

Aplicação sequencial de Fotocatálise Heterogênea com TiO_2 e Ozonização para o tratamento de lixiviado do aterro sanitário em Campo Mourão, Paraná

Sequential application of Heterogeneous Photocatalysis with TiO_2 and Ozonation for the treatment of rainwater leaching in Campo Mourão, Paraná

Aurora de Oliveira

oliveira.aurora.ao@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Rafael Faria Carard

carard_173@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Eudes José Arantes

eudesarantes@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná, Brasil

RESUMO

Este estudo teve como objetivo verificar o potencial dos processos oxidativos avançados (POAs) sendo eles a fotocatalise heterogênea com o uso do catalisador dióxido de titânio (UV/TiO_2) e a ozonização, aplicados em sequência, para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Estes foram coletados no aterro sanitário municipal de Campo Mourão, Paraná. Após o tratamento foram analisados parâmetros físico-químicos, sendo eles a turbidez, cor e DQO. Na primeira etapa do processo, as amostras tiveram o pH ajustado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) para os valores 3,0; 4,0; 5,0 e adicionado 0,3g de TiO_2 . Em seguida iniciou-se o estudo, onde a câmara de irradiação foi fechada e ligada. Este ensaio teve duração de 15 minutos, com uma pausa de 5 minutos para coleta da amostra para análise e continuação por mais 15 minutos. Após esta etapa, a amostra foi encaminhada para o processo de ozonização, formada pelo fluxômetro e pelo reator. Na segunda etapa do processo, foi implementado 0,03 de TiO_2 aplicando a mesma metodologia, porém a fotocatalise ocorreu por 30 minutos contínuos. Os resultados da 1ª situação não demonstraram um bom desempenho, podendo estar associado à evaporação do lixiviado pela temperatura emanada da lâmpada e pela concentração de catalisador utilizada ter sido muito elevada. No 2º caso, foram observadas reduções nos parâmetros cor e DQO em relação ao lixiviado bruto, porém um aumento em relação à turbidez. Observou-se que as amostras em meio mais ácido apresentaram melhores resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Ozonização. Fotocatálise Heterogênea. Lixiviado. Aterro Sanitário.

ABSTRACT

The objective of this study was to verify the potential of advanced oxidative processes (POAs) being heterogeneous photocatalysis with titanium dioxide (UV/TiO_2) and the ozonation, applied in sequence for the treatment of landfill leachate. These were collected in the municipal landfill of Campo Mourão, Paraná. After the treatment, physical-chemical parameters were analyzed, being turbidity, color and COD. In the first step of the process, the pH of the samples were adjusted with sulfuric acid (H_2SO_4) to 3,0; 4,0; 5,0 and 0.3 g of TiO_2 was added. Next, the study was started, where the irradiation chamber was closed and connected. This assay lasted 15 minutes, with a 5-minute pause for sample collection for analysis and continuation for another 15 minutes. After this step, the sample was sent to the ozonation process, formed by the flowmeter and the reactor. In the second stage of the process, 0.03 of TiO_2 was applied applying the same methodology, but the photocatalysis occurred for 30 minutes continuous. The results of the first situation did not show a good performance and could be associated to the evaporation of leachate due to the temperature emanating from the lamp and the concentration of catalyst used was very high. In the second case, reductions were observed in the color and COD parameters in relation to the crude leachate, but an increase in relation to the turbidity. It was observed that the samples in more acidic medium presented better results.

KEYWORDS: Ozonation. Heterogeneous Photocatalysis. Leached. Sanitary Landfill.

Recebido: 30 ago. 2018

Aprovado: 18 set. 2018

Direito autorial:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O crescimento urbano, a industrialização e o aumento dos patamares de consumo são os principais fatores que vem elevando a produção dos resíduos sólidos urbanos (SILVA, 2002). No Brasil o aterro sanitário é a principal alternativa para o seu descarte, um processo que ocorre a decomposição química e biológica dos resíduos, produzindo um efluente líquido conhecido como chorume ou lixiviado de aterro sanitário (CASTANHO, 2016). Este se caracteriza pela elevada carga orgânica, coloração escura, forte odor e composição química com grande variabilidade, influenciada pelo tipo de resíduo e pelos fatores climáticos, conforme Morais (2006). O tratamento mais comum no país é o de natureza biológica, o qual apresenta resultados eficientes em aterros novos, porém, nos mais antigos, apresentam inúmeros problemas.

Existem, porém alternativas para o tratamento deste efluente, dentre eles os Processos Oxidativos Avançados (POAs). Conforme Nogueira e Jardim (1998) caracterizam-se por serem mais sustentáveis e possuem elevada capacidade e velocidade de degradação. Estes são processos físico-químicos que geram uma mudança na estrutura química da molécula, além de envolverem a geração e utilização de agentes oxidantes, principalmente os radicais de hidroxila ($\bullet\text{OH}$).

Entre os POAs destaca-se a fotocatalise heterogênea, que utiliza a radiação ultravioleta, que pode ser de origem natural como a solar ou de origem artificial como a lâmpada de mercúrio, para a geração de redox induzidas na superfície de semicondutores minerais, que são os catalisadores do processo.

Dentre os catalisadores existentes, o dióxido de titânio (TiO_2) é o mais utilizado na fotocatalise heterogênea por não ser tóxico, possuir baixo custo, ser insolúvel em água, possuir foto-estabilidade, apresentar estabilidade química em uma ampla faixa de pH e possibilidade de ativação pela luz solar, o que reduz os custos do processo (NOGUEIRA; ALBERICI; JARDIM, 1997).

A fotocatalise heterogênea é baseada na irradiação de um fotocatalisador (semicondutor inorgânico), no caso o TiO_2 , por fótons com energia maior ou igual à energia do "band gap", ou seja, a quantidade mínima de energia necessária para excitar o elétron do semicondutor e provocar a transição eletrônica. Desse modo, sob irradiação, um elétron é promovido da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) formando sítios oxidantes e redutores que catalisam reações químicas, oxidando compostos orgânicos até CO_2 e H_2O , e reduzindo metais dissolvidos ou outras espécies presentes (ZIOLLI; JARDIM, 1998).

Outro processo oxidativo avançado é a ozonização utilizando como base o ozônio (O_3), um gás instável de alto poder oxidante. Conforme Silva (2008), a aplicação deste método se destaca pela rapidez de desinfecção, alta eficiência na inativação de microrganismos e baixa toxicidade dos efluentes após passarem pelo método. Porém, segundo o autor, devido a sua não seletividade, o emprego do ozônio de maneira indireta apresenta melhores resultados. Outra vantagem deste método apresentada por Kamradat (2004, p.17) é a sua capacidade de degradar hidrocarbonetos clorados, fenóis, pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos, além de deixar o efluente sem cor, com baixa DQO.

Diante a necessidade de novas alternativas para o tratamento do lixiviado, este estudo teve como objetivo analisar o potencial dos processos oxidativos avançados, ou seja, a fotocatalise heterogênea com o uso do catalisador dióxido de titânio (UV/TiO_2) e a ozonização aplicados de maneira sequencial, por meio da análise de parâmetros físico-químicos, como a DQO, turbidez, cor e respectivas remoções.

MÉTODOS

Para realização da fotocatalise foi utilizado um reator feito de madeira, pintado em cor preta, com dimensões de 50x33x32 cm em relação à altura, largura e profundidade. Em sua parte superior interior foi instalada uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão com 250 W de potência. Devido o efeito filtro UV, seu bulbo externo foi retirado para que não houvesse interferência sobre o efluente. Na parte inferior foi colocado um agitador magnético.

Inicialmente, realizou-se o teste de funcionamento da câmara, ligando-a e aguardando 1 minuto. Posteriormente, foi introduzido no reator um béquer com cerca de 250 ml do lixiviado sobre o agitador magnético, juntamente com uma barra magnética para homogeneização. O processo de tratamento ocorreu em duas situações distintas. Na 1ª, a amostra introduzida teve seu pH ajustado para 3,0; 4,0 e 5,0 por meio de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e a adição de 0,3 g de TiO₂ em pó. Em seguida a câmara de irradiação foi fechada e ligada. Nesta, os ensaios tiveram duração de 15 minutos, pause de 5 minutos para coleta de amostra para análise e continuação do processo por mais 15 minutos. Logo após, iniciou-se o processo da ozonização, em que se utilizou uma estrutura formada por um compressor de ar, o qual tem o objetivo de bombear o O₂ para um fluxômetro, este com capacidade máxima 15 L.min⁻¹, fixado em um suporte universal e interligados por uma mangueira. Nesta etapa é realizada a regulação da vazão de ar necessária para o sistema de ozonização. A partir disto, o O₂ é encaminhado para o reator, sistema formado por uma placa de madeira com dois tubos cilíndricos coaxiais. Em um dos tubos, o ar gerado pelo compressor entra no sistema. Na outra extremidade do tubo, foram conectados circuitos eletrônicos que realizam descargas elétricas naquele ponto, num efeito chamado corona. Nesta etapa, as moléculas de O₂ são desestabilizadas, se unindo então com outras moléculas estabilizadas para formar o O₃. Este circuito é alimentado por duas fontes de energia, a primeira de 12,5 volts constante, a segunda de 45 watts. Tem como objetivo fazer o chaveamento do circuito eletrônico, que faz a descarga elétrica do efeito corona desestabilizar as moléculas, conseqüentemente gerando o ozônio que sai do outro lado do tubo. Na placa contém também ventiladores *coolers* que são ligados automaticamente para resfriar o sistema. Na 2ª foram introduzidos 0,03 g de TiO₂, sendo implementado o mesmo processo, porém realizado por 30 minutos contínuos. Em seguida foi aplicado o mesmo processo da ozonização, também com tempo de 30 minutos, sem nenhuma pausa.

Após os ensaios, buscou-se analisar os efeitos dos tratamentos quanto aos parâmetros físico-químicos, através de análises do lixiviado bruto e do tratado, ambos com amostras em triplicata. Os parâmetros analisados foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, cor, turbidez. Este estudo foi feito utilizando como base a metodologia apresentada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton *et al.*, 2005). A DQO e a cor foram mensuradas através do método espectrofotométrico e os demais parâmetros por aparelhos específicos como o pHmêtro e o turbidímetro. Devido a composição do efluente, existe a possibilidade dos valores ultrapassarem o limite de confiabilidade do equipamento utilizado (espectrofotômetro). Para compor a eficiência de remoção dos parâmetros foi utilizada da seguinte fórmula, conforme estabelece Amr e Aziz (2012):

$$\text{Remoção (\%)} = [(C_i - C_f)/C_i] * 100,$$

em que C_i e C_f correspondem à concentração inicial e final do parâmetro monitorado. Todos os procedimentos técnicos foram realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PRIMEIRA SITUAÇÃO: A Tabela 1 abaixo apresenta os resultados obtidos na 1ª situação estudada, com aplicação de 0,3g de TiO_2 para a fotocatalise seguindo o tratamento de ozonização. A leitura do parâmetro de cor em ambas as etapas foi realizada conforme a diluição, mas para a sua discussão foi realizada a multiplicação pelo fator de diluição (10) a fim de retratar o valor real de cor para o efluente com base na literatura consultada para discussão.

Tabela 1: Resultados dos tratamentos sequenciais (15 +15 minutos, 0,3g TiO_2)

Ensaio	Amostras	Turbidez (NTU)	Cor (mgPt-cor/L)	DQO (mg/L O ₂)	Eficiência DQO	Eficiência Cor
Fotocatálise (15 min.)	pH(3)	132	1700	1017,1	-13,28	-66,67
	pH(4)	65,2	900	1067,5	-21,39	12,62
	pH(5)	126	1660	1078,1	-26,80	-78,49
Fotocatálise (30 min.)	pH(3)	261	2630	1207,9	-34,52	-157,84
	pH(4)	61,4	740	1072,8	-21,99	28,16
	pH(5)	169	2010	1154,9	-35,84	-116,13
Ozônio (15 min.)	pH(3)	289	2720	1046,3	-16,52	-166,67
	pH(4)	275	2690	1237,0	-40,67	-161,17
	pH(5)	341	3430	1250,3	-47,05	-268,82
Ozônio (30 min.)	pH(3)	298	2730	982,7	-9,44	-167,65
	pH(4)	169	1460	1245,0	-41,58	-41,75
	pH(5)	330	3110	1218,5	-43,31	-234,41
Bruto Total		64,77	993,3	875,8		

Fonte: Autoria Própria (2018).

Nesta 1ª situação os resultados obtidos não demonstraram um bom desempenho. O aumento dos teores de turbidez, cor e DQO ocorreram possivelmente devido a evaporação de H_2O do lixiviado causada pela elevada temperatura da lâmpada, de acordo com Ferreira e Daniel (2005). Pode ter ocorrido também devido a recombinação de compostos já existentes durante o processo e formação de outros compostos resistentes. Isto ocorre, pois, quando a oxidação da matéria orgânica não é completa, além da presença de íons cloretos e sulfatos que sequestram radicais $\bullet OH$, pode prejudicar a eficiência de tratamento (GUIMARÃES; SOUZA, 2016). O aumento dos parâmetros analisados pode ser observado na maioria das amostras, exceto em relação à amostra com pH 4,0 que demonstrou redução de cor em relação ao lixiviado bruto, isto apresentado apenas na etapa da fotocatalise. De acordo com Cho, Hong e Hong. (2002), ao variar o pH em experimentos de fotocatalise com lixiviado de aterro, a degradação fotocatalítica foi favorecida principalmente em condições ácidas.

Os resultados negativos podem estar relacionados à concentração de TiO_2 adotada. Segundo Buth, Moro e Lansarin (2009) o excesso e alta concentração do catalisador, causa opacidade no efluente e bloqueia a radiação UV nas partículas submersas, impedindo sua ativação pela fonte luminosa e degradação dos

poluentes. Este aumento de opacidade pode ser observado pela elevação do parâmetro de turbidez em praticamente todos os ensaios, com exceção do pH 4,0, onde o valor ficou bem próximo ao lixiviado bruto, de forma que este efeito não prejudicou o processo.

SEGUNDA SITUAÇÃO: A Tabela 2 abaixo demonstra os resultados obtidos na 2ª situação estudada com o tratamento sequencial de fotocatalise e ozonização, neste caso, porém com a aplicação de 0,03g de TiO₂.

Tabela 2: Resultado dos tratamentos sequencia (30 minutos, 0,03g TiO₂)

Ensaio	Amostras	Turbidez (NTU)	Cor (mgPt-cor/L)	DQO (mg/L O ₂)	Eficiência DQO	Eficiência Cor
Fotocatalise	pH(3) - 8.71	493	5130	850,2	23,03	32,94
	pH(4) - 8.37	563	4950	871,4	21,11	35,29
	pH(5) - 8.35	592	7200	919,1	16,79	5,88
Ozônio	pH(3) - 8.71	669	3600	776,0	29,74	52,94
	pH(4) - 8.37	610	2700	813,1	26,38	64,71
	pH(5) - 8.35	740	2520	810,5	26,62	67,06
Bruto	8,48	98	7650	1104,6	0,00	0,00

Fonte: Autoria Própria (2018).

Neste experimento, observa-se que a DQO e cor podem ter sido afetadas devido o aumento da turbidez. Isto devido o catalisador e a coloração escura do lixiviado, pois de acordo Meeroff et al. (2012), baixas remoções podem ser ocasionadas pela elevada taxa de cor (superior à 500 uH) e turbidez (superior à 45 NTU). Hassan et al. (2017) observou maiores remoções de DQO, superiores a 80% foram em tempos de reação de 60, 90 e 120 min em UV/TiO₂. Portanto pode-se considerar que caso fosse aplicado por um tempo maior, melhores resultados seriam obtidos.

A redução destes dois fatores pode ser associada também ao pH, visto que melhores resultados foram alcançados em meio mais ácido (3,0). Este fator pode estar associado pelo ponto de carga zero, geralmente, próximo a 5,0, onde o pH 3,0 por estar mais afastado, favoreceu a adsorção de materiais carregados negativamente presentes no lixiviado (BUTH, 2009). O aumento da remoção da cor junto com a redução de DQO também pode ser associado, segundo Li, Fan e Sun. (2002), a elevada adsorção de compostos dissociados na solução para com a superfície do catalisador, nesta condição.

Em relação à cor, de uma maneira geral, pôde ser observada pouca variação, considerando o pH e a vazão adotados, conforme apresentado na tabela 2. Sua remoção pode ser associada principalmente a ação da ozonização. De acordo com Amaral-Silva *et al.* (2016), os grupos cromoféricos presentes nos lixiviado, compostos insaturados e altas quantidades de grupos funcionais específicos são responsáveis pela coloração. Isto ocorre, pois são altamente vulneráveis à ação via direta do O₃ em pH ácido, como 3,0, o que no início do tempo de tratamento, favorece a redução efetiva de cor.

De acordo com Guz e Rodrigues (2016), o aumento da turbidez do efluente pode ter sido causado pelo excesso de catalisador, ou também devido a agitação constante da solução e a evaporação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as características físico-químicas do lixiviado produzido no aterro sanitário municipal, considerando o tempo de operação, foi possível classificar como lixiviado “maduro”, possivelmente em uma fase de transição para metanogênica estabilizada. Considerando a literatura científica, ocorre a necessidade de um tratamento mais avançado, pela elevada recalcitrância que o efluente pode apresentar futuramente para o tratamento biológico, atualmente aplicado.

No 1º caso nenhum dos parâmetros analisados reduziram e inclusive aumentaram após o UV/TiO₂/O₃, apresentando um desempenho negativo. No 2º caso pode-se observar que o processo demonstrou um efeito positivo no tratamento do lixiviado, fato que foi associado à redução da concentração utilizada. Em ambos os casos, o principal problema aparenta ocorrer pelas altas concentrações de catalisador utilizadas, portanto existe a necessidade de realizar mais estudos para a determinação da concentração ideal do TiO₂ no tratamento. Observou-se também que nas amostras com pH mais ácido, a redução dos parâmetros pós tratamento se demonstraram com maior visibilidade por conta do ponto de carga zero do catalisador.

O aumento de turbidez devido à adição do catalisador, juntamente com as demais alterações, demonstram que o tratamento é passível de aplicação com tratamentos complementares posteriores, para correção destes parâmetros. Os resultados benéficos quanto a remoção da cor e de DQO obtidos foram associados à utilização conjunta dos processos UV/TiO₂ e O₃ que resulta em um sinergismo, possibilitando um maior número de espécies oxidativas e caminhos reacionais.

As limitações constatadas durante o tratamento podem ter ocorrido em vista da composição do lixiviado, com compostos complexos, recalcitrantes e sequestradores que prejudicam o desempenho do processo. Além disso, é possível considerar que condições limitadas, como o tempo máximo de tratamento de 30 min, pode ter contribuído nesta questão.

Considerando a Resolução CONAMA nº 430/2011, nenhum dos parâmetros analisados permitiria que o efluente tratado fosse descartado no meio ambiente. Embora não sejam apresentados limites estabelecidos para os parâmetros de cor e turbidez, não significa que tais parâmetros podem compor uma disposição aceitável, sendo necessárias considerações mais criteriosas em relação a estes parâmetros, preferencialmente, por órgão ambiental específico.

Os resultados obtidos neste experimento permitiram compreender os fenômenos que ocorrem neste tratamento e obter resultados que podem possibilitar uma aplicação prática, futuramente. Observou-se também que o tratamento é capaz de remediar o lixiviado, porém insuficiente para aplicação de maneira única. Portanto é necessária sua aplicação em conjunto com outras formas de tratamento, para a regularização e redução dos parâmetros estudados, a fim de se encaixarem nos limites permissíveis de descarte no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

AMARAL-SILVA, N. et al. Ozonation and perozonation on the biodegradability improvement of a landfill leachate. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 527-533, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343715300919>. Acesso em: 20 ago. 2018.

AMR, S. S.; AZIZ, H. A. *New treatment of stabilized leachate by ozone/Fenton in the advanced oxidation process. Waste Management*, v. 32, p. 1693 – 1698, 2012.

BRASIL. Resolução Nº 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, nº 92, de 16 de Maio de 2011. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BUTH, D. F.; MORO, C. C.; LANSARIN, M. A. **Degradação fotocatalítica de tetraciclina em solução aquosa empregando TiO₂ suportado**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em:
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18992/000732341.pdf?...1>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CASTANHO, Mateus Nogueira. **TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA**. 2016. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7223>. Acesso em: 22 ago. 2018

CHO; S. P.; HONG, S. C.; HONG, S-I. *Photocatalytic degradation of the landfill leachate containing refractory matters and nitrogen compounds. Applied Catalysis B: Environmental*, v. 39, p. 125 – 133, 2002.

CLESCERL, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005. 1082 p.

FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-15032006-084739/pt-br.php>. Acesso em: 20 ago. 2018.

GUIMARÃES, G. P.; SOUZA, J. Aplicação do processo fotocatalítico para tratamento do lixiviado de aterro sanitário da região dos Campos Gerais – PR. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Disponível em:
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7461/1/PG_COENQ_2016_2_08.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.

GUZ, R.; RODRIGUES, M. B. Associação de sistema biológico do tipo lodo ativado com reatores air lift e fotocatalise heterogênea com TiO₂ para a remediação de efluente oriundo da produção industrial de TNT. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em:

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1768/1/PB_PPGTP_M_Guz%2C%20Ricardo_2016.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.

HASSAN, M. et al. Coupling ARB-based biological and photochemical (UV/TiO₂ and UV/S₂O₈⁻²) techniques to deal with sanitary landfill leachate. **Waste Management**, v. 63, p. 292-298, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16305062>. Acesso em 22 ago. 2016.

KAMMRADT, P. B. Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada. 2004. 92 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004. Disponível em: http://www.ppperha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/086-Patricia_Bastos_Kammradt.pdf. Acesso em: 22 ago. 2018

LI, X. Z.; FAN, C. M.; SUN, Y. P. *Enhancement of photocatalytic oxidation of humic acid in TiO₂ suspensions by increasing cation strength*. Chemosphere, v. 48, p.453 - 460, 2002.

MEEROFF, D. E. et al. Application of photochemical technologies for treatment of landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 209 – 210, p. 299 – 307, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438941200057X>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MORAIS, Josmaria Lopes de; SIRTORI, Carla; PERALTA-ZAMORA, Patricio G.. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.20-23, fev. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422006000100005&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 25 ago. 2018

NOGUEIRA, R. F. P.; ALBERICI, R. M.; JARDIM, W. F. Heterogeneous photocatalysis: An emerging technology for remediation of VOC contaminated environments. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, v.49, n.1-2, p. 14- 24, Jan./Apr. 1997.

SILVA, Alessandra Cristina. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Efluente-Tratamento-Chorume.pdf. Acesso em: 20 ago. 2018

SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro da. **Formação de Aldeídos e Triometanos da Desinfecção por Ozonização, Cloração e Ozonização/Cloração de Efluente de Tratamento Anaeróbio de Esgoto Sanitário**. 2008. 401 f. Tese (Doutorado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18112008-152643/pt-br.php>. Acesso em: 20 ago. 2018

ZIOLLI, R. L.; JARDIM, W. F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. **Química Nova**, v.21, n.3, p.319- 25, 1998.