

VI-232 – EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NOS TRÓPICOS**Débora Cynamon Kligerma⁽¹⁾**

Engenheira Civil pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ); Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental (UERJ); Mestre em Planejamento Urbano e Regional (IPPUR/UFRJ); Doutor em Planejamento Energético e Ambiental (PPE/COPPE/UFRJ); Pós Doutorado Universidade Federal Fluminense (UFF/RJ); Pesquisadora Titular Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ)

William Zamboni de Mello

Químico Industrial e Mestre pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Mestre em Marine and Atmospheric Chemistry pela University of Miami (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science) (1986); Doutor em Earth Sciences (Geochemical Systems) pela University of New Hampshire; Professor Associado (nível 3) do Departamento de Geoquímica do Instituto de Química da Universidade Federal Fluminense.;

Renato Pereira Ribeiro

Químico pela Universidade Federal Fluminense (UFF); mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental da UFF;

Ariane Coelho Brotto – Química Universidade Federal Fluminense (UFF); mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental da UFF;

Jaime Lopes da Mota Oliveira

Graduado em Ciências Biológicas, Mestre e Doutor em Ciências (Microbiologia) todos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professor/pesquisador e técnico do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública/Fundação Oswaldo Cruz.

Endereço⁽¹⁾: Rua Leopoldo Bulhões 1480, 5º andar –Manguinhos – Rio de Janeiro – RJ - CEP: 21041-210 - Brasil - Tel: (21) 2598-2745 - e-mail: kliger@ensp.fiocruz.br

RESUMO

Na atualidade preocupa-se com o aumento da poluição dos corpos d'água. A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é um importante instrumento no controle da poluição. Países em desenvolvimento, como o Brasil estão buscando um aumento deste serviço, mas, além disso, deve-se questionar o tipo e grau de tratamento, o gasto energético e o impacto ambiental e na saúde humana dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos. O tratamento de esgoto constitui uma das fontes antropogênicas do óxido nitroso (N_2O), um dos gases que causa o efeito estufa, o segundo composto de nitrogênio (N) mais abundante. O óxido nitroso (N_2O), gás do efeito estufa, 300 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO_2) e que contribui para a destruição da camada de ozônio pode ser emitido durante o tratamento de esgoto. O IPCC recomenda um valor de 3.2 (2-8) g N_2O ano⁻¹ baseado no estudo realizado por Czepiel et al.(1995), na ETE de Durham nos Estados Unidos. O objetivo deste trabalho é mostrar uma pesquisa que vem sendo desenvolvida no Estado do Rio de Janeiro desde outubro de 2007, tendo sido realizado em quatro ETES. As quatro ETES variam em porte e também no processo de aeração. Conclui-se que um dos principais fatores contribuintes para emissão do óxido nitroso é a concentração de oxigênio dissolvido no esgoto, sendo que a taxa e tipo de aeração devem ser cuidadosamente planejados e controlados.

PALAVRAS-CHAVE: Emissão de óxido nitroso, tratamento de esgoto, trópicos.

INTRODUÇÃO

O N_2O é um gás que contribui tanto para o aquecimento global quanto para a destruição da camada de O_3 . O seu potencial de aquecimento é 320 vezes maior que o CO_2 e tem um tempo de vida na atmosfera de 120 anos (IPCC, 2000, 2001). Sabe-se que há diferentes fontes antropogênicas de emissão deste gás. Uma destas fontes é o esgoto.

Segundo Moiser et al. (1999) a emissão global de N_2O do tratamento de esgoto, em 1990, foi estimada em 0,22 TgN ano⁻¹, o que corresponde a 3,2% da emissão antropogênica total de N_2O e 1,3% da emissão total de N_2O (respectivamente 6,9 e 16,4 TgN ano⁻¹, IPCC 2001). Frijns et al., (2008) estima que a emissão total de N_2O do

ciclo total de uso da água desde a produção, rede de distribuição de água, rede de coleta do esgoto, tratamento do esgoto e do lodo e sua descarga é de 26% da emissão total de gases do efeito estufa.

Observa-se que os principais processos e a magnitude de emissão do N_2O em ETEs são relativamente desconhecidos e pouco avaliados diretamente nessas fontes. Alguns estudos foram realizados em países de clima temperado 7 em escala real e 22 em escala laboratorial, onde os fluxos de emissão de N_2O foram variáveis e associados a diferentes processos de tratamento e dependentes de parâmetros operacionais e condições ambientais (Kampschreur, 2009).

O *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC) adota como fator de emissão de N_2O 3,2 g N_2O pessoa⁻¹ ano⁻¹ para o caso de ETEs com processos de nitrificação e desnitrificação controlados, cuja origem é o estudo de Czepiel et al. (1995) conduzido numa ETE municipal em Durham (NH, EUA), que atende a uma população de 12.500 habitantes e uma vazão afluyente de esgoto de 46 L s⁻¹.

Sabe-se que no Brasil somente 42% do esgoto gerado são coletados e deste montante 32,5% são tratados (Trata Brasil, 2009). O tratamento de esgoto tem como objetivo depurar a matéria orgânica para que seja atendido o padrão de lançamento de efluentes (Resolução CONAMA 357/2005) e não haja impacto no recurso hídrico, no entanto, não há padrões de lançamento de gases e durante o processo de tratamento de esgoto, gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) são produzidos e transferidos para a atmosfera.

Portanto, este trabalho visa mostrar a pesquisa que vem sendo desenvolvida desde 2007 e que objetiva identificar tanto os fatores de emissão de N_2O quanto os fatores operacionais contribuintes para produção e emissão de N_2O em diferentes ETEs em ambiente de clima tropical e compará-los com os adotados pelo IPCC.

ETEs ESTUDADAS

A primeira ETE, em uma instituição de pesquisa e ensino na área de saúde pública na cidade do Rio de Janeiro, tem funcionamento contínuo e atende a aproximadamente 2.500 usuários. O esgoto afluyente à ETE vem de laboratórios de pesquisa e de teste de medicamentos, unidades de manutenção de animais e unidades administrativas. É uma ETE que utiliza o processo de lodos ativados por aeração prolongada, com vazão afluyente de esgoto de 41 m³ hora⁻¹ ($9,8 \times 10^2$ m³ dia⁻¹). A aeração do reator biológico e do digestor de lodo é feita por meio de 195 difusores fixos de ar, dos quais 141 estão no tanque de aeração (460 m³ hora⁻¹) e 54 no digestor de lodo (240 m³ hora⁻¹). A eficiência da remoção da DBO é de 95% (Brotto et al, 2010). O objetivo desta primeira etapa da pesquisa, que ocorreu de outubro de 2007 até dezembro de 2008, foi identificar a magnitude da taxa de emissão de N_2O da ETE e a unidade de maior emissão do N_2O .

A segunda ETE pertence a um município na Região Serrana do RJ e atende a um bairro cuja população é de 2.000 usuários. É uma ETE compacta que utiliza o processo de lodos ativados por aeração intermitente, sendo 1 hora de aeração e 30 minutos sem aeração. A vazão afluyente de esgoto de 25,2 m³ hora⁻¹ ($6,05 \times 10^2$ m³ dia⁻¹). A aeração é feita por 75 difusores porosos no tanque de aeração (422 m³ hora⁻¹) e 12 difusores fixos (42 m³ hora⁻¹) no digestor de lodo. A eficiência média da remoção da DBO foi 98,8%. O objetivo da pesquisa realizada nessa ETE, que ocorreu em uma campanha no período de 21 a 28 de agosto de 2009, foi comprovar a forte relação entre a aeração e a produção e emissão de N_2O .

A terceira ETE, localizada no município do Rio de Janeiro, atende a bairros do centro e da zona norte, uma população de 474 mil de habitantes. É uma ETE de grande porte que utiliza o processo de lodos ativados convencional. A vazão afluyente média é de 54,0 x 10² m³ hora⁻¹ ($12,9 \times 10^4$ m³ dia⁻¹). São 4 tanques de aeração que contêm 6 zonas cada. A aeração é diferenciada por zona, totalizando 20,0 x 10³ m³ hora⁻¹. Nesta ETE, a primeira etapa se realizou de dezembro de 2009 a julho de 2010 somente no tanque de aeração e teve como objetivo comprovar a relação entre a taxa de aeração e a emissão de N_2O , como também verificar a variação da concentração de OD e relacioná-lo com o fluxo de N_2O . A segunda etapa se iniciou em dezembro de 2010, também no tanque de aeração, visando comprovar a relação entre o fluxo de óxido nítrico e: insuflação de ar; variação de temperatura e a concentração de nitrito e nitrato.

A quarta ETE, localizada no município de Niterói, atendendo ao centro e parte da zona norte e uma população de 80 mil habitantes. A ETE é dividida em duas partes, a parte mais antiga realizada tratamento anaeróbio antes do aeróbio. O tratamento anaeróbio é realizado por reator de fluxo ascendente e o aeróbio é realizado por meio de biodisco. A parte mais nova realiza tratamento por lodos ativados convencional sem decantador primário e

com aeração realizada por difusores tubulares de painel retangular fixo ao fundo do tanque.. A vazão de ar é de $54,0 \times 10^2 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$. A vazão afluyente de esgoto é de $666 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ($15,98 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$).

Nesta ETE, a pesquisa se realizou de janeiro a julho de 2010. Visou comprovar a relação entre a aeração e a emissão de N_2O , como também verificar a variação da concentração de OD e relacioná-lo com o fluxo de N_2O .

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estimar as taxas de emissão do N_2O são utilizados 2 métodos: câmara estática e o funil emborcado. (Brotto et al, 2010)

A câmara estática é utilizada para determinação direta dos fluxos de N_2O na interface líquido-atmosfera, em superfícies líquidas sem turbulência. O método da câmara estática consiste no uso de uma câmara de PVC (policloreto de vinila) em formato cilíndrico (diâmetro interno = 24 cm; altura = 10 cm), a qual é ajustada uma placa de isopor de 2,5 cm de espessura, para que permita sua flutuação. Uma vez a câmara assentada à superfície do líquido é coletada uma amostra de ar atmosférico e em seguida, 4 amostras de ar são coletadas do interior da câmara em intervalos de tempo iguais. Com os resultados das concentrações de N_2O dessas 5 amostras o fluxo (F) de N_2O é calculado através da seguinte equação:

$$F = h \times dC/dt|_{t=0}, \quad [1]$$

onde h representa a altura entre a superfície do líquido e o topo da câmara (~8 cm) e $dC/dt|_{t=0}$ a variação da concentração de N_2O no interior da câmara, a partir da concentração atmosférica inicial, em função do tempo.

O método do funil emborcado é utilizado em superfícies com turbulência. Este método permite a captação de bolhas que se desprendem da superfície do esgoto, utiliza um funil de polietileno de 30 cm de diâmetro (área = $0,071 \text{ m}^2$) acoplado de um tubo de PVC, que por dentro se fixou um tubo plástico, que se estende do meio do gargalo do funil até a outra extremidade do tubo de PVC de onde é retirada a amostra. A taxa de emissão (TE) de N_2O da superfície do líquido é calculada através do produto da vazão total de ar injetado (Q) no tanque de aeração e no digestor de lodo pela diferença entre a concentração de N_2O nas bolhas que afloram na superfície do lodo e a concentração atmosférica, $\Delta[\text{N}_2\text{O}]$. Assim, tem-se:

$$TE = Q \times \Delta[\text{N}_2\text{O}] \quad [2]$$

$$\Delta[\text{N}_2\text{O}] = [\text{N}_2\text{O}]_{\text{bolhas}} - [\text{N}_2\text{O}]_{\text{ar}} \quad [3]$$

A concentração do N_2O no meio líquido é medida da técnica do equilíbrio em *headspace*, é a mesma técnica descrita por Guimarães e de Mello (2008) para água do mar e semelhante à utilizada por Czepiel *et al.* para extração de N_2O do esgoto em estação de tratamento de esgoto. Para isso, coleta-se 30 ml de amostra de líquido em seringa de 60 ml evitando-se a presença de bolhas de ar na amostra. Em seguida, a seringa é preenchida com igual volume de ar atmosférico e a amostra é agitada manualmente por 200 vezes, e, em seguida, o ar contido no *headspace* da seringa é transferido para outra seringa seca. A concentração de N_2O no esgoto, em nmol L^{-1} , foi obtida através da equação abaixo:

$$C_{\text{líquido}} = (K_0 \times C_{\text{hs(f)}}) + [(P/RT) \times (C_{\text{hs(f)}} - C_{\text{hs(i)}})] \quad [4]$$

onde $C_{\text{hs(f)}}$ e $C_{\text{hs(i)}}$ são respectivamente as concentrações de N_2O (em ppb) final (após agitação) e inicial (concentração de N_2O no ar ambiente) no *headspace* da seringa, K_0 é o coeficiente de solubilidade do N_2O ¹⁰, P a pressão atmosférica, R a constante universal dos gases e T a temperatura do líquido na condição de equilíbrio (adotou-se a temperatura ambiente).

Paralelamente à realização das coletas de amostras para estimativa do N_2O é também medida a temperatura do ar e utilizada uma sonda multiparâmetro (modelo HANNA.HI9828.) no meio líquido para medir: oxigênio dissolvido; temperatura, pH, condutividade, pressão, salinidade, ORP.

Além das análises de N_2O , são também coletadas amostras da entrada e saída das ETEs para realização das análises Nitrogênio total, Amônia, Nitrito e Nitrato e DQO.

O N_2O , em amostras de ar (atmosférico, do interior da câmara e do funil) e do *headspace* resultante das extrações de amostras líquidas, foi analisado por cromatografia a gás num equipamento Shimadzu modelo GC-17A com detector de captura de elétrons (Ni^{63}). As especificidades dessa determinação encontram-se detalhadamente descritas em Guimarães e de Mello (2008).

RESULTADOS OBTIDOS

Na pesquisa realizada na ETE 1, a taxa de emissão total de N_2O obtida foi de $3,2 \times 10^4$ g N_2O ano⁻¹, sendo as contribuições parciais: tanque de aeração (90%), recirculação do lodo (5%), digestor de lodo (3%), entrada do esgoto bruto-caixa de areia (1%), efluente (1%) e decantador secundário (<<1%). Essa distribuição é semelhante à encontrada por Czepiel et al. (1995) que identificaram que 90% das emissões de N_2O da ETE de Durham (NH, EUA) originavam-se do tanque de aeração, 5% da caixa de areia e 5% do tanque de estocagem de lodo. As variações temporais associadas ao desprendimento de N_2O do tanque de aeração e na recirculação do lodo são, entretanto, significativamente altas.

A ETE1 apresentou taxa média de emissão de 88 g N_2O dia⁻¹. Considerando-se que a ETE1 atende a cerca de 2.500 usuários e possui uma vazão de entrada de esgoto de 41 m³ h⁻¹ ($9,8 \times 10^2$ m³ dia⁻¹), os fatores de emissão (FEs) de N_2O per capita e por vazão de esgoto tratado são 13 g N_2O pessoa⁻¹ ano⁻¹; $9,0 \times 10^{-5}$ g N_2O L_{esgoto}⁻¹ e 0,14 % da carga de N. Esses FEs, destacando-se o último, são superiores àqueles obtidos por Czepiel et al., 3,2 (faixa: 2-8) g N_2O pessoa⁻¹ ano⁻¹; $1,6 \times 10^{-6}$ g N_2O L_{esgoto}⁻¹ e 0,035% da carga de N, numa ETE, destinada ao tratamento de esgoto exclusivamente doméstico.

A partir da pesquisa realizada na ETE1, o trabalho realizado na ETE 2 foi a verificação do fluxo de óxido nitroso no tanque de aeração. Esta ETE se localiza em um município na altitude de 630 m, com temperatura anual média de 20°C. O tanque de aeração tinha 2 fendas, A e B. Observou-se que a emissão e a concentração do N_2O aumentaram durante o período de aeração. A figura 1 e figura 2 mostram a variação do fluxo de N_2O no tanque de aeração durante o ciclo de aeração e não aeração nos dias 22 e 25 de agosto, respectivamente.

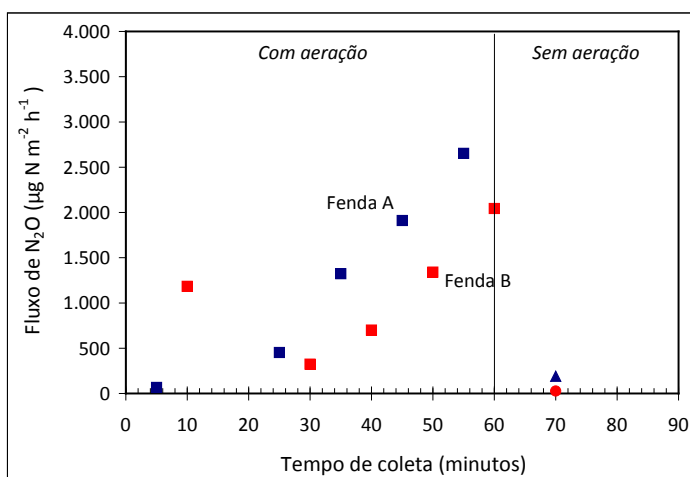


Figura 1 – Variação do Fluxo de N_2O no tanque de aeração no dia 22 de agosto de 2010

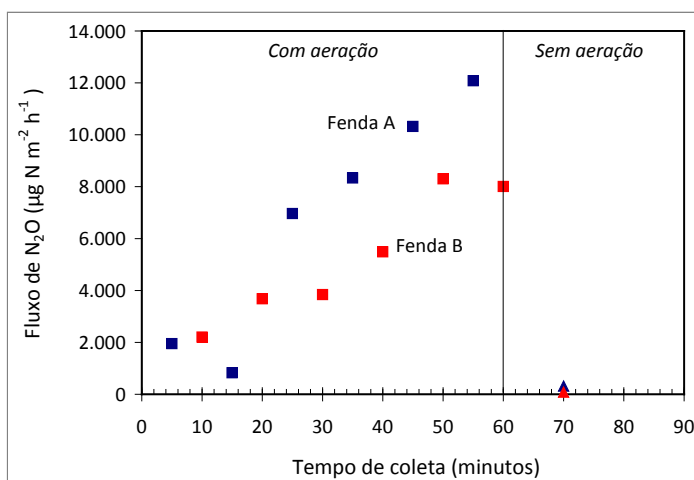


Figura 2 – Variação do Fluxo de N_2O no tanque de aeração no dia 25 de agosto de 2010

Durante os 30 minutos de sem aeração, a concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido atingiu níveis indetectáveis em menos de 10 minutos após a interrupção da aeração, mas a concentração de N_2O continuou crescendo durante 20 minutos após a interrupção da aeração e então decresceu abruptamente. Durante os 7 dias da pesquisa, o tanque de aeração mostrou uma taxa média de emissão de $48 \text{ g } N_2O \text{ dia}^{-1}$ sendo 99,6% desta emitida durante o período de aeração. Os fatores de emissão baseados na vazão de $25,2 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ($6,05 \times 10^2 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$) e uma população atendida de 2000 habitantes foram de $8,8 \text{ g } N_2O \text{ pessoa}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $8,0 \times 10^{-5} \text{ g } N_2O \text{ L}_{\text{esgoto}}^{-1}$ e 0,10% da carga de N, valores superiores aos encontrados por Czepiel et al. (1995) e próximo dos valores encontrados na ETE 1 (Brotto et al., 2010). Através do estudo da ETE2 com aeração intermitente houve a possibilidade de observar que o N_2O é produzido nas fases com e sem aeração, mas que a aeração acelera a transferência de N_2O para a atmosfera.

Também verificou-se que o fluxo de óxido nitroso aumenta com o aumento da concentração de nitrito (NO_2^-), como pode ser observado na figura 3

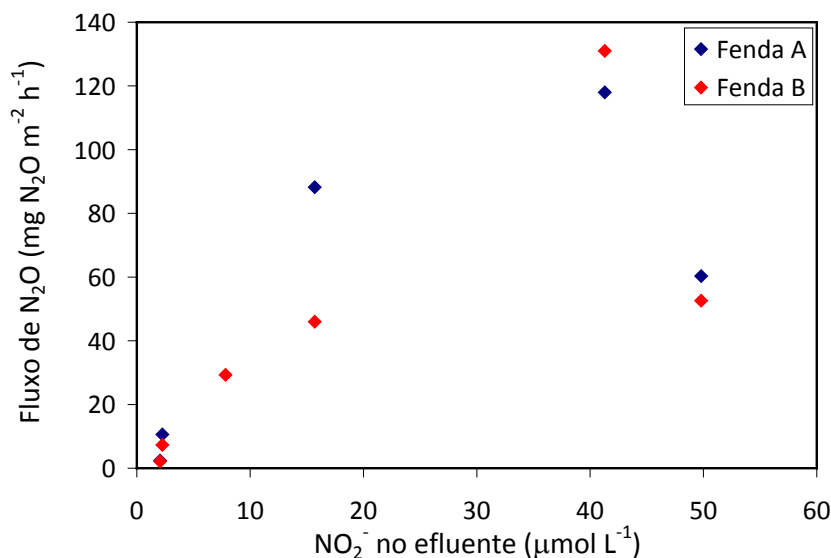


Figura 3 – variação do fluxo de óxido nitroso em relação a concentração de nitrito no esgoto

Na ETE 3, a pesquisa foi realizada somente no tanque de aeração. Nesta ETE o tanque de aeração A taxa média de emissão de $1,6 \times 10^3 \text{ g } N_2O \text{ dia}^{-1}$. Considerando que esta ETE atende a 474000 habitantes e possui uma vazão de entrada de esgoto de $54,0 \times 10^2 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ($12,9 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$), os fatores de emissão (FEs) médios de N_2O per capita e por vazão de esgoto tratado são $1,2 \text{ g } N_2O \text{ pessoa}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $1,12 \times 10^{-5} \text{ g } N_2O \text{ L}_{\text{esgoto}}^{-1}$ e 0,022 da carga de N. Observa-se que os valores são inferiores aos obtidos por Czepiel et al (1995) e estabelecidos como padrão do IPCC. A explicação para este fato pode estar no processo de aeração que é diferenciado por zona, fazendo com que haja degradação da matéria orgânica ao longo das zonas e diminuição da emissão de óxido nitroso. Algumas hipóteses ainda estão sendo testadas, como a relação do fluxo de óxido nitroso e: a insuflação de ar; a variação da temperatura e a concentração de nitrito no esgoto. A Figura 3 mostra a variação das emissões de N_2O em função das concentrações de OD.

Observa-se, na figura 4, a variação do OD em cada uma das seis zonas que está relacionada à quantidade de ar injetado e às atividades microbiológicas que envolvem o consumo da matéria carbonácea. A maior emissão média de N_2O foi verificada na ZN5, onde a concentração média de OD foi de aproximadamente $3,0 \text{ mg L}^{-1}$.

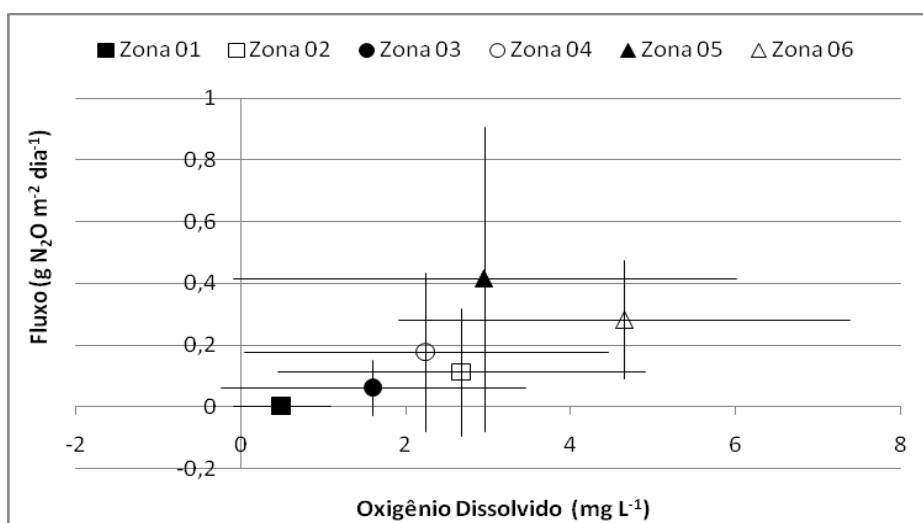


Figura 4 - Variação das emissões de óxido nitroso em função das concentrações de OD nas 6 zonas dos 4 tanques de aeração.

Na ETE 4, a pesquisa foi realizada somente no tanque de aeração. A taxa média de emissão de $1,1 \times 10^3 \text{ g N}_2\text{O dia}^{-1}$. Considerando que a parte 2 da ETE onde foi realizada a pesquisa atende a 60500 habitantes e possui uma vazão de entrada de esgoto de $666 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ($15,98 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$).

Os fatores de emissão (FEs) médios de N_2O per capita e por vazão de esgoto tratado são $8,1 \text{ g N}_2\text{O pessoa}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $8,03 \times 10^{-5} \text{ g N}_2\text{O L}_{\text{esgoto}}^{-1}$ e $0,12\%$ da carga de N. O FE estimado exclusivamente para o tanque de aeração é quase 3 vezes o valor proposto pelo IPCC e bem próximos aos encontrados na ETE2.

A figura 5 mostra a variação do fluxo de óxido nitroso em relação às concentrações de oxigênio dissolvido no período de janeiro a julho de 2010.

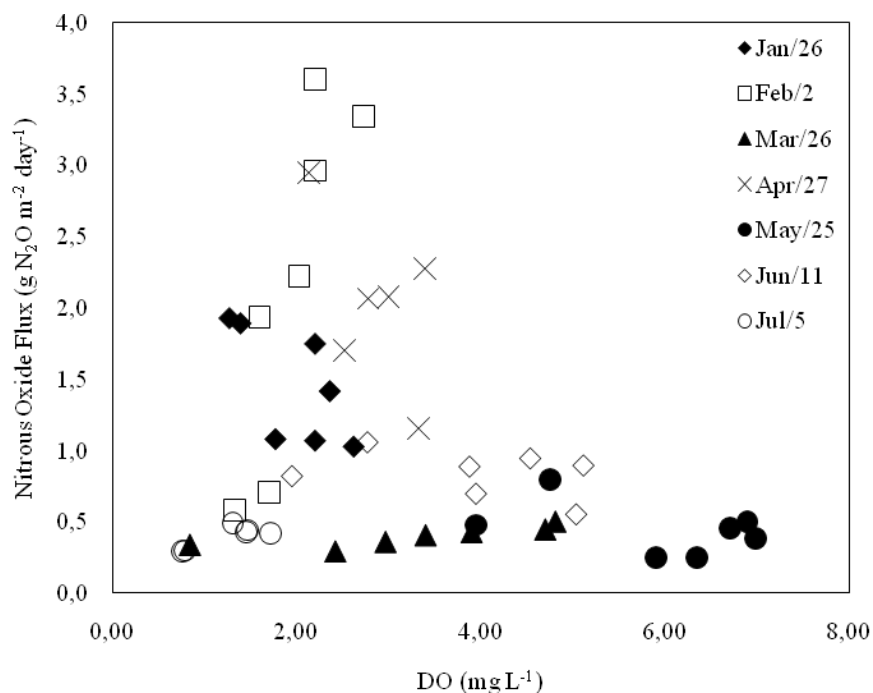


Figura 5 – Variação do fluxo de óxido nitroso em função das concentrações de OD

Observa-se que os maiores fluxos ocorreram entre 1,0 mg L⁻¹ e 3,4 mg L⁻¹. Também verifica-se que há relação entre o aumento da concentração de nitrito e o aumento do fluxo de óxido nitroso

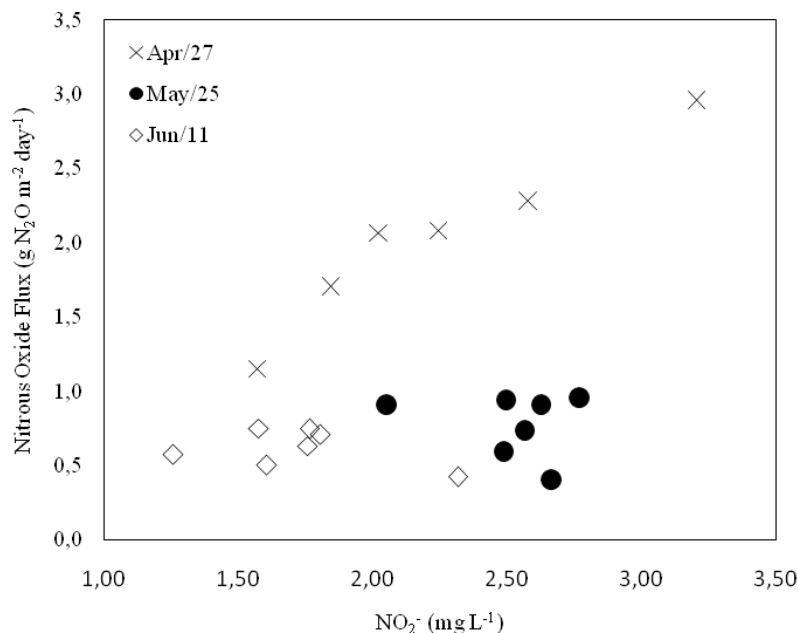


Figura 6 – variação do fluxo de óxido nitroso e a concentração de nitrito no esgoto

CONCLUSÕES

A pesquisa que está sendo realizada é inédita e visa observar os fatores contribuintes para produção e emissão de óxido nitroso em ETEs em um país tropical e estar contribuindo para discussão e o estabelecimento de novos valores no IPCC.

Com base em pesquisa de coleta de dados primários em ETEs do município e do estado do Rio de Janeiro encontrou fatores de emissão ETE1 (13 g N₂O pessoa⁻¹ ano⁻¹), ETE2(8,8 g N₂O pessoa⁻¹ ano⁻¹) e ETE 4 (8,1 g N₂O pessoa⁻¹ ano⁻¹) superiores aos encontrados por Czepiel et al (1995). Na ETE 3 (1,2 g N₂O pessoa⁻¹ ano⁻¹) verificou-se um fluxo inferior ao de Czepiel et al (1995), ETE de Durham nos Estados Unidos e utilizados pelo IPCC.

Com base nos valores encontrados questionam-se algumas hipóteses como a relação entre o fluxo de óxido nitroso e: insuflação de ar e a concentração de nitrito. Observou-se que o N₂O é produzido tanto na aeração quanto na não-aeração, mas a aeração acelera a emissão do óxido nitroso. Durante o período de não-aeração há produção, mas a emissão é bem menor, pois é realizada por difusão.

O estudo da ETE3 permitiu avaliar que a aeração escalonada permite reduzir a emissão de óxido nitroso.

A pesquisa ainda continua na ETE 3 e esperamos logo poder afirmar os fatores operacionais que mais contribuem com a emissão do óxido nitroso em ETEs. Sabe-se que o fluxo do óxido nitroso está relacionado com a eficiência da ETE em termos de redução de nutrientes.

Espera-se que este trabalho contribua com uma maior conscientização em relação aos fatores de emissão deste gás do efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico tanto pelas duas bolsas de iniciação científica (PIBIC/FIOCRUZ) de Ariane Coelho Brotto (2007 e 2008), Renato Pereira Ribeiro (2009-2010) e pelo financiamento do projeto nº 403571/2008-1 do Programa Estratégico em Saúde - PAPES V/FIOCRUZ e pelo Projeto Universal Proc.477073/2007-7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KAMPSCHREUR, M.J.; TEMMINK, H.; KLEEREBEZEM, R.; JETTEN, M.S.M.; VAN LOOSDRECHT, M.C.M. Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Wastewater Research*, v.43, p. 4093-4103. 2009
2. GUIMARÃES, G.P.; DE MELLO, W. Z.; Fluxos de Óxido Nitroso na Interface Ar-Mar na Baía de Guanabara. *Química. Nova*, v.31, nº7, p.1613-1620. 2008
3. CZEPIEL, P.; CRILL, P.; HARRISS, R. Nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment. *Environmental Science and Technology*, v.29, p. 2352-2356. 1995.
4. BROTTTO, A. C.; KLIGERMAN, D. C.; PICCOLI, A.S.; DE MELLO, W.Z.. Emissão de óxido nitroso de estação de tratamento de esgotos de lodos ativados por aeração prolongada-estudo preliminar. *Química Nova* (Impresso) ^{JCR}, v. 33, p. 618-623, 2010.