

Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão

Pinho, Eliane Alves da Silva
Ferreira, Luiz Fernando Romanholo
Américo-Pinheiro, Juliana Heloisa Pinê
Torres, Nádia Hortense

Resumo

A ausência de tratamento de esgoto ou sua ineficiência são responsáveis pelo lançamento diário de poluentes em águas superficiais, contribuindo para a degradação dos corpos d'água, a proliferação de inúmeras doenças parasitárias ou infecciosas e a exposição dos seres vivos aos perturbadores endócrinos e fármacos (micropoluentes). Existem muitos processos tecnológicos de tratamento de esgoto sanitário. As etapas de tratamento classificadas como primária, secundária e terciária abrangem combinações de processos distintos de natureza física, química e biológica, com eficiências variadas que podem ajustar os esgotos aos padrões previstos pela legislação ambiental brasileira. Porém, as estações de tratamento não estão adequadas para a remoção dos micropoluentes, reflexo este da limitação legal do Brasil, que não prevê o monitoramento nem a remoção desses compostos das estações de tratamento de efluentes e de abastecimento. Tecnologias como Processos Oxidativos Eletroquímicos Avançados (POEA), carvão ativado e sistemas de membrana têm sido foco de estudos na remoção dos micropoluentes. O presente estudo teve como objetivo fazer uma revisão bibliográfica dos processos convencionais de tratamento de efluente sanitário e das novas tecnologias utilizadas para remoção dos micropoluentes. Infelizmente o tratamento convencional no Brasil não é satisfatório por questões políticas e econômicas do país, já que detemos eficientes técnicas para tratamento de efluente sanitário. Com relação aos micropoluentes, a técnica envolvendo carvão ativado foi destaque nesse estudo devido aos seus eficientes resultados reportado, podendo ainda ter seus custos significativamente reduzidos com a possibilidade de variação da matéria prima adsortiva.

Palavras-chave: efluente, sistemas de tratamento de efluente, contaminantes emergentes.

Abstract

The lack of sewage treatment or its inefficiency are responsible for the daily discharge of pollutants to surface waters, contributing to the degradation of water bodies, the proliferation of numerous parasitic or infectious diseases and exposure of living beings to endocrine disruptors and drugs (micropollutants). There are many technological processes of sewage treatment. Steps of treatment classified as primary, secondary and tertiary include combinations of different processes of physical, chemical and biological, with varying efficiencies that can adjust the sewers to the standards set by the Brazilian environmental legislation. However, the treatment plants are not suitable for the removal of micropollutants, reflecting this legal limitation of Brazil, which does not provide for monitoring or removal of these compounds from wastewater and supply treatment plants. Technologies like Electrochemical Advanced Oxidation Processes (EAOP), activated carbon and membrane systems have been the focus of studies in the removal of micropollutants. This study aimed to make a bibliographic review of conventional methods of treatment of domestic wastewater and new technologies used for removal of micropollutants. Unfortunately conventional treatment in Brazil is unsatisfactory for political and economic issues of the country, since we hold efficient techniques for treatment of domestic wastewater. with respect to the micropollutants technique involving activated carbon was highlighted in this study due to its efficient

results reported, and may have their cost significantly reduced with the possibility of varying the adsorptive raw material.

Keywords: sanitary sewer, wastewater treatment systems, micro-pollutants.

RESUMEN

La ausencia de tratamiento de aguas residuales o su ineficiencia son responsables del lanzamiento diario de contaminantes en aguas superficiales, contribuyendo a la degradación de los cuerpos de agua, la proliferación de numerosas enfermedades parasitarias o infecciosas y la exposición de los seres vivos a los perturbadores endocrinos y fármacos (" micro contaminante). Hay muchos procesos tecnológicos de tratamiento de aguas residuales sanitarias. Las etapas de tratamiento clasificadas como primaria, secundaria y terciaria abarcan combinaciones de procesos distintos de naturaleza física, química y biológica, con eficiencias variadas que pueden ajustar las alcantarillas a los estándares previstos por la legislación ambiental brasileña. Sin embargo, las estaciones de tratamiento no son adecuadas para la remoción de los micro contaminante, reflejo este de la limitación legal de Brasil, que no prevé el monitoreo ni la remoción de esos compuestos de las estaciones de tratamiento de efluentes y de abastecimiento. Tecnologías como Procesos Oxidativos Electroquímicos Avanzados (POEA), carbón activado y sistemas de membrana han sido foco de estudios en la remoción de los micro contaminante. El presente estudio tuvo como objetivo hacer una revisión bibliográfica de los procesos convencionales de tratamiento de efluente sanitario y de las nuevas tecnologías utilizadas para la remoción de los micro contaminante. Desafortunadamente el tratamiento convencional en Brasil no es satisfactorio por cuestiones políticas y económicas del país, ya que datemos eficientes técnicas para tratamiento de efluente sanitario. Con respecto a los micro contaminante, la técnica involucrada de carbón activado fue destaque en este estudio debido a sus eficientes resultados reportados, pudiendo aún tener sus costos significativamente reducidos con la posibilidad de variación de la materia prima adsortiva.

Palabras clave: Efluente, Sistemas de Tratamiento de Efluente, Contaminantes Emergentes.

INTRODUÇÃO

Aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas não dispõem de coleta e tratamento de esgoto no mundo. A ausência ou ineficiência de tratamentos de esgoto e saneamento básico podem contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além da degradação do corpo da água. Diariamente milhões de toneladas de esgoto tratado inadequadamente, resíduos agrícolas e industriais são despejados nas águas de todo o mundo. A mortalidade de pessoas associada à ingestão e contato com águas contaminadas é maior do que todas as formas de violência, incluindo a guerra (ONU, 2010).

A origem do esgoto sanitário está atrelada a utilização de água para abastecimento de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que possuam instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer uso da água para fins domésticos. Os efluentes sanitários ou domiciliares possuem em sua composição águas advindas de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, detergentes, águas de lavagens e outros componentes das atividades cotidianas. Alguns compostos orgânicos presentes em concentrações da ordem de micrograma por litro ou nanogramas por litro são responsáveis por exercer efeito tóxico na fauna associada ao local de despejo do efluente, além de exercerem efeitos de bioacumulação ao longo da cadeia alimentar afetando muitas populações de animais incluindo a humana. Esses contaminantes são diversificados quimicamente e tem sua origem nos fármacos de uso humano ou animal e produtos de limpeza. A remoção destes compostos nem sempre é prevista ou eficaz nos sistemas de tratamento adotado no Brasil (LEITE *et al.*, 2010).

O esgoto sem tratamento lançado nos corpos d'água apresenta efeito deletério no ambiente aquático. O excesso de nutriente, presente nos esgotos, quando em contato com o corpo receptor pode ocasionar a eutrofização, crescimento acelerado de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas à água, impactando de forma severa os ecossistemas aquáticos. Apesar de os mananciais possuírem capacidade de autodepuração, essa possui um limite que quando atingido, por excesso de matéria orgânica, gera impactos ambientais.

O tratamento do esgoto sanitário é uma medida importante para prevenir ou atenuar as inúmeras patologias associadas aos poluentes, assim como para o equilíbrio do meio ambiente. São muitos os métodos existentes que objetivam o tratamento desse tipo de efluente, porém existem critérios importantes a serem considerados. A decisão deve ser tomada com base nas condições do curso d'água (estudo de autodepuração e dos limites definidos pela legislação

ambiental), nas características do efluente gerado, no custo envolvido, na sua eficiência e na área disponível (IMHOFF, 1986).

O Brasil possui muitas tecnologias desenvolvidas no campo da engenharia sanitária e ambiental, o que atrelou conhecimentos e competências suficientes para adequar e desenvolver soluções para os problemas relacionados ao saneamento básicos de seu país. Porém essas tecnologias não estão disponíveis ou não são aplicadas na grande maioria dos municípios devido a problemas de ordem pública e econômica (CAMPOS e DIAS, 1999).

Por isso o presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os métodos convencionais de tratamento de esgoto sanitário, colocando em pauta os micropoluentes existentes nos esgotos e as principais tecnologias envolvidas no processo de remoção dos mesmos.

DESENVOLVIMENTO

Esgoto sanitário

Segundo Hespanhol (1999), o termo esgoto pode ser interpretado como a tubulação condutora das águas servidas a uma comunidade, assim como o próprio líquido que flui por essas canalizações. Porém, o termo tem sido utilizado para fazer referência aos despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas residuárias ou efluentes, sendo efluentes domésticos, industriais ou sanitários.

Esgoto sanitário segundo NBR 9648 (1986) é o despejo líquido constituído de esgoto doméstico, caracterizado pelo despejo líquido proveniente do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas; industrial, proveniente dos processos industriais, que deve respeitar os padrões de lançamento estabelecidos; água de infiltração que é a proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador que penetra nas canalizações e a de contribuições pluvial parasitária, parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

O esgoto sanitário tem sua origem nas águas residuárias das residências, do comércio e das repartições públicas. A taxa de retorno é de 80% da vazão das águas distribuídas, recebendo ainda as águas de infiltração que penetram na rede coletora por meio de juntas defeituosas das tubulações, paredes de poços de visita e etc. A taxa de infiltração segundo depende de variáveis como o tipo e qualidade das tubulações, do tipo de elementos de inspeção, do solo e da posição

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 2, p.46 - 63 , jul./dez. 2017.

Pinho, Eliane Alves da Silva; Ferreira, Luiz Fernando Romanholo; Américo-Pinheiro, Juliana Heloisa Pinê; Torres, Nádia Hortense

Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão

do lençol freático, sendo os valores médios em torno de 0,3 a 0,5 L s.km (VON SPERLING, 2005).

A composição do esgoto apresenta variações segundo seus diversos usos, o esgoto sanitário contém aproximadamente 99,9% de água, sendo o 0,1% restante composto por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos dissolvidos e microrganismos (FUNASA, 2010). As águas residuárias têm seu grau de pureza alterado e pode ser analisada segundo seus parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Esgotamento e tratamento sanitário no Brasil

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento – PNSB (2008), o Brasil apresentou em 2008 um percentual de 55,2% de municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora. Sobre essa estatística de acesso à rede coletora de esgoto, vale ressaltar, que foi considerada apenas a existência do serviço no município estudado, desconsiderando a extensão da rede, a qualidade do atendimento, o número de domicílios atendidos, ou se o esgoto, após coleta, é tratado. Do percentual de esgotos coletados, apenas 28,5% dos municípios brasileiros apresentaram alguma solução para o tratamento, mesmo na Região Sudeste, onde 95,1% dos municípios possuíam coleta de esgoto, menos da metade desses (48,4%) o trataram. Os percentuais mais baixos são pertencem à Região Norte, onde a proporção de coleta de esgoto ficou em 13,4% e a de tratamento em 7,6% (IBGE, 2011).

O saneamento básico (coleta e tratamento dos esgotos domésticos) é imprescindível para garantir a salubridade da população. O despejo de efluente não tratado poderá poluir os corpos receptores, trazendo sérias consequências aos ecossistemas naturais que sustentam a saúde humana, a produção de alimentos e a biodiversidade (FULLER, 2011).

O tratamento do esgoto sanitário

O tratamento de esgoto tem por finalidade remover os poluentes que foram inseridos ao longo da cadeia de uso doméstico das águas. Os sistemas de tratamento de esgoto são formados por uma série de operações unitárias, com eficiências distintas, que são empregadas para remoção de substâncias indesejáveis. No geral são empregados métodos físicos, químicos e biológicos, que podem ser agrupados de modo que se componha um sistema, onde o tratamento dependerá do conjunto de métodos adotados (PHILIPPI e MALHEIROS, 2005).

Os sistemas de tratamento de efluente sanitário são diferenciados e visam à remoção específica, em cada etapa, de determinados poluentes de acordo com suas características e natureza. De acordo com Von Sperling (2005) o tratamento de efluentes pode ser classificado como:

- Tratamento preliminar: remoção de sólidos grosseiros, de gorduras e areia;
- Tratamento primário: remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, predominando os mecanismos físicos;
- Tratamento secundário: DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão) e DBO solúvel (matéria orgânica em forma de sólidos dissolvidos);
- Tratamento terciário: remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos recalcitrantes, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes.

Os sistemas de tratamento adotados normalmente são encadeados para que se possa direcionar o tipo do poluente que se deseja remover, assim como a eficiência que se deseja alcançar, que no caso, deve atender os parâmetros de lançamento de efluente sanitário, apresentados na legislação ambiental brasileira.

Micropoluentes

Existe uma diversificada gama de compostos orgânicos e sintéticos, que são usados pela sociedade em grandes quantidades por uma variedade de fins, incluindo a produção e conservação de alimentos, processo de produção industrial, bem como para a saúde humana e animal (AQUINO *et al.*, 2013). Denominados micropoluentes, esses compostos são substâncias potencialmente tóxicas e seus efeitos ou presença no ambiente são pouco conhecidos, não sendo, portanto inclusos em programas de monitoramento de rotina pelos órgãos de meio ambiente ou legislações de controle ambiental. A natureza desses poluentes engloba tanto substâncias que são utilizadas há muito tempo, como novas substâncias decorrentes dos avanços tecnológicos. A Tabela 1 apresenta a categorização de alguns micropoluentes (MOREIRA, 2013).

Tabela 1. Grupo/classe de alguns compostos de micropoluentes.

Grupo/classe de compostos	Exemplos	
Fármacos	Antibióticos Humanos e Veterinários Analgésicos e Anti-inflamatórios Drogas psiquiátricas Reguladores lipídicos Beta-bloqueadores Contrastes Raio-X	Trimetoprima, eritromicina, lincomicina, Sulfametoxazol, cloranfenicol, amoxicilina Ibuprofeno, diclofenaco, fenoprofeno, Acetaminofeno, naproxeno, ácido acetilsalicílico, fluoxetina, cetoprofeno, indometacina, paracetamol Diazepam, carbamazepina, primidona, salbutamol Ácido clofíbrico, bezafibrato, ácido fenofíbrico, etofibrato, gemfibrozil Metoprolol, propranolol, timolol, sotalol, atenolol Iopromida, iopamidol, Diatrizoato
Produtos de cuidado pessoal	Fragrâncias Bronzeadores Repelentes de insetos Antissépticos	Nitro, perfumes policíclico e macrocíclico, ftalatos Benzofenona, cânfora, Metilbenzilideno N, N-dietiltoluamida triclosan, clorofen
Desreguladores Endócrinos	Produtos Químicos Industriais Hormônios e esteroides Pesticidas	Alquifênóis, ftalatos, bisfenol-A, estireno, retardantes de chama bromados (PBDEs), surfactantes (perfluoroctano sulfonatos - PFOS) Estradiol, estrona, estriol, Dietilestilbestrol PCF (pentaclorofenol), rifuralin, atrazina, DBCP (dibromocloropropano), lindano

A descoberta dos micropoluentes no meio ambiente só foi possível com o avanço da precisão de equipamentos de amostragem e análise, isso porque são substâncias de natureza heterogênea e suas concentrações são baixas, na ordem de $\mu\text{g/L}$ e ng/L . Esses compostos, geralmente, não sofrem degradação rápida quando submetidos às condições ambientais, devido às suas propriedades físico-químicas, como persistência, volatilização e lipofilia (MOREIRA, 2013).

A exposição a estes agentes pode ocorrer a partir de uma variedade de fontes, a via ambiental é a principal via de exposição direta a estas substâncias. A contaminação dos segmentos ambientais e a capacidade de biomagnificação ao longo da cadeia alimentar destes

agentes tóxicos fazem com que a via digestiva seja outra via importante. Alguns deles se comportam como disruptores endócrinos, os disruptores são substâncias químicas que podem interferir no funcionamento natural do sistema endócrino de espécies animais, incluindo os seres humanos, e tem sido constantemente encontrado nas amostras de águas superficiais, sedimentos, biota, efluentes e mesmo água potável (SOUZA, 2011; AQUINO *et al.*, 2013).

Uma importante via de entrada de micropoluentes no ambiente são as estações de tratamento de esgoto doméstico, que enviam de modo contínuo esses poluentes ao meio ambiente, indicando, assim, a incapacidade dos tratamentos convencionais de efluentes em bloquear a entrada destes contaminantes para o ambiente e o lançamento in natura dos esgotos (GAGNÉ *et al.*, 2006). No Brasil não existe uma legislação específica para essas classes de contaminantes. Tanto a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/11 (potabilidade da água), a resolução CONAMA 357/05 (padrões de classificação de corpos de água) e a Resolução CONAMA 430/11 (lançamento de efluente), não dispõe de valores limites para esses poluentes (MOREIRA, 2013).

A remoção dos micropoluentes pelos métodos convencionais, como os biológicos apresentam limitações. Em seu estudo, Leite *et al.* (2010), avaliaram a eficiência de sistemas de tratamento combinados anaeróbio-aeróbio para a remoção de micropoluente. Os autores concluíram que os sistemas anaeróbicos isolados são ineficientes para a remoção desses poluentes e que mesmo submetendo o efluente a pós-tratamento aeróbico houve a persistência de alguns dos micropoluentes analisados.

No estudo de Joss *et al.* (2006) avaliou-se a eficiência da degradação de 35 compostos farmacêuticos em unidades biológicas de tratamento. Os resultados obtidos foram contrastantes, apresentando valores de remoção ineficiente para 17 substâncias e eficientes para apenas 4. Os autores concluíram que a degradação dos fármacos via sistemas biológicos foi, além de ocasional, parcial e acrescenta que esse resultado pode estar relacionado com a influência que os processos biológicos, como por exemplo, a eficiência de degradação, sofre com a presença de outros macroconstituintes presentes no sistema.

De acordo com Teixeira e Jardim (2004) a baixa viabilidade dos sistemas de tratamento biológico para remoção de micropoluentes, como os fármacos, se baseia no fato desses compostos serem recalcitrantes à degradação biológica e sua presença no esgoto bruto pode ocasionar outras implicações, como afetar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto devido à possível toxicidade aos microrganismos ou exercício de uma pressão de seleção sobre essa população.

Com o objetivo de melhorar a eficiência da remoção dos micropoluentes dos sistemas de tratamento de efluente novas tecnologias estão sendo testadas, com destaque para: Processos Oxidativos Eletroquímicos Avançados (POEA), técnicas de filtração por membranas e adsorção com carvão ativado.

Processos Oxidativos Eletroquímicos Avançados (POEA)

Os Processos Oxidativos Eletroquímicos Avançados (POEA) são considerados processos limpos e não seletivos, que podem degradar inúmeros compostos presente nos efluentes. O mecanismo de ação é baseado em processos físico-químicos capazes de alterar as estruturas químicas dos contaminantes, por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, através de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, além de exercerem ação germicida. Os POA envolvem a geração de radicais hidropoxila (HO^{\bullet}), radicais superóxido ($\text{O}^{\bullet-}$) e, principalmente, os radicais hidroxilas ($\bullet\text{OH}$), que são capazes de oxidar quase todos os compostos orgânicos, tanto em fase aquosa, como em fase gasosa ou adsorvidos numa matriz sólida (ALMEIDA *et al.*, 2004; AQUINO *et al.*, 2013).

Os radicais hidroxila são provenientes de reações que envolvem oxidantes fortes, tais como, o ozônio (O_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), semicondutores como dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO) e irradiação ultravioleta (UV). Para a obtenção desses radicais, destacam-se os processos heterogêneos, onde é necessário empregar catalizadores no estado sólido, formando um sistema com mais de uma fase e os homogêneos, onde o catalisador e os substratos formam uma única fase (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Os POEA têm demonstrado eficácia para a eliminação dos micropoluentes presentes tanto em estações de tratamento de águas quanto em estações de tratamento de efluentes sanitários, atuando na desinfecção e eliminação de muitas classes de compostos químicos (LEE *et al.*, 2007).

Dentre as vantagens dos POEA em relação aos sistemas de tratamento convencionais, destacam-se: a capacidade do processo de mineralizar poluentes, podem não formar subprodutos, quando utilizados oxidantes suficientes, eficiência na degradação de compostos refratários, tornando-os biodegradáveis ou reduzindo sua toxicidade, podem ser utilizados com processos biológicos de tratamento de efluente ou como pós e/ou pré-tratamento; tem forte poder

oxidante, com cinética de reação elevada; não necessitam de pós-tratamento ou disposição final, na maioria das vezes; melhoram as qualidades organolépticas da água tratada; o processo pode consumir menos energia, diminuindo os custos com o tratamento (SOUZA, 2011).

Os POEA devem ser ainda foco de muito estudo, pois existem pontos importantes a serem esclarecidos sobre a formação de subprodutos decorrente desses processos. Mello *et al.* (2009) apresentaram em seus estudos os principais resultados científicos com a utilização de diferentes POEA na degradação de fármacos de ocorrência nos ambientes aquáticos e na formação de intermediários de degradação e sua toxicidade. Os autores concluíram com seus estudos que a utilização destes processos atingem alta eficiência de degradação. Porém são escassas as informações sobre a identidade dos produtos de degradação formados e a toxicidade da amostra após tratamento, informações estas fundamentais para garantir a efetividade e segurança da aplicação de tais processos no tratamento de efluentes contendo resíduos de fármacos.

A utilização conjunta de UV/H₂O₂ tem sido reportada com grande eficiência para a remoção de micropoluentes. Wu *et al.* (2007) fizeram um levantamento sobre a presença do metolachlor, herbicida de ampla utilização nos Estados Unidos, nas águas subterrâneas e superficiais e propuseram um método para a remoção desse contaminante ambiental. O estudo foi baseado na avaliação das propriedades de fotodegradação do metolachloro, por meio da utilização de tecnologias que empregaram raios UV e da combinação UV/H₂O₂. A destruição do metolachlor com a utilização combinada de UV/H₂O₂ apresentou um aumento significativo quando comparado com a utilização apenas dos raios UV, demonstrando que o método combinado foi satisfatório para a remoção do micropoluente estudado. O emprego de UV/H₂O₂ para tratamento de águas residuais apresentou eficiência de 90% na remoção da maior parte dos fármacos testados, permitindo ainda uma considerável redução da energia UV requerida no processo.

De acordo com Wols e Hofman-Caris (2012) a combinação de UV/H₂O₂ é um sistema de tratamento eficiente para a remoção de contaminantes orgânicos, tais como, fármacos, produtos de higiene pessoal, pesticida, hormônios, surfactantes, retardadores de fogo, entre outros. Os processos de fotólise direta podem originar subprodutos tais como fenóis, quinonas, ácidos carboxílicos e aldeídos. Porém quando se aplicadas concentrações elevadas de H₂O₂ no processo de fotólise com raios UV, estes subprodutos podem ser degradados assim como outros podem ser impedidos de se formarem. E, segundo Pereira e Freire (2005), as tecnologias que envolvem os POEA apesar de representar um modelo alternativo promissor para a remoção de

contaminantes específicos é um processo oneroso e tem sido reportado como um processo de difícil implementação em grande escala.

Adsorção com carvão ativado

As propriedades do carvão ativado relacionam-se com as estruturas porosas e os grupos químicos presentes em sua superfície. As propriedades físicas da superfície são frequentemente descritas pela área superficial específica (ASE) e pelo tamanho dos poros, enquanto as propriedades químicas dependem da presença ou ausência de grupos ácidos ou básicos sobre sua superfície. Entre as características do adsorvato que podem influenciar o processo de adsorção estão tamanho molecular, solubilidade, pKa e natureza dos compostos substituintes dos anéis aromáticos (CASTILLA, 2004).

Há uma variedade de materiais que podem ser utilizada na fabricação do carvão ativado, como madeira, casca de coco, sementes, osso de animais, carvão betuminoso e sub-betuminoso, coque, turfa, lignita, petróleo, plástico, pneus, etc. A fabricação do carvão ativado envolve dois processos principais: a carbonização e a ativação. A carbonização, ou pirólise, é usualmente feita na ausência de ar, em temperaturas entre 500 e 800 °C. A ativação é realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900°C (BRANDÃO, 2006).

O fenômeno de adsorção ocorre em consequências de uma acumulação de moléculas (soluto) sobre a superfície do adsorvente. Quando o Carvão Ativado é colocado em contato com o soluto, há um decréscimo de sua concentração na fase líquida e um aumento correspondente sobre a superfície do Carvão Ativado, até se obter uma condição de equilíbrio. Para cada adsorção específica, a distribuição e volume de poros são também importantes para controlar o acesso das moléculas do adsorbato para a superfície interna do Carvão Ativado. Quando acontece o compartilhamento ou troca de elétrons entre o adsorbato e o adsorvente, a adsorção é denominada química. A adsorção física é mais recorrente nesse processo e é resultante de forças atrativas de “Van der Waals” (MUCCIACITO, 2006).

O carvão ativado encontra-se disponível em duas diferentes formas: pó e granular. O carvão ativado granular (CAG) possui grãos com tamanhos compreendidos entre 0,42 e 2,4 mm, enquanto que o carvão ativado em pó (CAP) possui grãos com tamanhos mínimos de 0,01 e máximos de 0,1 mm e para sua utilização, é geralmente recomendada a preparação de uma suspensão. O CAG é caracterizado por pequenos poros e grande superfície interna, enquanto o CAP está associado a grandes poros e menor superfície interna (PERES, 2011).

Veras (2006) em seu estudo procurou avaliar a remoção de disruptores endócrinos por carvão ativado em pó (CAP), sob condições controladas em laboratório. Os perturbadores endócrinos selecionados para o estudo foram o 17β -estradiol e o p-nonilfenol devido, respectivamente, ao maior potencial de risco aos seres vivos e às concentrações elevadas encontradas em esgoto e mananciais. Pelo estudo pôde-se concluir que a adsorção pelos CAPs estudados, foi capaz de remover frações significativas de 17β -estradiol em concentrações superiores às encontradas na natureza, tornando a adição de CAP aos processos de tratamento convencional de água e final de esgoto uma possível estratégia a ser aplicada, pois complementa a remoção.

Ferreira (2011) avaliou a eficiência de remoção de 15 diferentes tipos de micropoluentes emergentes encontrados no efluente secundário da ETE Büsnau localizada em Stuttgart na Alemanha, através do tratamento com CAP. Dentre as substâncias estudadas estão os fármacos carbamazepina, diclofenaco, cafeína, lidocaína e mirtazapina e produtos de cuidado pessoal. O pesquisador utilizou três diferentes tipos de carvão ativado, diferentes tempos de contato e dosagens do produto, e verificou a influência destas variáveis na eficiência do tratamento. O autor concluiu que a adsorção com CAP se mostrou eficiente na remoção dos micropoluentes emergentes, até mesmo dentro das dosagens consideradas economicamente viáveis, para os padrões europeus, de até 20 mg/L. Além das eficiências encontradas neste experimento pode-se levar em conta um possível ganho na eficiência de remoção na ordem de 20% pela adoção do reaproveitamento do CAP no tratamento biológico.

Coelho *et al.* (2012) realizaram um estudo experimental que consistiu na caracterização física do carvão ativado para remoção de atrazina, herbicida com efeito de disruptor endócrino, através de ensaios de adsorção em águas de diferentes conteúdos orgânicos. O estudo apontou eficiência do carvão ativado em remover a atrazina, e que o mecanismo de adsorção foi influenciado pela variação da qualidade das matrizes de água gerando isotermas (curvas que indicam de forma quantitativa, como o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto) com características distintas.

Filtração através de membranas

No sistema de membranas as operações de separação caracterizam-se por apresentar uma barreira seletiva, que sob a ação de uma força motriz promove a separação de determinados componentes de uma solução ou suspensão. Esta barreira corresponde à função primordial da

membrana, e as forças motrizes podem ser gradientes de pressão, de concentração, de potencial químico ou de potencial elétrico.

Os materiais que compõe as membranas podem ser divididos em dois grandes grupos: poliméricas e inorgânicas (materiais cerâmicos e metálicos). Em relação à morfologia, as membranas são classificadas como densas ou porosas, sendo que a escolha de uma determinada morfologia está relacionada com seu desempenho em relação à solução que deverá separar (FERNANDES, 2010).

Yoon *et al.* (2007) investigaram a remoção de 27 compostos pertencentes aos grupos de produtos farmacêuticos e cuidados pessoais por meio de membranas de nanofiltração (NF) e de ultrafiltração (UF) a partir de várias fontes de água potável. Os resultados apontaram que a eficiência de retenção por membrana de NF variou de 30 a 90% com exceção do naproxeno que obteve taxa de remoção < 10%. A utilização de UF apresentou retenção inferior a 30% com exceção aos compostos: triclosan, oxybenzone, estrona, progesterona, eritromicina.

Radjenovic *et al.* (2008) investigaram a remoção de um amplo grupo de produtos farmacêuticos por meio da aplicação das tecnologias de nanofiltração (NF) e osmose reversa (RO) aplicadas em uma estação de tratamento de água potável de grande porte. Primeiramente os pesquisadores identificaram os resíduos existentes nas águas subterrâneas que abastece a estação de tratamento. Os compostos encontrados foram: analgésicos e anti-inflamatório, tais como, cetoprofeno, diclofenaco, paracetamol e propuphenazone; os b-cloqueadores sotalol e metoprolol; o antiepiléptico carbamazepina; o antibiótico sulfamethoxazol, o regulador lipídico gemfibrozil e o diurético hydrochlorothiazide. Os autores concluíram que os processos de NF e RO apresentaram uma eficiência global superior a 85% para a maioria dos produtos farmacológicos. Porém observaram um menor desempenho na retenção do Paracetamol (44.8–73 %), gemfibrozil (50–70 %) e ácido mefenâmico (30-50%), em ambas tecnologias. Os autores detectaram ainda uma concentração de centenas de nanogramas por litro de resíduos farmacológicos nos efluentes finais de ambos os processos, sugerindo que a adoção desses tipos de tratamentos possam representar riscos ambientais se seus efluentes forem lançados diretamente nos corpos d'água.

Al-Rifai *et al.* (2011) apresentaram uma investigação detalhada que visou avaliar a ocorrência, persistência e destino de uma gama de micropoluentes em diferentes pontos de processamento em uma usina de reciclagem de água de grande escala, em Queensland, na Austrália. No estudo foram examinadas as concentrações de 11 fármacos de diversas categorias terapêuticas e dois produtos químicos classificados como desreguladores endócrinos. A remoção

das substâncias foram testada com tecnologias de microfiltração e osmose reversa. Os resultados do estudo apontaram que os processos de microfiltração e osmose reversa apresentou elevada eficiência para remover os poluentes analisados. As eficiências globais de remoção dos micropoluentes no sistema de micromembranas e osmose reversa foram maiores que 97%, sendo a concentração dos poluentes na água menor que 0,1g/L para a maioria dos compostos, com exceção para o bisfenol A, que apresentou concentração de 500 ng/L no efluente final. Embora em baixas concentrações a presença desse composto é preocupante, demonstrando que essas tecnologias não são suficientes para a remoção desse poluente ambiental.

Heo *et al.* (2012) estudaram a retenção e adsorção de bisfenol-A (BPA) e 17 β -estradiol (E2), em membranas de ultrafiltração (UF) disponível comercialmente. Quantidades pré-estabelecidas dos compostos estudados foram testados para que se pudesse traçar a retenção e o fluxo das substância pelas membranas. Os testes contaram com substâncias orgânicas que exerceram papel de competidoras na filtração. Os pesquisadores demonstraram que as membranas de ultrafiltração apresentam retenção similar para o estradiol, mesmo com diferentes tamanhos de poros, portanto, a remoção de estrógeno por filtração tem relação com a hidrofobicidade. As substâncias orgânicas adicionadas aos testes apresentaram elevada competição pelos sítios de adsorção, reduzindo a eficiência do processo na remoção dos micropoluentes.

CONCLUSÕES

Mesmo com a evolução dos métodos de tratamento de efluentes, torna-se importante que novos estudos sejam desenvolvidos com intuito de se estimular atitudes conscientes a esse respeito, tais como a substituição dos compostos tóxicos nos produtos e também a obrigatoriedade da remoção dos mesmos nos sistemas de tratamento de efluente e abastecimento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.; ASSALIN, R. M.; ROSA, M. A. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Química Nova*, São Paulo, 27(5):818-824, 2004.

AL-RIFAI, J. H.; KHABBAZ, H.; SCHÄFER, A.I. Removal of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in a water recycling process using reverse osmosis system. *Separation and Purification Technology*, 77:60-67, 2011.

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 2, p.46 - 63 , jul./dez. 2017.

Pinho, Eliane Alves da Silva; Ferreira, Luiz Fernando Romanholo; Américo-Pinheiro, Juliana Heloisa Pinê; Torres, Nádia Hortense

Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão

AQUINO, S. F.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(3):187-204, 2013.

BRANDÃO, P. C. *Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes derivados do petróleo, de efluentes*. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG.

CAMPOS, J. R.; DIAS, H. G. Potencialidade do filtro anaeróbio. *Revista DAE*, São Paulo, 49 (154):29-23, 1999.

CASTILLA, C. M. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*, 42:83-94, 2004.

COELHO, E. R. C.; VAZZOLER, H.; LEAL, W. P. Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(4):421-428, 2012.

FERNANDES, M.T.C.A. *Membranas isotrópicas e anisotrópicas densas baseadas em polímeros naturais para desidratação de etanol por pervaporação*. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

FERREIRA, J.C.R. *Remoção de micropoluentes emergentes em efluentes sanitários através de carvão ativado*. 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2011.

FULLER, G.P. *O saneamento ambiental como condição primacial à sadia qualidade de vida e fator estruturante do estado democrático de direito brasileiro*. 2011. 452 f. Tese (Doutorado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2011.

FUNASA. 2010. Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento. *Fundação Nacional da Saúde*. [s/d.]. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/estPesq_ProgrPesqSauPub.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2014.

GAGNÉ, F.; BLAISE, C.; ANDRÉ, C. Occurrence of pharmaceutical products in a municipal effluent and toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64 (3):329-336, 2006.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. *Processos de separação por membranas*. Rio de Janeiro: Ed. E-papers, 2006.

HEO, J.; FLORA, J. R. V.; HER, N.; PARK, Y. G.; CHO, J.; SON, A.; YOON, Y. Removal of bisphenol A and 17 β -estradiol in single walled carbon nanotubes-ultrafiltration (SWNTs-UF) membrane systems. *Separation and Purification Technology*, 90:39-52, 2012.

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 2, p.46 - 63 , jul./dez. 2017.

Pinho, Eliane Alves da Silva; Ferreira, Luiz Fernando Romanholo; Américo-Pinheiro, Juliana Heloisa Pinê; Torres, Nádia Hortense

Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico: uma visão realista. In: *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.

IBGE. 2011. Abrangência dos serviços de saneamento. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Acesso em 12 dez. 2014.

IMHOFF, K; IMHOFF, K.R. *Manual de tratamento de águas residuárias*, 26. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1986.

JOSS, A.; KELLER, E.; ALDER, A. C.; GÖBEL, A.; McARDELL, C. S.; TERNES, T.; SIEGRIST, H. Removal of pharmaceutical and fragrances in biological wastewater treatment. *Water Research*, 39:3139-3152, 2005.

LEE, H. B.; PEART, T. E.; SVOBODA, M. L. Determination of ofloxacin, norfloxacin, and ciprofloxacin in sewage by selective solid-phase extraction, liquid chromatography with fluorescence detection, and liquid chromatography – tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1139:45-52, 2007.

LEITE, G. S. AFONSO, R. J. C. F; AQUINO S. F. Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas *tandem* em alta resolução. *Química Nova*, São Paulo, 33 (3):734-738, 2010.

MELLO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. *Química Nova*, São Paulo, 32 (1):188-197, 2009.

MOREIRA, J.C. Contaminantes Emergentes. *Revista de Química Industrial*, 738:4-13, 2013.

MUCCIACITO, J. C. 2006. *Conceitos e aplicações do carvão ativado*. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=254>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

NBR 9648. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. (1986) Comissão de Estudo de Projetos de Sistemas de Esgoto Sanitário. 5p.

ONU. 2010. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS: A ONU e a Água. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>. Acesso em 12 ago. 2014.

PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. *Química Nova*, São Paulo, 28 (1):130-136, 2005.

PERES, M. R. *Remoção dos interferentes endócrinos 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol e 4-nonilfenol por adsorção em carvão ativado em pó em água de abastecimento público*. 2011. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

bioenergia em revista: diálogos, ano 7, n. 2, p.46 - 63 , jul./dez. 2017.

Pinho, Eliane Alves da Silva; Ferreira, Luiz Fernando Romanholo; Américo-Pinheiro, Juliana Heloisa Pinê; Torres, Nádia Hortense

Tratamento de esgoto sanitário contendo micropoluentes no Brasil: revisão

PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T. F. Águas Residuárias: visão de Saúde Pública e Ambiental. In: *Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Ed. Manole, 2005.

PNSB. 2008. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em 12 dez. 2014.

RADJENOVIC, J.; PETROVIĆ, M.; VENTURA, F.; BARCELÓ, D. Rejection of pharmaceuticals in nanofiltration and reverse osmosis membrane drinking water treatment. *Water Research*, 42:3601-3610, 2008.

SOUZA, N. C. *Avaliação de micropoluentes emergentes em esgotos e águas superficiais*. 2011. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos Oxidativos Avançados: conceitos teóricos. In: *Caderno Temático*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

VERAS, D. F. *Remoção dos perturbadores endócrinos 17β-estradiol e P-nonifenol por diferentes tipos de carvão ativado em pó (CAP) produzidos no Brasil – avaliação em escala de bancada*. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

WOLS, B. A.; HOFMAN-CARIS, C. H. M. Review of photochemical reaction constants of organic micropollutants required for UV advanced oxidation processes in water. *Water Research*, 46:2815-2827, 2012.

WU, C.; SHEMER, H.; LINDEN, K. G. Photodegradation of metochlor applying UV and UV/H₂O₂. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55:4059-4065, 2007.

YOON, Y.; WESTERHOFF, P.; SNYDER, S. A.; WERT, E. C.; YOON, J. Removal of endocrine disrupting compounds and pharmaceuticals by nanofiltration and ultrafiltration membranes. *Desalination*, 202:16-23, 2007.

1 Eliane Alves da Silva Pinho é Especialista em Gerenciamento Ambiental pela CEGEA/ESALQ-USP de 2013 a 2014. Graduada em Ciências Biológicas (Bacharel e Licenciatura) pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP-USP) de 2009 a 2012. Graduada em Fonoaudiologia pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP-USP) de 2005 a 2009.

2 Luiz Fernando Romanholo Ferreira. Graduado em Ciências Biológicas (Bacharelado e Licenciatura) pela Universidade Federal de Alagoas (2003) mestrado e doutorado em Microbiologia Agrícola pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (2005 e 2009) e Pós-doutorado pelo Instituto de Tecnologia e Pesquisa em Aracaju-SE (2011) e Universidade de São Paulo (CENA/USP) (2013), AOLÉM DE Pós-doutorado Empresarial na empresa Algae Biotecnologia (2012) Atualmente é professor doutor PPG I – 1 da Universidade Tiradentes, Aracaju. Tem experiência na área de Microbiologia Aplicada, com ênfase em Microbiologia Agrícola e Bioprocessos, atuando principalmente nos seguintes temas: biodegradação, biotransformações, biorremediação, tratamento de resíduos, enzimologia, ecotoxicologia, enzimas antioxidantes, bioetanol de segunda geração, *Moniliophthora perniciosa*, atividade enzimática, vassoura-de-bruxa.

3. Juliana Heloísa Pinê Américo-Pinheiro. Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (FEIS/UNESP), mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela UNESP, doutorado em Biologia Aquática pelo Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP) e Pós-doutorado pela UNESP (FEIS/UNESP) Atualmente é professora de ensino superior da Fundação Educacional de Andradina (FEA), docente credenciada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira e no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional - Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA). Docente do Programa de Mestrado Profissional em Ciências Ambientais da Universidade do Brasil. Tem experiência na área de qualidade de água (parâmetros físicos, químicos e microbiológicos), gestão de recursos hídricos, bacias hidrográficas, contaminantes ambientais emergentes (fármacos e agrotóxicos), ecotoxicologia aquática, utilização de organismos bioindicadores de qualidade de água (protistas, microcrustáceos, macrófitas e peixes) e microbiologia. Professora responsável pela disciplina de Microbiologia nos cursos de Medicina Veterinária e Agronomia da FEA. Desenvolve o projeto financiado pelo CNPq intitulado Caracterização da vinhaça como meio de cultivo para obtenção de ligninases por fungos para aplicação na área ambiental e avaliação da toxicidade com *Daphnia magna* e projetos de utilização de protistas como bioindicadores de qualidade de água. Atuou como pesquisadora colaboradora da UNICAMP no desenvolvimento do projeto intitulado Pesticidas no ambiente aquático: degradação, ecotoxicidade e segurança alimentar. Marco Antonio Azeredo Cesar – ESALQ-USP, Piracicaba-SP.

4. Nádia Hortense Torres. Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente (CENA/USP) e Mestre em Química na Agricultura e no Ambiente (CENA/USP), Especialista em Gerenciamento Ambiental (ESALQ-USP) e Engenheira Ambiental. Tem experiência em contaminação ambiental por fármacos e pesticidas, cromatografia líquida (HPLC-DAD-FLD), espectrometria de massas (LC-MS/MS), extração em fase sólida (SPE). Atualmente realiza Pós-doutorado no Laboratório de Tratamento de Resíduos e Efluentes (LTRE) no Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP) da Universidade Tiradentes (Unit).