

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

VIABILIDADE DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS VISANDO À PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL

BARBOSA SEGUNDO, Inalmar Dantas¹; CARVALHO, Nathália Aquino de; ROCHA, Elisângela Maria Rodrigues.

RESUMO - O aumento da demanda e dos conflitos pelo uso da água impõe a necessidade do desenvolvimento de tecnologias cada vez mais atuantes na recuperação dos recursos hídricos, uma vez que estes tenham sido poluídos por efluentes industriais ou urbanos. Entendendo a água como um bem de domínio público, este estudo analisa a importância dos Processos Oxidativos Avançados (POA) enquanto possíveis e acessíveis agentes minimizadores desta poluição, tendo como campo de análise a região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental. O trabalho aborda a questão ambiental e técnica dos POA, discorrendo sobre os dois tipos mais explorados pela literatura científica atual: a fotocatalise heterogênea com a utilização do dióxido de titânio (TiO_2/UV) e a fotocatalise homogênea por meio do foto-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$).

Palavras-Chave: Processos Oxidativos Avançados, Recursos Hídricos, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.

ABSTRACT - Increased demand and conflicts over water use imposes the need to develop technologies increasingly active in the recovery of water resources, since they have been polluted by industrial or urban effluent. Understanding water as a public property, this study analyzes the importance of Advanced Oxidation Processes (AOP) as accessible and possible agents of minimizing pollution, taking as a field of analysis the Eastern Northeast Atlantic hydrographic region. The work addresses the technical and environmental issue of the AOP, discoursing about the two most exploited by the scientific literature: heterogeneous photocatalysis with the use of titanium dioxide (TiO_2/UV) and homogeneous photocatalysis by photo-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$).

Keywords: Advanced Oxidation Processes, Water Resources, Eastern Northeast Atlantic Hydrographic Region.

INTRODUÇÃO

As preocupações geralmente levantadas a respeito dos recursos hídricos têm induzido, em todo o mundo, a uma série de medidas governamentais e sociais objetivando a viabilização e a continuidade das diversas atividades públicas e privadas que têm como foco as águas doces, e, em particular, àquelas que incidem diretamente sobre a qualidade de vida da população (MACHADO, 2001).

¹ Universidade Federal da Paraíba: Cidade Universitária - João Pessoa - PB - Brasil - CEP: 58051-900, Fone: +55 (83) 9631-4532, idbsegundo@gmail.com.

Com a mudança do pensamento sobre o modo de produção capitalista, entendendo o meio ambiente como fonte limitada de matéria-prima, inicia-se uma série de estudos científicos no meio acadêmico mundial a fim de melhorar a gestão dos recursos naturais. Essas pesquisas são utilizadas como importante ferramenta no desenvolvimento de novas tecnologias, que, em conjunto com mudanças na legislação e com medidas restritivas por parte dos governos, têm ajudado a melhorar o cenário mundial em relação à saúde do meio ambiente, mesmo que a passos curtos. No Brasil, por exemplo, a Política Nacional do Meio Ambiente, atuante pela Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, em seu artigo 2º, determina como um de seus princípios, os "incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para uso racional e a proteção dos recursos ambientais", e como um de seus objetivos, no artigo 4º, "à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, a divulgação de dados e informações ambientais e a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e o equilíbrio ecológico".

Segundo Machado (2003, p. 112):

“Setenta por cento da água brasileira estão na região Norte, onde está situada a bacia amazônica e vivem apenas 7% da população; a região Sudeste, que tem a maior concentração populacional (42,63% do total brasileiro), dispõe de apenas 6% dos recursos hídricos, e a região Nordeste, que abriga 28,91% da população dispõe apenas de 3,3%. Portanto, apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população. Em média, entre 40% e 60% da água tratada são perdidos no percurso entre a captação e os domicílios, em função de tubulações antigas, vazamentos, desvios clandestinos e tecnologias obsoletas.”

Visto isso, torna-se imprescindível que, principalmente nas regiões hidrologicamente menos favorecidas, como é o caso do Nordeste brasileiro, atividades de educação ambiental e o desenvolvimento de tecnologias eficazes para o tratamento de efluentes sejam colocados em prática com eficiência. O ano de 2012, por exemplo, tem sido de seca rigorosa em grande parte do país, e, somente no Nordeste, centenas de municípios já declararam situação de emergência por falta de água, conforme os noticiários². Essa situação evidencia a necessidade de cuidar dos poucos recursos hídricos existentes.

Nesse âmbito, Teixeira e Jardim (2004, p. 4) apontam que "tem-se notado uma tendência crescente por parte das empresas em buscar alternativas que levem a soluções cada vez mais eficazes no que diz respeito ao destino dos contaminantes gerados nos seus processos de produção." Além disso, se deve levar em consideração o fato de que os investimentos nessas soluções podem representar viabilidade financeira quando analisado a longo prazo, na medida em que custos muito

² <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2012/05/seca-no-nordeste-deixa-mais-de-500-cidades-em-situacao-de-emergencia.html>. acessado em 23.06.2012 as 9:01 min.

superiores poderiam ser gastos no pagamentos de multas para órgãos públicos de fiscalização, por exemplo.

Entende-se que a remoção de poluentes orgânicos no meio ambiente tem sido um grande desafio tecnológico, pois, inúmeras vezes, tecnologias de tratamento convencionais não são capazes de fazê-lo eficientemente. Assim, um campo de estudo que vem sendo explorado por pesquisadores de todo o mundo retrata a possibilidade de reciclagem da água através da inviabilização da carga poluente, empregando Processos Oxidativos Avançados, os POA (DUARTE *et al.*, 2005). De acordo com Pascoal (2007), tal processo se dá através de técnicas que se aplicam eficazmente no tratamento de compostos recalcitrantes, ou seja, são capazes de eliminar compostos resistentes aos tratamentos primário (físico e químico) e secundário (biológico), podendo ser aplicadas a compostos inorgânicos ou orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis). Ainda segundo esse autor, com relação aos compostos orgânicos, a maior vantagem desses processos é a real destruição do poluente tratado, transformando-os em produtos inertes (CO_2 , H_2O e ácidos minerais), fato que não ocorre com os processos convencionais de tratamento, pois estes promovem apenas a transferência de fase do poluente, ou seja, ao final do processo, mesmo reduzindo significativamente o volume do meio contaminado, ainda são obtidas duas fases: uma composta pela água limpa, e outra pelo resíduo contaminante concentrado, ou seja, o lodo. Outros pontos positivos, desta vez afirmados por Teixeira e Jardim (2004), a respeito dos POA são: o baixo custo operacional; uma alternativa no tratamento de águas superficiais e subterrâneas, bem como de águas residuais e solos contaminados.

A relevância desse trabalho consiste em discutir as vantagens e desvantagens quanto ao uso dos processos oxidativos avançados, em particular os processos de fotocatalise heterogênea a partir do uso do dióxido de titânio, e de fotocatalise homogênea - foto-Fenton, o qual pode ser aliado ao aproveitamento da radiação solar, recurso essencial para o sucesso do processo e que na região hidrográfica em estudo é abundante. Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa sobre Fotocatalise Solar para tratamento de efluentes recalcitrantes visando à proteção dos recursos hídricos dessa região, e que está em andamento na Universidade Federal da Paraíba.

1. A REGIÃO HIDROGRÁFICA ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL

Ao contemplar cinco importantes capitais do Nordeste, regiões metropolitanas, dezenas de grandes núcleos urbanos e um parque industrial significativo, a região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental tem uma importância singular em relação à ocupação urbana. Nesse cenário, destaca-se o fato de a região abranger mais de uma dezena de pequenas bacias costeiras, caracterizadas pela pequena extensão e vazão de seus corpos d'água.

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas) em seu *web site*³, a região tem uma área de 287.348 km² e 21,6 milhões de pessoas, o equivalente a apenas 3% do território e 12,7% da população brasileira, respectivamente. Seguindo a tendência urbana do País, 76% desse contingente estão nas capitais e regiões metropolitanas de João Pessoa, Recife, Fortaleza, Maceió e Natal, além de grandes cidades como Caruaru, Mossoró e Campina Grande.

A população rural nessa região é de 16,4 milhões de habitantes, distribuídos em todas 739 sedes municipais (13% do País). Ainda segundo a ANA, a distribuição da área da bacia nas unidades da federação é: Piauí (1,0%), Ceará (46%), Rio Grande do Norte (19%), Paraíba (20%), Pernambuco (10%), Alagoas (5%).

É nesta região hidrográfica que se observa uma das maiores evoluções de ações antrópicas sobre a vegetação nativa. Por exemplo, a caatinga foi devastada pela pecuária que invadiu os sertões, e a Zona da Mata foi desmatada principalmente para a implantação da cultura canavieira, que pode ser encontrada em praticamente toda extensão da região litorânea mostrada na figura 1.

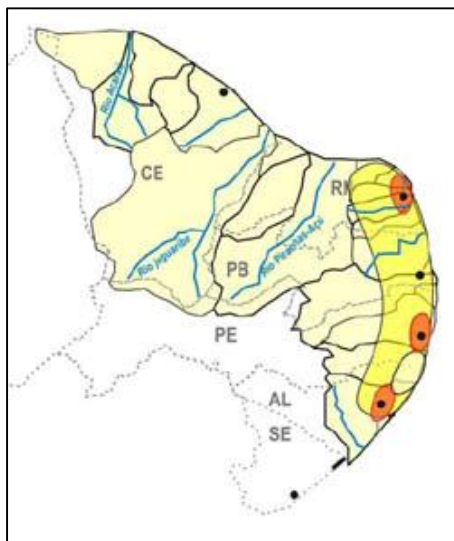


FIGURA 1: Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental

Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA

Ainda hoje, o extrativismo vegetal, principalmente para exploração do potencial madeireiro, representa uma das atividades de maior impacto sobre o meio ambiente. Em algumas áreas das bacias costeiras limítrofes com a Região Hidrográfica do São Francisco, situa-se parte do polígono das secas, território reconhecido pela legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens, com várias zonas geográficas e diferentes índices de aridez.

³ Agência Nacional de Águas: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoNordesteOriental.aspx>, acessado em 04 de junho de 2012 às 21h33min.

2. OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA)

Os POA são novas tecnologias que se mostram vantajosas e promissoras no tratamento de efluentes, pois conduzem a produtos finais mineralizados, ou seja, compostos orgânicos oxidados a CO_2 , H_2O e ânions inorgânicos. A oxidação desses compostos pode ser realizada de modo rápido e não seletivo através de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxilas, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Potencial redox de alguns oxidantes

ESPÉCIE	POTENCIAL REDOX (V)
Flúor	3,03
Radical hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Permanganato	1,68
Dióxido de cloro	1,57
Cloro	1,36
Iodo	0,54

Fonte: Adaptado de Teixeira e Jardim (2004)

Os tipos de POA podem ser divididos em dois grupos: homogêneos e heterogêneos, aqueles que contam com a presença de catalisadores sólidos (Teixeira e Jardim, 2004), conforme apresentados no Quadro 1. A Tabela 2 menciona alguns desses métodos com suas respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 1 – Sistemas típicos de processos oxidativos avançados

SISTEMAS HOMOGÊNEOS	COM IRRADIAÇÃO
	O_3/UV
	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$
	FEIXE DE ELÉTRONS
	US
	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{US}$
	SEM IRRADIAÇÃO
	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$
	O_3/OH^-
	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (fenton)

SISTEMAS HETEROGÊNEOS	COM IRRADIAÇÃO
	TiO ₂ /O ₂ /UV
	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV
	SEM IRRADIAÇÃO
	ELETRO-FENTON

Fonte: Adaptado de Huang *et al.* (1993) *apud* Teixeira e Jardim (2004)

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens de determinados POA

TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fenton	Alta redução de DQO, cor e toxicidade; baixo custo.	Geração de lodo; formação de sais de ferro; pH limitado entre 2 e 4.
Foto-Fenton	Mais eficiente que o Fenton, por ser mais rápido; baixo custo.	Geração de lodo; formação de sais de ferro; pH limitado entre 2 e 4.
Ozonização	Muito eficiente na redução de matéria orgânica; sem resíduos ou geração de lodo.	Alto custo já que é produzido por descarga elétrica no ar ou oxigênio puro.
O₃/UV	Muito eficiente na redução de matéria orgânica.	Alto custo operacional; o meio não pode ser turvo ou conter sólidos em suspensão; por ser um gás instável, o O ₃ deve ser gerado <i>on-site</i> e utilizado imediatamente.
TiO₂	Baixo custo, não toxicidade, estabilidade química em uma ampla faixa de pH, insolubilidade em água, fotoestabilidade, possibilidade de ativação por luz solar.	Processo mais lento e com eficiência mais baixa quando comparado ao Fenton e à ozonização.

Fonte: Dantas (2005), Kammerdt (2004), Teixeira e Jardim (2004)

Analisando a Tabela 2, é possível observar que os processos foto-Fenton e o TiO₂ são, tecnologias relativamente de baixo custo, eficiente no tratamento de efluentes e eficazes na proteção dos recursos hídricos.

2.1. Fotocatálise Heterogênea: TiO₂

O fotocatalizador absorve energia dos fótons da radiação ultravioleta, gerando radicais hidroxilas, que possuem excelente potencial redox (quadro 1), capazes de mineralizar a matéria orgânica. Segundo Pascoal (2007), o dióxido de titânio é o catalizador que mais vem sendo utilizado pelos pesquisadores devido às seguintes características: não tem toxicidade, é resistente à corrosão, tem preço acessível, é abundante, insolúvel em água, tem fotoestabilidade, possui

estabilidade química em ampla faixa de pH, tem banda de passagem (*band gap*) na região ultravioleta (UV) e pode ser usado à temperatura ambiente.

O dióxido de titânio é um fotocatalizador formado por bandas de valência (BV) e por bandas de condução (BC), havendo entre ambas uma região energética denominada de *band gap*, que possui valor inicial de 3,2 eV. Este valor representa a quantidade mínima de energia necessária para que ocorra migração de um elétron da banda de valência para a banda de condução. Com a absorção de energia na forma de fótons, o TiO₂ terá elétron da BV migrando para a BC. Na BV haverá formação de lacunas chamadas de *positive hole* capazes de gerar radicais hidroxilas (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Tais radicais advêm de íons hidroxila ou de moléculas de água adsorvidos à superfície da molécula do TiO₂, que cedem elétrons para a BV. Assim, é o elétron fornecido pela OH e/ou H₂O, ambos adsorvidos na superfície do fotocatalizador, que permitem que o TiO₂ volte ao seu estado de equilíbrio anterior à absorção da energia fotônica, garantindo a eletro-neutralidade do fotocatalizador (KURNIAWAN *et. al.*, 2006).

Para melhor entendimento da necessidade dos catalizadores semicondutores nos processos oxidativos avançados, Davis *et al* (1989) *apud* Teixeira e Jardim (2004) elaboraram uma imagem para exemplificar (Figura 2):

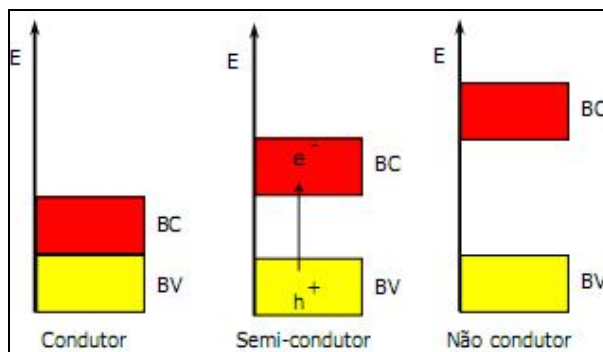


Figura 2: Níveis energéticos dos materiais

Fonte: Davis *et al*, 1989 *apud* Teixeira e Jardim (2004).

Nos condutores, os níveis de energia são contínuos e não há separação entre BV e BC. Já os não-condutores possuem uma descontinuidade muito grande de energia entre as bandas, sendo impossível a promoção eletrônica. Dessa forma, os semicondutores são os únicos que, em algumas condições específicas, podem superar a descontinuidade energética, acabando por promover um elétron da BV para BC, gerando um par eletro-lacuna e, com isso, apresentar condutividade elétrica.

Pascoal (2007) afirma que os elétrons que migram para a banda de condução são os responsáveis pelas reações de redução, devido aos potenciais de zero a -1 V, sendo esta a banda

responsável pela redução de elementos inorgânicos, a exemplo do cromo que terá a sua espécie hexavalente convertida para trivalente; este fenômeno só ocorre quando se utilizam fontes luminosas com comprimento de onda menor que 387nm, que é exatamente a faixa de comprimento de onda que permite a utilização da radiação UV proveniente do sol, representando de 4 a 6% de toda a radiação solar que atinge a superfície terrestre. A etapa de adsorção, entre o TiO_2 e as substâncias a serem reduzidas e oxidadas é de grande importância para a fotocatalise, especialmente dos aceptores de elétrons, pois são eles que impedem o retorno do elétron da BC para BV.

2.2. Fotocatálise Homogênea: Reagente Fenton

O reagente Fenton é um POA em que há geração de radicais hidroxilas a partir da decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em meio ácido, utilizando-se íons ferrosos como catalisador (DANTAS, 2005). É um processo vantajoso, pois tanto o peróxido de hidrogênio quando os íons ferrosos são reagentes baratos e seguros (UMAR *et. al.*, 2010).

As principais variáveis do processo Fenton são as condições dos reagentes – as relações dos íons férricos $[\text{Fe}^{2+}]$, ferrosos $[\text{Fe}^{3+}]$, peróxido de hidrogênio $[\text{H}_2\text{O}_2]$ – e as características da reação (pH, temperatura e quantidade de constituintes orgânicos e inorgânicos). Estes parâmetros instauram a eficiência da reação global, sendo importante compreender a relação mútua entre eles em termos de produção e consumo de radicais hidroxila (KURNIAWAN *et. al.*, 2006)

A dose de peróxido de hidrogênio é uma variável crítica no processo. Uma concentração baixa de H_2O_2 não gera quantidade suficiente de $\text{OH}^\bullet$ na solução. Além disso, o aumento da concentração de H_2O_2 tem dois efeitos opostos no rendimento da reação. Assim, conclui-se que existe uma concentração ideal de H_2O_2 para alcançar a eficiência máxima do processo Fenton, embora a definição da faixa dessa concentração varie para diferentes resíduos contaminados (PRIMO *et. al.*, 2008).

Outro efeito analisado por Primo et al. (2008) foi o da concentração do ferro. O aumento da razão de $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO}$ para um valor superior a 0,33 reduz a eficiência ou a taxa de oxidação do processo, já que várias reações colaterais ocorreriam quando maiores razões de massa de $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO}$ fossem usadas, diminuindo o rendimento do sistema.

2.2.1 Foto-Fenton

A combinação do reagente Fenton com a radiação ultravioleta é chamada de foto-Fenton, que se mostra mais eficiente que o método Fenton ou a ação da radiação ultravioleta (UV) agindo separadamente. Essa eficiência é devido à degradação do peróxido de hidrogênio tanto por fotólise

quanto por íons Fe^{2+} , acelerando assim a produção de radicais hidroxila (TRUJILLO *et al.*, 2007). Este efeito positivo da luz sobre a reação de degradação foi atribuído à regeneração de Fe^{2+} conseguida da fotólise dos hidróxidos de Fe^{3+} sintetizados, como também pelas reações fotoquímicas dos complexos formados com os íons férricos e intermediários da degradação ou substratos orgânicos (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

A absorbância de ferro pode se estender até a região do visível, dependendo do pH, pois o pH influencia na formação de espécies hidroxiladas, as quais apresentam maior absorção no visível. A espécie $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ apresenta máximo de absorbância em comprimento de onda de 300 nm, estendendo-se até aproximadamente 400 nm, o que permite que a radiação solar seja utilizada na reação foto-Fenton (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

Apesar das vantagens do processo, deve-se salientar que há grande produção de lodo contendo ferro (KOCHANY *et al.*, 2009), necessitando assim de um tratamento posterior para esse resíduo. A principal vantagem do método foto-Fenton em relação ao Fenton é que o primeiro consome menos ferro e produz menos lodo que o segundo, atingindo os mesmos resultados de remoção de DQO (HERMOSILLA *et al.*, 2009).

3. APLICAÇÕES

Experiências utilizando o TiO_2 e o Foto-Fenton foram realizadas em diversos tipos de efluentes que apresentam compostos recalcitrantes⁴ a fim de analisar a eficiência dos processos mencionados. Na Tabela 3, estão expostos os trabalhos de alguns autores com seus respectivos resultados quanto à eficiência na redução dos poluentes e, conseqüentemente melhoria da qualidade do efluente em questão. Todos os estudos apresentados foram desenvolvidos com a utilização da radiação ultravioleta proveniente do Sol.

Uma grande vantagem de se trabalhar com os POA é a real utilização do aproveitamento da radiação solar no tratamento de efluentes domésticos e industriais. Essa proposta tem sido amplamente estudada, tendo em vista seu baixo custo, principalmente em países com elevado grau de insolação, como o Brasil. A tecnologia já se encontra disponível, porém, infelizmente, embora projetos-piloto de tratamento em larga escala tenham comprovado sua viabilidade, a aplicação prática tem sido vista com excessiva cautela pelos reais interessados. Por essa razão, projetos com o envolvimento de potenciais usuários são importantes no sentido de reduzir as barreiras à sua implementação (DUARTE *et al.*, 2005).

⁴ Substâncias de difícil decomposição por processos biológicos.

Tabela 3: Vantagens e Desvantagens de determinados POA

Autor	Tipo de efluente	POA utilizado	Eficiência de remoção
TOKOMURA, M.; ZNAD, H.; KAWASE, Y. ROCHA, E. <i>et al.</i>	Café	Foto-Fenton	Cor = 92%
	Lixiviado	Foto-Fenton	Compostos Orgânicos = 80% COD = 86% Compostos Aromáticos = 94%
MORAIS, J. L.; ZAMORA, P. P.	Lixiviado	Foto-Fenton	DQO = 57.5% / COT = 89.9%
PASCOAL, S. de A. <i>et al.</i>	Curtume	TiO ₂	Média: Cr(VI) = 88% DQO = 71% Turbidez = 66% SST = 67% SSV = 65%
SALAZAR, R. F. S.; IZÁRIO FILHO, H. J.	Lácteo	TiO ₂	DQO = 54,77% COT = 38,37%

Segundo Rocha (2010), a tecnologia fotocatalítica solar pode ser definida como aquela que capta eficientemente os fótons solares para um reator específico, de modo a promover reações catalíticas, sendo tal equipamento, denominado como coletor solar. Dependendo do grau de concentração, que está diretamente relacionada com a temperatura atingida pelo sistema, os coletores são classificados por Malato *et al* (2004) nos três seguintes grupos:

- I - Coletores não concentradores, de baixa concentração ou de baixa temperatura;
- II - Coletores de média concentração ou média temperatura;
- III - Coletores de elevada concentração ou elevada temperatura.

De acordo com Duarte (2005), os reatores que têm sido empregados na descontaminação fotocatalítica de águas residuárias usando a radiação solar, quanto à forma como o efluente a ser tratado circula através do reator, podem ser classificados em três: vaso agitado, filme corrente ou tubular. Já quanto ao modo como o catalisador é aplicado, pode ser dividido em dois grupos: em suspensão (dissolvido na solução) ou imobilizado (fixo em alguma parte do reator).

No caso do TiO₂, a grande desvantagem da opção de se trabalhar tal catalizador em suspensão, segundo Teixeira e Jardim (2004), é que as partículas do semicondutor devem ser separadas da fase líquida após o tratamento por filtração, centrifugação ou coagulação e floculação. Estes passos adicionais aumentam o nível de complexidade e diminuem a viabilidade econômica desses reatores, sendo esse o motivo pelo qual tem sido registrado um grande número de trabalhos nos quais o objetivo é imobilizar o catalizador em diversas matrizes inertes.

4. CONCLUSÃO

O trabalho destaca a importância do estudo dos processos oxidativos avançados, particularmente os processos foto-Fenton e dióxido de titânio (TiO₂), e suas aplicações na redução dos compostos recalcitrantes presentes nos efluentes industriais e, conseqüentemente, na proteção dos recursos hídricos da região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental.

Aos reais interessados em medidas mitigadoras da poluição dos recursos hídricos, principalmente na região hidrográfica analisada nesse artigo, onde a escassez de água em determinados períodos é preocupante, ambos os processos demonstrados são alternativas plausíveis para o tratamento de efluentes. A eficiência do processo e sua vantagem de custo-benefício são verificados por vários autores como Malato *et al.* (2004), Nogueira *et al.* (2007), Dantas (2005), Kammradt (2004) e Teixeira e Jardim (2004).

Ressalta-se que, em termos de efluentes industriais, como exemplo o efluente proveniente de aterros sanitários, conhecido como lixiviado, ainda são necessários estudos das variáveis operacionais e otimização dos processos oxidativos avançados para sua utilização em escala real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Energia Solar (LES) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) que é parceira do projeto de estudo. Ao CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica dos alunos do curso de Engenharia Ambiental da UFPB.

BIBLIOGRAFIA

ANA, Agência Nacional de águas. **Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoNordesteOriental.aspx>>. Acesso em 04 de junho de 2012 às 21h33min.

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente: Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 25 de novembro de 2011 às 12h21min.

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de Peróxido de Hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente Fenton modificado**. Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2005.

DUARTE, E. T. F. M.; XAVIER, T. P.; SOUZA, D. R. de; MIRANDA, J. A. de; MACHADO, E. da H.; JUNG, C.; OLIVEIRA, L. de; SATTLER, C. **Construção e estudos de performance de um reator fotoquímico tipo CPC (“Compound Parabolic Concentrator”)**. Química Nova, Vol. 28, No. 5, 921-926p, 2005.

HERMOSILLA, D.;CORTIJO, M.; HUANG, C. P. **Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes.** Science of the Total Environment 407, 3473-3481p, 2009.

KOCHANY, J.; LIPCZYNSKA-KOCHANY, E. **Utilization of landfill leachate parameters for pretreatment by Fenton reaction and struvite precipitation – A comparative study.** Journal of Hazardous Materials 166, 248-254p, 2009.

KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHAN, G.Y.S. **Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate.** Chemical Engineering Journal 125, 35-57p, 2006.

MACHADO, C. J. S.. **Experiências Internacionais de Gestão de Águas Interiores: uma Análise Comparada com o Arcabouço Jurídico Brasileiro.** Revista Forense Eletrônica (Suplemento), Rio de Janeiro, Vol. 356, Agosto, 2001.

_____. **Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafios.** Ambiente & Sociedade – Vol. VI, No. 2, Jul./Dez, 2003.

MALATO-RODRIGUEZ, S.; GÁLVEZ, J. B.; RUBIO, M. I. M.; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, P. D; PADILLA, A.; PERREIRA, M. C.; MENDES, J. F.; OLIVEIRA, J. C. **Engineering of solar photocatalytic Collectors.** Solar Energy 77, 513-524p, 2004.

MORAIS, J. L.; ZAMORA, P. P. **Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates.** Journal of Hazardous Materials B123, 181-186p, 2005.

NOGUEIRA, R.; TROVÓ, A.; SILVA, M.; VILLA, R.; OLIVEIRA, C. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton.** Quim. Nova, Vol. 30, No. 2, 400-408p, 2007.

PASCOAL, S. de A.; LIMA, C. A. P. de.; SOUSA, J. T. de; LIMA, G. G. C. de.; VIEIRA, F. F. **Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume.** Química Nova, Vol. 30, No. 5, 1082-1087p, 2007.

PRIMO, O.; RIVERO, M.J.; ORTIZ, I. **Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates.** Journal of Hazardous Materials 153, 834–842p, 2008.

ROCHA, E. M. R. **Avaliação de sistemas de pós-tratamentos de lixiviados por processos biológicos e oxidativos avançados e o desenvolvimento analítico para detecção e quantificação de compostos recalcitrantes.** Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2010.

SALAZAR, R. F. S.; IZÁRIO FILHO, H. J. **Aplicação de processo oxidativo avançado baseado em fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV_{solar}) para o pré-tratamento de afluente lácteo.** AUGM_DOMUS. Volume 1, 27-44p, 2009

TEIXEIRA, C. P. de A. B; JARDIM, W. de F.. **Processos Oxidativos Avançados: Conceitos Teóricos.** Caderno Temático, Vol. 3. Campinas, UNICAMP, 2004.

TOKOMURA, M.; ZNAD, H.; KAWASE, Y. **Decolorization of dark brown colored coffee effluent by solarphoto-Fenton reaction: Effect of solar light dose on decolorization kinetics.** Water Research 42, 4665-4673p, 2008.

TRUJILLO, D.; FONT, X.; SÁNCHEZ, A. **Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes.** Journal of Hazardous Materials B138, 201-204p, 2006.

UMAR, M.; AZIZ, H.; YUSOFF, M. **Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate.** Waste Management 30, 2113-2121p, 2010.