

PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS COMO ALTERNATIVA AO TRATAMENTO DE CHORUME

KLAUCK, Cláudia Regina¹; BENVENUTI, Tatiane²;
RODRIGUES, Marco Antonio Siqueira³

RESUMO

O aumento na geração de resíduos urbanos constitui um problema ambiental, principalmente quanto à sua disposição final. Comumente dispostos em aterros, o produto de decomposição desses resíduos e percolação da água da chuva gera grandes volumes de lixiviado (chorume), que, em função de sua alta toxicidade, deve ser tratado antes de sua liberação nos corpos receptores. O tratamento biológico convencional frequentemente apresenta baixa eficiência devido à presença de compostos recalcitrantes e compostos tóxicos inibidores do processo. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização do lixiviado de um aterro sanitário e a aplicação de processos oxidativos avançados integrados (ozonização e eletro-oxidação). Os experimentos foram realizados com 150L de amostra em pH alcalino, em um sistema integrado de ozonização (4g de O₃ por hora) e eletro-oxidação (16 eletrodos ADS[®] Ti/70TiO₂/30RuO₂ 14mA.cm⁻²) em regime de batelada por 40h e 60h. Parâmetros físico-químicos foram avaliados antes e após o tratamento e indicam que o tratamento aplicado foi eficaz na redução deles, destacando-se DQO (88%), DBO₅(81%), nitrogênio amoniacal (100%) e nitrogênio total Kjeldahl (99%), além de aumentar a biodegradabilidade da amostra. Com base nesses resultados, o tratamento proposto mostrou-se viável para efluentes como o chorume, atingindo valores de lançamento permissíveis pela legislação, sem necessitar de tratamento adicional.

Palavras-chave: Chorume. Processos oxidativos avançados. Ozonização. Eletro-oxidação.

ABSTRACT

The increase in production of waste is an environmental problem, especially as to its final disposal. The disposal in landfills is a practice common in big cities, and generates as a product of waste decomposition and percolation of rainwater large volumes of leachate. Due to its high toxicity, the leachate must be treated before their release in the environmental. However, the conventional biological treatment often has low efficiency due to the presence of recalcitrant compounds of difficult and degradation and compounds toxic inhibitors of the process, emphasizing the need for new alternatives to the treatment. Therefore the aim of this study was characterization of a landfill leachate and application of integrated advanced oxidation processes (ozonation and

¹ Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Feevale. Mestranda do PPGQA Universidade Feevale. Bolsista FAPERGS/CAPES, Novo Hamburgo/RS. claudiark@feevale.br.

² Mestre em Engenharia pelo PPGEM- UFRGS. Doutoranda do PPGEM UFRGS. Av. Bento Gonçalves, Porto Alegre/RS, Brasil. tati.eng.biobio@gmail.com.

³ . Doutor em Engenharia pelo PPGEM- UFRGS. Professor e pesquisador do PPGQA Universidade Feevale, Novo Hamburgo/RS. marcor@feevale.br.

electrochemical oxidation) in their treatment. The experiments were performed with 150L sample of leachate at alkaline pH, in an integrated system of ozonation and electrooxidation, on a batch for a period of 40h and 60h. The system consisted of an ozone generator with a production capacity of 4 g per hour connected to a reactor containing 16 electrodes (70TiO₂/30RuO₂), with current density of 14mA.cm⁻². Physico-chemical parameters were evaluated before and after treatment. The results indicate that the treatment applied showed high efficacy in reducing the parameters, especially COD (88%), BOD₅ (81%), ammonia (100%) and total nitrogen (99%) , also the biodegradability of the sample increased considerably. Based on these results, the proposed treatment was feasible for effluents with recalcitrant characteristics, as leachate, reaching values of release permissible by state law, without requiring additional treatment.

Keywords: Leachate. Advanced oxidative processes. Ozonation. Electrochemical oxidation.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, o aumento do poder aquisitivo e a facilidade no acesso a bens de consumo têm causado o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (GOUVEIA, 2012). De acordo com dados do IBGE (2008), no Brasil, diariamente são coletadas cerca de 250 mil toneladas de resíduos urbanos. Aproximadamente 60% dos municípios ainda depositam seus resíduos de forma inadequada em lixões ou aterros controlados, que não possuem medidas necessárias para a proteção do meio ambiente, o restante dos municípios deposita seus resíduos em aterros sanitários, forma de disposição considerada ambientalmente adequada (ABRELPE, 2011).

Os resíduos sólidos depositados em aterros sofrem uma série de processos de decomposição química e biológica, gerando gases e também um líquido escuro, de composição variável, altamente poluente, denominado chorume (BAUN *et al.*, 2003; FOUL *et al.*, 2009). Esse lixiviado contém uma grande quantidade de matéria orgânica (biodegradável e refratária), em que os compostos húmicos são um importante grupo, bem como nitrogênio amoniacal, metais pesados, compostos orgânicos clorados e sais inorgânicos (OLLER *et al.*, 2011). O processo de decomposição dos resíduos e geração de chorume varia com a idade do aterro e pode ser classificado em quatro fases: aeróbia, anaeróbia, metanogênica inicial e de estabilização (KJELDSSEN *et al.*, 2002). Essas fases podem ser identificadas pelas características do chorume, como a concentração de matéria orgânica, nitrogênio e pH e são importantes para a avaliação e o planejamento dos sistemas de tratamento. Nesse contexto, os principais parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização de lixiviados são: pH, DBO, DQO, NTK, N-NH₃, fósforo, cloretos, alcalinidade, sólidos e metais pesados (BARKER *et al.*, 1999, BAUN & CHRISTENSEN, 2004).

Devido a sua elevada toxicidade, o chorume deve ser tratado adequadamente antes de seu descarte (MARTINNEN *et al.*, 2002). Os tratamentos convencionais mais comuns para esse tipo de efluente são o biológico aeróbico e anaeróbico, além do físico-químico, como coagulação/floculação, sedimentação (RENOU *et al.*, 2008). Entretanto, esse tipo de tratamento frequentemente apresenta pouca eficiência, principalmente no caso de lixiviados estabilizados (OLLER, *et al.*, 2011).

Como a caracterização do chorume varia conforme a sua idade, em uma fase inicial, há uma maior presença de compostos biodegradáveis passíveis de degradação por tratamentos biológicos convencionais (KJELDSEN, *et al.*, 2002). Contudo, à medida que a idade do chorume aumenta, a fração biodegradável torna-se reduzida, contendo na sua maior parte substâncias de elevada massa molar e estruturas complexas, como as substâncias húmicas (MAHMUD *et al.*, 2011), além de altas concentrações de nitrogênio amoniacal, bem como a presença de outros compostos de elevada toxicidade, que causam a inibição do processo de tratamento biológico, limitando a tratabilidade do chorume por processos convencionais (ROCHA *et al.*, 2011).

Nesse contexto, umas das alternativas viáveis para a degradação de compostos biologicamente persistentes é o uso de tecnologias avançadas de tratamento, baseadas na oxidação química, como os processos oxidativos avançados (POAs), reconhecidos por sua alta eficiência no tratamento de efluentes contendo substâncias recalcitrantes (OLLER *et al.*, 2011). Esses processos são baseados na degradação de matéria orgânica, através da geração do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$). Esse radical apresenta alto poder oxidante e baixa seletividade, oxidando a maior parte dos poluentes orgânicos em tempos relativamente curtos, podendo até mesmo causar a mineralização completa dos compostos (MORAIS & ZAMORA, 2005). Entre os estudos que vêm sendo desenvolvidos, conforme citado por Kurniawan *et al.* (2006), o uso de ozônio e sua combinação com outros sistemas (O^3/UV , $\text{O}^3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}^3/\text{H}_2\text{O}_2$), bem como a aplicação de tecnologias de eletro-oxidação (MORAIS & BERTAZZOLI, 2005) têm sido amplamente utilizados como alternativas de tratamento para o poluentes como o chorume (CORTEZ *et al.*, 2011).

O processo de ozonização é um dos métodos mais estudados e aplicados para o tratamento de lixiviado (KURNIAWAN *et al.*, 2006). Uma vez dissolvido na água, o ozônio reage com um grande número de compostos não biodegradáveis (BILA *et al.*, 2005). Dependendo do pH, a oxidação do ozônio pode seguir por duas vias: oxidação direta, através do ozônio molecular, que age de forma seletiva, ou pela oxidação indireta, através da geração de radicais hidroxila,

decorrentes da decomposição do ozônio em ambientes alcalinos, agindo de forma não seletiva (MAHMOUD & FREIRE, 2007). Devido à cinética e à baixa seletividade, a oxidação indireta do ozônio é o principal processo aplicado ao tratamento de efluentes (TIZAOUI *et al.*, 2007).

Outro processo que tem recebido destaque para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários visando à remoção de compostos orgânicos recalcitrantes ou o aumento da biodegradabilidade destes é a eletro-oxidação (CABEZA *et al.*, 2007). Esse processo consiste, basicamente, na oxidação de poluentes em uma célula eletroquímica (MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009). De acordo com Turro *et al.* (2011), durante a eletro-oxidação, os poluentes são degradados tanto pela oxidação anódica direta quanto pela oxidação indireta, em que agentes oxidantes, como cloro e hipoclorito, peróxido de hidrogênio, ozônio e radicais hidroxila, são gerados no ânodo e promovem a oxidação de poluentes orgânicos e inorgânicos (DENG & ENGLEHARDT, 2007). Eletrodos de óxidos de titânio e rutênio (TiO₂/RuO₂) são amplamente utilizados no tratamento de efluentes, por apresentarem características de estabilidade e resistência, além de possuírem a capacidade de adsorção de espécies atômicas e radicalares intermediárias (SIMOND *et al.*, 1997; MARTÍNEZ-HUITLE & BRILLAS, 2009). O desempenho do sistema depende de uma série de parâmetros, tais como: densidade de corrente aplicada (MORAIS & BERTAZZOLI, 2005), condutividade da amostra, pH, temperatura, fluxo e material do eletrodo (MATHURAMAN & MOON, 2012).

Essas tecnologias podem apresentar grande eficiência na diminuição dos parâmetros físico-químicos e melhora da biodegradabilidade do efluente, servindo como tratamento prévio ao biológico ou até mesmo como alternativa única de tratamento. Diante desse fato, torna-se fundamental a realização de estudos envolvendo a aplicação dessas tecnologias ao tratamento de chorume. O objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização físico-química do chorume de um aterro sanitário municipal e avaliar a eficiência da aplicação de um tratamento integrado de ozonização e eletro-oxidação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. O EFLUENTE

A amostra de chorume foi coletada em um aterro municipal de resíduos sólidos urbanos, localizado em um município de grande porte na região do Vale do Rio dos Sinos. O referido aterro

encontra-se desativado, possui idade aproximada de 50 anos. No local, atualmente, ocorre somente o transbordo e a triagem dos resíduos, que posteriormente são destinados a outro local. Embora desativado, suas valas ainda geram chorume, que passa por um sistema de tratamento biológico convencional, composto por duas lagoas. A coleta de chorume ocorreu na entrada da lagoa de tratamento biológico (Figura 1). Cerca de 150L de chorume foram coletados, acondicionados em bombonas plásticas e transportados para o laboratório onde foi aplicado o tratamento oxidativo e realizada a caracterização físico-química.

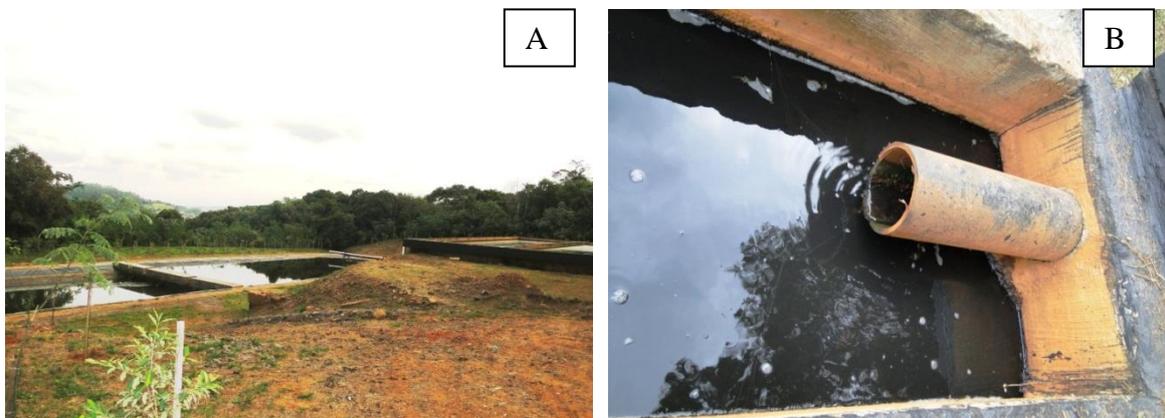


Figura 1 - a) Lagoas de tratamento biológico do chorume do aterro.
b) Tubulação de entrada do chorume na lagoa, local de coleta da amostra.

2.2. OZONIZAÇÃO E ELETRO-OXIDAÇÃO

A amostra de chorume coletada teve, imediatamente, o seu pH ajustado para 11, com NaOH. Esse ajuste foi feito tendo em vista o favorecimento da reação oxidação indireta do ozônio (MAHMOUD & FREIRE, 2007). Após esse ajuste, os 150L de amostra foram colocados em um reator de tratamento integrado. Esse reator de tratamento consistiu em um gerador de ozônio acoplado a um sistema de eletro-oxidação. A configuração escolhida para esse tratamento foi aplicada tendo em base testes realizados previamente (KLAUCK *et al.*, 2012).

No reator de tratamento integrado, o sistema de eletro-oxidação (

Figura 2) era composto por 16 eletrodos (oito ânodos e oito cátodos) de titânio revestido com Titânio e Rutênio (Ti/70Ti/30 RuO₂ De Nora®), dispostos alternadamente, ligados a uma fonte de corrente. A densidade de corrente aplicada foi de 14,0 mA.cm⁻². O gerador de ozônio Ozonar® acoplado ao sistema de eletro-oxidação apresentava capacidade de geração de 4g de O₃ por hora.

Nesse sistema, o ozônio foi difundido no chorume através de um sistema de formação e microbolhas (*venturi*). Após o passar pelo *venturi*, o chorume foi bombeado através de uma coluna de 1,5m de extensão, visando a aumentar o tempo de contato com o ozônio (SCHIAVINI; RODRIGUES, 2011). Na sequência, o chorume retornou ao tanque de eletro-oxidação, mantendo-se em recirculação. Avaliou-se a eficiência do tratamento em dois tempos de tratamento: após 40h e após 60h.

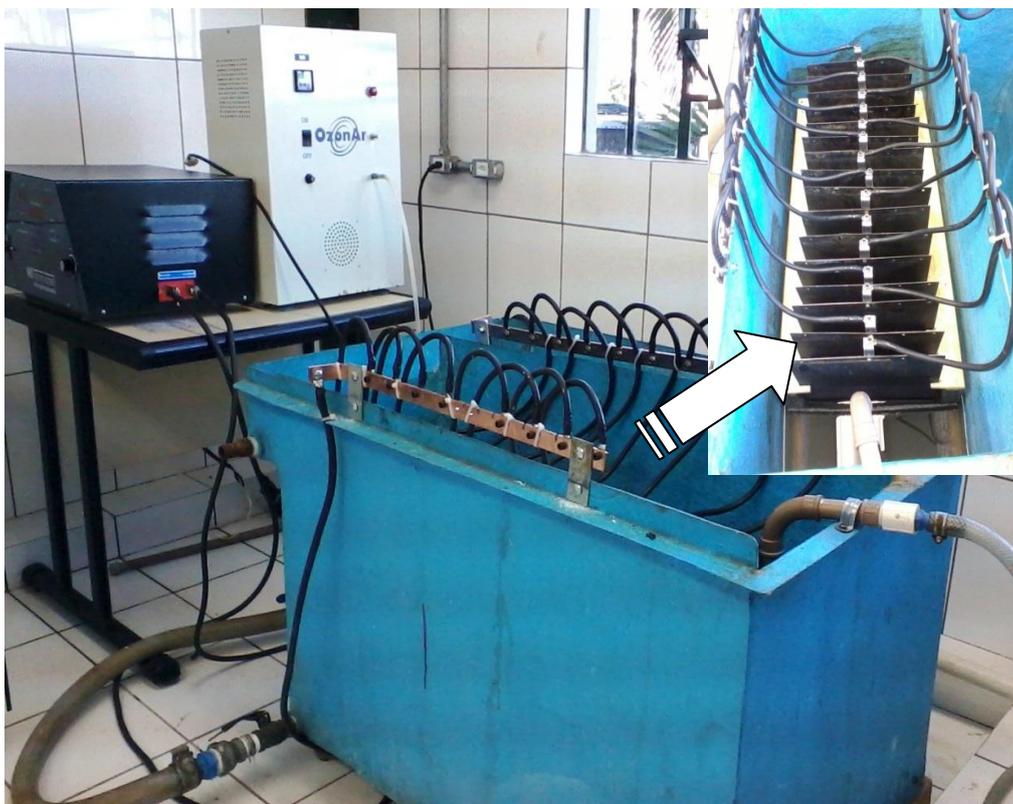


Figura 2 - Sistema integrado de tratamento: ozonização e eletro-oxidação.
Destaque para a distribuição dos eletrodos

2.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As análises físico-químicas foram realizadas na amostra de chorume bruto e após 40h e 60h de tratamento. Os parâmetros avaliados foram: cloretos, condutividade, DQO, DBO₅, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, nitrogênio total Kjeldahl, pH, metais (chumbo, níquel). Todas as análises foram realizadas pelas metodologias do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21^a Ed* (APHA, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas do chorume antes e após o tratamento aplicado são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do chorume avaliado antes e após o tratamento EO-O₃.

	Bruto	40h	60h	Resolução Conesma 126/08
Cloretos (mg L ⁻¹)	290,4	249,2	150	-
Condutividade (mS cm ⁻¹)	4,03	7,85	8,54	-
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	400	220	74	150
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	640,9	160,4	76,7	360
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	1,15	0,85	1,32	4
Nitrato (mg L ⁻¹)	1,3	15,02	59,33	-
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,98	0,269	0,499	-
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	271,25	0	0	20
Nitrogênio total K (mg L ⁻¹)	315,13	4,91	0,23	20
pH	7,96	9,8	9,71	6-9
Chumbo (mg L ⁻¹)	0,25	0,04	0,08	0,06
Níquel (mg L ⁻¹)	0,108	0,036	0,029	0,05

Os resultados físico-químicos obtidos neste trabalho para a amostra bruta estão de acordo com aqueles citados por outros autores (Sisinno *et al.*, 2000; Slomczyńska e Slomczyński, 2004, Ward *et al.*, 2005 e Alkassasbeh *et al.*, 2009), com valores relativamente altos de DQO, condutividade e nitrogênio amoniacal. Os valores de pH são de 6,5 a 8,96 e indicam lixiviados com características estabilizadas (Slomczyńska Slomczyński, 2004 Alkassasbeh *et al.*, 2009). A quantificação dos metais presentes nas amostras indica baixas concentrações de metais, esses valores são considerados típicos de lixiviado proveniente de aterro sanitário de resíduos domésticos (Christensen *et al.*, 2001). Em relação ao tratamento aplicado, comparando-se os resultados entre amostra bruta, tratado após 40h e tratado após 60h, nota-se que o tratamento de 60h foi o mais eficiente. Na amostra bruta, as análises físico-químicas indicaram concentrações

elevadas de DQO e compostos nitrogenados, evidenciando a importância do tratamento desse efluente antes do lançamento em corpos receptores.

O pH da amostra que inicialmente foi ajustado para 11, sofreu uma redução, atingindo o valor de 9,7 ao final do tratamento. Essa diminuição do pH é um indicativo de oxidação da matéria orgânica, visto que aplicação de processos oxidativos avançados em lixiviados conduz à transformação de compostos de elevada massa molar em subprodutos de menor tamanho, como os ácidos orgânicos (PRIMO *et al.*, 2008). Outro indicativo do processo de degradação de matéria orgânica é o aumento substancial da condutividade em relação ao valor inicial. Conforme MARMITT *et al.* (2010), a diminuição no pH e o aumento na condutividade pode ser atribuída ao aumento no número das moléculas orgânicas dissolvidas ou carregadas eletricamente, decorrentes da quebra das ligações (degradação) promovida pelo tratamento oxidativo.

Após a aplicação do tratamento por 60h, houve uma redução de aproximadamente 88% do parâmetro DQO, além da redução de 81% na DBO₅. Conforme citado por AHMED e LAN (2012), a redução de DQO de lixiviados constitui-se num desafio para o tratamento convencional, necessitando de várias etapas operacionais, além de grandes sistemas para a obtenção de resultados moderados.

Considerando-se o percentual de redução de DQO, os valores encontrados neste estudo são semelhantes aos valores obtidos por trabalhos que aplicaram outros POAs no tratamento de chorume com características estabilizadas. Tauchert *et al.* (2006), aplicando processo fotoeletro-oxidativo, obtiveram uma redução de 60% na DQO do chorume, quando aplicada uma densidade de corrente de 10mA.cm⁻² por 300 minutos. Já para o processo de ozonização do chorume, Bila *et al.* (2005) e Cortez *et al.* (2010) conseguiram reduzir 50% e 63% os valores da DQO. Moraes e Zamora (2005), aplicando processo de Fenton e UV/H₂O₂, atingiram reduções de DQO do chorume de 57,5 e 55,5%, respectivamente. Já Turro *et al.* (2011), aplicando o processo eletro-oxidativo em um lixiviado estabilizado, previamente filtrado, com a adição de íon suporte (NaCl) e elevação da temperatura (80°C) obtiveram uma redução de DQO estimada em 90%, ao aplicarem uma densidade de corrente de 32mA.cm² por um período de quatro horas. Entretanto, quando essa mesma comparação é feita através da estimativa de degradação de carga total de DQO em virtude do volume e do tempo de tratamento, o sistema utilizado no presente estudo (EO+O₃) mostra-se notavelmente mais eficiente.

Uma das formas de estimar a biodegradabilidade de efluentes é através da razão entre DBO_5/DQO . Frequentemente, quando esse valor é inferior a 0,5, o efluente é considerado pouco biodegradável (GALEANO *et al.*, 2011). A partir dessa consideração, pode-se inferir que o tratamento empregado conduziu a um aumento da biodegradabilidade, estimada pela relação DBO_5/DQO em que, na amostra bruta, o valor era de 0,6, já na amostra após 40h de tratamento, esse valor passou para 1,3 e, na amostra após 60h de tratamento, o valor sofreu uma redução para 0,9, justificado pela grande diminuição desses parâmetros entre o período de 40h e 60h.

Observa-se também uma grande conversão (99%) dos compostos nitrogenados (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrogênio total Kjeldahl) em nitrato, decorrente do processo oxidativo. Sabe-se que o descarte de efluentes com alto teor de nitrogênio amoniacal pode ocasionar a redução de oxigênio e eutrofização do corpo receptor, resultando na deterioração da qualidade da água e potencial toxicidade aos organismos aquáticos (Ahn, 2006). Nesse sentido, uma das principais dificuldades dos processos oxidativos avançados aplicados ao chorume é a redução da amônia, considerada como uma das causadoras da elevada toxicidade do chorume (Kurniawan *et al.*, 2006). Dentro desse aspecto, o tratamento utilizado neste estudo causou a conversão total de amônia em nitrato nas primeiras 40h de tratamento. Esse parâmetro aumentou cerca de 4.400% após 60h de tratamento. Conforme relatado em outros trabalhos (Cortez *et al.*, 2010, e Singer e Zilli, 1975), a rápida oxidação da amônia a nitrato é amplamente favorecida no processo de ozonização em pH alcalino, que promove a conversão de amônia (forma não ionizada) para nitrato.

Adicionalmente, observa-se que as concentrações de cloreto sofrem apreciável redução (48%) somente após 60h de tratamento. Em contrapartida, os valores de DBO_5 e DQO sofrem uma grande redução nas primeiras 40h de tratamento e decaem mais ainda nas 20h subsequentes. Esse fato pode indicar uma prioridade pela oxidação da matéria orgânica, em que, após as 40h, com a redução desses valores, inicia-se a oxidação dos cloretos, juntamente com uma maior redução nos valores de DQO . A oxidação dos cloretos presentes no chorume favorece a geração de compostos oxidantes (como hipoclorito e ácido hipocloroso) através do mecanismo de eletro-oxidação indireta, que aceleram o processo de oxidação da matéria orgânica (Moraes e Bertazzoli, 2005; Feki *et al.*, 2009). No decorrer do tratamento, também ocorreu uma grande redução de cor na amostra (figura 3).

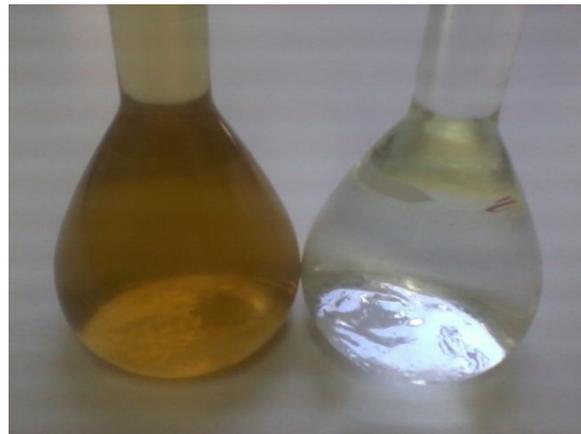


Figura 3 - Aspecto da amostra antes e após 60h de tratamento

A resolução estadual 128/2006 do Consema estabelece os parâmetros de emissão de efluentes no estado do Rio Grande do Sul. Considerando-se os valores mínimos de vazão para lançamento de efluentes permitidos para essa resolução, os parâmetros DBO₅, DQO, Nitrogênio Total Kjeldahl e nitrogênio amoniacal encontram-se dentro dos limites estabelecidos, indicando alta eficácia do tratamento aplicado. Entretanto, essa resolução não estabelece valores para lançamento de cloretos, nem para o lançamento de nitrato, cujo valor aumentou após o tratamento. Embora não existam limites para o seu lançamento, sabe-se que concentrações de nitrato acima de 10mg L⁻¹ são consideradas tóxicas para peixes e invertebrados aquáticos, bem como causam riscos à saúde humana (CAMARGO *et al.*, 2005).

Salienta-se que, embora os resultados sejam promissores, frequentemente a aplicação de processos oxidativos avançados não resulta na mineralização total da matéria orgânica, gerando subprodutos que podem ser tanto quanto ou até mesmo mais tóxicos do que o inicial (Rizzo, 2011). Dessa forma, estudos complementares, envolvendo a avaliação de toxicidade, redução de nitratos bem como de caracterização dos compostos, deverão ser realizados.

4. CONCLUSÃO

Considerando-se os resultados dos parâmetros analisados, pode-se inferir que a integração dos dois processos oxidativos avançados aplicados é uma alternativa de tratamento eficiente, podendo ser utilizada até mesmo como única forma de tratamento para o chorume.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES, à FAPERGS e à empresa Ozonar pelos recursos fornecidos para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AHMED, F. N.; LAN, C. Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. **Desalination**, v. 287, p. 41-54, 2012.
- AHN, Y. **Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: a Review**, Process. Biochem. 41, 2006, 1709-1721.
- ALKASSASBEH, J. Y. M; HENG, L. Y.; SURIF, S. Toxicity testing and the effect of landfill leachate in Malaysia on behavior of common carp (Cyprinus carpio L., 1758; Pisces, Cyprinidae). **American Journal Of Environmental Sciences**, v.5 (3): 209-217, 2009.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.
- CAMARGO, J.A.; ALONSO, A.; SALAMANCA, A. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. **Chemosphere**, v. 58, p. 1255-1267, 2005.
- MARMITT, Sandro; PIROTTA, Lilian V.; STULP, Simone. **Aplicação de fotólise direta e UV/H2O2 a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios**. *Quím. Nova* [online], v.33, n. 2, 2010.
- GALEANO, L. A.; VICENTE, M. A.; GIL, A. Treatment of municipal leachate of landfill by Fenton-like heterogeneous catalytic wet peroxide oxidation using an Al/Fe-pillared montmorillonite as active catalyst. **Chemical Engineering Journal**, v. 178, p. 146-153, 2011.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011**, v. 1, p. 186, 2011.
- BARKER, D.J.; STUCKEY, D.C. A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems. **Journal of Water Research**, v. 33, p. 3063-3082, 1999.
- BAUN, D.L.; CHRISTENSEN, T.H. Speciation of heavy metals in landfill leachate: a review. **Waste Management Research**, v. 22, p. 3-23, 2004.
- BAUN, A. et al. Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark). **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 65, p. 269-291, 2003.

BILA, D. M.; MONTALVOB, A. F.; SILVA, A. C.; DEZOTTI, M. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. **Journal of Hazardous Materials**, v. 117, p. 235-242, 2005.

CABEZA, A.; URTIAGA, A.; RIVERO, M. J.; ORTIZ, I. Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 144, p. 715-719, 2007.

CHRISTENSEN, T. H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, v. 16, p. 659-718, 2001.

CORTEZ, S.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, R.; MOTA, M. Ozonation as polishing treatment of mature landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 182, p. 730-734, 2010. ,

DENG, Y.; ENGLEHARDT, J.D. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment, **Waste Management**, v. 27, p. 380–388, 2007.

FEKI, F.; ALOUI, F.; FEKI, M.; SAYADI, S. Eletrochemical oxidation post-treatment of landfill leachates treated with membrane bioreactor. **Chemosphere**, v. 75, p. 256-260, 2009.

FOUL, A.; AZIZ, H.A.; ISA, M.H.; HUNG, Y-T. Primary treatment of anaerobic landfill leachate using activated carbon and limestone: batch and column studies. **Waste Management**, v. 4, p. 282–298, 2009.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, **PNSB -2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

KJELDTSEN, P. et al. Present and Lon-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. **Environmental Science and Technology**, v. 32, p. 297-336, 2002.

KLAUCK, C. R. et al. Aplicação de processos oxidativos avançados integrados (ozônio+eletrooxidação) para o tratamento de chorume. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 8., 2012. **Anais...** 2012.

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

MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**, v. 30, p. 198-205, 2007.

MAHMUD, K.; HOSSAIN, MD.; SHAMS, S. Different treatment strategies for highly polluted landfill leachate in developing countries. **Waste Management**. v. xxx p. xxx–xxx, 2011.

- MARTÍNEZ-HUITLE, C.; BRILLAS, E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: A general review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 87, p. 105-145, 2009.
- MARTTINEN, S. K. et al. Screening of physical–chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. **Chemosphere**, v. 46, p. 851-858, 2002.
- MORAIS, J. L.; ZAMORA, P. P. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**, v. 123, p. 181-186, 2005.
- MORAIS, P. B.; BERTAZZOLI, R. Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. **Chemosphere**, v. 58, p. 41-46, 2005.
- MUTHURAMAN, G.; MOON, I-S. A review on an electrochemically assisted-scrubbing process for environmental harmful pollutant's destruction. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. xxx, p. xxx-xxx, 2012.
- OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination – A review. **Science of Total Environment**, v. 409, p. 4141-4166, 2011.
- PRIMO, O.; RIVERO, M.J.; ORTIZ, I. Photo-Fenton process as a efficient alternative to the treatment of landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, p. 834-842, 2008.
- RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, p. 468-493, 2008.
- ROCHA, E. M. R. et al. Landfill leachate treatment by solar-driven aops. **Solar energy**, v. 85, p. 46-56, 2011.
- SEMA/RS. 2006 Secretaria do Meio Ambiente. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Conselho Estadual do Meio ambiente - **CONSEMA**. Resolução 128/2006.
- SINGER, P.C.; ZILLI, W.B. Ozonation of ammonia in wastewater. **Water Research**, v. 9, p. 127-134, 1975.
- SCHIAVINI, J. B.; RODRIGUES, M. A. S. Aplicação de ozônio no tratamento de chorume. **Inovamundi**, Feevale, 2011.
- SIMOND, O.; SCHALLER, V.; COMMINELLIS, C.H. Theoretical model for the anodic oxidation of organics on metal oxide electrodes. **Electrochimica Acta**, v. 42, p. 2009-2012, 1997.
- SISINNO, Cristina L. S.; OLIVEIRA, Rosália Maria de. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000. 142 p.

SLOMCZYNSKA, B.; T.SLOMCZYNSKI. Physicochemical and Toxicological Characteristics of Leachate from MSW Landfills. **Polish J. Environ. Stud.**, v. 13, p. 627-637, 2004.

TAUCHERT, E.; SCHNEIDER, S. MORAIS, J.L. PERALTA-ZAMORA, P. Photochemically-assisted electrochemical degradation of landfill leachate. **Chemosphere**, v. 64, p. 1458-1463, 2006.

TIZAOUI, C.; BOUSELMI, L.; MANSOURI, L.; GHRABI, A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 140, p. 316-324, 2007.

TURRO, E. et al. Electrochemical oxidation of stabilized landfill leachate on DAS electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 190, p. 460-465, 2011.

WARD M. L.; BITTON G.; TOWNSEND T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. **Chemosphere**, v. 60, p. 206-215, 2005.