III - 176 - EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO POR LAGOAS DE ACÚMULO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Thaís Barbosa Serpa Alves (1)
Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Engenheira Agrícola e Ambiental pela UFRRJ. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).
Felipe da Costa Brasil (2)
Engenheiro Agrônomo pela UFRRJ. Doutor e Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) pela UFRRJ.
Leonardo Duarte Batista da Silva (3)
Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo.
Jaime Lopes da Mota Oliveira (4)
Licenciado em Ciências Biológicas, Mestre e Doutor em Microbiologia com ênfase em Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
Alexandre Lioi Nascentes (5)
Engenheiro Civil e Sanitarista pela UERJ. Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. Professor Associado da UFRRJ.

Endereço (1): Rua Ubirajara, n° 49 – Bairro: Moquetá – Nova Iguaçu – Rio de Janeiro – CEP: 26285-510 - Brasil – Tel: (21) 98229-2886 – email: bsathati@gmail.com.

RESUMO

Os resíduos sólidos urbanos representam um grande desafio na área de gestão, visto que sua disposição inadequada pode gerar diversos malefícios tanto em relação ao meio ambiente como à saúde pública. O aterro sanitário é uma das formas de disposição desses resíduos, sendo também a técnica mais empregada em diversos países. Um dos subprodutos gerados nos aterros sanitários é o lixiviado. Sua composição é bastante variável, com alta concentração de compostos orgânicos e de formas nitrogenadas. Altas concentrações de nitrogênio podem promover a emissão de óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa e com alto potencial de aquecimento. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar a emissão de N_2O em lagoas de acúmulo de lixiviado de um aterro sanitário, sendo este localizado no Rio de Janeiro. Em cada amostra foram avaliados os seguintes parâmetros: DQO, nitrito, nitrato, NTK, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. Para a análise de emissão de emissão de N_2O, foi utilizada a técnica da câmara estática e calculada a taxa de emissão por área de cada lagoa. Esses valores foram extrapolados para as lagoas de lixiviados de aterros sanitários localizados no Estado do Rio de Janeiro. Obteve-se uma taxa de emissão média de 861 kg N_2O $ha^{-1}ano^{-1}$ e quando, extrapolado para os demais aterros, a emissão foi de 20 t N_2O ano^{-1}. Comparada às emissões de N_2O nos outros setores, como o setor agropecuário, de energia, processos industriais e de mudança de uso da terra e florestas, as emissões em lagoas de acúmulo de lixiviado foram, respectivamente, 181, 90, 5 e 3 vezes, menores.

PALAVRAS-CHAVE: Gases do Efeito Estufa, Chorume, Resíduos Sólidos.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) representam um grande desafio na gestão de políticas públicas ambientais. A disposição final inadequada dos RSU pode gerar diversos malefícios que não se limitam somente às questões ambientais, mas também incluem aspectos de saúde pública.

Uma alternativa bastante empregada para destinação final desses resíduos é o aterro sanitário (YANG et al., 2014).

Um dos subprodutos gerados no aterro sanitário é o lixiviado. A composição do lixiviado é bastante variável, visto que suas características são influenciadas pela idade do aterro, pelas características e grau de estabilização dos resíduos e pelas condições climáticas (RIBEIRO et al., 2021). O lixiviado proveniente de

aterros com pouco tempo de operação, por exemplo, é rico em compostos orgânicos e apresenta alta concentração de nitrogênio amoniacal (MORAVIA, 2007).

Altas concentrações de nitrogênio podem promover emissão de óxido nitroso (N_2O). O N_2O é considerado um dos principais gases de efeito estufa (GEEs), com potencial de aquecimento global superior ao do dióxido de carbono (CO_2) em 273 vezes (IPCC, 2021).

No que tange aos aterros sanitários, a emissão de N_2O pode ocorrer durante os processos biológicos de nitrificação e desnitrificação. De acordo com Wrage et al. (2001), durante a nitrificação o óxido nitroso é formado a partir da oxidação do íon amônio a nitrito (condições aeróbias). Já na desnitrificação, ele é um produto intermediário durante a redução do nitrito ao gás nitrogênio (condições anóxicas).

De acordo com a revisão bibliográfica, existem poucos estudos sobre a emissão de N_2O em aterros sanitários e estes são de natureza internacional. Por essa razão, o presente trabalho se propõe a avaliar a emissão de N_2O em lagoas de acúmulo de lixiviado de um aterro sanitário, sendo este localizado no Rio de Janeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

METODOLOGIA ANALÍTICA DO LIXIVIADO

Foram coletadas amostras de lixiviado em 5 lagoas de um aterro sanitário localizado no Estado do Rio de Janeiro. A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos avaliados, bem como as respectivas metodologias usadas para suas determinações. O nitrogênio orgânico foi obtido pela diferença entre o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio amoniacal.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos do lixiviado avaliados.

Parâmetros	Metodologia
DQO	5220 D (APHA, 2017)
Nitrato	Método da Brucina (FRIES, GETROST, 1977)
Nitrito	4500-NO-2 B (APHA, 2017)
NTK	4500-Norg C (APHA, 2017)
Nitrogênio Amoniacal	4500-NH3 B (APHA, 2017)

As análises foram realizadas no Laboratório de Monitoramento Ambiental I - Águas e Efluentes do Departamento de Engenharia (DE), pertencente ao Instituto de Tecnologia (IT) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e na Embrapa Agrobiologia.

Para a amostragem do lixiviado, foi utilizado um recipiente de polietileno unido a uma corda e este foi imerso na lagoa. Após a coleta, o lixiviado foi transferido do recipiente para outros frascos de polietileno e estes foram mantidos sob refrigeração, a fim de serem transportados até o laboratório. No laboratório, as amostras foram divididas em 5 frascos com a finalidade de avaliar os parâmetros citados anteriormente.

As amostras destinadas às análises de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal foram filtradas com auxílio de membrana de acetato de celulose (47 mm, 0,45µm) e posteriormente armazenadas em freezer. Já as amostras destinadas à análise de DQO e NTK, foram armazenadas diretamente em freezer de acordo com o volume necessário para a realização da mesma.

EMISSÃO DE N_2O EM LAGOAS DE ACÚMULO DE LIXIVIADO

As concentrações de N_2O na interface líquido-atmosfera foram medidas por intermédio da técnica da câmara estática (BROTTO et al.,2010). Este método consiste no uso de uma câmara de PVC (policloreto de vinila) em formato cilíndrico que é ajustada a um flutuador. As dimensões originais da câmara eram de 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo a altura adaptada nesse estudo para 10 cm.

Na parte superior da câmara foram acopladas duas válvulas de três vias e a cada válvula uma mangueira de 3 mm de diâmetro, de comprimento variável de acordo com a profundidade da lagoa. Na ponta oposta de cada mangueira, outra válvula de três vias foi acoplada. As válvulas permaneciam abertas somente para a coleta da amostra de biogás e após o procedimento foram novamente fechadas. O volume que seria ocupado pelo biogás no interior da mangueira foi previamente calculado e descontado antes da amostragem (Figura 1).

Figura 1: Câmara Estática.

A câmara permaneceu na superfície de cada lagoa de lixiviado por 20 minutos e posteriormente a amostra foi coletada. A partir desta foi obtida a concentração de N_2O.

Para a coleta da amostra, foi utilizada uma seringa de polipropileno de 20 mL acoplada a uma das válvulas. Após esse procedimento, a amostra de gás foi transferida da seringa para um frasco de vidro contendo solução salina para posterior análise em laboratório. Este procedimento foi realizado para cada uma das lagoas.

Figura 2: Análise de Emissão de N_2O.

As amostras foram analisadas em um cromatógrafo a gás (Shimadzu, modelo GC-2014), equipado com detector de captura de elétrons (^{63}Ni), operado a uma temperatura de 325 ºC, e coluna empacotada com Porapak-Q, mantida a 80ºC.

A partir desse resultado, foi calculado a taxa de emissão para cada uma das lagoas, utilizando a Equação 1 (BORBA et al., 2018; BISZEK, PAWŁOWSKA e CZERWIŃSKI, 2006).

$$T = ((V_{câmera} \cdot C_{N2O}) / (A_{câmera} \cdot t))$$ equação (1)

Onde:
T = Taxa de emissão de N_2O (µg m^{-2} h^{-1})
$V_{câmara}$ = Volume da câmara (m^3)
$A_{câmara}$ = Área da secção transversal da câmara (m^2);
C_{N2O} = Concentração de N2O obtida a partir da análise cromatográfica (µg m^{-3})
t = Tempo de duração da coleta da amostra (h).

Posteriormente, calculou-se a taxa de emissão média das 5 lagoas, em µg m^{-2} h^{-1}.

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE N_2O PELAS LAGOAS DE ACÚMULO DE LIXIVIADO

A partir da taxa de emissão de N_2O média encontrada, esse valor foi extrapolado para as lagoas de lixiviado de aterros sanitários localizados no Estado do Rio de Janeiro. Segundo Cunha et al. (2020), existem 26 aterros sanitários situados no Estado do Rio de Janeiro: CTR Barra Mansa, CTR Rio, CTR São Gonçalo, CTR Santa Maria Madalena, Aterro de Macaé, Aterro de Campos, Aterro de Piraí, CTR Belford Roxo, Aterro de São Pedro da Aldeia, CTR Itaboraí, Aterro de Nova Friburgo, Aterro de Miguel Pereira, CTR Nova Iguaçu, Aterro de Rio das Ostras, Aterro de Sapucaia, Aterro de Teresópolis, CTR Vassouras, CTR Angra dos Reis, Aterro de Paracambi, Aterro de São Fidélis, Aterro de Niterói, Aterro de Bongaba, Aterro de Barra do Piraí, Aterro de Petrópolis, Aterro de Gericinó e Aterro de Resende. No entanto, os aterros de Piraí, Miguel Pereira, Sapucaia, Teresópolis, Niterói, Bongaba, Barra do Piraí, Gericinó, Petrópolis e Resende não estão em funcionamento, já no aterro de Angra dos Reis não foram encontradas lagoas de acúmulo de lixiviado. Por essa razão, para a emissão de N_2O, foram considerados 15 aterros sanitários.

Utilizando o *Google Earth*, foi obtida a localização de cada um dos aterros sanitários, bem como a quantidade de lagoas de lixiviado e suas respectivas áreas. A estimativa da emissão de N_2O pelas lagoas de acúmulo de lixiviado foi obtida a partir da Equação 2.

$$E = T \cdot A_{lagoas}$$ equação (2)

Onde:
E = Emissão de N_2O (µg h^{-1})
T = Taxa de emissão de N2O (µg m^{-2} h^{-1})
A_{lagoas} = Área das lagoas de acúmulo de lixiviado (m^2)

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO E EMISSÃO DE N_2O

Na Tabela 2 são apresentadas as caraterísticas do lixiviado de cada uma das 5 lagoas, bem como suas respectivas taxas de emissão de N_2O.

Tabela 2: Caracterização do Lixiviado.

Lagoa	DQO mg/L	NTK mg/L	$N_{amoniacal}$ mg/L	$N_{orgânico}$ mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Taxa N_2O µg m^{-2} h^{-1}
1	1448,87	618,94	493,31	125,63	0,23	26,86	2,30E+04
2	4363,85	701,83	646,61	55,22	0,71	36,75	2,45E+03
3	2200,03	1357,80	1076,15	281,65	0,34	21,85	9,63E+03
4	6541,00	2023,63	1339,78	683,85	1,31	76,38	1,15E+03
5	5863,75	2043,10	1650,74	392,36	1,26	73,06	1,29E+04
Média	4083,50	1349,06	1041,32	307,74	0,77	46,98	9,82E+03
Mínimo	-	-	-	-	-	-	1,15E+03
Máximo	-	-	-	-	-	-	2,30E+04
DP	-	-	-	-	-	-	8,85E+03

O valor médio da DQO do lixiviado é compatível com aterros de idade intermediária (de 5 a 10 anos de operação), o que é corroborado por Foo e Hameed (2009). É possível observar também que o lixiviado acumulado na Lagoa 1, foi gerado em uma área do aterro que já está mais estabilizada, visto que o valor de DQO foi mais baixo em comparação as outras. Já na Lagoa 4, o lixiviado possui um valor de DQO mais alto, o que demonstra que a área onde ele é gerado, está recebendo constantemente resíduos.

O lixiviado possui uma alta carga nitrogenada. O nitrogênio encontrado no lixiviado pode estar na forma orgânica constituindo aminoácidos, proteínas ou na forma inorgânica como íon amônio (NH_4^+) ou amônia livre (NH_3), onde a combinação dessas duas formas é denominada de NTK. A maior parte do nitrogênio presente no lixiviado está na forma amoniacal (RENOU et al., 2008). Campos et al. (2013) ao avaliarem a remoção de nitrogênio do lixiviado de um aterro sanitário também localizado no Rio de Janeiro, encontraram uma concentração média de nitrogênio amoniacal no valor de 19998 mg L^{-1}.

O N_2O pode ser formado tanto durante a nitrificação, onde ocorre a oxidação do íon amônio a nitrito e posteriormente a nitrato, como durante a desnitrificação, onde o nitrato é reduzido a gás nitrogênio (condições anóxicas) (WRAGE et al.,2001). Pela presença de nitrito e nitrato no lixiviado, é possível identificar que estão ocorrendo as fases de nitrificação.

A maior taxa de emissão de N_2O foi encontrada na Lagoa 1 (2,30E+04 µg m^{-2} h^{-1}). O lixiviado encontrado nesta lagoa é gerado a partir de resíduos mais antigos e grande parte do material presente no lixiviado é pouco biodegradável, o que influencia na eficiência da desnitrificação e, consequentemente na emissão de N_2O. Além disso, a concentração de oxigênio na Lagoa 1 pode ser menor do que nas outras lagoas, favorecendo também a emissão de N_2O.

A taxa de emissão média de N_2O nas lagoas de acúmulo de lixiviado foi de 9820 µg m^{-2} h^{-1}. O valor encontrado foi superior ao de áreas de pastagem (CÔRREA et al., 2016) e no cultivo de cana de açúcar (LOPES et al., 2017).

EXTRAPOLAÇÃO PARA OUTROS ATERROS SANITÁRIOS DO RIO DE JANEIRO

A partir da taxa de emissão de N_2O média encontrada, esse valor foi extrapolado para os outros aterros sanitários do Rio de Janeiro. Na tabela 3 são apresentadas as taxas de emissão de N_2O de cada um dos aterros.

Tabela 3: Taxa de Emissão de N_2O.

Aterro Sanitário	Localização Geográfica	Número de Lagoas	Área Total das Lagoas m²	Emissão de N_2O µg h^{-1}
CTR Barra Mansa	22°35'14.05"S 44°12'53.84"O	14	29253	2,87E+08
CTR Rio	22°47'30.55"S 43°45'36.96"O	36	102267	1,00E+09
CTR São Gonçalo	22°51'26.90"S 42°59'3.02"O	10	39528	3,88E+08
CTR Santa Maria Madalena	22°2'56"S 41°53'32"O	2	583	5,73E+06
Aterro de Macaé	22°13'30.46"S 41°46'57.88"O	8	12851	1,26E+08
Aterro de Campos	21°28'24.25"S 41°20'45.53"O	5	2451	2,41E+07
CTR Belford Roxo	22°41'58.18"S 43°23'26.93"O	6	7050	6,93E+07
Aterro de São Pedro da Aldeia	22°49'38.22"S 42° 3'11.47"O	6	12993	1,28E+08
CTR Itaboraí	22°47'12.69"S 42°50'28.63"O	7	5574	5,48E+07

Tabela 3: Taxa de Emissão de N_2O (Continuação).

CTR Nova Iguaçu	22°40'29.62"S 43°28'48.52"O		10	8993	8,83E+07
Aterro de Rio das Ostras	22°27'59.84"S 42°01'03.76"O		8	5383	5,29E+07
CTR Vassouras	22°20'29.64"S 43°36'35.44"O		2	1436	1,41E+07
Aterro de Paracambi	22°37'49.39"S 43°40'49.96"O		8	3245	3,19E+07
Aterro de São Fidélis	21°32'46.31"S 41°50'43.32"O		3	653	6,41E+06
Aterro de Nova Friburgo	22°15'55.70"S 42°33'43.26"O		3	683	6,71E+06

COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE N_2O EM LAGOAS DE ACÚMULO DE LIXIVIADO EM ATERROS SANITÁRIOS E OUTROS SETORES

Tendo em vista as emissões totais dos aterros sanitários avaliados, obteve-se uma emissão de 20 t N_2O ano^{-1} nas lagoas de acúmulo de lixiviado.

A Tabela 4 apresenta a emissão média de N_2O nos outros setores no Estado do Rio de Janeiro, considerando o período de 2010-2019.

Tabela 4: Emissão média de N_2O no Estado do Rio de Janeiro (2010-2019).

Setor	Emissão t N_2O ano^{-1}
Energia	1.803
Agropecuária	3.630
Processos Industriais	114
Resíduos	658
Mudança de Uso da Terra e Florestas	65

Fonte: SEEG (2021)

É importante ressaltar que para o cálculo da emissão média de N_2O no setor de resíduos, os aterros sanitários não são incluídos como fonte de emissão (Tabela 4). No inventário feito pelo SEEG, a emissão de N_2O neste setor é calculada utilizando a incineração dos resíduos como fonte de emissão.

Observa-se que a emissão de N_2O em lagoas de acúmulo de lixiviado é a menor em relação às demais áreas. O setor responsável pela maior emissão de N_2O no Estado do Rio de Janeiro é o setor agropecuário, sendo sua emissão superior à das lagoas de acúmulo de lixiviado em 181 vezes. Já nos setores de energia, processos industriais e de mudança de uso da terra e florestas, as emissões foram superiores às das lagoas de lixiviado em 90, 5 e 3 vezes, respectivamente.

Se a emissão por parte das lagoas de acúmulo de lixiviado fossem avaliadas no setor de resíduos, representariam 3% do total de emissão de N_2O pelo setor.

CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a emissão de N_2O em lagoas de acúmulo de lixiviado de um aterro sanitário localizado no Estado do Rio de Janeiro. Obteve-se uma taxa de emissão média de 9820 $\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$ (861 kg N_2O $ha^{-1}ano^{-1}$), sendo esta superior à de áreas de pastagem e no cultivo de cana de açúcar.

O valor da taxa de emissão de N_2O em lagoas de acúmulo de lixiviado, considerando 15 aterros sanitários localizados no Rio de Janeiro, foi de 20 t N_2O ano^{-1}. Comparada as principais fontes de emissão no Estado, como o setor agropecuário, de energia, processos industriais, mudança de uso de terra e florestas e próprio

setor de resíduos, a taxa de emissão de N_2O em lagoas de lixiviado é inferior. No entanto, no que tange ao setor de resíduos, a emissão de N_2O em aterros sanitários não é avaliada no inventário de emissões de GEE. Caso esta fonte de emissão fosse considerada, principalmente as lagoas de acúmulo de lixiviado, a emissão de N_2O no setor de resíduos aumentaria em 3%.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa; à Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul [número de concessão 003.016.001.2020] e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro [número de concessão E-26/202.750/2019] pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Washington: 23rd ed., 2017.
2. BISZEK, M., PAWŁOWSKA, M., CZERWIŃSKI, J. *Evaluation of measurement methods and estimation of biogas emission from landfills*. *Rocznik Ochrona Środowiska*, v. 8, p. 27-43, 2006.
3. BORBA, P.F. DA S., MARTINS, E.M., CORREA, S.M., RITTER, E. Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 101-111, 2018.
4. BROTTO, A.C., DE MELLO, W.Z., KLIGERMAN, D.C., PICCOLI, A.S. *Nitrous oxide emissions from activated sludge wastewater treatment plant with prolonged aeration process*. Química Nova, v. 33, p. 618-623, 2010.
5. CAMPOS, J.C., MOURA, D., COSTA, A.P., YOKOYAMA, L., ARAUJO, F.V. DA F., CAMMAROTA, M.C., CARDILLO. L. *Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate*. *Journal of Environmental Science and Health*, v. 48, p. 1105-1113, 2013.
6. CORRÊA, R.S., MADARI, B.E., CARVALHO, G. D., COSTA, A.R. DA, PEREIRA, A.C.C., MEDEIROS, J. C. Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1148-1155, 2016.
7. CUNHA, C.E.S.C.P. DA, RITTER, E., FERREIRA. J.A. O uso de indicadores de desempenho na avaliação da qualidade operacional dos aterros sanitários do Estado do Rio de Janeiro no triênio 2013-2015. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 345-360, 2020.
8. FOO, K.Y., HAMEED, B.H. *An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 171, p. 54-60, 2009.
9. FRIES, J., GETROST, H. *Organic Reagents for Trace Analysis*, *MERCK* - Método da Brucina, p. 278, 1977.
10. IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. *In Press.*
11. LOPES, I.M., PINHEIRO, E.F.M., LIMA, E., CEDDIA, M.B., CAMPOS, D.V.B., ALVES, B.J.R. Emissões de N_2O em solos sob cultivo de cana-de-açúcar no bioma Mata Atlântica: Efeito dos sistemas de colheita e da adubação com vinhaça. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 5, p. 1930-1943, 2017.
12. MORAVIA, W.G. Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, EE/UFMG, 2007.
13. RENOU, S., GIVAUDAN, J.G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., MOULIN, P. *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n.3, p. 468-493, 2008.
14. RIBEIRO, L. DA S., GOMES, N.A., ALMEIDA, M.V. DE A., PAIVA, W. de. Análise da relação de indicadores físico-químicos do lixiviado gerado em um aterro sanitário no Semiárido Brasileiro. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 17, n. 1, p. 36-42, 2021.
15. SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. SEEG, 2021.
16. WRAGE, N., VELTHOF, G.L., VAN BEUSICHEM, M.L., OENEMA, O. *Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, p. 1723-1732, 2001.
17. YANG, N., DAMGAARD, A., LÜ, F., SHAO, L-M., BROGAARD, L.K-S., HE, P-J. *Environmental impact assessment on the construction and operation of municipal solid waste sanitary landfills in developing countries: China case study*. *Waste Management*, v. 34, p. 929-937, 2014.