção de fármacos”, “penicilina”, “penicillin”, “wastewater treatment”, “tratamento de água contaminada”, “industrial effluents treatment”, “Tratamento de efluentes industriais”, “ecotoxicological effects”, “efeitos ecotoxicológicos”, nesta fase foram selecionados 38 artigos. Na segunda etapa, foi feita a triagem destes por meio de uma leitura rápida das palavras-chave dos artigos, e do título, aqueles que apresentassem as palavras tratamento, antibiótico, amoxicilina ou efluente no título, seguiram para a próxima fase da seleção, destes apenas 24 seguiram para a terceira e última fase, na qual foi realizada a leitura do resumo de cada um dos artigos selecionados, sendo que os trabalhos que eram compatíveis com o propósito do presente estudo seguiram para análise de seus resultados, os selecionados frente a tais critérios estão apresentados na tabela 3.

228

Tabela 3
Trabalhos filtrados após a seleção

IDENTIFICAÇÃO	TÍTULO	AUTOR	MÉTODO DE REMOÇÃO	LOCAL
A	Estudo da remoção do antibiótico amoxicilina em meio Aquoso: utilização da perlita expandida e casca de pistache in natura como adsorventes	Bruna Martins Vicentin (2019).	Adsorção	Pato Branco PR
B	Remoção de antibióticos de águas residuais urbanas por otimização de áreas úmidas construídas.	María Hijosa-Valsero et al (2011).	CWs	León - Espanha Alemanha
C	Remoção do antibiótico amoxicilina por <i>Biorreator</i> com Membrana operado em regime de pré-desnitrificação: Avaliação do desempenho, identificação de subprodutos e Análises ecotoxicológicas	Milena Emy Matsubara (2018)	<i>Biorreator</i> com membranas submersas	Santo André SP

D	Remoção do antibiótico amoxicilina por <i>Biorreatores</i> com membranas submersas (MBRs)	Milena Emy Matsubara; Lúcia Helena Gomes coelho; Eduardo Lucas subtil (2017)	<i>Biorreator</i> com membranas submersas	Santo André - SP
E	Tecnologias Alternativas de Remoção de Antibióticos de Águas Contaminadas	Vera Maria Ferreira da Cruz Homem (2011)	POA com reagente de Fenton	Porto
F	Utilização de bentonita como adsorvente na remoção do Antibiótico amoxicilina em efluentes	Pricila de Souza Araújo (2019)	Adsorção com Bentonita	João Pessoa – PB
G	Aplicação de processos oxidativos Avançados para o tratamento de Efluente da produção de antibióticos	Rafaela Brito Portela Marcelino (2014).	POAs	Belo Horizonte - MG
H	Degradação do antibiótico Amoxicilina em efluente de indústria Farmacêutica	Olívia Maria de Sousa Ribeiro Vasconcelos (2011).	POA com o reagente de Fenton.	Belo Horizonte - MG
I	Remoção de ciprofloxacina, ampicilina, amoxicilina e cefalexina da água em filtros de carvão biológico em condições de laboratório.	Eliane de Melo Marques; William D. Isique; Alessandro Minillo; Edson P. Angerino (2009).	Filtro de carvão ativado	Ilha Solteira - SP
J	Estudo da degradação dos antibióticos beta-lactâmicos amoxicilina e ampicilina e avaliação da toxicidade e biodegradabilidade dos seus produtos.	Sandra Regina Longhin (2008).	POAs	Brasília - DF
K	Ocorrência e degradação dos fármacos amoxicilina e cafeína em esgoto doméstico e águas superficiais	Michelle Cristine Wagner (2016)	POAs	Medianeira - PR
L	Métodos de remoção do Antibiótico amoxicilina em solução via hidrólises ácida e alcalina	Taynara A. P. De Sá, Jerônimo R. O. Neto; Thiago S. S. Ribeiro (2018).	Hidrólise	Goiânia - GO

Fonte: Elaborada pelos autores.

Análise dos resultados

Esta etapa teve como propósito, observar a eficiência dos diversos tipos de tratamento utilizados nos artigos acima citados.

Os artigos A e F utilizaram a técnica de adsorção, esta metodologia de remoção de poluente do efluente surgiu em 1773, quando C.W Scheele realizou a absorção de gases em carvão e argilas (BHATNAGAR e SILLANPÄÄ, 2010). O processo ocorre quando um meio sólido é colocado em contato com um meio líquido, fazendo com que parte do que compõe o fluido tenha uma aderência ao sólido, fixando-se nele. Para que esse procedimento de remoção de contaminantes seja eficiente, o pesquisador deve considerar algumas informações, como o pH, a temperatura, a polaridade da substância, a pressão e a área superficial (FURLAN, 2008).

O Artigo B utilizou-se de *Wetland* Construído (WC) para remover o antibiótico do meio aquoso, o WC é usado para clonar e otimizar processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes que são encontrados em ambientes naturais, em um ambiente controlado, para alcançar maior eficiência na remoção de contaminantes; esse tipo de tratamento é mais comumente utilizado em efluentes industriais, agrícolas, domésticos ou pluviais (BRASIL, 2018). Kadlec & Knight (1996) afirmam que os *Wetlands* são empregados principalmente na busca da melhoria da qualidade da água, mas também na produção fotossintética, produção de energia e até para recreação e educação humana.

Os artigos C e D fizeram uso da técnica de descontaminação de efluente conhecida como *Biorreator* com membranas submersas, chamados de MBRs, eles são consequência da junção de dois tratamentos, o tratamento biológico de efluentes e da separação por membranas. As membranas são responsáveis por reter a biomassa e são usadas como substitutas dos decantadores das estações de tratamento biológico convencionais, entregando em um tempo menor e, com número reduzido de processos um tratamento de maior qualidade do efluente, visto que as membranas realizam uma total retenção da biomassa e precisam de um lugar menor para serem instaladas em comparação aos tratamentos convencionais (HOLBROOK, MASSIE e NOVAK, 2005).

Os artigos E, G, H, J e K utilizaram a técnica de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para remoção dos poluentes do efluente, dentre esses, o artigo E e o artigo H utilizaram especificamente o reagente de Fenton. Os POAs são uma nova tecnologia de tratamento de efluente, baseiam-se no uso de espécies que promovem alto índice de oxidação e, por consequência,

aceleram a degradação do poluente. Esse método pode ser usado em combinação com tratamentos biológicos, alcançando uma eficiência ainda maior, e reduzindo o tempo necessário para a remoção do poluente; tal método de remoção de contaminantes tem sua eficácia baseada na geração de radicais livres, como o hidroxila (OH), que promove a degradação dos poluentes em poucos minutos (BRITO & SILVA, 2012; DE MORAES & PERALTA-ZAMORA, 2005; HIRVONEN et al., 1996; NOGUEIRA & JARDIM, 1998; SILVA, 2007; VINODGOPAL et al., 1998).

O artigo I fez uso de filtro de carvão ativado para remover o contaminante, este filtro usa um material carbonáceo com maior porosidade, o que garante uma adsorção melhor de moléculas, sejam elas líquidas ou gasosas, por fazer uso de um material granular (carvão ativado), este filtro auxilia não só na remoção do poluente como também na remoção de sabores, cheiros, matéria orgânica, cor e fenóis, dependendo do tamanho das partículas em questão (COUTINHO et al., 2000; ERGUN, 1952; NOLL et al., 1992).

O artigo L usa o tratamento biológico conhecido como Hidrólise, em duas formas, ácida e alcalina, a hidrólise consiste em uma decomposição pela água, segundo Barzca (2010), para que a hidrólise completa ocorra, é necessário alinhar corretamente fatores como temperatura e pressão, para que haja uma maior eficiência no processo em uma velocidade alta, porém, é necessário haver a presença de um acelerador para que o processo ocorra perfeitamente, os aceleradores mais usuais são álcalis, ácidos e enzimas.

231

Eficiência de tratamento

A eficiência indicada pelos artigos ao final dos estudos foi agrupada conforme a técnica de tratamento empregada, para uma melhor compreensão e para que seja possível realizar a comparação entre as técnicas e entre as pesquisas observadas.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de adsorção

Artigo A: remoção foi de: 35,76% e 50,89% em 50 mg L⁻¹ para a casca de pistache e perlita expandida, respectivamente.

Artigo F: A bentonita tratada termicamente apresentou os piores resultados nos ensaios realizados, com capacidade máxima de adsorção de 24,42% e capacidade de remoção no tempo de equilíbrio de 0,49 mg.g⁻¹. Já a bentonita in natura e a tratada quimicamente apresentaram resultados próximos, com capacidade máxima de adsorção de 70,26% e 80,20%

respectivamente; e capacidade de remoção no tempo de equilíbrio de 0,74 e 0,78 mg.g⁻¹.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Wetlands construídos (WCs)

Artigo B: os pesquisadores trabalharam com *Wetlands* construídos, cultivados com diversos tipos de vegetação, porém o único que removeu amoxicilina foi o CW3, cultivado com *Typha* -FW-SSF, com eficiência de remoção variando entre 15% e 45%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Biorreator com membranas submersas

Artigo C: A operação do sistema se deu em três fases: (1) com vazão de 1 L h⁻¹ E TDH de 40 h; (2) adicionando 100 µg L⁻¹ De amoxicilina no afluente e (3) alterando a Vazão da condição (2) para 2 L h⁻¹ E TDH de 20 h. A alteração da vazão resultou numa redução da remoção do antibiótico, que caiu de 80% para 54%.

Artigo D: mesmo se encaixando em todas as etapas para seleção dos estudos, o trabalho tratou da remoção de DQO e COD, não da remoção do antibiótico.

232

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Artigo E: Com este estudo, concluiu-se que nas condições ótimas (concentração de peróxido de hidrogénio = 3,50 - 4,28 mg.L⁻¹, concentração de Fe²⁺ = 254-350 µg.L⁻¹, temperatura = 20 – 40°C) foi atingida a remoção total do contaminante em 30 minutos de tratamento. Mas, quando complementado com a radiação micro-ondas, o processo de remoção de Fenton tradicional obtém 100% de remoção em 5 minutos, já sem o uso deste complemento, o mesmo resultado é atingido com cerca de 90 minutos.

Artigo G: Os processos oxidativos avançados, especificamente o processo de foto-Fenton, chegou a alcançar uma remoção de 99% da amoxicilina presente no efluente pelo processo de ozonização.

Artigo H: A degradação da amoxicilina apresentou taxa de remoção entre 60% e 75%; com tempo de reação de 60 min, 80 min e 120 min.

Artigo J: Os resultados obtidos para os diferentes POA testados nesta tese mostraram que o processo Fenton/UV a maior redução, sendo de 99,62% amoxicilina em 60 minutos de reação e, no caso de reagente de Fenton com o mesmo tempo de processo, obteve-se a redução de 97,13%.

Artigo K: Simulou-se um efluente contaminado para verificar a reprodução da degradação na condição ótima (pH= 4 e concentração de 6 ppm) nos tempos: 0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 min, houve uma redução de 49% de amoxicilina na água, já na amostra de esgoto coletada, a redução foi de 75% com o uso de Fotólise direta. Na Fotólise natural, em 360 minutos, houve redução de 24%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Filtro de carvão ativado

Artigo I: Para a amoxicilina nos filtros CAB (carvão com Atividade biológica cultivado em laboratório) de 85,25% e nos filtros CAG (filtros não colonizados) de 84,50%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Hidrólise ácida e alcalina

Artigo L: A hidrólise ácida não foi efetiva, não conseguindo mesmo em tempos altos de Hidrólise inativar as moléculas do Antibiótico. A Hidrólise alcalina com pH 12,5 e tempo de 60 minutos, 100% de remoção.

Resultado de Eficiência

A tabela 4 apresenta a eficiência encontrada em cada método de tratamento de efluente, referente à remoção do antibiótico amoxicilina, apresentada nos doze artigos observados:

Tabela 4
Método de remoção e eficiência do tratamento

MÉTODO DE REMOÇÃO	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO
Adsorção	24,82% a 80,20%
Wetlands Construídos	15% a 45%
Biorreator com membranas submersas	54% a 80%
Processos Oxidativos Avançados	24% a 100%
Filtro de carvão ativado	85,25% a 84,50%
Hidrólise	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

Conclusão

Existem diversas formas de tratar efluentes contaminados, assim, no presente levantamento bibliográfico foram encontradas algumas alternativas, mas, ainda assim, é necessário considerar alguns fatores imprescindíveis para o sucesso da remoção do antibiótico amoxicilina do meio aquoso, como temperatura, pH, quantidade de contaminante, tempo que o efluente ficou submetido ao processo, entre outros.

Os estudos realizados e catalogados, em sua maioria, são desenvolvidos em ambientes controlados, contaminados artificialmente, o que já se distancia da realidade de estações de tratamento, por exemplo, pois fazem uso de um controle do ambiente muito rigoroso, fazendo com que o resultado em um ambiente real possa ser divergente ao encontrado no estudo.

Nesta busca pela resposta da pergunta: "qual o método mais eficaz de tratamento de efluente contaminado pelo antibiótico do grupo β -lactâmicos chamado amoxicilina?", foram usados 12 artigos com 6 técnicas diferentes de tratamento, e deve-se considerar que, mesmo dentro de cada técnica, cada artigo teve suas peculiaridades frente às variáveis utilizadas.

As técnicas utilizadas foram adsorção, *wetlands* construídos, *Biorreator* com membranas submersas, processos oxidativos avançados, filtro de carvão ativado e Hidrólise, destes apenas dois apresentaram eficiência de 100% de remoção do contaminante, sendo eles os POAs, especificamente o processo tradicional de oxidação com reagente Fenton, e o método de remoção por Hidrólise Alcalina, com pH de 12,5 em 60 minutos.

A metodologia de tratamento que apresentou menor índice de eficiência foi a técnica de *Wetlands* construídos, atingindo a remoção mínima de 15% do contaminante, seguida do processo oxidativo avançado, com Fotólise natural no tempo de 360 minutos, atingindo redução de 24%.

Considerando os resultados apresentados pelos trabalhos analisados, o ideal para um tratamento seguro, de degradação total do antibiótico, seria a combinação de mais de uma metodologia de remoção de contaminantes do efluente, quando não houver possibilidade de fazer uso do processo de remoção empregados nos artigos L e E, seja por custo, ou por variáveis divergentes às apresentadas nestes trabalhos, para que assim, uma técnica possa complementar a outra, resultando em um índice mais elevado de pureza do efluente ao fim do tratamento.

Referências

ABBASSI, B. E. et al. **Antibiotics in wastewater: Their degradation and effect on wastewater treatment efficiency**. Journal of Food, Agriculture and Environment, v. 14, n. 3–4, p. 95– 99, 2016.

ANDREOZZI, R; CAPRIO, V.; CINIGLIA, C; CHAMPDORÉ, M.; GIUDICE, R.; MAROTTA, R.; ZUCCATO, E. **Antibiotics in the environment: occurrence in Italian STPs, fate, and preliminary assessment on algal toxicity of amoxicillin**. Environmental Science and Technology, v. 38, n. 24, p. 6832–6838, 2004.

ARAUJO, Pricila de Souza. **Utilização de bentonita como adsorvente na remoção do antibiótico amoxicilina em efluentes**. - João Pessoa, 2019.

BARCZA, Marcos Villela. **Hidrólise**. Escola de Engenharia de Lorena, EEL. USP.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. **Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review**. Cherm. Eng .J. 157 (2010) 277-296.

BILA, D.M., DEZOTTI, M. **Fármacos no meio ambiente**. *Quim Nova* 26, São Paulo, 2003.

BORRELY S.I.; CAMINADA S.M.L. PONEZI A.N.; DOS SANTOS D.R.; SILVA V.H.O. **Contaminação das águas por Resíduos de Medicamentos: Ênfase ao Cloridrato de Fluoxetina**. Mundo da Saude. v. 36, n. 4, p. 556 - 563, 2012.

BOUND, J.P., VOULVOULIS, N., 2004. **Pharmaceuticals in the aquatic environment – a comparison on risk assessment strategies**. Chemosphere 56, 1143-1155.

BOUND, JONATHAN & VOULVOULIS, NIKOLAOS. (2006). **Household Disposal of Pharmaceuticals as a Pathway for Aquatic Contamination in the United Kingdom**. Environmental health perspectives. 113. 1705-11. 10.1289/ehp.8315.

BRASIL, Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** – Florianópolis: UFSC, 2018. 56 p.: il.ISBN 978-85-8388-127-8.

BRITO, N. N. De.; SILVA, V. B. M. **Processos Oxidativos Avançados e sua aplicação ambiental.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, n.3, v.1, p.36-47, 2012.

CARVALHO, E. V.; FERREIRA, E.; MUCINI, L.; SANTOS, C. **Aspectos legais e toxicológicos do descarte de medicamentos.** Revista Brasileira de Toxicologia, Campinas, v. 22, n 1-2, 2009. p.1-8.

COUTINHO, A.R.; BARBIERI, F.C.; PAVANI, P.A. 2000. **Preparação de carvões ativados a partir de fibras de celulose.** In: 2º Encontro brasileiro de adsorção, maio de 1998, Florianópolis, SC. Anais de trabalhos apresentados, UFSC, Brasil, p. 139-144.

COSTA JUNIOR, Ismael L.; PLETSCHE, Adelmo L.; TORRES, Yohandra R. **Ocorrência de Fármacos Antidepressivos no Meio Ambiente** – Revisão. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 5, p. 1408-1431, 2014.

CUNHA, Danieli Lima; PAULA, Lícia Murito; SILVA, Samuel Muylaert Camargo; BILA, Daniele Maia; FONSECA, Estefan Monteiro; OLIVEIRA, Jaime Lopes da Mota. A. **Regulamentação do estrogênio sintético 17 α -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil.** Cadernos de Saúde Pública, v. 32, n. 3, p. 1-13, 2016.

DE MORAIS, J. L.; PERALTA-ZAMORA, P. **Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates.** Journal of Hazardous Materials, v.123, n.1-3, p 181-186, 2005.

DESCHAMPS, E. et al. **Management of effluents and waste from pharmaceutical industry in Minas Gerais, Brazil.** Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 48, n. 4, p. 727– 736, 2012.

ELMOLLA, E. S.; CHAUDHURI, M. **Photo-fenton treatment of antibiotic wastewater.** *Nature Environment and Pollution Technology*, v. 9, n. 2, p. 365–370, 2010.

ERGUN, S. 1952. **Fluid Flow Through Packed Columns** Chemical. Eng. Progr., New York, vol. 48, p. 89-94.

FURLAN F. R. **Avaliação da eficiência do processo de Coagulação-floculação e adsorção no Tratamento de efluentes têxteis.** Dissertação - UFSC, Florianópolis, 2008.

GHOLAMI, M. et al. **Performance evaluation of reverse osmosis technology for selected antibiotics removal from synthetic pharmaceutical wastewater.** *Iranian Journal of Environmental Health Science e Engineering*, v. 9, n. 1, p. 19, 2012.

GOLET, E. M.; ALDER, A. C.; HARTMANN, A.; TERNES, T. A.; GIGER, W. **Trace determination of fluoroquinolone antibacterial agents in urban wastewater by solid-phase extraction and liquid chromatography with fluorescence detection.** *Analytical Chemistry*, v. 73 (15), p. 3632-3638, 2001.

HALLING-SØRENSEN, B.; LÜTZHOFT, H.C.H.; ANDERSEN, H.R.; INGERSLEV, F. **Environmental risk assessment of antibiotics: comparison of mecillinam, trimethoprim and Ciprofloxacin.** *J Antimicrob Chemother* v.46, p.53-58, 2000.

HERNANDO, M. D. et al., **Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments.** *Talanta*, 69, 334-342, 2006.

HIRVONEN, A.; TUHKANEN, T.; KALLIOKOSKI, P. **Treatment of TCE- and PCE contaminated groundwater using UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂ oxidation processes.** *Wat. Sci. Tech.*, v.33, p.67-73, 1996.

HOLBROOK, R. D., MASSIE, K. A., NOVAK, J. T., **A Comparison of Membrane Bioreactor and Conventional-Activated-Sludge Mixed Liquor and Biosolids Characteristics,** *Water Environmental Research*, v. 77, p. 323 – 330, 2005.

HOMEM, V. M. F. C. **Tecnologias Alternativas de Remoção de Antibióticos De Águas Contaminadas**. 2011. Tese de Doutorado Em Engenharia Química. Universidade do Porto, Porto, 2011.

KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. CRC Press, Boca Raton, Fl. 893pp. 1996.

KHETAN, S. K.; COLLINS, T. J., **Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry**. Chemical Review, 107, 2319-2364, 2007.

KOLPIN, D. W.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; THURMAN, E. M.; ZAUGG, S. D.; BARBAR, L. B.; BUXTON, H. T. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U. S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance. *Environmental Science & Technology*, v. 36, p.1202-1211, 2002.

KOROLKOVAS, Andrejus e FRANÇA, Francisco F. de A. C. de. **Dicionário Terapêutico Guanabara**. 15 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KÜMMERER, K. **Pharmaceuticals in the environment**. Alemanha: Springer, Alemanha, 2001a.

KÜMMERER, K. **Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review**. Chemosphere, 45, 957-969, 2001b.

LONGHIN, S. R. **Estudo de degradação dos antibióticos beta-lactâmicos amoxicilina e ampicilina e avaliação da toxicidade e biodegradabilidade dos seus produtos**. 2008. Tese (Doutorado em Química)- Instituto de química. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

LOPES, B. C. **Efeitos da fotólise e fotocatalise sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

LOPES, Lara Mayza Almeida. Et al. **O uso inadequado dos antimicrobianos: revisão de literatura**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do

Conhecimento. Ano 04, Ed. 01, Vol. 05, pp. 37-51. Janeiro de 2019.
ISSN:2448-0959

MELO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOUGUEIRA, R. F. P.
Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados.
Química Nova. Sociedade Brasileira de Química, v. 32, n. 1, p. 188-197, 2009.

MARCELINO, Rafaela Brito Portela. **Aplicação de processos oxidativos avançados para o tratamento de efluente da produção de antibióticos.**
Universidade federal de minas gerais. Belo Horizonte, 2014.

María Hijosa-Valsero a, Guido Fink b, Michael P. Schlüsener b, Ricardo Sidrach-Cardona c, Javier Martín-Villacorta a, Thomas Ternes b, Eloy Bécares.
Remoção de antibióticos de águas residuais urbanas por otimização de áreas úmidas construídas. Chemosphere 83, 2011. 713–719p.

Marques; Eliane de Melo; Isique, William D.; Minillo, Alessandro; Tangerino, Edson P.
Remoção de ciprofloxacina, ampicilina, amoxicilina e cefalexina da água em filtros de carvão biológico em condições de laboratório.
FAPESP, 2009.

MATSUBARA, Milena Emy; Coelho, Lúcia Helena Gomes; Subtil, Eduardo Lucas.
Remoção do antibiótico amoxicilina por *Biorreator* es com membranas submersas (mbrs). ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. Bangú,Santo André - SP. Congresso ABES, FENASAN 2017.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **Heterogeneous photocatalysis and its environmental.** Química Nova, v.21, n.1, p.69-72, 1998.

NOLL, K.E.; GOUNARIS, V.; HOU, W.S. 1992. **Adsorption technology for air and water pollution control.** Lewis Publishers, INC. USA.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE [OMS] **Antimicrobial resistance: global report on surveillance.** Organização Mundial de Saúde [OMS]. Genebra: abr. 2014, p.257. 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE [OMS]. report on surveillance of antibiotic consumption: 2016-2018 early implementation.

PAN, X.; DENG, C.; ZHANG, D.; WANG, J.; MUA, G.; CHEN, Y. **Toxic effects of amoxicillin on the photosystem II of *Synechocystis* sp. characterized by a variety of in vivo chlorophyll fluorescence tests.** Aquatic Toxicology, v. 89, p. 207–213, 2008.

Prateek Pachauri, Rajendra Falwariya, Sangeeta Vyas *, Monika Maheshwari, Raj K. Vyas, E AB Gupta. **Remoção de amoxicilina em águas residuais usando adsorção por Carvão Ativado em Pó e Granular e Oxidação com Peróxido de hidrogênio.** Nature AMBIENTE e Pollution Technology. International Quarterly Scientific Journal. Vol. 8 nº3 pp.

PLEITER et al. **Toxicity of five antibiotics and their mixture towards photosynthetic aquatic organisms: Implications for environmental risk assessment.** Water Research, 47, 2050 - 2064, 2013.

ROCHA, A. C. L. ; KLIGERMAN, D. C. ; OLIVEIRA, J. L. M. . **Panorama da pesquisa sobre tratamento e reúso de efluentes da indústria de antibióticos.** Saúde em Debate, v. 43, p. 165-180, 2019.

Sá, T. A. P. de; NETO, J. R. O.; Ribeiro, T. S. S. **Métodos de Remoção do Antibiótico Amoxicilina em Solução via Hidrólises Ácida e Alcalina.** Revista Processos Químico. Jan / Jun de 2018.

SCARCELA, M. A. A.; MUNNIZ, J. W. A.; CIRQUEIRA, J. Z. **Investigação do uso indiscriminado de amoxicilina em crianças na faixa etária de 2 a 10 anos.** Cenarium Farmacêutico. v. 4, nº 4. 2011.

SILVA, L. P. **Modificação e imobilização de TiO₂ visando a degradação de compostos orgânicos poluentes via o processo de fotocatalise heterogênea.** 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, 2007.

SOUZA, Raquel Cardoso de. **Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada (H₂O₂/uv) com vistas ao Saneamento ecológico;** Dissertação- UFSC, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2013.

STACKELBERG, P. E.; FURLONG, E. T.; MEYER, M. T.; ZAUGG, S. D.; HENDERSON, A. K.; REISSMAN, D. B. **Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-watertreatment plant.** *Science Total Environmental*. v. 329, 99-113, 2004.

TERNES, T. A. **Occurrence of drugs in german sewage treatment plants and rivers.** *Water Research*., 32, 3245-3260, 1998.

VASCONCELOS, O. M. S. R. **Degradação do antibiótico amoxicilina em efluente de indústria farmacêutica.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação. UFMG, Belo Horizonte.

VICENTIN, Bruna Martins. **Estudo da remoção do antibiótico amoxicilina em meio aquoso: utilização da perlita expandida e casca de pistache in natura como adsorventes.** 2019. Dissertação - UTFPR, Pato Branco, 2019.

VINODGOPAL, K.; PELLER, J.; MAKOGON, O.; KAMAT, P.V., **Ultrasonic mineralization of reactive textile azo dye, Remazol Black B.** *Water Research*, v.32, p.3646-3650, 1998.

WAGNER, M. C.; COSTA JUNIOR, I. L.; MEES, J. B. R.; QUITAISKI, P. P. **Ocorrência dos fármacos amoxicilina e cafeína em esgoto doméstico e águas superficiais.** In: Congresso ABES/ FENASAN 2017, 2017, São Paulo. Anais do ABES/ FENASAN 2017, 2017.

