

REMOÇÃO DE NITROGÊNIO: UMA REVISÃO NO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO

Gabriely Dias Dantas¹
Evelyne Morgana Ferreira Costa²
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo³
Maria Célia Cavalcante de Paula e Silva⁴
Valderi Duarte Leite⁵

RESUMO

O desenvolvimento do tema proposto tem por objetivo propiciar um entendimento geral sobre o processo de remoção de nitrogênio em sistemas de tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico. Este trabalho apresenta uma revisão sobre a remoção biológica de nitrogênio e os principais parâmetros intervenientes na remoção deste nutriente, dando ênfase aos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Objetiva-se demonstrar quais técnicas são utilizadas, a complexidade do processo e a eficiência de remoção alcançada nos sistemas de tratamento avaliados. Diversos estudos tem avaliado a remoção de nutrientes através de processos físico-químicos e biológicos. Dentre os sistemas de tratamento avaliados, foram utilizados: *air stripping*, precipitação química, lagoas de estabilização, lodos ativados, reator UASB seguido de filtro aeróbio percolador, sistema aeróbio/Fenton/anóxico/aeróbio. Os estudos avaliados demonstraram que com ou sem pré-tratamento do lixiviado de aterro sanitário, apresentaram redução significativa de nitrogênio.

Palavras-chave: Lixiviado de aterro sanitário, Esgoto doméstico, Amonificação, Nitrificação, Desnitrificação.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a poluição dos corpos hídricos por nutrientes tem aumentado consideravelmente e gerado grande impacto eutrofizante. Diante disso, é importante ressaltar a relevância dos tratamentos biológicos que promovem a remoção do nitrogênio presente em efluentes, reduzindo de forma significativa o impacto ambiental causado sobre os cursos hídricos receptores e à biota aquática, devido à toxicidade de algumas espécies nitrogenadas, especialmente o nitrogênio amoniacal na forma gasosa (NH_3) (GREENE et al., 2011; HENRIQUE et al., 2010; HU et al., 2013).

¹ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, gabrielydias4@gmail.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, evelyne.fcosta@gmail.com;

³ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, amandauepbio@gmail.com;

⁴ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, celia_romulo@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC - USP, mangabeiraleite@gmail.com (83) 3322.3222

O nitrogênio é um elemento químico bastante importante e encontra-se presente em vários tipos de resíduos líquidos. Diversas tecnologias têm sido utilizadas no tratamento de águas residuárias, e estas dependem diretamente do ciclo bioquímico do nitrogênio, o qual se divide nas etapas de amonificação, nitrificação e desnitrificação (PHILIPS, 2008).

A geração de lixiviado de aterro sanitário é um dos principais problemas ocasionados pela degradação da matéria orgânica putrescível presente nos resíduos aterrados. O lixiviado tem origem da umidade natural dos resíduos e da percolação da água pluvial pelas diversas camadas do aterro, que promovem o carreamento de diversas substâncias, dentre elas, o nitrogênio amoniacal. Esse resíduo líquido produzido tem composição variável, pois depende entre outras coisas, do material depositado, e da idade do aterro (MAIA et al., 2015).

Uma das formas para obter a remoção de compostos nitrogenados em resíduos líquidos, seria através do processo de nitrificação seguido pela desnitrificação, que consiste na oxidação da amônia a nitrito, e posteriormente, a nitrato, seguida da redução biológica de nitrato para nitrogênio gasoso. A desnitrificação ocorre quando há baixa disponibilidade de oxigênio molecular, o que possibilita a utilização do nitrato e outras formas de nitrogênio como aceptores de elétrons na respiração realizada pelas bactérias desnitrificantes. Entre os fatores que afetam esse processo, podem ser mencionados: pH, temperatura, relação C/N, a concentração de oxigênio dissolvido e a qualidade e quantidade das fontes de carbono (TONETTI et al., 2013; ZOPPAS et. al, 2016)

O lançamento de efluentes em corpos hídricos sem o devido tratamento provoca sérios desequilíbrios ao ecossistema e à vida dos seres vivos. Alguns efluentes apresentam elevadas concentrações de material nitrogenado e carbonáceo, que provocam o consumo de oxigênio e consequente eutrofização do meio aquático. A disposição inadequada de efluentes advindos de diversas atividades no meio ambiente pode provocar a contaminação do solo e dos recursos hídricos, assim como, causar danos aos seres vivos presentes.

Para tanto, é necessário que haja um tratamento adequado dos efluentes, para seu posterior lançamento, sem causar danos ao meio ambiente. Diversas configurações de sistemas de tratamento têm sido estudadas para melhorar a remoção biológica de nitrogênio mediante o processo de nitrificação e desnitrificação.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo apresentar, por meio de uma pesquisa bibliográfica, uma revisão sobre a remoção biológica de nitrogênio em lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico e avaliar a influência que determinados parâmetros tem sobre o processo, dando ênfase aos processos de nitrificação e desnitrificação.

METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado a partir de uma revisão bibliográfica, e realizado um levantamento qualitativo das publicações acerca do processo de remoção de nitrogênio e suas aplicações no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico. Do ponto de vista técnico, este trabalho é classificado como uma pesquisa bibliográfica.

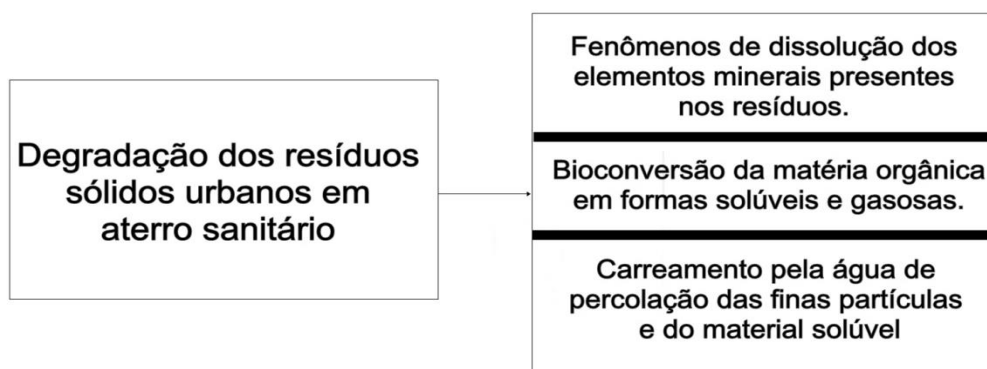
Para o levantamento bibliográfico foi utilizado a revisão sistemática de literatura que consiste em uma maneira de identificar, avaliar e interpretar os dados das pesquisas, revisar as tendências evidentes sobre um determinado tema, e assim, identificar quais são as lacunas existentes no meio acadêmico.

DESENVOLVIMENTO

Lixiviado de Aterro Sanitário

Os resíduos sólidos urbanos aterrados apresentam grande variedade química e sofrem a influência de agentes naturais, que ocasionam reações físico-químicas e biológicas. Durante esse processo de degradação ocorre a dissolução dos elementos minerais e o carreamento pela água de percolação das partículas finas e do material solúvel e isso provoca a geração do lixiviado de aterro sanitário. Na Figura 1 é apresentado o resumo dos fenômenos que ocorrem durante a degradação dos Resíduos Sólidos Urbanos dispostos em aterros sanitários (CASTILHOS JR et al., 2003).

Figura 1- Esquema geral do processo de degradação dos Resíduos Sólidos Urbanos



Fonte: Adaptado de Castilhos Jr et al., (2003)

De acordo com Amor et al. (2015), o lixiviado de aterro sanitário é um resíduo líquido que apresenta elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), elevada toxicidade e presença de compostos recalcitrantes, que geram problemas no tratamento via processos biológicos, principalmente os provenientes de aterros que apresentam idade elevada.

Amonificação

No lixiviado de aterro sanitário, as elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal são advindas do processo de decomposição anaeróbia, onde o material nitrogenado presente nos resíduos sólidos urbanos é convertido a diversos produtos, dentre eles, a amônia. Esse nitrogênio amoniacal pode ser biologicamente convertido a nitrito, e posteriormente a nitrato, através de um processo aeróbio. Por meio de dois processos sequenciais, a nitrificação e a desnitrificação, é possível a remoção do nitrogênio presente.

No esgoto doméstico, o nitrogênio encontra-se na forma orgânica e na forma de amônia, e em quantidades extremamente pequenas de nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻). Cerca de 60% do nitrogênio apresenta-se na forma orgânica, sendo formada por ureia, aminoácidos e proteínas e 40% na forma de nitrogênio amoniacal, que pode ocorrer tanto na forma gasosa (NH₃), como na forma iônica (NH₄⁺). No sistema de tratamento biológico, o nitrogênio presente pode ser transformado em outras formas, de acordo as condições do meio (RIDZUAN et al., 2018).

No processo de amonificação (Equação 1), o nitrogênio orgânico é convertido em íon amônio ou amônia por meio da ação de bactérias e reações bioquímicas catalisadas por enzimas. Esse processo é denominado amonificação devido à formação de amônia como produto da reação. Nesta reação, observa-se que além da formação de amônia, há também produção de hidroxila (OH⁻), o que pode favorecer o processo de nitrificação, visto que nesta etapa há consumo de alcalinidade e redução do pH (METCALF & EDDY, 2003).



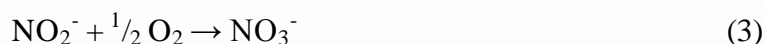
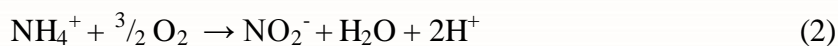
A amonificação é uma das etapas limitantes do processo de nitrificação e quando esse processo não é realizado, há comprometimento da taxa de nitrificação. O nitrogênio amoniacal pode ser removido de efluentes por meio de duas etapas sequenciais, a nitrificação e a desnitrificação. Desse modo, o processo de nitrificação ocorre em duas fases: a nitrificação,

com oxidação da amônia a nitrito, e a nitratação, com a oxidação do nitrito a nitrato (PAN et al., 2012)

Nitrificação

A nitrificação é um processo biológico no qual ocorre a conversão de nitrogênio amoniacal a nitrito e, posteriormente, a nitrato. Esse processo ocorre em condições aeróbias, no qual é necessário atender algumas exigências, tais como, oxigênio dissolvido suficiente para manter as condições adequadas ao desenvolvimento de bactérias nitrificantes (LIU et al. 2017; ZENATTI et al., 2009; DERKS, 2007).

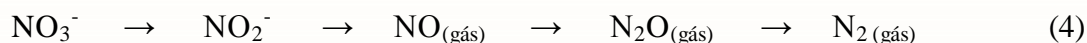
As bactérias oxidadoras de amônia são responsáveis por uma das etapas da nitrificação, a nitratação. Na nitratação, as bactérias realizam a oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito (N-NO_2^-) (Equação 2) e, em seguida, no processo de nitratação, as bactérias oxidadoras de nitrito (BON) oxidam o nitrito a nitrato (N-NO_3^-) (Equação 3). No processo de nitrificação ocorre apenas a oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrato, no entanto, não há remoção de nitrogênio, que é alcançada na ausência de oxigênio, no processo de desnitrificação (VAN KESSEL et al., 2015).



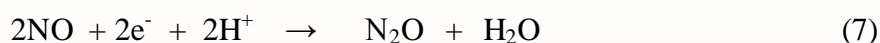
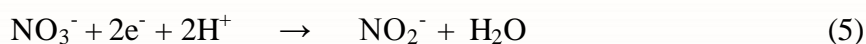
Desnitrificação

O processo de desnitrificação ocorre quando o oxigênio torna-se limitante para a respiração aeróbia e há presença de nitrato (NO_3^-) no meio, e então, diz-se que o ambiente tornou-se anóxico. Nesse ambiente, o nitrato passa a ser utilizado como acceptor final de elétrons após a ausência do O_2 .

Segundo Tavares (2017), para que a desnitrificação ocorra e haja a remoção do nitrogênio por via biológica é necessário uma reação redox para obtenção de energia de compostos orgânicos. A combinação de sistemas de remoção de matéria orgânica e nutrientes pode prejudicar o processo de desnitrificação, principalmente pela ausência de fonte de carbono para as bactérias desnitrificantes, pois a quase totalidade da matéria orgânica afluenta ao sistema pode ter sido removida nas etapas anteriores à desnitrificação. A desnitrificação segue a sequência de reações mostrada na Equação 4, sendo que em cada etapa atua uma enzima redutase específica, associada às transformações.



De acordo com Pan et al. (2012), o N_2O pode acumular, sob certas condições, e ser liberado para a atmosfera. As enzimas envolvidas no processo de desnitrificação são: nitrato redutase (Equação 5), nitrito redutase (Equação 6), óxido nítrico redutase (Equação 7) e óxido nitroso redutase (Equação 8). As equações abaixo exemplificam as reações catalisadas por essas quatro enzimas, respectivamente.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de remoção de nitrogênio é controlado por uma série de reações bioquímicas que fazem parte do ciclo do nitrogênio, ocorrendo de forma natural no meio ambiente. Diversos estudos tem avaliado o potencial do tratamento de efluentes com ênfase na remoção de nutrientes e quais fatores são intervenientes nesse processo.

Processos físico-químicos e biológicos têm sido utilizados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico. No Brasil, o tratamento biológico é o mais utilizado, devido à facilidade e o baixo custo, no entanto, esse tratamento é limitado pela taxa de biodegradabilidade do lixiviado, que tende a diminuir para aterros sanitários mais velhos (MAIA et al., 2015).

Campos et al., (2013) estudaram o processo de *air stripping* com o intuito de remover nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário. Nesse tratamento foram avaliados o efeito do pH, temperatura e alcalinidade. Foram observados melhores resultados a uma temperatura de 60°C , sendo a remoção de nitrogênio amoniacal superior a 95%. A alcalinidade teve uma forte influência sobre o processo de remoção de nitrogênio amoniacal. Foi observado que à medida que a alcalinidade decresceu, a concentração de amônia também e isso ocorreu devido à remoção de CO_2 , que causou o aumento do pH e, conseqüentemente, favoreceu a remoção da amônia.

Brennan et al., (2016) avaliaram o desempenho da operação de três estações de tratamento de esgoto doméstico que recebiam lixiviado de aterro sanitário, e concluíram que

que o recebimento de lixiviado nestas estações municipais era a solução mais viável para realizar o tratamento de lixiviado de aterros sanitário naquele local.

Huang et al., (2009) avaliaram um sistema de tratamento combinado que consistia de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo e um biorreator anóxico/aeróbico com o objetivo de tratar lixiviado de aterro sanitário contendo elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e baixa razão DQO/N. Os resultados obtidos indicaram que o material carbonáceo foi removido pelo UASB e o nitrogênio amoniacal foi removido através da nitrificação no tanque anóxico/aeróbico. A eficiência de remoção de DQO atingiu 55%. A eficiência de remoção de $N-NH_4^+$ foi superior a 85% no reator aeróbico. Os resultados também mostraram que uma quantidade significativa de nitrogênio foi removida via processo de desnitrificação no tanque anóxico. A taxa de remoção de nitrogênio total (NT) atingiu 65%.

Hu et al., (2017) analisaram um sistema aeróbico/Fenton/anóxico/aeróbico em escala piloto para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Os resultados obtidos indicaram uma taxa de remoção de $N-NH_4^+$ de 80%. Através do processo de nitrificação e desnitrificação, a eficiência de remoção de nitrogênio total foi de 75%.

Silva (2009) avaliou a remoção de nitrogênio amoniacal por meio de precipitação sob a forma de estruvita e em seguida aplicou o processo de lodo ativado, a vantagem deste processo está na geração de um efluente final que pode ser utilizado como fertilizante, o estudo alcançou remoção de nitrogênio amoniacal de 90% para ensaio com uma proporção volumétrica de 10% de lixiviado para 90% de esgoto. Constatando-se ainda, que a remoção de amônia tenha ocorrida por arraste e/ ou adsorção no lodo e não por nitrificação, pois o aumento do pH favorece o processo de remoção de amônia em sua forma livre (NH_3).

Albuquerque (2012) avaliou o tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados onde, o substrato era composto por lixiviado pré-tratado (alcalinizado e com remoção de nitrogênio amoniacal por *air stripping*) e esgoto sanitário, em proporções de 5% de lixiviado e 95% de esgoto, obtendo um efluente final com remoção de 95% de nitrogênio amoniacal. Durante o tratamento, foi possível constatar que ocorreu o processo de nitrificação, onde o nitrogênio amoniacal foi convertido a nitrito e posteriormente a nitrato.

Silva (2014), avaliou o tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico em um sistema formado por reator UASB seguido de filtro aeróbico percolador, o substrato utilizado continha proporções de 1% de lixiviado e 99% de esgoto doméstico, alcançando uma remoção de nitrogênio amoniacal em seu efluente final de 61%, com

concentração média de 24 mgN-NH₄⁺/L, em alguns dias do monitoramento o efluente apresentou valor mínimo de 18 mgN-NH₄⁺/L, atendendo os valores estabelecidos pela resolução CONAMA, a qual estabelece uma concentração máxima de 20 mg N-NH₄⁺/L.

Martins et al. (2013), trataram lixiviado de aterro sanitário em lagoas de estabilização e obtiveram valores de remoção de nitrogênio amoniacal superiores a 75%. Abood et al. (2014), alcançaram eficiência de 65% de remoção de nitrogênio amoniacal em um reator de batelada sequencial operado sob condições anóxica-aeróbia-anóxica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento das atividades antrópicas e a geração de efluentes líquidos altamente poluidores, que são lançados sem o devido tratamento nos corpos hídricos, ocorrem diversos impactos ao meio ambiente. Isso ocorre devido à elevada concentração de nutrientes, em especial o nitrogênio, o qual é responsável pelo processo de eutrofização.

Nesse contexto, torna-se necessário o aprimoramento das tecnologias de tratamento, como os processos de nitrificação e desnitrificação, e o desenvolvimento de técnicas inovadoras que possibilitem a remoção das frações nitrogenadas presentes em efluentes líquidos, tendo em vista a necessidade da redução dos custos envolvidos, a complexidade do processo e a necessidade de maximização da eficiência obtida. Nesse âmbito, a realização de estudos na área de tratamento de efluentes líquidos.

As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal presente no lixiviado de aterro sanitário podem ter efeito inibidor, inviabilizando seu tratamento biológico, necessitando este de um pré-tratamento. O pré-tratamento do lixiviado realizado por adição de alcalinizantes e *air stripping* se mostrou eficaz, removendo a amônia em sua forma livre (NH₃) e viabilizando o tratamento biológico do lixiviado. Observa-se que quando foi realizado um pré-tratamento do lixiviado de aterro sanitário, a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal foi maior.

Os estudos avaliados com ou sem pré-tratamento, apresentaram eficiência significativa com relação à remoção de nitrogênio amoniacal, estando de acordo com os padrões de lançamento estabelecidos pela resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

REFERÊNCIAS

ABOOD, A. R.; BAO, J.; DU, J.; ZHENG, D.; LUO, Y. Non-biodegradable landfill leachate treatment by combined process of agitation, coagulation, SBR and filtration. **Wast Management**, v.34, p439-447, 2014.

ALBUQUERQUE, E. M. DE. Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados. 2012. 280 f. Dissertação – Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

AMOR, C.; TORRES-SOCÍAS, E.; PERES, J.A.; MALDONADO, M.I.; OLLER, I.; MALATO, S.; LUCAS, M.S. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286. p. 261-268, 2015.

BRASIL. Resolução nº 430/ 2011 do CONAMA. 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. Brasília –DF: CONAMA, 13 de maio de 2011.

BRENNAN, R.B; CLIFORD, E; DEVROEDT, C; MORRINSON, L; HEALYA, M.G. Treatment of landfill leachate in municipal wastewater treatment plants and impacts on effluent ammonium concentrations. **Journal of Environmental Management**, v.188, n.1, p.64-72, 2016.

CASTILHOS JR, A.B.; MEDEIROS, P.A.; FIRTA, I.N.; LUPATINI, G.; SILVA, J.D. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JR, A.B. (Coord.) Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: **ABES**, 2003.

DERKS, Y. M. Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. 2007. 103 f. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2007.

GREENE, S.; TAYLOR, D.; McELARNEY, Y. R.; FOY, R. H.; JORDAN, P. An evaluation of catchment-scale phosphorus mitigation using load apportionment modelling. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 221-222, 2011.

HENRIQUE, I. N.; SOUSA, J. T.; CEBALLOS, O.; BRASIL, D. P. Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 197-204, 2010.

HU, Z.; LOTTI, T.; KREUK, M.; KLEERBEZEM, R.; VAN LOOSDRECHT, M; KRUIT, J.; JETTEN, M. S. M.; KARTAL, B. Nitrogen removal by a nitrification-anammox bioreactor at low temperature. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 8, p. 2807-2812, 2013.

HU, W.; ZHOU, Y.; MIN, X.; LIU, J.; LI, X.; LUO, L.; ZHANG, J.; MAO, Q.; CHAI, L.; ZHOU, Y. The study of a pilot-scale aerobic/Fenton/Anoxic/Aerobic process system for the treatment of landfill leachate. **Environmental Technology**, 2017.

HUANG, L.; GAO, B.; ZHANG, B.; GUO, P. Removal of organic matters and ammonia in landfill leachate via a UASB and anoxic /aerobic bioreactor process. 2009.

LIU, J.; YUAN, Y.; LI, B.; ZHANG, Q.; WU, L.; LI, X.; PENG, Y. Enhanced nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater in an anaerobic-aerobic-anoxic sequencing batch reactor with sludge fermentation products as carbon source. **Bioresource Technology**, 2017.

MAIA, S.I; BARRIOS, J.J; CASTILHOS JUNIOR, A.B. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.4, p. 665-675, 2015.

MARTINS, C. L.; FERNANDES, H.; COSTA, R. H. R. Landfill leachate treatment as measured by nitrogen transformations in stabilization ponds. **Bioresource Technology**, n. 147, f. 562-568, 2013.

PAN, Y., YE, L., NI, B.J., YUAN, Z. Effect of pH on N₂ O reduction and accumulation during denitrification by methanol utilizing denitrifiers, **Water Research**, V.46, pp. 4832-4840, 2012.

PHILIPS, A.M.L. Utilização de reator de biodiscos para tratamento de efluentes com altas concentrações de nitrogênio. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

RIDZUAN, M.B.; DAUD, Z.; AHMAD, Z.; LATIFF, A. A.; AWANG, H. Leachate Treatment Using Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket System. **Int. J. Of Integrated Engineering** Vol. 10 No. 1 , p. 62-65, 2018.

SILVA, F. B. DA. Tratamento combinado de lixiviados de aterros sanitários. 2009. 117 F. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2009.

TAVARES, C. T. Formação de biomassa granular visando a remoção combinada de matéria orgânica e nutrientes em altas temperaturas. 2017. 157f. Tese (doutorado). Programa de Engenharia Química, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

TONETTI, A. L.; CORAUCC, M. B.; GUIMARÃES, J. R.; FADINI, P. S.; NICOLAU, C. E. Desnitrificação em um sistema simplificado de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 381-392, 2013.

VAN KESSEL, M. A. H. J.; SPETH, D. R.; ALBERTSEN, M.; NIELSEN. P. H.; OP DEN CAMP, H. J. M.; KARTAL, B.; JETTEN, M. S. M.; LÜCKER, S. Complete nitrification by a single microorganism. **Nature**, v. 528, p. 555-559, 2015.

ZENATTI, D. C.; GOMES, S. D.; FAZOLO, A.; COSTANZI, R. N.; HASAN, S. D. M.; GENTELINI, A. L. Nitrificação de efluente de abatedouro de tilápia em função da aeração e

tempo de reação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 750-754, 2009.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 29-42, 2016.