



ESTUDO DO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO COMO UMA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA E EFICAZ NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

GABRIELA COSTA
Centro Paula Souza – Fatec Jundiaí

Prof. Dra. FERNANDA CANGERANA
Centro Paula Souza – Fatec Jundiaí

RESUMO

Por muito tempo, pouco se ouviu falar no que o impacto da poluição ambiental poderia causar nos seres vivos, especificamente em humanos. Tal fato tem relação ao pouco conhecimento que se tinha na época em que o homem sai do paleolítico e adota o estilo sedentário de vida, aldeando-se e consequentemente focalizando seus dejetos num só local, aumentando seu número numa proporção tal que a natureza já não era mais capaz de absorver tudo o que era derivado de suas atividades. Até que se chega a um ponto onde essa não absorção, por parte da natureza, resulta em doenças endêmicas, como o caso da cólera de John Snow. Preocupações ambientais surgem por conta destes e outros diversos acontecimentos que afetaram a vida humana no decorrer dos séculos, e hoje, soluções novas vêm sendo constantemente estudadas e desenvolvidas, com o objetivo de otimizar os processos do tratamento do bem mais essencial – e finito – para a vida na terra: a água. Este artigo objetiva estudar, dentre outros assuntos, os processos oxidativos avançados (POA) como uma alternativa eficaz no tratamento de efluentes, trazendo um breve histórico do avanço da humanidade, bem como um estudo de caso sobre a aplicação de POA para tratamento de chorume – em escala laboratorial.

Palavras-chave: Água, Processos Oxidativos Avançados, Tratamento, Chorume.

ABSTRACT

For a long time little was heard of the impact of environmental pollution could cause in living organisms, specifically in humans. This fact is related to the little knowledge we had at the time the man out of the Paleolithic and adopt sedentary lifestyle living in society and consequently focusing their waste in an unique place, increasing their number in such a proportion that nature no longer was able to absorb all that was derived from its activities. Until it reaches a point where it no absorption by nature, results in endemic diseases such as cholera case of John Snow. Environmental concerns arise because of these and other various events affecting human life over the centuries, and today, new solutions are being constantly studied and developed, in order to optimize the treatment processes of the much more essential - and finite - for life on earth: water. This article aims to study, among other subjects, advanced oxidation processes (AOP) as an effective alternative in the treatment of effluents, bringing a brief history of the advancement of humanity, as well as a case study on the implementation of AOP for treatment of leachate - in laboratory scale.

Keywords: Water, Advanced Oxidative Processes, Treatment, Leachate.

1 INTRODUÇÃO

É impossível iniciar qualquer tema sobre tratamento de efluentes, com suas técnicas atuais, convencionais ou avançadas, sem antes fazer uma breve menção ao histórico do saneamento básico da humanidade. A importância do tema não é exclusividade da civilização atual, mas vem de milhares de anos, antes mesmo do início da contagem de tempo da era Cristã.

No início da formação dos grupos sociais, ou seja, da sociedade, vivia-se na era paleolítica, onde existia a chamada economia recoleitora: o homem vivia daquilo que colhia ou recolhia – o que a natureza oferecia era usado para a sua subsistência. Esse tipo de economia resultou no nomadismo, onde o grupo de pessoas se instalava em um local, e por lá permanecia durante o tempo em que lhe era confortável, ou seja, até que algum fator ocorresse para sua estadia se tornar incômoda e provocar sua retirada (ROCHA *et al*, 2009). Esses fatores poderiam estar relacionados à escassez de comida, ao excesso de detritos, ao surgimento de perigos ou doenças. Logo, conclui-se que neste período o ser humano era muito ativo, e consumia somente o que era necessário, além de poluir em pequenas quantidades, já que os únicos poluentes gerados eram restos de alimentos e as necessidades básicas, como fezes e urina. Portanto, devido à quantidade de resíduos gerados ser relativamente baixa em relação à capacidade de “consumo” por parte do ambiente, o equilíbrio ambiental praticamente manteve-se intacto durante esse início da humanidade (ROCHA *et al*, 2009).

Quando algumas técnicas como o cultivo agrícola e a capacidade de domesticar alguns tipos de animais começaram a ser desenvolvidas, a sociedade inicia um estilo de vida antes desconhecido, o homem adota a pastorícia, domina técnicas de controle do nascimento das plantas, utiliza cerâmica para desenvolvimento de novas ferramentas, conhece a tecelagem e por fim, este conforto extingue quase que completamente o nomadismo outrora praticado, o que resulta no início as primeiras colônias de pessoas (as primitivas cidades), sendo justamente este o primeiro passo para o início da contaminação em massa, por parte do homem ao ambiente.

Nesse período houve a concentração das poluições em locais únicos, derivados do aldeamento humano, forçando uma evolução das engenharias civil e hidráulica, e então sistemas de coleta de esgoto e captação/distribuição de água, bem avançados para à época. Data por volta de 4500 a.C. os primeiros sistemas de distribuição de água, irrigação e drenagem na Mesopotâmia e no Egito (ROCHA *et al*, 2009).

As represas datam de 2900 a.C. também no Egito, e aquedutos a cerca de 700 a.C. em Jerusalém (ROCHA *et al*, 2009).

Houve também uma preocupação com a higiene, por conta dos detritos gerados pelos moradores das cidades, então as engenharias civil e hidráulica começaram a trabalhar em sistemas para esgotamento dos efluentes gerados.

Grandes sistemas foram criados, principalmente na antiga Roma e Grécia, com a criação de latrinas comunitárias com sistemas de água corrente que levavam os dejetos para os locais de escoamento conhecidos como Cloacas Máximas de Roma, que eram grandes dutos de pedra construídos abaixo da terra e permitiam que os dejetos escoassem até os rios (ROCHA et al, 2009).

A evolução tecnológica para as construções de saneamento básico avançou de forma intensa nessa época, juntamente com isso a percepção de higiene da população, visto que doenças eram causadas pelo acúmulo de dejetos e águas paradas e poluídas, fazendo com que se levantassem diversas considerações a respeito do surgimento das enfermidades, causadas por vírus e bactérias. Tais considerações influenciaram muito a criação das tecnologias de esgotamento dos efluentes gerados nas casas e nos centros comunitários das cidades.

Depois surgiu um período obscuro para as ciências e para a saúde da humanidade, compreendido entre 400 e 1400 a.C., e denominado como Idade Média (ROCHA *et al*, 2009). Crises endêmicas ocorreram em todo mundo medieval, e eram agravadas cada vez mais pela falta de higiene. A igreja proibia diversos hábitos, porque eram condenados como pecado, e então uma estagnação tecnológica ocorreu: diversos cientistas caçados e mortos pela inquisição promovida pela Igreja.

O crescimento populacional foi intenso, por isso, a geração de resíduos sólidos e líquidos cresceu imensamente, e tais resíduos não eram destinados corretamente, mas sim jogados nas ruas, porões e locais públicos, onde permaneciam, gerando quantidades imensas de detritos que emitiam gases com odor forte e característico. Também serviam de alimentos para animais transmissores de doenças como ratos, por exemplo.

Durante este período uma terrível doença acometeu a Europa medieval, conhecida como a peste negra ou peste bubônica, que é originária da Ásia Central. Essa doença chegou a Europa por intermédio de ratos que continham pulgas em seus corpos e transportavam a bactéria causadora da doença. Devido à falta da higiene da população, as pessoas eram picadas por esses animais e contraíam uma doença mortal, que extinguiu cerca de 60 milhões de pessoas por toda a Europa (PAULINO, 2007).

Durante essa ocorrência em meio ao desespero de toda a população, medidas de coletas e remoção de todos os detritos começaram a ser realizadas, a fim de tentar conter a doença. Então, a tecnologia de destinação de efluentes começou a se desenvolver novamente e as medidas de higiene foram retomadas. Seguiram as recomendações dos cientistas.

No século XVII, a ideia estabelecida com base na teoria miasmática de Thomas Sydenham e Giovanni Lancisi, onde as doenças eram originadas dos odores das matérias orgânicas podres contidas no solo e águas contaminadas, vem ao encontro do estudo de John Snow sobre a epidemia de cólera em Londres, retardando, por aproximadamente 20 anos a aceitação de suas ideias que relacionavam o consumo da água contaminada pelas fezes dos doentes ao surto da doença na época.

Então, somente após a chegada da era industrial, século XVIII, que a intensa poluição das águas, ar e solo provocou o início de uma série de estudos relacionados ao tratamento dos efluentes gerados das atividades antrópicas (ROCHA *et al*, 2009). A fim de evitar que ocorresse o abandono das cidades ou a detenção do progresso.

As autoridades constataram que a poluição antrópica era a grande causadora das doenças e da diminuição dos recursos naturais, tão necessários para a vida e para o progresso humano, industrial e tecnológico. Por isso, foi necessário dar início às primeiras formas de tratamento e destinação aos efluentes de forma efetiva. Foi em Londres, no ano de 1829, que a primeira estação de tratamento de água utilizando filtros de areia, que retiravam 99% dos contaminantes da água surgiram. Em 1887, na Alemanha, surge o primeiro sistema mecânico de tratamento de esgoto doméstico. O cloro, em 1902, passou a ser utilizado como agente de desinfecção (ROCHA *et al*, 2009).

Com toda a preocupação causada pelos efluentes gerados no mundo, a evolução dos tratamentos até os métodos convencionais, o surgimento de leis para controle dos descartes de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, tornam cada vez mais rigorosos os sistemas de controle para o destino dos residuais.

No Brasil, assim como todo o resto do mundo, doenças ocorreram ao longo dos diversos períodos, contudo, como teve sua colonização após as eras mais trágicas do mundo, surgiram durante este período, os sistemas de tratamento e distribuição de água, apesar de inadequados, já eram instalados e preparados para as colônias. No entanto, no Brasil, ainda, permanece com precárias condições de saneamento básico: 75% de toda a população abastecida com a coleta de esgoto (MACEDO, 2007), e apenas 36% do esgoto coletado é tratado adequadamente (COMIM, 2013).

Contudo, os processos são estudados e melhorados, hoje 40% do esgoto coletado é tratado no Brasil, estudos antigos previam que em 2015, o país teria 85% de seu esgoto tratado, porém, tal fato já se considerava de improvável acontecimento, visto que o investimento neste setor não é dos maiores.

Este artigo vem apresentar um breve resumo do avanço do Brasil no quesito ambiental, bem como apresentar métodos avançados para o tratamento de água, que apresentam um maior rendimento em relação ao processo comum, que será brevemente descrito a seguir.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL E O SURGIMENTO DAS LEIS DE CONTROLE AMBIENTAL

Devido ao aumento populacional e industrial do mundo, órgãos sem fins lucrativos começaram a se formar através de representantes políticos e de influencia em todo o mundo, para que leis fossem criadas com o intuito de proteger as reservas de água, e fiscalizar os descartes dos efluentes nas águas, no ar e nos solos.

Nesse aspecto, temos como exemplo, em 1968, a Carta da Água pelo conselho da Europa, que apresenta as seguintes definições para a preservação deste bem:

- (i) Os recursos hídricos são recursos finitos, que devem ser preservados, bem utilizados e se possível poupados;
- (ii) Um bem comum, que deve ser reconhecido por todos;
- (iii) Todos, sem distinção, devem utilizar somente o necessário e com cuidado;
- (iv) Contaminar a água tende a afetar todas as formas de vida do planeta.

A ONU durante conferência sobre o Ambiente Humano, em 1972, completa a carta anunciando que “todos os recursos e ambientes, sejam a água, o ar e o solo, devem ser preservados levando em conta as atuais e as futuras gerações, através de planos ou leis conforme a conveniência” (ROCHA *et al*, 2009).

Tudo que abrange os recursos naturais do planeta, e todos os debates que dizem respeito a eles, leva em consideração a disponibilidade dos mesmos, talvez seja a água o elemento que mais leis tenha a seu respeito, e um dos que mais apresente problemas no quesito conservação.

A distribuição geográfica da água no mundo não é simétrica, ou seja, mais de 97% da água disponível no planeta é salgada, e apenas 2% é água doce e se encontram em rios, lagos e lençóis freáticos (ROCHA *et al*, 2009).

Devido à preocupação com a qualidade desse bem natural, foi criado um fórum para debates a respeito de todos os dados que a este dizem respeito, conhecido como Fórum Mundial das Águas e neste fórum existe também um conselho, que trata de liderar todas as discussões, conhecido como Conselho Mundial da Água. O fórum mundial costuma ocorrer a cada três anos, em diversas cidades do mundo, para que esse evento seja unificado com a participação de todos os países, principalmente os mais escassos de água. Foi apresentado inclusive em estudo estatístico, em Kyoto no Japão, 2003, que o Brasil é o país que apresenta a maior disponibilidade de recursos hídricos no mundo, contando com um volume total de 6,2 bilhões de m³ (cerca de 17% da água do planeta), porém é um dos países que mais desigualmente distribui seu recurso, perdendo grande parte dele com vazamentos e desperdícios, revelando ao mundo que mesmo sendo rico em recursos naturais, como a água, a cultura brasileira, no quesito consumo inconsciente, atrapalha de forma significativa, sua distribuição e utilização (ROCHA *et al*, 2009).

No Brasil a primeira vez que fora instituído um decreto para a emissão dos poluentes nos corpos receptores, se deu em 1934, onde ficou instituída, especificamente para as usinas de açúcar, a proibição do lançamento dos seus residuais em locais rasos ou sem tratamento diretamente no receptor fluvial. No mesmo ano, em âmbito federal, foi criado o código das águas, que tratava do incentivo para o reuso das águas e também para o controle sobre os recursos hídricos para a geração e energia no país. Esse código dispunha de 205 artigos com diversas resoluções a respeito do direito das águas (CAVALCANTI, 2009).

Durante a década de 1960 foi criado o código nacional da saúde e o estatuto da terra, e nele a definição de poluição das águas, que é *“qualquer alteração física, química e biológica que traga qualquer tipo de prejuízo às populações, humanas ou animais que delas dependam”*. Foi criada também a Política Nacional de Saneamento, e leis que penalizavam o lançamento de detritos por embarcações nas águas brasileiras (CAVALCANTI, 2009). Na década de 1970 ocorreu a consolidação do Direito Ambiental, que continha decretos que tratavam do controle da poluição ao ambiente, as normas e padrões para a portabilidade da água, da utilização das águas públicas pelas indústrias, a responsabilidade civil para os causadores de danos ambientais, classificação das águas interiores, estabelecimento dos limites de concentrações do mercúrio nas águas de abastecimento público. Foi instituído também em 1973, a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), que passou a desenvolver e controlar as leis, os decretos, as sanções e aplicar as cobranças e as punições a respeito de tudo que envolveria o meio ambiente e principalmente os recursos hídricos no país. Tivemos antes disto em 1971, a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA), que centralizava todas as decisões e controles dos recursos hídricos e das emissões residuais no governo federal. Outro ponto marcante nesta década foi a implantação da fluoretação nas águas de abastecimento (CAVALCANTI, 2009).

Nos anos 1980 foram trabalhadas algumas restrições nas implantações das indústrias nas proximidades de recursos hídricos, a proibição da fabricação do benzeno, a definição de responsabilidades de quem polui e na obrigação de recuperação do local afetado. Uma das ocorrências mais importantes foi a criação do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (CAVALCANTI, 2009).

Na década de 1990 foi criada a Política Nacional dos Recursos Hídricos e também a lei que define os crimes ambientais, que tratara de definir objetivamente o que era considerado um crime ambiental e quem era responsável pelo mesmo, bem como as formas de punição, a devida resposta, se penal ou administrativa, dependendo do nível do crime ocorrido. A política, porém, cuidava da descentralização da administração dos recursos hídricos, caracterizando cada um deles, definitivamente, como bem natural público, com valor e também a respeito de sua distribuição e disponibilidade em todo o país. Em 1992, aconteceu no estado do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, evento que foi batizado de Rio-92, onde estiveram presentes representantes de 175 países e debateram assuntos relacionados ao clima mundial e a biodiversidade (CAVALCANTI, 2009).

Nos anos 2000, foi criado um dos mais importantes órgãos de proteção dos recursos hídricos no Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA), que passou a implementar toda a política dos recursos hídricos no país (Sistema Nacional dos Recursos Hídricos), assim como toda a coordenação dos órgãos estatais e municipais. O CONAMA também tem participado ativamente da criação de leis para proteção do meio ambiente, algumas circundando os recursos hídricos, como a lei para emissão de óleos e substâncias nocivas em águas federais (CAVALCANTI, 2009).

2.2. A NECESSIDADE DO TRATAMENTO DE EFLUENTES E AS SUAS CARACTERÍSTICAS

Os efluentes gerados durante as atividades antrópicas, sejam domésticos ou industriais, são ricos em material orgânico e cargas tóxicas diversas, que são por muitas vezes fonte para a proliferação de microrganismos, que acabam por poluir as águas receptoras (DEZOTTI, 2008).

Com o intuito de remover os contaminantes dos efluentes gerados por atividades antrópicas, as formas de tratamento foram desenvolvidas, partindo da remoção mais grosseira, com processos como gradeamento, onde materiais sólidos de dimensões maiores e visíveis ficam retidos, até os avançados processos de remoção química das moléculas contaminantes.

Dependendo da fonte geradora do efluente, principalmente a indústria, se faz necessária à adequação total do tratamento, criando um espaço próprio para toda a instalação de equipamentos, tanques, lagoas e etc.

Os efluentes domésticos basicamente são tratados com remoção física e oxidação biológica, para a adequação do efluente com a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) exigida em legislação para a devolução do efluente ao corpo receptor.

Diferentemente dos efluentes domésticos, os contaminantes dos efluentes industriais são extremamente variáveis, em todos os aspectos físico-químicos e biológicos, o que exige métodos de tratamento bem mais rigorosos. Esses contaminantes se apresentam como compostos orgânicos voláteis ou semi-voláteis, agrotóxicos, óleos e gorduras, metais pesados, recalcitrantes - moléculas de difícil degradação - surfactantes, lácteos, biocidas (como formol) e etc. (NAVES, 2009)

Para cada classe desses compostos exige-se um processo de remoção específico que deve ser realizado antes de lançar o efluente ao corpo receptor, ou antes, de enviar para o sistema de tratamento de esgoto público, visto que diversos desses compostos causam a morte das bactérias utilizadas no tratamento biológico de efluentes domésticos.

Sendo assim o tratamento escolhido varia de acordo com o efluente, com o intuito de que o tratamento seja efetivo e que esteja de acordo com a qualidade do corpo receptor e com a legislação vigente para os padrões de emissão daquele tipo de efluente (DEZOTTI, 2008).

Portanto, a caracterização do efluente tem de ser feita criteriosamente a fim de que o tratamento atinja os padrões de qualidade propostos e que o efluente não seja transferido para o corpo receptor com qualquer tipo de poluição, que cause o desequilíbrio da fauna e da flora da região que o circunda.

2.3. TRATAMENTOS CONVENCIONAIS DE EFLUENTES

Os sistemas de tratamento de efluentes são um conjunto de operações unitárias aplicados a águas residuais, industriais ou sanitárias, para que se obtenha o melhor

rendimento na remoção dos poluentes presentes, aliando eficiência, baixo custo operacional e de construção, visando adequar o efluente ao corpo receptor e as legislações de emissão de efluentes líquidos em vigor (DEZOTTI, 2008).

Cada operação unitária do sistema de tratamento de efluentes tem por objetivo a remoção de determinados poluentes, variando de sólidos grosseiros a micropartículas em suspensão, agentes químicos ou patogênicos causadores de doenças, fazendo uso de processos físicos, físico-químicos, químicos ou biológicos para o controle das cargas emitidas junto com a água final no corpo receptor.

Genericamente os processos de tratamento de efluentes são divididos em 4 etapas, pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário ou polimento da água. Segue as etapas para compreensão.

2.3.1. PRÉ-TRATAMENTO

Nesta etapa ocorre a remoção dos sólidos grosseiros, através de métodos exclusivamente físicos, como o gradeamento e a desarenação. Nesta etapa todos os sólidos com dimensões elevadas e areia em suspensão são retidos, com o intuito de proteger os equipamentos de transporte de fluido, como as tubulações e as bombas, e também de preservar demais etapas, como a filtração ou os reatores biológicos (MATOS, 2010).

2.3.2. TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário é composto quase que exclusivamente por processos físico-químicos, onde os contaminantes são tratados por agentes químicos, com o intuito de neutralização das cargas ou elevação do pH para auxiliar no processo de coagulação e floculação. E seguidamente passam por processos físicos de decantação, filtração, etc. (SILVA; CARVALHO, 2014).

As principais etapas que compõem os tratamentos primários são a equalização, floculação e sedimentação, podendo haver variáveis dentro delas, ajustando cada processo em si para o tipo de efluente.

2.3.3. TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O tratamento secundário dos efluentes, responde pela remoção da carga orgânica suspensa que não foi removida pelas etapas anteriores. Nesta etapa, os processos correspondem a reações bioquímicas de oxidação/degradação a remoção da carga orgânica. Bactérias aeróbias (realizam seus processos oxidativos celular na presença de oxigênio), anaeróbias (realizam seus processos celulares na ausência de oxigênio) e facultativas (utilizam ou não o oxigênio para seus processos celulares) realizam a degradação e a conversão do material orgânico em substâncias menos poluentes, como o CO₂, removendo-os da água, simulando e otimizando o processo que ocorre na natureza. (CAVALCANTI, 2009).

O tratamento secundário basicamente compõe-se de processos oxidativos/degrativos biológicos e decantação secundária para remoção do lodo final formado pelos flocos biológicos. Nesse momento também pode ser realizado um processo de filtração para a remoção de pequenos flocos remanescentes dos demais processos, para dar uma melhor qualidade à água. Depois desta etapa do tratamento, o efluente já pode ser descartado diretamente nos corpos d'água caso esteja dentro das especificações ou passar por outros tipos de tratamento, conhecidos como processos terciários de tratamento ou polimento da água final.

2.3.4. TRATAMENTO TERCIÁRIO OU ETAPA DE POLIMENTO

Esta etapa do tratamento de efluentes tem por objetivo exclusivo remover os excedentes que não foram removidos dos sistemas de tratamento convencionais. Assim todos os materiais que não foram retirados durante as etapas iniciais e durante as digestões biológicas, são removidos ou ao menos diminuídos a níveis adequados as normas e a sua reutilização nos processos industriais ao qual será empregado.

Os processos mais usuais nesta etapa são a filtração, a cloração, a ozonização, adsorção em carvão ativado, adsorção química, redução de espuma, eletrodialise, osmose inversa, troca iônica e processos biológicos de remoção de nitrogênio e fósforo (DEZOTTI, 2008).

2.4. PROCESSOS OXIDATIVOS

Os processos oxidativos são métodos de tratamento de fluentes que visam à destruição ou a decomposição dos materiais e não mais a transferência de fase, como ocorre na maior parte dos tratamentos de efluentes (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Para isso existem algumas formas de tratamento, como por exemplo, a incineração e a oxidação biológica e também rotas químicas como as oxidações por ozônio, cloro e os POA (Processos oxidativos avançados).

Os processos de incineração e a oxidação biológica tratam-se dos mais empregados hoje em dia, devido aos custos envolvidos. O processo de incineração, apesar de não ser muito barato, é um dos processos mais antigos e usados no tratamento de resíduos sólidos, onde o lodo gerado é produzido através de um forno que tem em seu interior energia suficiente para gerar temperaturas acima dos 850°C, transformando praticamente todos os materiais presentes nos lodos em CO₂ e em outros componentes derivados dos contaminantes presentes (NAVES, 2009). E é exatamente essa transformação que é o revés da incineração nesse processo, pois derivados de enxofre e nitrogênio, metais pesados entre outros são muito nocivos à saúde. As principais emissões das incinerações são as dioximas (bio-acumulativos), derivados de mercúrio, cádmio, chumbo, hidrocarbonetos halogênicos, gases do efeito estufa e causadores de chuvas ácidas e particulados em suspensão (ACPO, 2014).

Apesar da alegação de que as emissões são controladas neste método de tratamento, diversas ONG's e estudos são realizados para tentar parar com essa técnica, que acaba por eliminar um problema, que são os resíduos sólidos, porém, gerando outro, ou seja, os gases emitidos da incineração.

Para o tratamento dos efluentes líquidos o processo convencional mais utilizado é a oxidação biológica, onde bactérias aeróbias e anaeróbias convertem os poluentes presentes em CO₂ e H₂O (aeróbios) ou CH₄ e CO₂ (anaeróbios). Porém apesar de ser um processo barato, algumas aplicações ficam limitadas, como os tratamentos de solos e processos com grande variação de concentrações e pH que precisam ser controlados, pois esse processo perde eficiência frente às oscilações das características dos efluentes e também sob a presença de alguns compostos tóxicos, sendo então uma técnica limitada e restrita a alguns tipos de efluentes (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Nos processos oxidativos comuns e nos processos oxidativos avançados o princípio é o mesmo das demais, porém ocorrendo por via exclusivamente química, onde se caracterizam as reações de oxidação-redução das espécies envolvidas, em que um oxidante sofre o processo de redução e recebe elétrons de uma espécie redutora que oxida perdendo elétrons (POLEZI, 2003).

Como exemplo de processo oxidativo comum, temos a utilização do cloro (dióxido de cloro) para a degradação de algumas substâncias e também como agente desinfectante. Porém, durante o processo de oxidação ocorre também a formação de derivados mais tóxicos que os contaminantes iniciais, como por exemplo os THMs- Trialometanos (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Por isso, muito se tem estudado sobre a substituição do cloro como agente oxidante, e com isso outro oxidante forte vem sendo utilizado e bem estudado, o Ozônio (O₃), que apresenta um poder oxidante bem mais elevado que o cloro, porém os custos de sua implantação são bem elevados, visto que muitas vezes é necessária a implantação de geradores de ozônio. Entretanto, a toxicidade do Ozônio é muito menor que a dos derivados de cloro e seus subprodutos são somente oxigênio, hidroxilas e água.

Os processos oxidativos avançados englobam uma classe de reações e matérias primas, que em reações de decomposição próprias, formam as radicais hidroxilas, que é o oxidante mais poderoso, em exceção ao flúor (DANIEL; SAIA, 2001), e em processos onde a baixa seletividade de decomposição é interessante eles se tornam os mais poderosos processos de remoção de contaminantes (MORAIS, 2005). Além disso, são processos de fácil operação e manutenção, somente tendo por aspecto desfavorável o custo de desenvolvimento e implantação do processo.

Existe uma variada quantidade de processos oxidativos avançados, dentre eles, homogêneos não irradiados, heterogêneos não irradiados, homogêneos irradiados e heterogêneos irradiados. Cada processo apresenta uma melhora na decomposição de determinada quantidade de efluentes, apesar de todos eles poderem ser utilizados para a grande maioria dos contaminantes existentes, principalmente para os não saturados.

2.5. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS - POA

Os tratamentos avançados datam de 1886, quando Dr. Meritens usou o ozônio como agente desinfetante. Em 1972, Fujishima e Honda descreveram a oxidação da água em uma suspensão de TiO_2 e em 1976 o primeiro trabalho sobre a remoção de contaminantes com fotocatalise heterogênea foi publicado (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Em 1974 o termo “Tecnologias de Oxidação Avançadas”, foi utilizado pela primeira vez, para em um simpósio internacional em ozônio para tratamento de águas e efluentes, durante a apresentação de trabalhos aplicando ozônio e luz UV (Ultravioleta) para remoção de compostos de cianeto (NAVES, 2009).

Em seguida, o desenvolvimento dos estudos sobre os processos oxidativos avançados foi descrito em 4 momentos. O primeiro se deu entre 1976 e 1985 através da publicação de poucos trabalhos científicos e a ausência de uma aplicação concreta para esses processos. Posteriormente entre os anos de 1985 e meados de 1990, segundo momento, com o crescimento das preocupações ambientais e sucesso nos experimentos, esses métodos começam a ser caracterizados como uma técnica universal para a remoção dos contaminantes orgânicos. Após o meio dos anos 1990 e até o seu final, a terceira etapa surge com debates e comprovações contraditórias, sobre as aplicações, as limitações e as inviabilidades desses processos. E a atual etapa, ou quarto momento, que trás para a técnica uma realidade de aplicação viável e competitiva (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; NAVES 2009).

Em 1998 foi publicado um trabalho importante sobre esse tema, ou seja, o “Handbook of Advanced Oxidation Processes”. Já em 2003, no Canadá, realizou-se também um tradicional evento da área, onde profissionais das mais diversas formações e universidades se reuniram a fim de trocar as experiências e os conhecimentos, de forma teórica e pratica. Na América Latina, os processos de fotocatalises heterogêneas ganharam grande parte das discussões devido a sua variedade de aplicações e êxitos no tratamento dos efluentes, líquidos e gasosos (NAVES, 2009).

No Brasil ocorre o EPOA (Encontro sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados), evento bianual, onde diversos trabalhos realizados no país são apresentados, bem como a troca de informações e conhecimentos sobre os processos.

2.5.1. DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÃO

Devido aos inúmeros compostos que são gerados diariamente, e o surgimento de mais e mais compostos, que por muitas vezes são tóxicos ou de baixa degradabilidade, as tecnologias comuns existentes acabam não sendo exclusivamente interessantes (BRITO; SILVA, 2012). Devido às tecnologias mais comuns tratarem apenas da transferência de fase dos contaminantes, gerando um novo problema que é a disposição final dos resíduos, uma oportunidade de destruição e diminuição dos contaminantes gerados vem sendo amplamente estudados.

Esses processos basicamente trabalham com a geração dos radicais hidroxilas, através dos mais variados oxidantes fortes, como por exemplo, o O_3 , o H_2O_2 , semicondutores como TiO_2 e ZnO e a irradiação de luz UV. Os radicais hidroxilas gerados atacam as cadeias orgânicas quebrando-as e na maioria das vezes mineralizando completamente os compostos presentes como CO_2 , H_2O e também a presença de metais nas cadeias em íons inorgânicos (TEIXEIRA; JARDIM 2004).

Além de mineralizar, os compostos que não foram totalmente mineralizados são transformados em compostos mais facilmente degradáveis a processos biológicos e também menos tóxicos tornando sua transferência de fase em processos convencionais menos problemática.

O fato de esses processos gerarem uma espécie intermediária altamente oxidante e de baixíssima seletividade, faz dos mesmos uns dos processos degradativos mais eficientes perante as tecnologias atuais (MORAIS, 2005).

O poder redutor do radical hidroxila só é menor que o do Flúor, como demonstrado na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Potenciais de redução de algumas espécies químicas

Espécie Química	Potencial de redução (V), á 25°C
Flúor	3,03
Radical Hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de Hidrogênio	1,78
Permanganato	1,68
Ácido Hipobromoso	1,59
Dióxido de cloro	1,57
Ácido Hipocloroso	1,49
Espécie Química	Potencial de redução (V), á 25°C
Cloro	1,36
Iodo	0,54

Fonte: Teixeira; Jardim (2004); Moraes (2005). Adaptado pelos autores.

O potencial de redução desse radical causa o favorecimento termodinâmico e cinético para as reações de degradação, apresentando assim alta eficiência na remoção e velocidades de reações radicalares bem elevadas, sendo um processo relativamente rápido na remoção dos poluentes.

Além disso, os processos oxidativos avançados apresentam excelente compatibilidade no trabalho em conjunto com os processos convencionais, podendo favorecer os processos biológicos de remoção ou mesmo como uma etapa de tratamento final para remoção dos recalcitrantes oriundos dos processos biológicos, diminuindo assim seu custo de implantação e manutenção.

Existem inúmeros processos de oxidação avançada, sendo classificados pela presença de duas fases distintas de catalisadores os sólidos classificados como heterogêneos ou em uma única fase conhecido como sistema homogêneo.

Os processos também podem ter ou não presença de radiação luminosa, definidos então como irradiados, com presença de luz UV, e não irradiados onde não ocorre a presença da radiação luminosa UV.

A seguir apresenta-se a tabela 2 com os principais sistemas:

Tabela 2 - Principais processos oxidativos avançados e suas classificações

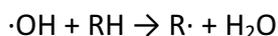
Sistemas Irradiados SC – Semicondutor (TiO ₂ , ZnO, etc).	Homogêneos	O ₃ /UV
		H ₂ O ₂ /UV
		Feixe de elétrons
		Ultra-Som
		H ₂ O ₂ /Ultra-Som
		UV/Ultra-Som
	Heterogêneos	Foto-Fenton
		SC/O ₃ /UV
Sistemas não-Irradiados	Homogêneos	SC/H ₂ O ₂ /UV
		O ₃ /H ₂ O ₂
		O ₃
		H ₂ O ₂
	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ (Fenton)	
Heterogêneos	Eletro-Fenton	

Fonte: Teixeira; Jardim (2004); Morais (2005). Adaptado pelos autores.

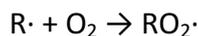
Dentre os diversos processos oxidativos avançados, existem três rotas de ataque químico por parte do radical hidroxila aos compostos orgânicos, sendo eles: a abstração de prótons (átomos de hidrogênio), transferência de elétrons e a adição eletrofílica (adição radicalar) (BRITO; SILVA, 2012; MORAIS, 2005).

A abstração de prótons ocorre quando o radical de hidroxila ataca diretamente um átomo de hidrogênio da cadeia orgânica, removendo-o e formando então, um radical orgânico que está propenso ao ataque do oxigênio molecular formando um radical peróxido, que é então um intermediário iniciador de reações térmicas em cadeia que levam a degradação do composto (BRITO; SILVA, 2012), conforme reação descrita a seguir:

Equação 1 - Degradação do Composto

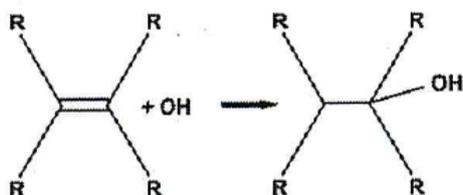


Fonte: Brito; Silva (2012).

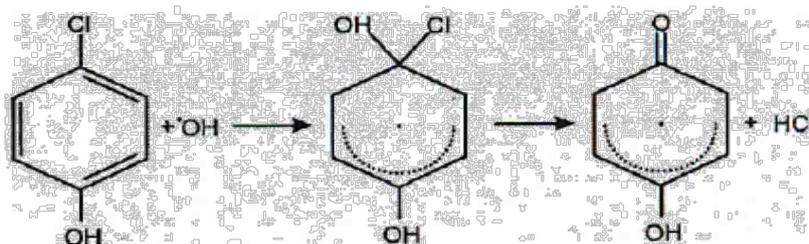
Equação 2 - Degradação do Composto

Fonte: Brito; Silva (2012).

A adição eletrofílica resulta, geralmente, em compostos orgânicos insaturados, presença de duplas e triplas ligações, onde o radical hidroxila ataca as ligações π , gerando também radicais orgânicos (BRITO; SILVA, 2012), conforme indica a reação a seguir:

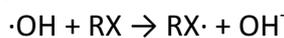
Reação 1 - Adição eletrofílica

Fonte: Brito; Silva (2012).

Reação 2 - Adição eletrofílica

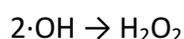
Fonte: Brito; Silva (2012).

Assim, a transferência de elétrons ocorre quando as duas anteriores são desfavorecidas como, por exemplo, em presença de hidrocarbonetos clorados, onde a hidroxila retira elétrons do composto orgânico e o transforma em um radical (BRITO; SILVA, 2012), conforme a representação seguinte:

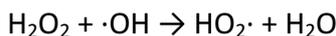
Equação 3. Transferência de Elétrons

Fonte: Brito; Silva (2012).

Além das reações de formação de intermediários, podem ocorrer outras reações que muitas vezes são indesejadas (BRITO e SILVA, 2012), como por exemplo, a reação entre radicais hidroxilas, que acabam prejudicando o bom desenvolvimento do processo oxidativo mostradas nas equações seguintes:

Equação 4. Transferência de Elétrons

Fonte: Brito; Silva (2012).

Equação 5. Transferência de Elétrons

Fonte: Brito; Silva (2012).

Um aspecto interessante e que se pode ressaltar é que as reações de oxidação avançadas apresentam algumas características marcantes no tratamento dos efluentes, como por exemplo, a transformação química (degradação) dos compostos sem transferi-los apenas de fase, ou a aplicação em produtos refratários e não-biodegradáveis, podendo se combinar outros tratamentos que são aplicáveis in situ (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; POLEZI, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados práticos deste trabalho foi baseada em ensaios realizados em teses e dissertações que foram somadas às dificuldades na constituição de resultados laboratoriais e à obtenção dos reagentes e dos equipamentos necessários, como reatores, lâmpadas de alto custo, entre outros.

Portanto todos os resultados e procedimentos foram retirados dessas matrizes teóricas, estudados e reportados pelos elaboradores desse projeto, com autorização dos desenvolvedores dos ensaios laboratoriais.

3.1. TRATAMENTO DE CHORUME POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Este projeto é uma publicação apresentada ao 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente (2012), realizado por Elvis Carissimi, Universidade Federal de Santa Maria, e Ediane Rosa, Universidade Luterana do Brasil, com o mesmo título mencionado neste subíndice. A utilização na integra do material foi autorizado pelos autores.

Para o projeto mencionado os autores utilizaram os seguintes materiais (Quadros 1 e 2):

Quadro 1 - Reagentes utilizados

Reagentes	Fórmula Química	Concentração
Ácido Clorídrico	HCl	PA
Sulfato Ferroso	FeSO ₄	PA
Peróxido de Hidrogênio	H ₂ O ₂	PA
Hidróxido de Sódio	NaOH	PA

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

Quadro 2 - Equipamentos utilizados

Equipamentos
pHmetro de bancada Quimis 400A
Balança de precisão Ohaus-adventure
Agitadores magnéticos
Reator fotocatalítico
Papel de filtro
Estufa

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

O estudo consiste na caracterização do produto lixiviado e a melhor relação de dosagem para o reagente de Fenton ($\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$) para o melhor rendimento no tratamento. As amostras foram retiradas do ponto de acumulo das correntes antes do envio para o sistema de tratamento convencional.

A eficiência do tratamento será medida em termos de redução de DQO (Demanda Química de Oxigênio), além da avaliação feita sobre o efeito da radiação no processo foto-Fenton e a geração de lodo provenientes destes processos.

O sistema fotocatalítico foi obtido através da utilização de um reator de vidro, adaptado em uma câmara de inox com um agitador mecânico e lâmpadas emissoras de UV de 8 Watts de potência.

Uma amostra do lixiviado bruto foi enviada para análise na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde diversos parâmetros foram analisados.

Para a realização do experimento com reativo de Fenton, 200 ml de lixiviado bruto foram adicionados a um béquer de 600 ml e levados ao agitador magnético, e através da adição de ácido clorídrico a 20% o PH foi estabilizado na faixa de 2,5 a 3,5, considerada a faixa de pH ótima para esse processo (CARISSIMI; ROSA, 2012). A dosagem de Fe^{2+} e H_2O_2 foi realizada em etapa única, na razão 1:5, mantendo então o sistema em agitação por 30 minutos, que foi o tempo determinado para a reação, após isto, o pH foi ajustado para 6,5 – 7,5 com NaOH a 10%, a agitação foi desligada e o produto foi deixado em repouso para a separação do lodo formado.

Para a realização do experimento com reativo de Fenton fotocatalisado, 2L de lixiviado bruto foram adicionados a um béquer de 2L e levado ao agitador magnético, e através da adição de ácido clorídrico e o pH foi deixado na faixa de 2,5 a 3,5, considerada a faixa de pH ótima para esse processo. A dosagem de Fe^{2+} e H_2O_2 foi realizada em etapa única, na razão 1:5, mantendo então o sistema em agitação por 30 minutos sob a presença de radiação UV, tempo determinado para a reação, depois disto o pH foi ajustado para 6,5 – 7,5 com NaOH a 10%, a agitação desligada e o produto foi deixado em repouso para a separação do lodo formado.

O liquido das amostras foi submetido às análises de DQO e a eficiência do processo calculado segundo equação a seguir:

$$E = \frac{(C_i - C_f).100}{C_i}$$

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

Sendo E = eficiência;

C_i = concentração inicial

C_f = concentração final

A tabela 3 a seguir demonstra os ensaios e as concentrações de reagente empregada:

Tabela 3 - Dosagem dos reagentes Fenton e foto-Fenton

Dosagem de reagente na razão 1:5		
Amostra	Fe ₂ SO ₄ (g/l)	H ₂ O ₂ (g/l)
Ensaio 1	0,50	0,350
Ensaio 2	1	0,870
Ensaio 3	2	1,400

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

Os lodos obtidos em ambos os processos foram secados em estufa a 45°C e pesados então em balanças de precisão para poder se quantificar o teor de lodo gerado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui discutidos foram extraídos do trabalho anteriormente citado, e avaliados com o intuito de demonstrar os resultados e eficiência dos processos executados nas aplicações demonstradas em materiais e métodos.

O chorume utilizado neste experimento apresentou alta carga de poluentes recalcitrantes e por isso o processo biológico convencional é pouco eficiente, portanto, estudar um método alternativo para garantir a melhora na qualidade dos efluentes a serem tratados por um processo biológico ou mesmo para um polimento de efluente derivado de um processo biológico, para garantir a adequação do efluente a ser descartado é fundamental.

As análises do chorume bruto obtiveram os seguintes resultados indicados na tabela 4:

Tabela 4 - Resultados de análise para os parâmetros do chorume bruto

Determinação	Valores
pH	7,8
Condutividade elétrica - μS/cm	9,62
Nitrogênio total Kjeldahi – mg/l	695
Fósforo total – mg/l	3,7
DQO – mg/l	5100

DBO – mg/l	975
N-NO3(Nitrato) – mg/l	4,2
Ferro total – mg/l	28
Zinco total – mg/l	0,24
Cobre total – mg/l	0,05
Cádmio total – mg/l	<0,002
Cromo total – mg/l	0,013
Chumbo total – mg/l	0,05
Níquel total – mg/l	0,004

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

Para a verificação da biodegradabilidade deste o calculo de relação DBO/DQO é realizado a seguir:

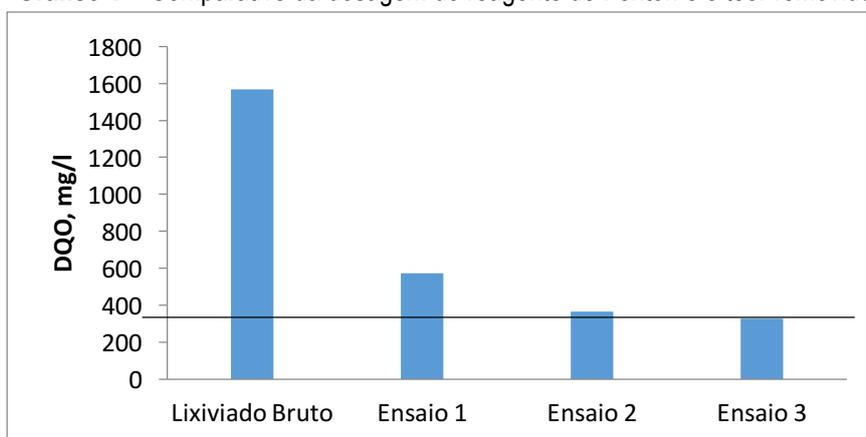
Equação 6. DBO/DQO

$$\frac{DBO}{DQO} = \frac{975}{5100} = 0,19$$

Para o resultado na equação 6, o valor menor que 1 indica que o tratamento biológico não apresenta bons rendimentos devido ao material tender a recalcitrância, ou seja, a baixa biodegradabilidade dos poluentes presentes. Nesses casos, a utilização dos processos químicos, mais precisamente os processos oxidativos avançados, são os mais recomendados.

Conforme a metodologia empregada pelos autores, foram realizados três testes de Fenton que demonstraram eficiência na remoção da DQO, e dois deles adequaram a DQO aos padrões de emissão aceitáveis, demonstrados no Gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1 - Comparativo da dosagem do reagente de Fenton e o teor removido



Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

É possível perceber por meio desse gráfico a eficiência dos processos oxidativos na diminuição da DQO e até mesmo no enquadramento do efluente na especificação de descarte da DQO, removendo consideravelmente a mesma, principalmente, nos ensaios 2 e 3 nos quais

se utilizou uma concentração maior de reagentes, o que provavelmente, foi mais eficiente na geração de radicais hidroxilas e ocasionou a mineralização de grande parte dos poluentes.

Para os processos de foto-fenton os resultados também foram muito efetivos removendo até 80% dos poluentes, conforme tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Rendimento ensaios foto-fenton

Ensaio	Remoção(%)
1	68
2	78
3	80

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

É importante salientar que os autores Carissimi e Rosa (2012), mantiveram as concentrações para os dois testes, variando apenas na presença ou não da radiação UV. Além disso, os pesquisadores também estudaram a formação de lodos durante a realização dos dois processos, justificado pelos complexos de Fe^{3+} formados durante os processos com os reagentes de Fenton. Os resultados são representados na tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Comparativo de formação de lodo entre processo Fenton e Foto-Fenton

Massa de lodo mg/l		
Amostra	Fenton	foto-Fenton
1	0,22	0,24
2	0,44	0,42
3	0,85	0,92

Fonte: Carissimi; Rosa (2012).

Com base nos resultados verificados e nas discussões referentes aos processos que utilizam o reagente de Fenton, a constatação da formação do lodo não é alterada significativamente pela presença da luz, mas sim é intrínseco ao processo, devido à formação de hidróxidos de Fe^{3+} que se formam principalmente com o aumento do pH formando elementos complexos que necessitam ser separados ao final do processo. Porém, uma forma de melhorar isso seria usar a técnica como um pré-tratamento para a degradação dos compostos mais tóxicos e a remoção dos produtos não biodegradáveis tornando o efluente propício ao tratamento biológico convencional. Assim como reduzir os custos operacionais com reagentes e garantir uma eficiente forma de remoção dos poluentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o estudo envolvendo os tratamentos convencionais e os oxidativos avançados, é possível constatar que os processos não podem ser generalizados, cada um deles tem a sua aplicação, sendo que, a sua melhor eficiência ocorre para determinados contaminantes.

Os processos oxidativos avançados vêm ganhando espaço, devido a sua grande perspectiva por ser uma metodologia limpa de remoção de contaminantes dos efluentes.

Tem sido sendo muito estudados como alternativas aos processos de incineração, pois esses são capazes de mineralizar uma grande variedade de compostos orgânicos recalcitrantes e também possibilita oxidar compostos inorgânicos tóxicos nas suas formas menos agressivas.

O tratamento oxidativo é um processo não seletivo, portanto viabiliza a remoção geral dos contaminantes dos efluentes, além de se basear na formação da radical hidroxila que é, depois do flúor, o material mais oxidante que existe, garantindo assim o ataque as diversas cadeias de moléculas existentes. Além disso, é também muito menos tóxico que algumas tecnologias atuais de tratamento de efluentes e de afluentes para potabilidade humana.

Em países desenvolvidos, essa tecnologia já se trata de uma realidade com as mais diversas aplicações, visto que é uma das poucas que pode ser realizada em matriz sólida e direta em situ, demonstrando versatilidade e eficiência em remoção de contaminantes em todos os resíduos gerados, sejam sólidos, líquidos ou gasosos. No Brasil é uma tecnologia em desenvolvimento, e por isso ainda se trata de um processo inviável para trabalhos industriais em escala, para ser posto em operação de forma única. Porém em conjunto com processos convencionais de tratamento vem ganhando espaço e se demonstrando muito satisfatório na remoção de compostos antes não removidos dos processos de tratamento convencionais.

Com as legislações cada vez mais protetivas ao meio ambiente, a possibilidade de remoção das cargas poluentes dos efluentes vem trazendo uma nova perspectiva às indústrias e à sociedade que usufrui de águas com cargas cada vez menores de contaminantes que antes não tinham como ser removidos.

Investir em novas técnicas em prol do meio ambiente provavelmente logo será, como já vem sendo, essencial para a sustentabilidade do planeta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVE, Aguas do; **Estação de tratamento de águas residuárias - Leito de secagem de lodo**. Disponível em : <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/10767>>. Acesso em: 20 Jun. 2014.

ACPO, Associação de combate aos poluentes; **Incineração de resíduos uma tecnologia que deve desaparecer**. Disponível em: <http://www.acpo.org.br/campanhas/inc_aterro/inc_de_residuos.htm>. Acesso em: 22 Jun. 2014.

BDTA, Biblioteca didática de tecnologias ambientais; **Funcionamento da ETE - Caiçara**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/tourcaicara.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2014.

BRITO, N. N.; SIVA, V. B. M.; R.; **Eletron.de Eng. Civil**. 2012, 3, 36.

CARISSIMI, Elvis; ROSA, Edilene. **Tratamento de Chorume por Processos Oxidativos Avançados**. Rio Grande do Sul. Artigo. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.

CAVALCANTI, J.E.W.A.; **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1ed. SP: J.E. CAVALCANTI, 2009.

CENTROPROJEKT do Brasil; **Produtos para tratamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.centroprojekt-brasil.com.br/03_agua_grade.htm>. Acesso em: 18 Mai. 2014.

CETESB, **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Águas Superficiais**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#potencial>>. Acesso em: 18 Mai. 2014.

CETEL; CETEL - **Central de tratamento de efluentes líquidos – Complexo automotivo GM**. Disponível em: <http://www2.corsan.com.br/sitel/www/?page_id=62>. Acesso em: 20 Jun. 2014.

CHIBRASCENTER; **Centrifugas decanters**. Disponível em: <http://www.chibrascenter.com.br/?pg=centrifugas_decanters>. Acesso em: 21 Jun. 2014.

COMUSA; **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em: 20 Jun. 2014.

DANIEL, L. A., SAIA, F. T.; **Aplicação do processo avançado de oxidação na remoção de cor de DOQO de efluente têxtil**, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2001.

DEZOTTI, M.; **Processo e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. 1ed. RJ: E-PAPERS, 2008.

EMBRAPA; **Como funciona uma estação de tratamento de dejetos**. Disponível em: <http://ccw.sct.embrapa.br/?pg=bloguinho_default&codigo=126>. Acesso em: 16 Jun. 2014.

GRAMBONI, C. F.; NOGUEIRA, A. R. A.; **Avaliação de processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas**, São Carlos, Brasil, 2008.

LOCATELLI, Marco Antonio Fernandes; **Processos oxidativos avançados (POA) no tratamento in situ de corpos de água superficiais**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/pomarurbano/files/2011/10/Dr-marco-antonio-fernandes-locatelli.pdf>>. Acesso em: 16 Dez. 2013.

MACEDO, J.A.B.; **Livro Águas e Águas**. 3ed. MG: JORGE MACEDO, 2007.

MANENTI, D.R.; et al.; Rev. **Engevista**. 2010, 12, 22.

MATOS, Jackson C.; de. **Tratamento de esgoto sanitário**. Manaus, 2010.

MESQUITA, Anderson; **Relatório referente à visita técnica feita a Estação de tratamento de Efluentes Industriais da Fábrica da Quero localizada em Nerópolis - GO**. Disponível em: <<http://tecsaneamentoambiental.blogspot.com.br/2012/06/relatorio-referente-visita-tecnica.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2014.

MORAIS, J.L.; **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 2005.

NAVES, F.L.; **Utilização dos processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes a base de resina fenólica, proveniente de indústria de tintas e derivados**. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, Brasil, 2009.

POLEZI, M. **Aplicação de processo oxidativo avançado (H₂O₂/UV) no efluente de uma ETE para fins de reúso**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, Campinas, Brasil, 2003.

ROCHA, J.C; ROSA, A.H; CARDOSO, A.A.; **Introdução a Química Ambiental**. 2ed. SP: BOOKMAN, 2010.

ROTERCANO Serviços; **Esgotamento de caixa de gordura**. Disponível em: <<http://rotercano.com.br/servico/esgotamento-de-caixa-de-gordura/>>. Acesso em: 17 Jun. 2014.

SCIANTO, João Bosco; **A importância da água para a vida e a saúde**. Disponível em: <<http://ecolmeia.org.br/etapas-do-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 19 Jun. 2014.

SAMAE; **Processos de tratamento de água**. Disponível em: <http://www.samaebru.com.br/processos_de_tratamento_de_agua>. Acesso em: 18 Jun. 2014.

SILVA, D.N.; **Aplicação do processo foto-Fenton no tratamento de efluentes industriais**, Cubatão, Brasil, 2009.

TEIXEIRA, C. P. A. B, JARDIM, W. F.; **Processos Oxidativos Avançados** – Caderno Temático – Volume 3. Laboratório de Química Ambiental, Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2004.

TREEBIO Soluções Ambientais; **Grade de Barras com limpeza manual**. Disponível em: <<http://www.treebio.com.br/portfolio-items/grade-barras-limpeza-manual/#prettyPhoto>>. Acesso em: 18 Mai. 2014.

VENANCIO, Salatiel; **Abastecimento de água**. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam03_coag.htm>. Acesso em: 17 Jun. 2014.

WASHINGTON, **United States Environmental Protection Agency; Priority Pollutants**, 2013. Disponível em <<http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/pollutants.cfm>>. Acesso em 26 Jan. 2014.

WASSERLINK; **Agitador Mecânico**. Disponível em: <http://www.wasserlink.com.br/site/pt-BR/?option=com_content&view=article&id=119&Itemid=155>. Acesso em: 18 Jun. 2014.