



Poluentes industriais: conceitos e tendências de tratamento

Pedro Henrique Mainardi^{1,*} e Ederio Dino Bidoia¹

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Biologia Geral e Aplicada, Rio Claro, SP, Brasil

* Autor Correspondente: pedro.h.mainardi@unesp.br

Recebido: 23/01/2020; Aceito: 26/05/2020

Resumo: O desenvolvimento insustentável e o demasiado consumo têm causado um alarmante aumento da poluição em praticamente todo o planeta Terra. Os resíduos industriais têm sido responsabilizados por uma grande parcela dessa poluição. Nesta revisão, foram descritas as últimas pesquisas quanto ao desenvolvimento de novos métodos e estratégias de tratamento de resíduos e destoxificação de áreas contaminadas. O monitoramento ecológico, que considera os aspectos físico, químicos e biológicos dos resíduos, tem sido extremamente útil qualificação, quantificação e definição dos impactos ambientais causados pelos compostos poluidores. Estratégias de uso consciente e de reciclagem de água, matéria-prima e componentes do processo industrial, foram vistos por serem temas cada vez mais difundidos, capazes de reduzir as perdas envolvidas nos processos e nos custos gerais de produção. Estratégias de prevenção da poluição, que visam práticas que reduzem ou eliminam a carga poluidora, como a modernização de técnicas, de processos e de gestão empresarial, têm incluído a participação de profissionais de diversas áreas, incluindo membros da comunidade e pesquisadores. A avaliação do impacto tem considerado aspectos quanto a segurança e higiene no ambiente de trabalho e na comunidade, além da construção de uma agenda político-institucional na redefinição das normativas, que considerem o momento socioambiental brasileiro e provenham, sobretudo, melhor qualidade quanto ao meio ambiente e a vida como um todo.

Palavras-chave: recurso hídrico; rejeitos industriais; tratamento de água; tratamento de efluente; tratamento de esgoto; resíduos industriais.

Industrial pollutants: Concepts and treatment trends

Abstract: The unsustainable development and the globally overconsumption have caused an alarming increase of pollution across nearly the entire planet Earth. Industrial wastes have been responsible for a large part of this pollution. In this review, it was described the latest research about the development of new methods and strategies for waste treatment and detoxification of contaminated areas. Ecological monitoring, which considers the physical, chemical and biological aspects of waste, has been extremely useful in qualifying, quantifying and defining the environmental impacts caused by polluting components. Strategies for conscientious use and recycling of water, raw materials and components of the industrial process, were seen to be increasingly widespread themes, capable of reducing the losses involved in the industrial process and the production costs. Pollution prevention strategies, aimed at practices that reduce or eliminate the load of pollutants, such as the modernization of techniques, processes and business management, have included the participation of professionals from different areas, such as community members and researchers. The impact assessment has been considering aspects regarding safety and hygiene in the work environment and in the community, in addition to the construction of a political-institutional agenda in the redefinition of regulations, which take into account the Brazilian socio-environmental moment and, above all, provide better quality for the environment and the life as a whole.

Key-words: water resource; industrial waste; water treatment, effluent treatment; sewage treatment; industrial garbage.

1. INTRODUÇÃO

O setor industrial, ainda que muito importante, tem sido um dos grandes responsáveis por gerar grande quantidade de resíduos que podem ser danosos ao meio ambiente e também à saúde humana (AKPOR & MUCHIE, 2011; DEY & ISLAM, 2015). Estudos têm indicado que resíduos industriais, independentemente de sua natureza,

podem ter sua carga poluidora significativamente reduzida através de métodos físicos, químicos e biológicos de tratamento (MISHRA et al., 2019). Tem havido também grande desenvolvimento em técnicas voltadas para a descontaminação de áreas já contaminadas a partir de métodos de biorremediação (GAVRILESCU et al., 2015; VARJANI & UPASANI, 2019). Estratégias como a descentralização dos sistemas, bem como o tratamento dos resíduos de forma dedicada, têm sido vistas por serem passíveis de serem possíveis de serem implementadas em escalas reais e resultarem em maior eficiência em termos de performance (VAN LIER & LETTINGA, 1999; CORREIA, 1994; ANTIZAR-LADISLAO & TURRION-GOMEZ, 2010; JUNG et al., 2018; PHILIP et al., 2018).

A otimização de sistemas, utilizada para melhorar a qualidade, rendimento e reduzir o tempo de condução de processos e experimentos científicos, tem sido vista por deter o potencial de ser aplicada em qualquer etapa do processo industrial (RODRIGUES & IEMMA, 2005). Esse tipo de aplicação tem se demonstrado crucial na determinação dos parâmetros operacionais necessários para uma boa eficiência dos processos, e assim, propiciar melhores performances e redução de custos (CASTELLET-VICIANO et al., 2018; QIAO & ZHANG et al., 2018; GEEM et al., 2018). O monitoramento ecológico também tem tido grande importância, em especial, na determinação do grau de toxicidade demonstrada pelos poluentes, seus mecanismos de ação e impactos causados no meio ambiente (MORIARTY, 1988; MIŠÍK et al., 2007). Estudos de monitoramento tem propiciado a elucidação da rota dos poluentes e definição de estratégias para amenizar a carga poluidora (EVANS & FURLONG, 2003; GAVRILESCU et al., 2015).

Estratégias que visam a redução de água, matéria prima e componentes do processo industrial, chamadas de “uso racional” ou “uso consciente”, têm sido consideradas como cruciais na redução dos custos operacionais, além de evitar consideravelmente problemas relacionados à saúde e bem-estar dos seres humanos (BELTRAME 2000; GUARATINI & ZANONI, 2000; GIORDANO, 2004). Estratégias de reciclagem também tem resultado na preservação dos recursos naturais, reduzindo a demanda de água, matérias primas, gastos energéticos e custos dos processos (SCHWARZ & STEININGER, 1997). O acesso às informações referentes aos riscos ecológicos tem tido papel fundamental na definição das normativas relacionadas com lançamento dos resíduos (HOPE, 2006). A legislação reguladora tem visado propiciar melhor qualidade de vida ao meio ambiente, trabalhadores e consumidores, integrando a participação de membros da comunidade nacional e internacional (CLARK et al., 2001; PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004).

Esta revisão bibliográfica teve por objetivo, conceituar e descrever as últimas técnicas referentes ao tratamento de poluentes ambientais provindos do setor industrial, além de abordar temas como a otimização de processos, descentralização do tratamento, biorremediação de áreas contaminadas, uso consciente, reciclagem, além da importância da legislação ambiental nesse contexto.

2. CONCEITOS

Poluentes ambientais têm sido definidos como qualquer composto que possa gerar uma mínima ameaça à saúde de seres humanos, plantas, animais e também de modificar o aspecto estético, a composição ou a forma física de uma localidade (PEREIRA, 2002). De acordo com GAVRILESCU (2010), os poluentes ambientais têm sido provindos de diferentes origens e detido características extremamente distintas.

2.1. Poluentes em estado líquido

Os efluentes industriais, também chamados de águas residuais, em geral, têm apresentado forte coloração, odores desagradáveis, grande quantidade de teor de sólidos, compostos orgânicos e inorgânicos, metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos, substâncias voláteis, pesticidas e herbicidas (GIORDANO, 2004; KANU & ACHI, 2011). Nesse grupo, têm sido incluídos também os poluentes resilientes e emergentes, como os sais, fármacos, cosméticos, compostos que interferem o sistema hormonal e patógenos (GAVRILESCU et al., 2015; LIANG et al., 2017). Também tem sido considerado o lançamento de efluentes com temperatura elevada, que podem ocasionar a poluição térmica (GIORDANO, 2004). Os poluentes industriais líquidos, em geral, têm sido descartados em redes e galerias de esgoto e de águas pluviais. Esse tipo de prática, porém, foi vista por causar malefícios à vida aquática, animais e seres humanos (PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004).

2.2. Poluentes em estado sólido

Os resíduos sólidos gerados pela atividade industrial, que diferem dos resíduos gerados pela agropecuária, têm tido bastante variação, em geral, constituídos de cinzas, lodos, óleos, plásticos, papéis, madeiras, fibras sintéticas e naturais, borrachas, metais, vidros, cerâmicas, entre outros (PEREIRA, 2002; GAVRILESCU, 2010). Esse tipo de rejeito tem representado um grande problema ambiental, pois não apresenta uma deposição final adequada (BELTRAME, 2000). Na maior parte dos casos, a deposição de resíduos sólidos tem sido feita em aterros sanitários, construídos e operados, de preferência, com segurança para que não ocorra contato do material com o solo ou que ocorra vazamento dos líquidos para as águas subterrâneas (PEREIRA 2002; TEIXEIRA et al., 2011). De acordo com TEH et al. (2016), tem havido uma extrema necessidade de reduzir a quantidade de lixo depositado em aterros sanitários.

2.3. Poluentes em estado gasoso

Os poluentes gasosos têm sido definidos como qualquer matéria ou energia liberada para a atmosfera, que detém a propensão de torna-la imprópria ou de causar prejuízos aos seus usos (PHILIPPI JUNIOR, 1987). Os poluentes gasosos, em alguns casos, têm sido extremamente danosos aos ecossistemas, danificando materiais e ocasionando prejuízos à saúde de seres humanos, animais e plantas (PEREIRA, 2002). Poluentes desse tipo também tem representado um grande problema pois podem ser carregados por vários quilômetros dependendo do clima e da condição topográfica (GAVRILESCU, 2010). Os principais exemplos incluem os óxidos de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), gás sulfídrico (H_2S), hidrocarbonetos, mercaptanas, ácido clorídrico. Esses resíduos foram vistos por participar na formação de oxidantes fotoquímicos e ocasionar problemas visuais, respiratórios, além de promover o efeito estufa e a chuva ácida (PEREIRA, 2002).

3. TRATAMENTO DE POLUENTES

3.1. Tratamento de resíduos líquidos

Os sistemas de tratamento de efluentes, que detêm o objetivo de transformar os poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes ou sólidos sedimentáveis para posterior separação de fases, têm sido constituídos de etapas, chamadas de operações unitárias (GIORDANO, 2004). A quantidade de processos necessários para um tratamento eficiente tem dependido da natureza do efluente. Em geral, o primeiro processo tem se consistido da separação das partículas grosseiras do efluente, como a areia, fibras, óleos e gorduras através de grades, peneiras, sedimentadores e flutuadores (LIANG et al., 2017). As gorduras têm sido removidas em tanques de separação e os sólidos dissolvidos por métodos físico-químicos, como a coagulação/floculação e adsorção (RODRIGUES et al., 2013; ABO-ELELA et al., 1988; KUSHWAHA et al., 2010; GHALY et al., 2014; PAWAR & BHOSALE et al., 2018).

O secundário tem se consistido da remoção da porção orgânica dissolvida no efluente, tradicionalmente feito através de microrganismos em biorreatores, lagoas de tratamento e filtros biológicos (BELTRAME, 2000; PEREIRA, 2002; GIORDANO 2004; AKPOR & MUCHIE, 2011; BHATTACHARJEE, 2017; LIANG et al., 2017). O processo tem sido feito de forma aeróbica, no qual há fornecimento de oxigênio para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica, ou de forma anaeróbica, sem a presença de oxigênio (HARUN et al., 2018). Estudos têm indicado melhora na performance de tratamento por métodos biológicos com a prospecção de cepas microbianas especializadas na degradação de compostos recalcitrantes (EL-BESTAWY et al., 2005; SINGH et al., 2016; IVSHINA & KUYUKINA, 2018; TELES et al., 2018; MEERBERGEN et al., 2018). A possibilidade de se utilizar os processos biológicos na geração de biogás e a utilização de células combustíveis também tem tido grande atenção por parte dos pesquisadores (DO et al., 2018; SALAMA et al., 2019).

O processo terciário tem se consistido da remoção dos compostos remanescentes, como moléculas recalcitrantes, sais dissolvidos e patógenos presentes no efluente (GIORDANO 2004; LIANG et al., 2017). Nessa etapa, tem sido utilizado método de filtração por membrana, oxidação avançada e oxidação biológica (RODRIGUES et al., 2013; TEH et al., 2016; PREMKUMAR et al., 2018). Métodos de filtração por membrana têm sido considerados promissores devido às suas capacidades de removerem sais dissolvidos, metais pesados, desreguladores endócrinos e patógenos de efluentes industriais (BES-PIÁ et al., 2005; GREENLEE et al., 2009; DER BRUGGEN et al., 2017). Métodos oxidativos avançados, incluindo o foto-fenton, radiação UV, tratamento com ozônio, coagulação oxidativa e enzimas catalisadoras também têm sido utilizados (HUSAIN, 2006; RINCÓN & MOTTA, 2014; GAVRILESCU et al., 2015; AKKAYA et al., 2019; MALVESTITI et al., 2019).

3.2. Tratamento de resíduos sólidos

Resíduos sólidos, em geral, têm sido reciclados e tratados por processos de compostagem, com a finalidade de estabilizar, reduzir seus volumes, massas e também de suas toxicidades (GAVRILESCU, 2010; BHAT et al., 2018). Dependendo de sua qualidade, estudos têm indicado que esse tipo de rejeito poderia ser utilizado na síntese de tijolos e lajotas empregados no ramo de construção civil (CHEN & WU, 2018; ZHAN & POON, 2015). Além disso, alguns rejeitos sólidos têm apresentado grande quantidade de nutrientes que poderiam ser utilizados como fertilizantes ou condicionadores de solo (PEREIRA, 2002; GIORDANO 2004; PERIYASAMY et al., 2019). Quanto aos resíduos nocivos, estudos têm indicado a possibilidade de sua reutilização após pré-tratamentos bioquímicos (TEH et al., 2016; PRABAKAR et al., 2018). Relatos também indicaram a utilização de rejeitos sólidos na geração de energia elétrica através de métodos de incineração ou digestão biológica para formar biogás, com grandes potenciais de aplicações no setor de energias renováveis e de sustentabilidade (GAVRILESCU 2010; SCARLAT et al., 2018; ZHANG et al., 2018; SALAMA et al., 2019).

3.3. Tratamento de resíduos gasosos

Os sistemas de tratamento desse tipo de resíduo têm sido fundamentados na remoção dos poluentes em suspensão através de técnicas de separação de fases (GIORDANO, 2004). Estudos indicaram que filtros de ar têm

reduzido de forma significativa a emissão de poluentes atmosférico em plantas industriais (GAVRILESCU 2010; SUBRENAT & LE CLOIREC, 2006). O desenvolvimento de filtros biológicos, chamados de biofiltros, tem apresentado resultados promissores quanto a remoção de partículas e compostos voláteis em resíduos em sua forma gasosa (LESON & WINER, 1991). Estudos também têm indicado a possibilidade de se utilizar os gases quentes emitidos pelos processos e dispositivos industriais na geração de energia elétrica, reduzindo o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes (LI et al., 2019; POPURI & GARIMELLA, 2020).

3.4. Tratamento de solos contaminados

A remoção de poluentes em solos contaminados tem sido feita através de técnicas de separação, degradação e contenção dos contaminantes em processos *in* ou *ex situ* (GAVRILESCU, 2010; KUYUKINA et al., 2018; WU et al., 2018). Em geral, os processos têm se utilizado de organismos vivos a partir de técnicas de biorremediação, como controles abióticos, atenuação natural, bioestimulação, bioaugmentação (MA et al., 2018; ITE & IBOK, 2019; VARJANI & UPASANI, 2019). Relatos têm indicado aplicações bem sucedidas de diferentes linhagens de microrganismos, plantas e vermes na metabolização de compostos tóxicos exógenos, chamados de organismos xenobiontes, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), organoclorados e metais pesados (SANDERMANN, 1992; SINGLETON, 1994; STELLA et al., 2017; PENG et al., 2018; RODRIGUEZ-CAMPOS et al., 2018; LIU et al., 2019; OLU-AROTIOWA et al., 2019). Estudos também têm indicado a possibilidade da aplicação de enzimas extracelulares na biorremediação de solos contaminados por poluentes (KUMAR et al., 2019; THAKUR et al., 2019). Alguns compostos, em especial pesticidas, herbicidas e metais pesados, entretanto, foram vistos por serem biologicamente ativos, tóxicos, com baixa taxa de biodegradabilidade, podendo lixiviar para as águas subterrâneas e ocasionar em severas contaminações ambientais (GAVRILESCU, 2010; GAVRILESCU et al., 2015).

3.5. Tratamento de águas subterrâneas contaminadas

As águas subterrâneas têm sido contaminadas através de infiltrações provenientes de reservatórios de águas residuárias, fossas sépticas, lixiviação de poluentes, deposições abandonadas ou mesmo a partir de águas superficiais contaminadas (BEHERA & REDDY, 2002; PEREIRA, 2002). As técnicas utilizadas na remoção e degradação de poluentes nesse tipo de local, em sua grande maioria, têm sido fundamentadas em métodos de biorremediação. Esses métodos têm se utilizado de organismos vivos capazes de promover o mesmo efeito desejado no tratamento do solo contaminado: remoção, separação, degradação e contenção dos contaminantes (DELLAGNEZZE et al., 2018). Os métodos têm demonstrado sucesso na remoção de poluentes como fenóis, compostos clorados e metais pesados em águas subterrâneas contaminadas (MIKKONEN et al., 2018; SAUNDERS et al., 2018). Estudos recentes também têm utilizado métodos de sedimentação, eletroquímicos e filtração por membranas (AHMADZADEH & DOLATABADI, 2018; CHENG et al., 2018; ČERNÍK et al., 2019; ORIOL et al., 2019).

4. OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

A otimização de processos e modelagem matemática têm sido amplamente utilizadas na determinação dos parâmetros operacionais necessários para uma eficiente performance de tratamento de resíduos. Estudos têm indicado que estratégias de otimização foram responsáveis por melhorar a performance e também reduzir de forma significativa os custos operacionais dos processos de tratamento de diferentes tipos de resíduos industriais (DENTEL, 1991; MOGHADDAM et al., 2010; KIM, 2016; NAJAFPOOR et al., 2017; AKKAYA et al., 2019; MALVESTITI et al., 2019; GHAEDI et al., 2019). A otimização foi vista por deter o potencial de ser aplicada em qualquer etapa do processo industrial, ocasionando uma melhora na qualidade, rendimento e redução do tempo utilizado na condução de processos industriais (PORTER et al. 1997; RODRIGUES & IEMMA, 2005; AGGARWAL et al., 2006; BEZERRA et al., 2008; VIEIRA et al., 2016; OZ et al., 2019).

5. DESCENTRALIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Na maior parte dos casos, o esgoto doméstico tem sido coletado e dispensado em grandes galerias subterrâneas que transportam os resíduos do local de produção até a planta de tratamento (PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004). Esse tipo de sistema, no entanto, foi visto por requerer grande investimento em termos de infraestrutura e sua implementação tem se demonstrado dispendiosa (VAN LIER & LETTINGA, 1999). A descentralização do sistema de tratamento tem sido desenvolvida envolta em estratégias que visam tratar o esgoto de forma concentrada, independente e no próprio local. Esse tipo de abordagem tem considerado as peculiaridades de cada água residual e foi vista por apresentar uma melhoria na eficiência em termos de performance, além de ter possibilitado a reutilização da água, dos nutrientes e também dos produtos intermediários gerados no processo de tratamento, como energia, lodo e compostos mineralizados (VAN LIER & LETTINGA, 1999; GAVRILESCU, 2010; JUNG et al., 2018; PHILIP et al., 2018).

Sistemas descentralizados de tratamento, em geral, têm possibilitado uma abordagem mais sustentável e ecológica em relação aos sistemas convencionais, inclusive, possíveis de serem aplicados em áreas rurais e urbanas (BURKHARD et al., 2000). As estratégias referentes ao tratamento de resíduos industriais têm seguido a mesma tendência. Tem sido aconselhado que o resíduo gerado pela planta industrial seja tratado no próprio local, evitando a mistura com o esgoto doméstico tradicional ou a necessidade do transporte do material (PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004; GAVRILESCU et al., 2015). Devido a possibilidade de ocorrer efeitos sinérgicos de toxicidade, também tem sido recomendado o tratamento dos resíduos em etapas independentes e de forma dedicada, ou seja, um tratamento específico para cada etapa unitária do processo industrial (CORREIA, 1994; HOFFMAN, 2002; WANG et al., 2002; EVANS & FURLONG, 2003). O desafio tem sido o desenvolvimento de sistemas descentralizados, que sejam robustos, eficientes, confiáveis, sustentáveis e também específicos, ou seja, que levem em conta as peculiaridades de cada localização e tipo resíduo (VAN LIER & LETTINGA, 1999; GAVRILESCU, 2010).

6. MONITORAMENTO ECOLÓGICO

O monitoramento ecológico, utilizado para qualificar e quantificar o potencial que compostos detêm em causar danos e desequilíbrios ambientais, tem tido grande importância na determinação das rotas e dos impactos causados por poluentes no meio ambiente (Figura 1) (PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004; GAVRILESCU et al., 2015). O biomonitoramento tem considerado os aspectos físicos, químicos, biológicos dos rejeitos, e sido extremamente útil na avaliação da qualidade do solo e água, implementação de novas tecnologias de tratamento de água e efluentes, desenvolvimento de ferramentas para uma melhor gestão industrial, técnicas de biorremediação e métodos de agricultura sustentável (MORIARTY, 1988; HOVI et al., 2001; HUNGER, 2005; MAINARDI & BIDOIA, 2020).

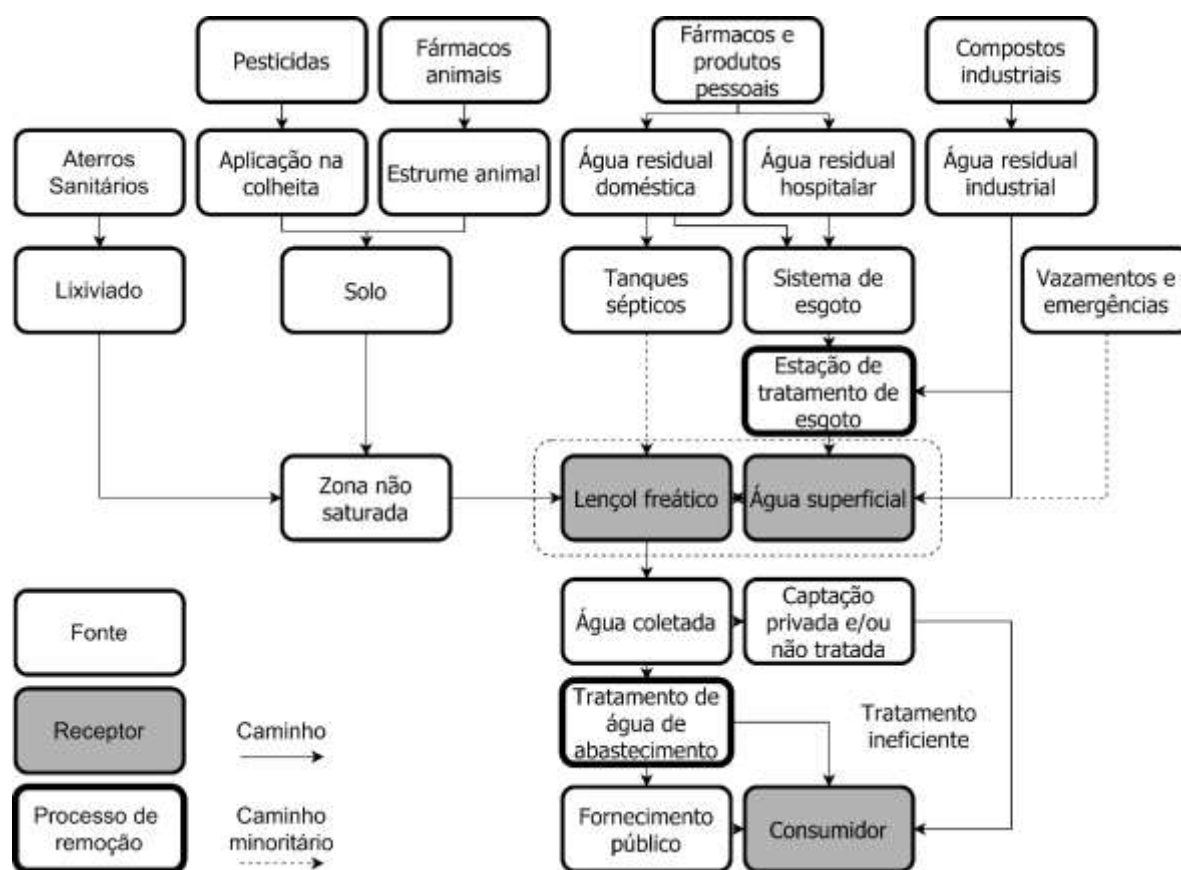


Figura 1. Diagrama das fontes e caminhos percorridos por alguns poluentes ambientais (sem escala). Autoria de STUART et al. (2012), citado em GAVRILESCU et al. (2015).

Métodos e equipamentos que possibilitam a detecção de baixas concentrações de poluentes têm sido imprescindíveis em estudos de monitoramento ecológico (MORIARTY et al., 1988; GAVRILESCU et al., 2015; HASSAN et al., 2016). Bioensaios e biosensores, sistemas capazes de detectar a presença de um substrato a partir de componentes biológicos, têm demonstrado sucesso na determinação da toxicidade de amostras ambientais e detecção de poluentes, como metais pesados, compostos fenólicos, fármaco, patógenos (KAHRU et al., 2005;

ANTUNES et al., 2008; ADEGOKE et al., 2019; HURTADO-GALLEG0 et al., 2019). Estudos genômicos têm sido utilizados na determinação dos efeitos de poluentes a nível molecular e definição de seus caminhos a nível de comunidade (STUART et al., 2012; GAVRILESCU et al., 2015). Tem sido aconselhado, entretanto, uma estimativa adequada referente ao impacto dos poluentes no ambiente com o intuito de se evitar reações exacerbadas de compostos que não representam um perigo ambiental real (CLARKE & ANLIKER, 1984).

7. USO CONSCIENTE E RECICLAGEM

O “uso consciente”, também chamado de “uso racional”, tem visado a redução da utilização de água, matéria prima e componentes do processo industrial, e sido considerado como uma estratégia crucial na redução dos custos operacionais das indústrias. As estratégias têm visado a utilização de métodos e maquinários modernos, com manutenção em dia, arranjo otimizado, e enfatizado à saúde dos funcionários e clientes (BELTRAME 2000; GUARATINI & ZANONI, 2000; GIORDANO, 2004). A redução no consumo de água, por exemplo, tem indicado que poderia resultar em menor geração de efluentes e minimizar, ou mesmo, eliminar a carga poluidora (PEREIRA, 2002). A estratégia também foi vista por ser possível de ser empregada na recuperação e reuso de outras matérias primas, propiciando a redução da poluição e dos custos gerais de operação (SCHWARZ & STEININGER, 1997; VAN LIER & LETTINGA, 1999; BELTRAME, 2000). Relatos têm indicado que a reciclagem, recuperação e reutilização de água e materiais foram vistas por ocasionar em uma significativa redução no impacto causado pelos poluentes no meio ambiente, aumentar a vida útil das matérias-primas, reduzir o custo final de produção e influenciar de forma positiva os aspectos econômicos (PEREIRA, 2002; AKPOR & MUCHIE, 2011; HOLKAR et al., 2016; TEH et al., 2016).

8. PREVENÇÃO DE POLUIÇÃO

A prevenção à poluição tem sido referida como qualquer prática que vise a redução e eliminação de poluentes (FREEMAN et al., 1992; PEREIRA, 2002). As estratégias têm visado a adequação dos equipamentos, processos e procedimentos, além da reformulação e replanejamento de produtos e substituição de matérias-primas (FREEMAN et al., 1992; PEREIRA, 2002). Tem sido recomendado que os efluentes industriais sejam mantidos de forma separada das águas pluviais e esgotos domésticos tradicionais, pois grandes variações de vazão e composição ao longo do tempo têm tornado o processo de tratamento mais oneroso e difícil (PEREIRA, 2002; GIORDANO, 2004; SKELLY, 2008). A otimização do arranjo da planta industrial também tem sido considerada como grande responsável por reduzir as perdas possíveis. As indústrias têm sido aconselhadas a planejar os tanques e tubulações com menor comprimento possível, com boa relação entre os volumes e a superfície interna, além de favorecer a limpeza (VAN LIER & LETTINGA, 1999; GIORDANO 2004). Ressalta-se que a participação de trabalhadores, membros da comunidade e pesquisadores de diversos seguimentos tem sido essencial no desenvolvimento de estratégias de redução do uso e geração de substâncias nocivas (FREEMAN et al., 1992; CHAPMAN et al., 1995; BEHERA & REDDY, 2002).

9. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento das atividades industriais tem sido fundamentado em estudos que avaliam o impacto do empreendimento no meio ambiente (GIORDANO, 2004). A definição dos parâmetros tem sido feita a partir de estudos de biomonitoramento, considerando aspectos quanto a segurança e higiene no ambiente de trabalho e também na comunidade (NEDER, 1992; PEREIRA, 2002; TARIQ et al., 2006). Os licenciamentos tem incluído a participação de pessoas situadas em diferentes funções dentro da organização, profissionais e membros da sociedade (CHAPMAN, 1995; PEREIRA, 2002). Tem sido aconselhado uma abordagem realista referente aos impactos históricos e atuais dos projetos, e considerado a modernização de técnicas, processos e gestão empresarial. Sobre tudo, tem se evitado condições adversas ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos, como condições de insalubridades, degradantes de trabalho e riscos de acidentes (NEDER, 1992; GIORDANO, 2004).

Em termos organizacionais, tem sido aconselhado maiores investimentos em setores como os de controle da poluição, segurança do trabalho e preservação do meio-ambiente. Esses investimentos foram vistos, inclusive, por serem utilizados como indutores de inovação, motivação empresarial e estratégia de mercado (NEDER, 1992; YOUNG & LUSTOSA, 2001). As tendências também têm visado a construção de uma “agenda” político-institucional unificada na redefinição das normativas, em que seja considerado o momento socioambiental brasileiro, integrando o controle da poluição, atividades de higiene e segurança do trabalho (NEDER, 1992). A política adotada tem sido aconselhada a ser influenciadora e também influenciável nas decisões, dialogando com consultores nacionais e estrangeiros, visando, em especial, a promoção de melhor qualidade ao meio ambiente e à saúde humana (FREEMAN et al., 1992; NEDER, 1992; CHAPMAN, 1995; BEHERA & REDDY, 2002).

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que muito importante, o setor industrial tem sido um dos grandes responsáveis por gerar grande quantidade de poluição. Estudos têm indicado que resíduos industriais, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, podem ter sua carga poluidora significativamente reduzida através de métodos físicos, químicos e biológicos de tratamento. Técnicas de biorremediação de solos e águas subterrâneas contaminadas também foram vistas por serem viáveis de serem aplicadas em escalas reais. Em especial, tem havido grande foco em métodos que reciclam os recursos úteis e gerem energia durante os processos de tratamento.

A descentralização e otimização dos sistemas de tratamento e de processamento, além da utilização consciente e reuso dos recursos naturais, têm sido temas cada vez mais abordados, capazes de aumentar o rendimento e reduzir de forma significativa os custos gerais de produção. A implementação das estratégias, entretanto, ainda tem representado um grande desafio, requerendo robustez, confiabilidade e alta especificidade quanto aos diferentes tipos e localizações dos resíduos. Métodos de monitoramento ecológico têm tido suma importância na determinação do grau de toxicidade de rejeitos industriais, amostras ambientais, e também no desenvolvimento e implementação de novas estratégias de tratamento de resíduos e gestão industrial.

O licenciamento ambiental tem enfatizado medidas de redução e prevenção da formação de substâncias nocivas durante os processos industriais, visando um consenso a nível internacional sobre temas relevantes e suas soluções. Os objetivos têm focado o desenvolvimento de novas tecnologias, modernização de técnicas e gestões, qualificação e melhores salários de funcionários, além da construção de uma agenda político-institucional unificada, com a participação de diversos membros da sociedade, profissionais e pesquisadores. Em especial, as normativas têm considerado o momento socioambiental brasileiro, com intuito de prover melhor qualidade ao meio ambiente e à vida como um todo. A partir desta revisão, espera-se a utilização responsável dos recursos naturais e da água, além de maior controle sobre a carga poluidora emitida pelas plantas industriais.

11. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABO-ELELA, S.I.; EL-GOHARY, F.A.; ALI, H.I.; WAHAAB, R.S.A. Treatability studies of textile wastewater. **Environmental Technology Letters**, v.9, n.2, p.101-108, 1988. <http://dx.doi.org/10.1080/09593338809384546>
- ADEGOKE, A.A.; SINGH, G.; STENSTRÖM, T.A. Biosensors for monitoring pharmaceutical nan contaminants and drug resistant bacteria in surface water, subsurface water and wastewater effluent for reuse. **Nanoparticles in Pharmacotherapy**, p.525-559, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816504-1.00014-4>
- AGGARWAL, V.K.; STAUBITZ, A. C.; OWEN, M. Optimization of the Mizoroki–Heck Reaction Using Design of Experiment (DoE). **Organic Process Research & Development**, v.10, n.1, p.64–69, 2006. <http://dx.doi.org/10.1021/op058013q>
- AHMADZADEH, S.; DOLATABADI, M. Modeling and kinetics study of electrochemical peroxidation process for mineralization of bisphenol A; a new paradigm for groundwater treatment. **Journal of Molecular Liquids**, v.254, p.76-82, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.08>
- AKKAYA, G.K.; ERKAN, H. S.; SEKMAN, E.; TOP, S.; KARAMAN, H.; BILGILI, M.S.; ENGIN, G.O. Modeling and optimizing Fenton and electro-Fenton processes for dairy wastewater treatment using response surface methodology. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, n.5, p.2343-2358, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-1846-0>
- AKPOR, O. B.; MUCHIE, B. Environmental and public health implications of wastewater quality. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n.13, p.2379-2387, 2011.
- ANTIZAR-LADISLAO, B.; TURRION-GOMEZ, J.L. Decentralized energy from waste systems. **Energies**, v.3, n.2, p.194-205, 2010. <https://doi.org/10.3390/en3020194>
- ANTUNES, R.; FERRAZ, D.; GARCIA, L.; THOMAZ, D.; LUQUE, R.; LOBÓN, G.; GIL, E.; LOPES, F. Development of a polyphenol oxidase biosensor from jenipapo fruit extract (*Genipa americana* L.) and determination of phenolic compounds in textile industrial effluents. **Biosensors**, v.8, n.2, p.47, 2018. <https://doi.org/10.3390/bios8020047>
- BEHERA, B.; REDDY, V.R. Environment and accountability: Impact of industrial pollution on rural communities. **Economic and Political Weekly**, p.257-265, 2002.
- BELTRAME, L.T.C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Natal-RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000.
- BES-PIÁ, A.; IBORRA-CLAR, M.I.; IBORRA-CLAR, A.; MENDOZA-ROCA, J.A.; CUARTAS-URIBE, B.; ALCAINA-MIRANDA, M.I. Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment. **Desalination**, v.178, n.1-3, p.343-349, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2004.11.044>
- BEZERRA, M.A.; SANTELLI, R.E.; OLIVEIRA, E.P.; VILLAR, L.S.; ESCALEIRA, L.A. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v.76, n.5, p.965-977, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- BHAT, S.A.; SINGH, S.; SINGH, J.; KUMAR, S.; BHAWANA; VIG, A. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. **Bioresource Technology**, v.252, p.172-179, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>

- BHATTACHARJEE, S. Removal of biological organic matter and suspended solid from textile wastewater using anaerobic-aerobic process: a review of an industrial implementation. **Journal of Scientific Research**, v.9, n.2, p.267-275, 2017. <http://dx.doi.org/10.3329/jsr.v9i2.31302>
- BURKHARD, R.; DELETIC, A.; CRAIG, A. Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning: a review of techniques and their integration in planning. **Urban Water**, v.2, n.3, p.197-221, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758\(00\)00056-x](http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758(00)00056-x)
- CASTELLET-VICIANO, L.; HERNÁNDEZ-CHOVER, V.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Modelling the energy costs of the wastewater treatment process: the influence of the aging factor: The influence of the aging factor. **Science of The Total Environment**, v.625, p.363-372, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.304>
- ČERNÍK, M.; NOSEK, J.; FILIP, J.; HRABAL, J.; ELLIOTT, D.W.; ZBOŘIL, R. Electric-field enhanced reactivity and migration of iron nanoparticles with implications for groundwater treatment technologies: proof of concept: Proof of concept. **Water Research**, v.154, p.361-369, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.058>
- CHAPMAN, P.M. Ecotoxicology and pollution-Key issues. **Marine Pollution Bulletin**, v.31, n.4-12, p.167-177, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326x\(95\)00101-r](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326x(95)00101-r)
- CHEN, C.; WU, H. Lightweight bricks manufactured from ground soil, textile sludge, and coal ash. **Environmental Technology**, v.39, n.11, p.1359-1367, 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2017.1329353>
- CHENG, Y.; HUANG, T.; CHENG, L.; SUN, Y.; ZHU, L.; LI, Y. Structural characteristic and ammonium and manganese catalytic activity of two types of filter media in groundwater treatment. **Journal of Environmental Sciences**, v.72, p.89-97, out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.014>
- CLARK, J.S.; CARPENTER, S.R.; BARBER, M.; COLLINS, S.; DOBSON, A.; FOLEY, J.A.; LODGE, D.M.; PASCUAL, M.; PIELKE, R.; PIZER, W.; PRINGLE, C. Ecological Forecasts: an emerging imperative: An Emerging Imperative. **Science**, v.293, n. 5530, p.657-660, 2001. <http://dx.doi.org/10.1126/science.293.5530.657>
- CLARKE, E.A.; ANLIKER, R. Safety in use of organic colorants: health and safety aspects. **Review of Progress in Coloration and Related Topics**, v.14, n. 1, p.84-89, 1984. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1984.tb00048.x>
- CORREIA, V.M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S.J. Characterisation of textile wastewaters-a review. **Environmental Technology**, v.15, n. 10, p.917-929, 1994. <https://doi.org/10.1080/09593339409385500>
- DELLAGNEZZE, B.M.; GOMES, M.B.; De OLIVEIRA, V.M. Microbes and Petroleum Bioremediation. **Microbial Action on Hydrocarbons**, p.97-123, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1840-5_5
- DENTEL, S.K. Coagulant control in water treatment. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.21, n.1, p.41-135, 1991. <https://doi.org/10.1080/10643389109388409>
- DER BRUGGEN, B.V.; CANBOLAT, Ç.B.; LIN, J.; LUIS, P. The Potential of Membrane Technology for Treatment of Textile Wastewater. **Green Chemistry and Sustainable Technology**, p.349-380, 2017. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-5623-9_13
- DEY, S.; ISLAM, A. A review on textile wastewater characterization in Bangladesh. **Resources and Environment**, v.5, n.1, p.15-44, 2015.
- DO, M.H.; NGO, H.H.; GUO, W.S.; LIU, Y.; CHANG, S.W.; NGUYEN, D.D.; NGHIEM, L.D.; NI, B.J. Challenges in the application of microbial fuel cells to wastewater treatment and energy production: a mini review. **Science of The Total Environment**, v.639, p.910-920, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.136>
- EL-BESTAWY, E.; EL-MASRY, M.H.; NAWAL, E. The potentiality of free Gram-negative bacteria for removing oil and grease from contaminated industrial effluents. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.21, n.6-7, p.815-822, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-2239-8>
- EVANS, G.G.; FURLONG, J. **Environmental biotechnology: theory and application**. John Wiley & Sons, 2003. 302p.
- FREEMAN, H.; HARTEN, T.; SPRINGER, J.; RANDALL, P.; CURRAN, M.A.; STONE, K. Industrial pollution prevention! A critical review. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v.42, n.5, p.618-656, 1992. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.1992.10467016>
- GAVRILESCU, M. Environmental biotechnology: achievements, opportunities and challenges. **Dynamic biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology**, v.4, n.1, p.1-36, 2010.
- GAVRILESCU, M.; DEMNEROVÁ, K.; AAMAND, J.; AGATHOS, S.; FAVA, F. Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. **New Biotechnology**, v.32, n.1, p.147-156, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>
- GEEM, Z.W.; CHUNG, S.Y.; KIM, J. Improved optimization for wastewater treatment and reuse system using computational intelligence. **Complexity**, v.2018, p.1-8, 2018. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/2480365>
- GHAEDI, A.M.; KARAMIPOUR, S.; VAFAEI, A.; BANESHI, M.M.; KIAROSTAMI, V. Optimization and modeling of simultaneous ultrasound-assisted adsorption of ternary dyes using copper oxide nanoparticles immobilized on activated carbon using response surface methodology and artificial neural network. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.51, p.264-280, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.007>
- GHALY, A.E.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTAB, M.V.; RAMAKRISHNAN, V.V. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, v.5, n.1, p.1-19, 2014.
- GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v.4, n.76, 2004.
- GREENLEE, L.F.; LAWLER, D.F.; FREEMAN, B.D.; MARROT, B.; MOULIN, P. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. **Water research**, v.43, n.9, p.2317-2348, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>
- GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**, p.71-78, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422000000100013>

- HARUN, N.; IBRAHIM, W.H.W.; LUKMAN, M.F.; YUSOFF, M.H.M.; DAUD, N.F.S.; ZAINOL, N. Process simulation of anaerobic digestion process for municipal solid waste treatment. **Anaerobic Digestion Processes**, p.71-83, 2018. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-8129-3_5
- HASSAN, S.H.; VAN GINKEL, S.W.; HUSSEIN, M.A.M.; ABSKHARON, R.; OH, S. Toxicity assessment using different bioassays and microbial biosensors. **Environment International**, v.92-93, p.106-118, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.003>
- HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A.; BURTON J.; G.A.; CAIRNS, J. **Handbook of ecotoxicology**. CRC press, 2002. 1315p.
- HOLKAR, C.R.; JADHAV, A.J.; PINJARI, D.V.; MAHAMUNI, N.M.; PANDIT, A.B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v.182, p.351-366, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
- HOPE, B.K. An examination of ecological risk assessment and management practices. **Environment International**, v.32, n.8, p.983-995, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.005>
- HOVI, T.; STENVIK, M.; PARTANEN, H.; KANGAS, A. Poliovirus surveillance by examining sewage specimens. Quantitative recovery of virus after introduction into sewerage at remote upstream location. **Epidemiology and Infection**, v.127, n.01, p.101-106, 2001. <http://dx.doi.org/10.1017/s0950268801005787>
- HUNGER, K. Toxicology and toxicological testing of colorants. **Review of progress in coloration and related topics**, v.35, p.76, 2005.
- HURTADO-GALLEGO, J.; PULIDO-REYES, G.; GONZÁLEZ-PLEITER, M.; FERNÁNDEZ-PIÑAS, F. Luminescent microbial bioassays and microalgal biosensors as tools for environmental toxicity evaluation. **Handbook of Cell Biosensors**, p.1-58, 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-47405-2_89-1
- HUSAIN, Q. Potential applications of the oxidoreductive enzymes in the decolorization and detoxification of textile and other synthetic dyes from polluted water: a review. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.26, n.4, p.201-221, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/07388550600969936>
- ITE, A.E.; IBOK, U.J. Role of plants and microbes in bioremediation of petroleum hydrocarbons contaminated soils. **International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation**, v.7, n.1, p.1-19, 2019.
- IVSHINA, I.B.; KUYUKINA, M.S. Specialized microbial resource centers: a driving force of the growing bioeconomy: a driving force of the growing bioeconomy. **Soil Biology**, p.111-139, 2018. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-96971-8_4
- JUNG, Y.T.; NARAYANAN, N.C.; CHENG, Y. Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. **Journal of Environmental Management**, v.213, p.90-97, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.081>
- KAHRU, A.; IVASK, A.; KASEMETS, K.; PÖLLUMAA, L.; KURVET, I.; FRANÇOIS, M.; DUBOURGUIER, H. Biotests and biosensors in ecotoxicological risk assessment of field soils polluted with zinc, lead, and cadmium. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.24, n.11, p.2973-2982, 2005. <http://dx.doi.org/10.1897/05-002r1.1>
- KANU, I.; ACHI, O.K. Industrial effluents and their impact on water quality of receiving rivers in Nigeria. **Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation**, v.1, n.1, p.75-86, 2011.
- KIM, S. Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation–flocculation process for pre-treating paper wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.38, p.93-102, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.04.010>
- KUMAR, G.; PRASAD, J.S.; SUMAN, A.; PANDEY, G. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-polluted soil using microbial enzymes. **Smart Bioremediation Technologies**, p.307-317, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818307-6.00016-0>
- KUSHWAHA, J.P.; SRIVASTAVA, V.C.; MALL, I.D. Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies: Parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies. **Bioresource Technology**, v.101, n.10, p.3474-3483, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.002>
- KUYUKINA, M.; KRIVORUCHKO, A.; IVSHINA, I. Hydrocarbon- and metal-polluted soil bioremediation: progress and challenges: progress and challenges. **Microbiology Australia**, v.39, n.3, p.133-136, 2018. <http://dx.doi.org/10.1071/ma18041>
- LESON, G.; WINER, A.M. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions: An innovative air pollution control technology for VOC emissions. **Journal of The Air & Waste Management Association**, v.41, n.8, p.1045-1054, 1991. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.1991.10466898>
- LI, D.; WANG, J.; DING, Y.; YAO, H.; HUANG, Y. Dynamic thermal management for industrial waste heat recovery based on phase change material thermal storage. **Applied Energy**, v.236, p.1168-1182, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.040>
- LIANG, Y.; ZHU, H.; BAÑUELOS, G.; YAN, B.; ZHOU, Q.; YU, X.; CHENG, X. Constructed wetlands for saline wastewater treatment: a review: A review. **Ecological Engineering**, v.98, p.275-285, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.005>
- LIU, Y.; WANG, W.; SHAH, S.B.; ZANAROLI, G.; XU, P.; TANG, H. Phenol biodegradation by *Acinetobacter radioresistens* APH1 and its application in soil bioremediation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.104, n.1, p.427-437, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-019-10271-w>
- MA, L.; DENG, F.; YANG, C.; GUO, C.; DANG, Z. Bioremediation of PAH-contaminated farmland: field experiment: field experiment. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.1, p.64-72, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-7906-4>

- MAINARDI, P.H.; BIDOIA, E.D. Microbial population inhibition method through spectrophotometry absorption of visible light applied to ecotoxicological analyses. **Journal of Applied Biotechnology**, v.8, n.1, p.1-17, 2020. <http://dx.doi.org/10.5296/jab.v8i1.16633>
- MALVESTITI, J.A.; FAGNANI, E.; SIMÃO, D.; DANTAS, R.F. Optimization of UV/H₂O₂ and ozone wastewater treatment by the experimental design methodology. **Environmental Technology**, v.40, n. 15, p.1910-1922, 2018. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2018.1432698>
- MEERBERGEN, K.; WILLEMS, K.A.; DEWIL, R.; VAN IMPE, J.; APPELS, L.; LIEVENS, B. Isolation and screening of bacterial isolates from wastewater treatment plants to decolorize azo dyes. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.125, n. 4, p.448-456, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.11.008>
- MIKKONEN, A.; YLÄRANTA, K.; TIROLA, M.; DUTRA, L.A.L.; SALMI, P.; ROMANTSCHUK, M.; COPLEY, S.; IKÄHEIMO, J.; SINKKONEN, A. Successful aerobic bioremediation of groundwater contaminated with higher chlorinated phenols by indigenous degrader bacteria. **Water Research**, v.138, p.118-128, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.033>
- MISHRA, S.; CHOWDHARY, P.; BHARAGAVA, R.N. Conventional methods for the removal of industrial pollutants, their merits and demerits. **Emerging and Eco-friendly Approaches for Waste Management**, p.1-31, 2018. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4_1
- MIŠÍK, M.; MIČIETA, K.; SOLENSKÁ, M.; MIŠÍKOVÁ, K.; PISARČÍKOVÁ, H.; KNASMÜLLER, S. In situ biomonitoring of the genotoxic effects of mixed industrial emissions using the Tradescantia micronucleus and pollen abortion tests with wild life plants: demonstration of the efficacy of emission controls in an eastern european city: Demonstration of the efficacy of emission controls in an eastern European city. **Environmental Pollution**, v.145, n.2, p.459-466, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.026>
- MOGHADDAM, S.S.; MOGHADDAM, M.R. Alavi; ARAMI, M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology: Optimization through response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**, v.175, n.1-3, p.651-657, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.058>
- MORIARTY, F. Ecotoxicology. **Human Toxicology**, v.7, n.5, p.437-441, 1988. <http://dx.doi.org/10.1177/096032718800700510>
- NAJAFPOOR, A.A.; DAVOUDI, M.; SALMANI, E.R. Decolorization of synthetic textile wastewater using electrochemical cell divided by cellulosic separator. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v.15, n.1, p.15-11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1186/s40201-017-0273-3>
- NEDER, R.T. Há política ambiental para a indústria brasileira? **Revista de Administração de Empresas**, v.32, n.2, p.6-13, 1992. <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-75901992000200002>
- OLU-AROTIOWA, O.; AJANI, A.; AREMU, M.; AGARRY, S. Bioremediation of atrazine herbicide contaminated soil using different bioremediation strategies. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v.23, n.1, p.99-109, 2019. <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i1.16>
- ORIOU, R.; CLEMATIS, D.; BRILLAS, E.; CORTINA, J.L.; PANIZZA, M.; SIRÉS, I. Groundwater treatment using a solid polymer electrolyte cell with mesh electrodes. **Chemelectrochem**, v.6, n.4, p.1235-1243, 2019. <http://dx.doi.org/10.1002/celc.201801906>
- OZ, U.C.; KÜÇÜKTÜRKMEN, B.; DEVRİM, B.; SAKA, O.M.; BOZKIR, A. Development and optimization of alendronate sodium loaded PLGA nanoparticles by central composite design. **Macromolecular Research**, v.27, n.9, p.857-866, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s13233-019-7119-z>
- PAWAR, P.R.; BHOSALE, S.M. Heavy metal toxicity, health hazards and their removal technique by natural adsorbents: a short overview. **International Journal of Current Engineering And Technology**, v.8, n.02, p.400-406, 2018. <http://dx.doi.org/10.14741/ijcet/v.8.2.35>
- PENG, W.; LI, X.; SONG, J.; JIANG, W.; LIU, Y.; FAN, W. Bioremediation of cadmium- and zinc-contaminated soil using *Rhodobacter sphaeroides*. **Chemosphere**, v.197, p.33-41, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.017>
- PEREIRA, J.A.R. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará, 2002. 31p.
- PERIYASAMY, A.P.; RWAHWIRE, S.; ZHAO, Y. Environmental friendly textile processing. **Handbook of Ecomaterials**, p.1521-1558, 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68255-6_176
- PHILIP, L.; RAMPRASAD, C.; KRITHIKA, D. Sustainable wastewater management through decentralized systems: case studies. **Water Scarcity and Ways to Reduce the Impact**, p.15-45, 2018. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-75199-3_2
- PHILIPPI JUNIOR, A. **Controle de poluição ambiental: implantação de sistema de financiamento**. São Paulo-SP. Universidade de São Paulo, 1987. 257p. Tese (Doutorado. em Saúde Pública), Universidade de São Paulo, 1987.
- POPURI, A.K.; GARIMELLA, P. Heat transfer studies in a laboratory vertical riser system suitable for waste heat recovery from industrial waste exhaust gases. **Chemical Engineering Communications**, p.1-8, 2020. <http://dx.doi.org/10.1080/00986445.2019.1708739>
- PORTER, S.C.; VERSEPUT, R.P.; CUNNINGHAM, C.R. Process optimization using design of experiments. **Pharmaceutical Technology**, v.21, n.10, p.60-71, 1997.
- PRABAKAR, D.; K, S.S.; MANIMUDI, V.T.; MATHIMANI, T.; KUMAR, G.; RENE, E.R.; PUGAZHENDHI, A. Pretreatment technologies for industrial effluents: critical review on bioenergy production and environmental concerns: Critical review on bioenergy production and environmental concerns. **Journal of Environmental Management**, v.218, p.165-180, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.136>

- PREMKUMAR, M. P.; THIRUVENGADARAVI, K. V.; KUMAR, P.S.; NANDAGOPAL, J.; SIVANESAN, S. Eco-friendly treatment strategies for wastewater containing dyes and heavy metals. **Energy, Environment, And Sustainability**, p.317-360, 2017. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-7332-8_14
- QIAO, J.; ZHANG, W. Dynamic multi-objective optimization control for wastewater treatment process. **Neural Computing and Applications**, v.29, n.11, p.1261-1271, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-016-2642-8>
- RINCÓN, G.J.; LAMOTTA, E.J. Simultaneous removal of oil and grease, and heavy metals from artificial bilge water using electro-coagulation/flotation. **Journal of Environmental Management**, v.144, p.42-50, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.004>
- RODRIGUES, C.S.D.; MADEIRA, L.M.; BOAVENTURA, R.A.R. Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process. **Environmental Technology**, v.34, n.6, p.719-729, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2012.715679>
- RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Casa do Pão Editora, 2005. 329p.
- RODRIGUEZ-CAMPOS, J.; PERALES-GARCIA, A.; HERNANDEZ-CARBALLO, J.; MARTINEZ-RABELO, F.; HERNÁNDEZ-CASTELLANOS, B.; BAROIS, I.; CONTRERAS-RAMOS, S.M. Bioremediation of soil contaminated by hydrocarbons with the combination of three technologies: bioaugmentation, phytoremediation, and vermiremediation. **Journal of Soils and Sediments**, v.19, n.4, p.1981-1994, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-018-2213-y>
- SALAMA, E.; SAHA, S.; KURADE, M.B.; DEV, S.; CHANG, S.W.; JEON, B. Recent trends in anaerobic co-digestion: fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.70, p.22-42, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2018.08.002>
- SANDERMANN, H. Plant metabolism of xenobiotics. **Trends in Biochemical Sciences**, v.17, n.2, p.82-84, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0968-0004\(92\)90507-6](http://dx.doi.org/10.1016/0968-0004(92)90507-6)
- SAUNDERS, J.A.; LEE, M.; DHAKAL, P.; GHANDEHARI, S.S.; WILSON, T.; BILLOR, M.Z.; UDDIN, A. Bioremediation of arsenic-contaminated groundwater by sequestration of arsenic in biogenic pyrite. **Applied Geochemistry**, v.96, p.233-243, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.07.007>
- SCARLAT, N.; FAHL, F.; DALLEMAND, J. Status and opportunities for Energy recovery from municipal solid waste in Europe. **Waste and Biomass Valorization**, v.10, n.9, p.2425-2444, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0297-7>
- SCHWARZ, E.J.; STEININGER, K.W. Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. **Journal of Cleaner Production**, v.5, n.1-2, p.47-56, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00009-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00009-7)
- SINGH, J. K.; RANJAN, R.; PANKAJ, P. Isolation and screening of water microbes for decolourisation of textile dye waste. **Current World Environment**, v.11, n.1, p.296-300, 2016. <http://dx.doi.org/10.12944/cwe.11.1.36>
- SINGLETON, I. Microbial metabolism of xenobiotics: fundamental and applied research. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.59, n.1, p.9-23, 1994. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.280590104>
- SKELLY, K. Water recycling. **Review of Progress in Coloration and Related Topics**, v.30, p.21-34, 2000.
- STELLA, T.; COVINO, S.; ČVANČAROVÁ, M.; FILIPOVÁ, A.; PETRUCCIOLI, M.; D'ANNIBALE, A.; CAJTHAML, T. Bioremediation of long-term PCB-contaminated soil by white-rot fungi. **Journal of Hazardous Materials**, v.324, p.701-710, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.044>
- STUART, M.; LAPWORTH, D.; CRANE, E.; HART, A. Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. **Science of The Total Environment**, v.416, p.1-21, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.072>
- SUBRENAT, A.S.; LE CLOIREC, P.A. Volatile organic compound (VOC) removal by adsorption onto activated carbon fiber cloth and electrothermal desorption: an industrial application. **Chemical Engineering Communications**, v.193, n.4, p.478-486, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/00986440500191768>
- TARIQ, M.; ALI, M.; SHAH, Z. Characteristics of industrial effluents and their possible impacts on quality of underground water. **Soil Environ**, v.25, n.1, p.64-69, 2006.
- TEH, C.Y.; BUDIMAN, P.M.; SHAK, K.P.Y.; WU, T.Y. Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.55, n.16, p.4363-4389, 2016. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>
- TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G.T.A.; SOUZA, A.E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. **Applied Clay Science**, v.53, n.4, p.561-565, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.05.004>
- TELES, Y.V.; DE CASTRO, L.M.; SARGENTINI JUNIOR, É.; DO NASCIMENTO, A.P.; DA SILVA, H.A.; COSTA, R.S.; SOUZA, R.D.N.; DA MOTA, A.J.; PEREIRA, J.O. Potential of bacterial isolates from a stream in manaus-amazon to bioremediate chromium-contaminated environments. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.229, n.8, p.229-266, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-018-3903-1>
- THAKUR, M.; MEDINTZ, I.L.; WALPER, S.A. Enzymatic bioremediation of organophosphate compounds—progress and remaining challenges. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v.7, p.1-21, 2019. <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2019.00289>
- VAN LIER, J.B.; LETTINGA, G. Appropriate technologies for effective management of industrial and domestic waste waters: the decentralised approach. **Water Science and Technology**, v.40, n.7, p.171-183, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00599-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00599-5)

- VARJANI, S.; UPASANI, V.N. Influence of abiotic factors, natural attenuation, bioaugmentation and nutrient supplementation on bioremediation of petroleum crude contaminated agricultural soil. **Journal of Environmental Management**, v.245, p.358-366, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.070>
- VIEIRA, G.G., VARELA, M.L.R., PUTNIK, G.D., MACHADO, J.; TROJANOWSKA, J. Integrated platform for real-time control and production and productivity monitoring and analysis. **Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics**, v.2016, n.50, p.119-127, 2016.
- WANG, C.; YEDILER, A.; LIENERT, D.; WANG, Z.; KETTRUP, A. Toxicity evaluation of reactive dyestuffs, auxiliaries and selected effluents in textile finishing industry to luminescent bacteria *Vibrio fischeri*. **Chemosphere**, v.46, n.2, p.339-344, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535\(01\)00086-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535(01)00086-8)
- WU, Y.; JING, X.; GAO, C.; HUANG, Q.; CAI, P. Recent advances in microbial electrochemical system for soil bioremediation. **Chemosphere**, v.211, p.156-163, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.089>
- YOUNG, C.E.F.; LUSTOSA, M.C.J. Meio ambiente e competitividade na indústria brasileira. **Revista de Economia Contemporânea**, v.5, n.3, 2001.
- ZHAN, B.J.; POON, C.S. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v.101, p.174-179, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.083>
- ZHANG, L.; LOH, K.; ZHANG, J. Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: current status and prospects. **Bioresource Technology Reports**, v.5, p.280-296, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2018.07.005>