



TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POR OZONIZAÇÃO E PROCESSO COMBINADO

Brunna Samuel de Carvalho Barcellos – brunnab@enq.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química,
Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente
(LACOURO), Rua Luiz Englert s/n., CEP 90.040-040 - Porto Alegre-RS – Brasil.

Aldrim Vargas de Quadros – aldrimvq@ibest.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Minas,
Materiais e Metalurgia – PPGE3M, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – PPGEQ,
Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente
(LACOURO), Escola de Engenharia/Departamento de Materiais, LACOR - Laboratório de Corrosão,
Proteção e Reciclagem de Materiais, Rua Luiz Englert s/n., CEP 90.040-040 - Porto Alegre-RS –
Brasil.

Bianca Mella* – bianca@enq.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química,
Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente
(LACOURO), Rua Luiz Englert s/n., CEP 90.040-040 - Porto Alegre-RS – Brasil.

Profa. Dra. Mariliz Gutterres - mariliz@enq.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química,
Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente
(LACOURO), Rua Luiz Englert s/n., CEP 90.040-040 - Porto Alegre-RS – Brasil.

Resumo: *Uma das dificuldades enfrentadas em aterros de resíduos perigosos (ARIPs) é o tratamento adequado do lixiviado gerado, devido a suas características poluidoras. O lixiviado produzido nestes aterros é decorrente da percolação de líquidos, como da chuva, da água gerada nos processos de decomposição dos resíduos orgânicos e da umidade inicial dos resíduos. Na percolação dos líquidos pelas camadas de resíduos ocorre a solubilização de substâncias orgânicas e inorgânicas, o arraste de microrganismos e outros materiais biológicos, formando um novo líquido de composição bastante variável. O tratamento do lixiviado é difícil por sua elevada carga orgânica, sua toxicidade e presença de metais pesados. Para verificar a decomposição da carga poluente através de análises de concentrações de amônia e de cor em lixiviado de aterros foram realizados experimentos com dois tipos de tratamentos: por ozonização e por air stripping seguido de ozonização. Observou-se que com a associação de tratamentos de air stripping e ozonização teve um aumento de 52% de nitrogênio amoniacal devido à decomposição da matéria orgânica, redução de pH e remoção de cor de 74,49%. Com esses resultados, esses processos associados como pré-tratamento se torna uma alternativa interessante por adiantar decomposição de matéria orgânica que facilita, posteriormente, um tratamento biológico.*

Palavras-chave: *amônia, cor, lixiviado, air stripping, ozonização.*

*Apresentador



LEACHATE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE LANDFILL FOR OZONATION AND COMBINED PROCESSES

Abstract: *One of the difficulties found in hazardous waste landfills is appropriate treatment of leachate generated, due to its characteristics of pollution. Leachate produced in landfills of hazardous waste is result of the percolation of liquids, as the rain, water generated in the decomposition processes of organic waste and the initial moisture content of waste. In the percolation of liquids through the layers of waste occurs solubilization organic and inorganic substances, the drag of microorganisms and other biological material, forming a new liquid composition highly variable. Leachate treatment is difficult because their high organic content, its toxicity and the presence of heavy metals. To verify the decomposition of the polluting content by analysis of ammonia concentration and color, two different treatments experiments with landfill leachate were performed: ozonation and air stripping followed by ozonation. It was noted that with association of air stripping and ozonation had an increase of 52% of ammoniacal nitrogen due to decomposition of organic matter, reduction of pH and removal of color of 74.49%. These results with processes associated for pre-treatment becomes an interesting alternative for decomposition of organic matter which facilitates biological treatment later.*

Keywords: *ammonia, color, leachate, air stripping, ozonation.*

1. INTRODUÇÃO

Como resultado do processamento das peles em couro há uma grande geração de resíduos sólidos que possuem em sua característica a presença de componentes considerados perigosos, segundo a NBR 10004/2004. Estes resíduos devem ser destinados a aterros de resíduos industriais perigosos (ARIPs) e ao iniciar-se a degradação da matéria orgânica, um líquido com alto teor de poluição é gerado, o lixiviado. O tratamento adequado, eficiente e de baixo custo deste lixiviado é o desafio atual a ser enfrentado. Este artigo tem como objetivo testar os tratamentos de ozonização e processos associados de ozonização e *air stripping* a fim de verificar a amônia e a remoção de cor de um lixiviado bruto proveniente de um aterro que recebe resíduos de curtumes.

1.1. Lixiviado

Uma problemática que se encontra para gerenciamento de resíduos industriais é a produção e o tratamento de lixiviado produzido pelos aterros industriais. O lixiviado é um líquido formado pela degradação de matéria orgânica e pela solubilização de componentes derivados pela percolação da água, comumente da chuva. O lixiviado oriundo de resíduos industriais é constituído por compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal e sais inorgânicos (QUADROS, 2009).

A composição química do lixiviado varia de acordo com o local e as épocas do ano. Essa diferença em sua composição se dá devido à dependência de características físicas, químicas e biológicas de cada resíduo disposto no aterro, seu grau de decomposição, clima, idade do aterro e forma de operação. Além disso, a composição do lixiviado ainda pode variar conforme a sua idade, sendo que em fase jovem, há uma maior presença de compostos biodegradáveis, passíveis de degradação por tratamentos biológicos convencionais. Contudo, à medida que a idade do lixiviado aumenta, a fração biodegradável reduz, pois o lixiviado contém substâncias de elevada massa molar e estruturas complexas, como as substâncias húmicas, 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.



As técnicas comumente empregadas para tratamento de lixiviado incluem os tradicionais processos biológicos, aeróbio e anaeróbio, e também uma variedade de processos físico-químicos (BAIG *et al.*, 1999).

1.2. Amônia

A amônia e a matéria orgânica estão presentes no lixiviado. A amônia é uma das principais substâncias poluentes que são introduzidas em corpos receptores naturais por meio da descarga inadequada de águas residuais domésticas e agrícolas (MAGALHÃES, 2014). Ao final do tratamento de um efluente é desejável que haja uma concentração muito baixa de amônia por duas razões: esta substância é extremamente tóxica para a maioria das espécies de peixes e ela pode ser oxidada por microrganismos nitrificantes produzindo nitritos e nitratos que são indesejáveis aos seres humanos. Altas concentrações de amônia podem ser encontradas em lixiviado de aterro, cuja destinação inadequada traz problemas de ordem sanitária, econômica e estética, o que torna necessário tratá-lo antes do lançamento nos corpos d'água.

As legislações ambientais estão cada vez mais restritivas, desde a captação da água dos mananciais hídricos até o lançamento posterior dos efluentes de volta aos mananciais (COOPER *et al.*, 2011; GUTTERRES *et al.*, 2011). O maior problema resultante da descarga de nitrogênio nos corpos receptores (rios, lagos e outros) é o risco de eutrofização destes. Segundo Figueirêdo *et al.* (2007), eutrofização é o enriquecimento das águas por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos hídricos.

A determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer indicações sobre o estágio da poluição ocasionada por algum lançamento de efluente a montante. Se esta poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia, e se antiga, basicamente de nitrato (as concentrações de nitrito são normalmente reduzidas), desde que se tenha no meio em questão, quantidade suficiente de oxigênio dissolvido para permitir a nitrificação. O nitrogênio amoniacal em sua forma gasosa tem sido largamente citado como produto tóxico às algas, ao zooplâncton e aos peixes. A amônia gasosa presente no meio aquoso atua como inibidora da fotossíntese das algas, visto que a mesma possui a capacidade de atravessar membranas biológicas e alterar o sistema fotossintético (NAVAL & COUTO, 2016). Porém, em estudo desenvolvido por Fontoura *et al.* (2015) foi possível verificar que as microalgas *Scenedesmus sp.* consome macronutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo para seu crescimento, então tornando uma alternativa para tratamento de águas residuais e teve como resultado a remoção de nitrogênio e outros macronutrientes acima de 80%.

Geralmente, o nitrogênio é o nutriente inorgânico requerido em maiores concentrações para o crescimento dos microrganismos. Em condições anaeróbias, o nitrogênio, na forma de nitrito e nitrato, não se encontra disponível para o crescimento bacteriano, uma vez que este é reduzido a nitrogênio gás e liberado para a atmosfera.

A amônia e a porção de nitrogênio orgânico, liberado durante a degradação, são as principais fontes de nitrogênio utilizadas pelos microrganismos. Nos efluentes brutos orgânicos, as formas predominantes são o nitrogênio orgânico e amoniacal. A amônia existe em solução tanto na forma de íon (NH_4^+) como na forma livre, não ionizada (NH_3), segundo o seguinte equilíbrio dinâmico:



A relação de composição de NH_3 para NH_4^+ depende do valor do pH e da temperatura do efluente. Com valores de pH mais elevados é predominante a amônia na forma de NH_3 e em pH mais



baixo o íon amônio (NH_4^+) é presente. De acordo com LUO *et al.*, (2015), em pH 7 a presença é maior sob a forma de íon NH_4^+ e em pH superior a 11 mais de 90% é amônia livre.

Dependendo do processo de tratamento de efluentes, podem ocorrer várias reações que mudam a forma do material nitrogenado: amonificação (ou, o inverso: assimilação), nitrificação e desnitrificação (MOTA & SPERLING, 2009). Na reação de amonificação, o nitrogênio orgânico é convertido a nitrogênio amoniacal. Na assimilação, o processo inverso ocorre, a amônia é incorporada à biomassa, estando presente, passando a forma de nitrogênio orgânico. Levando-se em consideração que o nitrogênio amoniacal, a um pH neutro, terá, predominantemente, a forma salina ionizada (NH_4^+), pode-se escrever a reação (2) onde R é um radical orgânico:



1.3. Air Stripping

O *air stripping* é um processo de transferência de massa pelo qual um líquido, em geral água residuária, é mantido em contato com um gás de arraste, no caso o ar, de modo que algumas substâncias voláteis indesejáveis presentes na fase líquida, como a amônia, sejam carregadas pela fase gasosa. Este processo ocorre em virtude da diferença de concentração da substância volátil nas duas fases do sistema (METCALF & EDDY, 2002).

O *stripping* da amônia é baseado na mudança das condições do efluente, permitindo a transição de íon amônio para gás de amônia que deve ser eficientemente removido a partir da fase líquida com o ar. Essa tecnologia associada com lavadores de gases proporciona a remoção e posterior recuperação da amônia do lixiviado. O processo de *air stripping* envolve a transferência de substâncias voláteis presentes na fase líquida (água residuária) para a fase gasosa (gás de arraste) (KAWAMURA, 2000).

Qasim & Chang (1994) apontam como vantagens do *air stripping*, sua capacidade razoável de se adaptar a variações nas características e vazões do afluente, e por isso é adequado ao tratamento de lixiviado. Porém, uma desvantagem deste método está no fato dele transferir para a atmosfera a amônia removida, podendo causar danos à saúde das pessoas.

O *air stripping* isoladamente pode não apresentar eficiência na remoção da carga orgânica e compostos recalcitrantes. Este tratamento pode estar combinado a outros tratamentos, quando se trata de lixiviados de origem industrial.

1.4. Ozonização

Entre estratégias e/ou tecnologias empregadas para o tratamento de lixiviados com altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos estão os processos oxidativos avançados (POAs) tratam efluentes complexos, transformando-os em compostos simples e facilmente biodegradáveis através da ação de radicais hidroxila (SILVA *et al.*, 2013).

Um dos processos oxidativos é a ozonização, cujo agente oxidante é ozônio (O_3). É gerado a partir de descargas elétricas nas moléculas de oxigênio (O_2). As reações envolvidas no tratamento por ozonização podem ser diretamente do ozônio com as substâncias orgânicas presentes no efluente ou indiretamente através dos radicais $\cdot\text{OH}$, que são preferencialmente formados em pH básico. As reações 3 e 4 apresentam o princípio de formação do ozônio.



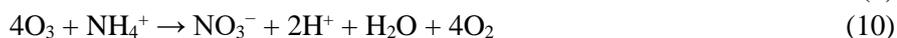
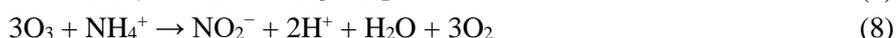
Em pH básico, a partir da decomposição do ozônio são gerados radicais hidroxila $\bullet\text{OH}$, que possuem alto poder oxidativo, conforme as equações 5 e 6.



Tem aumentado o interesse para tratamento de efluentes com a utilização do ozônio devido às diversas vantagens. Dentre elas, pode-se citar o alto potencial de oxidação do ozônio que, mesmo em baixas concentrações, apresenta alta eficiência na decomposição de matéria orgânica, a adição de oxigênio à água e a baixa sensibilidade sob alteração da temperatura.

A ozonização tem sido uma alternativa para tratamento de lixiviados (KILIÇ *et al.*, 2007) e pode ser utilizado no início (pré-ozonização), em uma fase intermediária ou no final do processo (WU *et al.*, 2004). A pré-ozonização tem como objetivo desativar grandes moléculas orgânicas (KARGI & YUNUS PAMUKOGLU, 2003) e como consequência aumentar a eficiência nas etapas seguintes, como a biodegradação. A ozonização também é muito utilizada para remoção de cor e odor dos lixiviados. Em lixiviados de maior idade ou estabilizados, a ozonização oxida substâncias orgânicas e melhora a biodegradabilidade de poluentes orgânicos recalcitrantes (RENOU *et al.*, 2008).

Em estudo realizado LUO *et al.* (2015) verificaram a degradação da amônia em efluente através de ozonização e analisaram a rota de degradação da amônia que segue:



A degradação da amônia (Equação 2) foi relacionado com o processo de oxidação da amônia por ozonização (Equação 7). Durante o processo de oxidação da amônia por ozônio, a velocidade de reação entre amônia e ozônio molecular é significativamente maior para formação de íon amônio e ozônio molecular, facilitando a capacidade oxidativa de degradação do O_3 com o aumento do pH e consequentemente induzindo a formação de nitrogênio amoniacal. Além disso, o pH elevado pode acelerar a decomposição de O_3 induzindo a geração de $\bullet\text{OH}$, o qual tem forte capacidade oxidativa. Com isso, a degradação de nitrogênio amoniacal por oxidação de ozônio inclui diretamente a oxidação molecular O_3 (equações (8) - (12)) e a reação de oxidação $\bullet\text{OH}$ (Equações (6) e (13) - (15) (WU *et al.*, 2004). Em pH baixo a reação tem predomínio a oxidação de ozônio, enquanto que a oxidação $\bullet\text{OH}$ é a reação principal em pH elevado, com isso a taxa de reação mais rápida (ZHONG & KUO, 1997).

2. EXPERIMENTAL

Para realizar os experimentos foi utilizado o lixiviado coletado de um aterro de resíduos industriais onde a maioria dos resíduos recebidos é proveniente da indústria coureira que foi utilizado no estudo de Quadros (2015). Como características principais do lixiviado: pH de 7,9, Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO) de 190.000,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Demanda Química de oxigênio (DQO) de

268.540,0 mg O₂.L⁻¹, Nitrogênio Total de 29.748,30 mg.L⁻¹, Nitrogênio Orgânico de 20.368,20 mg.L⁻¹, Nitrogênio Amoniacal de 9.380,10 mg.L⁻¹.

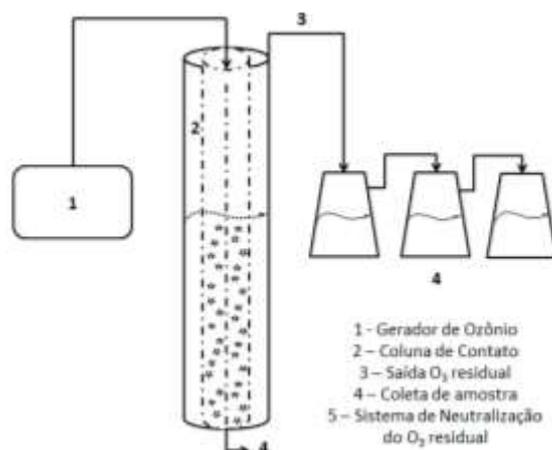
SUN *et al.* (2015), SYRON *et al.* (2015) utilizaram lixiviado de aterro sanitário, com valores de DQO e Nitrogênio Amoniacal elevados, entre 3.000 a 13.500 mg L⁻¹ e 2.400 a 2.500 mg L⁻¹ NH₃, respectivamente. Especificamente no caso deste estudo (DQO= 268.540 mg L⁻¹ e nitrogênio amoniacal= 9.380 mg L⁻¹ NH₃) os valores são desafiadores com relação ao tratamento uma vez que apresentam concentrações elevadas de DQO e nitrogênio total, comparadas a literatura apresentada. O lixiviado de aterro de resíduos de curtume têm na sua composição química, resíduos de proteínas e dos produtos químicos adicionados ao couro e, além disso, o tratamento das peles no curtume remete a muitas lavagens e conseqüentemente, formação de lodo.

2.1. Ozonização

Para o teste de ozonização foram utilizados 250 mL do lixiviado bruto para ser ozonizada em uma coluna de vidro de 8,5 cm de diâmetro e 50 cm de altura. O ozônio produzido pelo gerador (Ozonic, modelo C-10) foi injetado dentro da coluna de contato através de uma pedra porosa com fluxo de gás 8 L.min⁻¹ resultando em 0,01 gO₃.min⁻¹.

O ensaio foi realizado durante 2 h com coletas de amostra a cada 15 min e o ozônio residual foi coletado e neutralizado dentro de frascos contendo uma solução de iodeto de potássio 2%. A Figura 1 apresenta um esquema do experimento de ozonização. Em cada amostra foi medido o pH (Potenciométrico) e foi feita análise de nitrogênio amoniacal pela metodologia *Standard Methods* 4500 B e C. A coleta de amostra também foi feita antes do processo de ozonização, medido o pH e analisada o nitrogênio amoniacal. No final do ensaio na amostra final foi feita a análise da variação de cor através da varredura em espectrofotômetro UV/visível (T80 UV-VIS, PG Instruments, Leicester, LEC, UK).

Figura 1. Esquema do sistema do processo de ozonização.



2.2. Air Stripping e Ozonização

No processo de *air stripping*, os ensaios foram realizados em escala de bancada piloto em regime batelada. As amostras de lixiviado foram submetidas ao processo de arraste utilizando uma coluna de acrílico com um sistema de aeração (QUADROS, 2015). As condições de operação foram

de 10 L min⁻¹ de ar para 80 mL min⁻¹ de lixiviado em 72 h. Após a amostra foi submetida ao processo de ozonização. Para o processo de ozonização foi utilizada a mesma metodologia citada no item acima.

Figura 2. Fluxograma de processos.

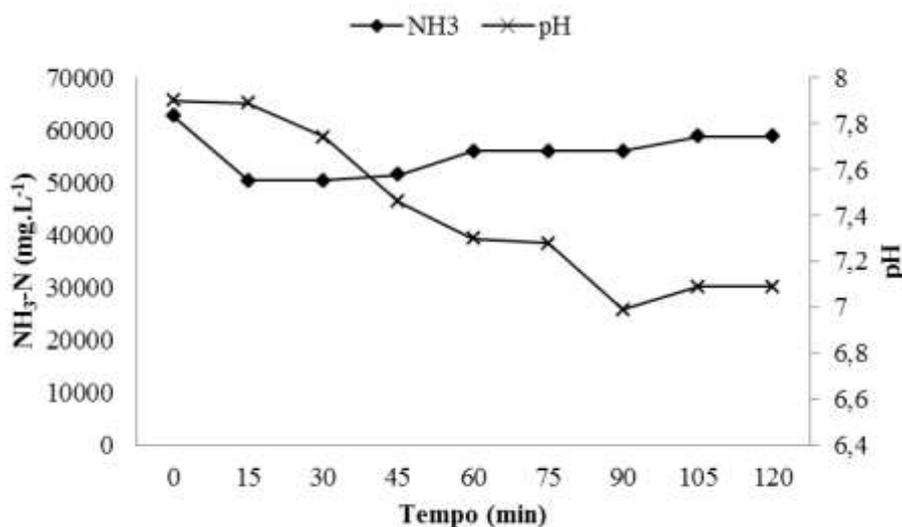


3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Efeito da amônia e pH

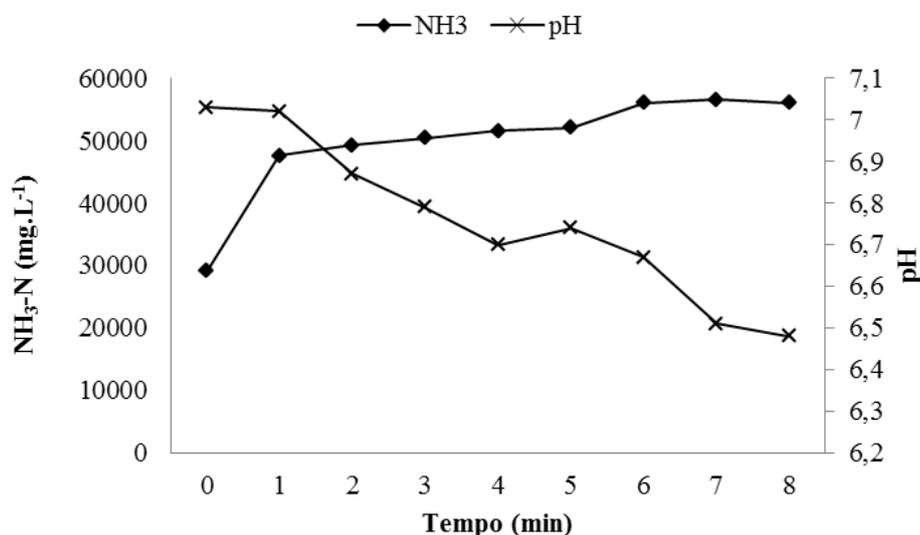
Para transição da amônia ionizada, NH₄⁺, para não ionizada, NH₃, a sua formação é suscetível a variações de pH e temperatura. No ensaio feito com lixiviado bruto tratado por ozonização pode se notar que houve uma redução do pH de 7,9 para 7,09 e a quantidade de nitrogênio amoniacal manteve-se estável ao longo do tempo de processo (Figura 3).

Figura 3. Concentração de amônia e o pH no tratamento do lixiviado por ozonização



Já no ensaio realizado com *air stripping* e ozonização o nitrogênio amoniacal teve um aumento de 52% e houve redução do pH 7,03 para 6,48 (Figura 4). Isso ocorreu devido a degradação (hidrólise) da matéria orgânica (proteínas) constituintes dos resíduos de curtume o que acarreta no aumento da produção de nitrogênio amoniacal (AQUIM *et al.*, 2010; GUTTERRES, 2008; WANG, Y. *et al.*, 2012). Esse elevado aumento de nitrogênio amoniacal pode ser pela conversão do nitrogênio orgânico devido a amonificação. Segundo Santoro (2010), a amonificação é a mineralização da matéria orgânica que contém no lixiviado.

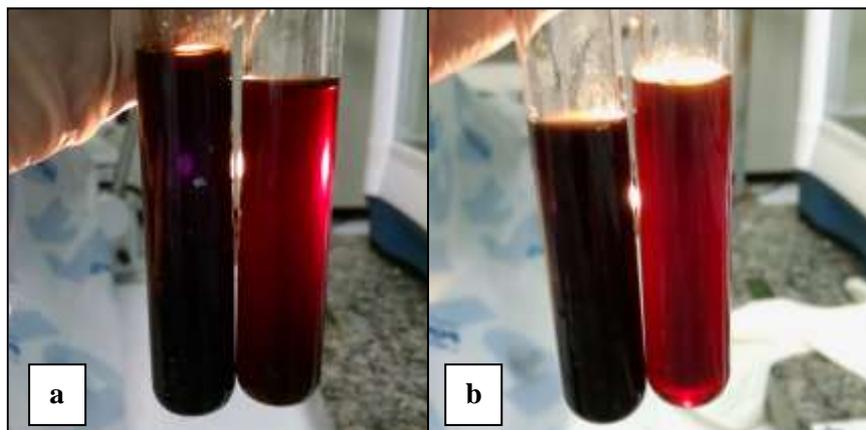
Figura 4. Concentração de amônia e o pH no tratamento do lixiviado por *air stripping* e ozonização.



3.2. Efeito da cor

Para avaliar a remoção de cor foi feita uma varredura do efluente bruto e posteriormente do tratado no espectrofotômetro nos comprimentos de 400 nm a 800 nm, onde a diferença das áreas sob a curva indicaram a eficiência de remoção de cor (Figura 5).

Figura 5. Remoção de cor: a) lixiviado bruto (esquerda) e tratado por ozonização (direita) e b) lixiviado bruto (esquerda) e tratado por *air stripping* e ozonização (direita).



No ensaio realizado, com o lixiviado bruto e ozonização, obteve-se uma remoção de 47,40% e no ensaio com os processos associados de *air stripping* e ozonização a remoção de cor



atingida foi de 74,49% (Tabela 1). A cor associa-se a alta carga poluentes, conferida pelas análises de DQO e DBO, com isso a dificuldade de penetração da luz e a presença de compostos recalcitrantes, em geral substâncias húmicas.

Tabela 1. Áreas das zonas visíveis e a percentual de remoção de cor.

Tratamentos	Bruto	Tratado	Remoção
Lixiviado Bruto + Ozonização	237,05 nm ²	112,35 nm ²	47,40%
<i>Air Stripping</i> + Ozonização	243,234 nm ²	181,174 nm ²	74,49%

4. CONCLUSÕES

Existe uma grande preocupação para um tratamento eficiente do lixiviado gerado nos resíduos sólidos industriais dispostos em aterros, pois este lixiviado apresenta grande quantidade de matéria orgânica e amônia. A amônia é tóxica para os microrganismos que degradam a matéria orgânica podendo afetar o tratamento biológico, por exemplo. Por outra parte, se o efluente tratado é lançado com amônia em corpos d'água pode prejudicar a vida presente em rios e açudes.

Este estudo mostrou que a utilização de ozônio e a associação de processos *air stripping* e ozônio aumentam a biodegradabilidade do lixiviado, facilitando seu posterior tratamento biológico, devido a pré-disponibilização da matéria orgânica que ocorre devido a amonificação. Atingiu-se uma remoção de cor de 47,40% no teste com ozonização e 74,49% no ensaio com os processos associados. A partir destes resultados pode-se observar que o emprego de processos associados de *air stripping* e de ozonização são alternativas de pré-tratamento de lixiviado, pois ocorre a decomposição de matéria orgânica e melhora a biodegradabilidade de poluentes recalcitrantes, facilitando o posterior tratamento biológico.

Agradecimentos

À FAPERGS (Edital FAPERGS/CAPES 17/2012) e FINEP (Edital MCTI/FINEP CT-HIDRO 01/2013).

5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

AQUIM, P. M.; GUTTERRES, M.; TRIERWEILER, J. O. Assessment of water management in tanneries. **Journal Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 94, p. 253–258, 2010.

BAIG, S. et al. Treatment of Landfill Leachates: Lapeyrouse and Satrod Case Studies. **Ozone: Science & Engineering**, v. 21, n. 1, p. 1–22, 7 jan. 1999.

COOPER, M.; GUTTERRES, M.; MARCILIO, N. Environmental Developments and Researches in Brazilian Leather Sector. **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 95, n. 6, p. 243–249, 2011.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 399–409, 2007.

FONTOURA, J. T.; ROTERMUND, S.; ARAUJO, A. L.; RAMIREZ, N.; RUBLESKE, M.; FARENZENA, M.; GUTTERRES, M. Tannery Wastewater Treatment with *Scenedesmus* sp. **XXXIII IULTCS Congress**, 2015.

GUTTERRES, M. **A Ciência Rumo À Tecnologia Do Couro**. 1. ed., Ed. Tríplice Assessoria e Soluções Ambientais, Porto Alegre, 2008.

GUTTERRES, M.; BORDIGNON, S. R.; BAUR, L. Contamination of Used Soak/Unhairing Baths by Nitrogen in Comparison with Carbon and Soluble Protein Contents. **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 95, n. 1, p. 35–38, 2011.



KARGI, F.; YUNUS PAMUKOGLU, M. Simultaneous adsorption and biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 10, p. 1413–1420, 2003.

KAWAMURA, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities**. 2 ed., Ed. Wiley, Nova Iorque, 2000.

KILIÇ, M. Y.; KESTIOGLU, K.; YONAR, T. Landfill leachate treatment by the combination of physicochemical methods with adsorption process. **J. Biol. Environ. Sci.**, v. 1, n. 1, p. 37–43, 2007.

LUO, X. et al. Treatment of Ammonia Nitrogen Wastewater in Low Concentration by Two-Stage Ozonization. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 9, p. 11975–11987, 2015.

MAGALHÃES, N. C. **Remoção e Recuperação de Amônia de Lixiviado de Aterro Sanitário Utilizando Membranas Contactoras e Comparação com Processos Convencionais**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. Edição 4, Ed. McGraw Hill Higher Education, 2002.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. VON. **Nutrientes de Esgoto Sanitário: Utilização e remoção**. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB/FINEP, p. 428, 2009.

NAVAL, L. P.; COUTO, T. C. Estudo da remoção de fósforo em efluentes provenientes de sistemas anaeróbios para tratamento de águas residuárias utilizando cal. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 1, p. 1–5, 2016.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment**. CRC Press, 1994.

QUADROS, A. V. DE. **Avaliação da remoção de matéria orgânica carbonácea em filtros anaeróbios tratando lixiviado de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2009.

QUADROS, A. V. DE. **Tratamento de lixiviado de aterro de resíduos de curtume**. Exame de Qualificação (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 468–493, 2008.

SANTORO, A. L. **Nitrificação e Desnitrificação em Lagoas Costeiras Tropicais**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, T. F. C. V et al. Sanitary landfill leachate treatment using combined solar photo-Fenton and biological oxidation processes at pre-industrial scale. **Chemical Engineering Journal**, v. 228, p. 850–866, 2013.

SUN, H.; PENG, Y.; SHI, X. Advanced treatment of landfill leachate using anaerobic–aerobic process: Organic removal by simultaneous denitrification and methanogenesis and nitrogen removal via nitrite. **Bioresource Technology**, v. 177, p. 337–345, 2015.

SYRON, E.; SEMMENS, M. J.; CASEY, E. Performance analysis of a pilot-scale membrane aerated biofilm reactor for the treatment of landfill leachate. **Chemical Engineering Journal**, v. 273, p. 120–129, 2015.

WANG, Y.; ZENG, Y.; CHAI, X.; LIAO, X.; HE, Q.; SHI, B. Ammonia nitrogen in tannery wastewater: distribution, origin and prevention. **Journal American Leather Chemists Association**, v. 107, p. 40–50, 2012.

WU, J. J. et al. Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes. **Chemosphere**, v. 54, n. 7, p. 997–1003, 2004.

ZHONG, L.; KUO, C. H. Kinetics and mechanism of ozone with hydrogen peroxide. **J. South China Univ. Technol. (Nat. Sci.)**, v. 25, p. 50–54, 1997.