



II-257 - TOLERÂNCIA DE LODO ANAERÓBIO À OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Silvania Nóbrega Oliveira

Graduanda do Curso de Biologia da Universidade Estadual da Paraíba e bolsista IC do CNPq .

Heraldo Antunes Silva Filho

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Professor do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

Márcio Camargo de Melo

Biólogo pela Universidade de Caxias do Sul/RS. Mestre em Engenharia Civil (Geotecnia) pela Universidade Federal de Pernambuco

Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti ⁽¹⁾

Professora da Universidade Federal de Campina Grande.

Adriannus C van Haandel

Professor da Universidade Federal de Campina Grande.

Endereço⁽¹⁾: DEC/UFCG: Rua Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó – Campina Grande - PB - CEP: 58109-970 - Brasil - Tel: (83) 88646917 - e-mail: prosab@uol.com.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de um experimento realizado para estabelecer o efeito da presença de oxigênio dissolvido sobre a capacidade metabólica de lodo gerado sob condições anaeróbias. Foram operados reatores UASB em escala de bancada e alimentados com esgoto municipal contendo diferentes concentrações de oxigênio dissolvido. Os resultados mostraram que, mesmo contendo concentrações elevadas de oxigênio no afluente, não se observou efeitos significativos no desempenho dos reatores quanto à remoção de DQO nem quanto à atividade metanogênica específica. O lodo anaeróbio submetido a testes respirométricos aeróbios consumiu oxigênio a taxas equivalentes à de lodo aeróbio com boa capacidade metabólica. Ficou estabelecido que aeração controlada (1-3 mgO₂/L) apenas por períodos maiores que 9 horas reduz a atividade metanogênica específica do lodo anaeróbio e requerem longos períodos para a recuperação parcial da atividade metanogênica original.

PALAVRAS-CHAVE: digestão anaeróbia, tolerância a oxigênio dissolvido, respirometria.

INTRODUÇÃO

Em geral, ao se projetar e operar sistemas anaeróbios de tratamento, a exemplo de reatores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), são tomados cuidados para se evitar a introdução de oxigênio conjuntamente com o afluente. Tais cuidados são decorrentes de informações dadas sobre a baixa tolerância de bactérias, denominadas estritamente anaeróbias, à presença de oxigênio dissolvido. No entanto, a presença de bactérias facultativas no lodo anaeróbio pode garantir um ambiente anaeróbio no interior do reator (VÁZQUEZ *et al.*, 2001 e KATO, M.T. 1994).

A respirometria é uma técnica baseada na medição do consumo de oxigênio por parte dos microrganismos, durante o catabolismo oxidativo. Testes respirométricos podem determinar a taxa de utilização de oxigênio dissolvido (TCO) por bactérias durante o metabolismo oxidativo aeróbio (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A partir dessas considerações foi realizada uma investigação experimental que teve como objetivos específicos: (1) avaliar quantitativamente a influência da presença de oxigênio dissolvido (OD) sobre o desempenho de reatores UASB, tratando esgoto municipal; (2) determinar através de testes respirométricos a taxa de consumo de oxigênio (TCO) de lodo anaeróbio, gerado a partir de esgoto e simultaneamente (3) a variação temporal da atividade metanogênica específica (AME) deste lodo submetido à aeração controlada.

MATERIAL E MÉTODOS

A investigação experimental ocorreu em duas etapas. Na 1ª etapa procurou-se alcançar o 1º objetivo, operando-se quatro reatores anaeróbios do tipo UASB (R1, R2, R3 e R4) alimentados com esgoto municipal, após receber tratamento preliminar e primário. Os reatores eram em escala de bancada e confeccionados em PVC rígido (Figura 1), possuíam volume útil de 12 litros e foram operados com um tempo de detenção hidráulica (R_h) de 6 horas. Inicialmente os reatores foram inoculados com lodo anaeróbio e alimentados com esgoto bruto municipal, sendo operados até se estabelecer desempenho estável em termos de remoção de demanda química de oxigênio (DQO) e de sólidos suspensos voláteis (SSV). A partir daí e durante 12 semanas, apenas o afluente do reator R1 passava por um recipiente onde era aerado antes de ser introduzido no fundo do reator com uma concentração de OD de 6 mg/L. A vazão afluente nos quatro reatores era mantida constante e igual a 2 L/h. Durante a operação não foi feito descarte intencional de lodo e a idade de lodo foi determinada em cerca de 35 dias.

Foram realizadas, em média, duas análises semanais, das seguintes variáveis: DQO e SSV, conforme recomendações do Standard Methods (1995) e alcalinidade total (Alc_{tot}) e ácidos graxos voláteis (AGV) pelo método Kapp, conforme descrito por CAVALCANTI e VAN HAANDEL (2001). Também foram realizados testes de atividade metanogênica específica (AME), seguindo o protocolo descrito por CHERNICHARO (1997).

Na 2ª etapa da investigação foram utilizados os lodos dos reatores R2, R3 e R4. O conteúdo de cada reator foi concentrado, separadamente, num volume de 10 litros. Antes de se iniciar a aeração controlada pelo respirômetro, uma amostra do lodo concentrado era tomada para medir a TCO específica. As amostras eram diluídas com o efluente do reator de origem para se obter uma concentração de SSV de aproximadamente 2 g/L. O substrato utilizado foi acetato de sódio (240 mg/L, em termos de DQO). Os testes de TCO foram realizados conforme descrito CATUNDA *et al.* (1996), utilizando-se o respirômetro Beluga, do tipo aberto e de aeração semi-contínua. A aeração era controlada pelo *software* S3.2c, que ativava o aerador quando a concentração de OD atingia o limite inferior estabelecido de 1 mg/L, desativando-o quando esta atingia o limite superior também estabelecido de 3 mg/L, iniciando, assim, ciclos de períodos com e sem aeração. Durante os períodos sem aeração, o Beluga calculava a TCO utilizando os dados adquiridos da diminuição da concentração de OD, através de regressão linear, sendo esta taxa expressa como:

$$TCO = (dOD/dt) = (OD_{max} - OD_{min})/\Delta t \quad (1)$$

Onde: TCO é a taxa de consumo de oxigênio ($mgO_2.L^{-1}.h^{-1}$); OD_{max} é a concentração de oxigênio dissolvido de referência superior; OD_{min} é a de referência inferior e, Δt é a variação do tempo.



Figura 1 Foto dos reatores UASB.

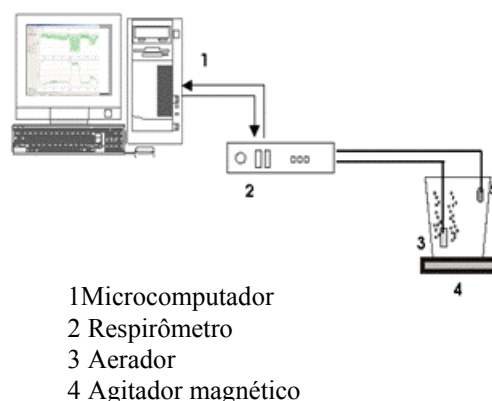


Figura 2 Esquema dos aparatos usados nos testes respirométricos.



O lodo restante dos 10 litros (> 9 litros) de cada reator foi submetido à aeração contínua e de forma controlada, mantendo-se a concentração de OD entre 1 e 3 mg/L. Durante a aeração, amostras do lodo eram tomadas para determinar a redução na atividade metanogênica específica (AME). Foram realizados três testes com duração de aeração de 3, 24 e 48 horas

RESULTADOS E DISCUSSÃO

OBJETIVO 1

Na **Tabela 1** encontram-se os valores médios das variáveis investigadas durante o período (100 dias) onde apenas o reator R1 era alimentado com afluente aerado com concentração de OD de 6 mg/L. Os resultados mostram que a eficiência de remoção de DQO no reator R1 não foi afetada pela introdução de oxigênio. Também a atividade metanogênica específica (AME) dos quatro lodos foi mantida entre 0,10 a 0,12 mgDQOmgSSV⁻¹d⁻¹, podendo-se concluir que o O₂ introduzido no reator R1 era consumido pelo lodo. Os valores baixos de DQO (eficiência entre 75% a 81%) e de AGV no efluente dos reatores (<1 mmol/L), confirmam o bom desempenho a estabilidade operacional dos quatro reatores.

Tabela 1: Valores médios das variáveis investigadas durante a operação dos quatro reatores, tendo-se o R1 alimentado com afluente aerado (6 mgOD/L).

Variáveis	Afluente	Efluente homogeneizado			
		R1	R2	R3	R4
DQO (mgO ₂ /L)	383	73	96	92	73
Alc _{tot} (mgCaCO ₃ /L)	421	423	367	443	443
AGV (mgHAc/L)	83	20	38	24	26
		Lodo homogeneizado			
		R1	R2	R3	R4
AME (mgDQOmgSSV ⁻¹ d ⁻¹))		0,10	0,12	0,12	0,11

OBJETIVO 2

Foram realizados, sequencialmente, três testes respirométricos com lodo dos reatores R2, R3 e R4 para determinar a taxa de consumo de oxigênio (TCO) específica e máxima. Esses lodos foram gerados sob condições anaeróbias estritas. A **Figura 3** contém um respirograma típico obtido com o lodo R3, vendo-se na janela superior os valores da concentração de OD e na inferior a TCO calculada pelo software de respirômetro. Nos testes foram usados lodo diluído com concentração de 2,3 gSSV/L. Pode-se observar, na **Figura 3**, que a TCO antes da adição do substrato era aproximadamente 10 mg.L⁻¹.h⁻¹ (TCO atribuída à respiração endógena demandada por bactérias facultativas) e que esta aumentou gradualmente após a adição de 240 mgDQO/L como acetato. Devido à utilização do substrato (respiração exógena) a TCO atingiu 40 mg.L⁻¹.h⁻¹, retornando ao seu valor endógeno após utilizar todo o substrato. A TCO máxima exógena (40 – 10 = 30 mg.L⁻¹.h⁻¹) é alcançada justamente antes da utilização total do substrato adicionado.

Com ajuda do respirograma, pode-se calcular a TCO endógena específica como $10/2,3 = 4,3$ mgOD.gSSV⁻¹.h⁻¹ ou 104 mgOD.gSSV⁻¹.d⁻¹. Esse valor se compara aos normalmente encontrados em amostras de lodo de sistemas de lodo ativado. A TCO máxima específica pode ser calculada como $30/2,3 = 13$ mgOD.gSSV⁻¹.h⁻¹ ou 313 mgOD.gSSV⁻¹.d⁻¹. Os valores determinados para a TCO exógena e endógena são muito superiores a taxa de oxigênio introduzido na operação do reator R1, calculada como $(6 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1} \cdot 2 \text{ L.h}^{-1}) / (8 \text{ gSSV.L}^{-1} \cdot 12 \text{ L}) = 0,125 \text{ mgO}_2.\text{gSSV}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Similarmente foram realizados testes respirométricos com o lodo dos reatores R2 e R4 e calculadas as TCO específicas a partir dos respirogramas gerados.

Na **Tabela 2** estão apresentados os valores das TCO máximas específicas determinadas para os três lodos, a razão entre a TCO máxima exógena e endógena e a fração de DQO oxidada (última coluna). A razão TCO_{ex}/TCO_{end} é indicativa da capacidade metabólica de lodo aeróbio (VAN HAANDEL and VAN DER LUBBE, 2007). O valor médio de 3,3 para essa razão mostra que a capacidade metabólica de lodo anaeróbio em ambiente aerado se equivale à de lodo ativado de boa capacidade.

É interessante observar que o software do respirômetro possibilita calcular a demanda de oxigênio durante a utilização do substrato adicionado. Isso pode ser feito integrando-se a curva da TCO exógena. No exemplo da **Figura 3** o consumo total de oxigênio para utilização de 240 mgDQO/L foi de 42 mg/L. A razão OD consumido/DQO adicionada foi calculada como $42/240 = 0,175$ mgOD/mgDQO, que é muito menor que a encontrada para lodo aeróbio (cerca de 0,33 mgOD/mgDQO). Na **Tabela 3** os valores médios para os diferentes lodos também estão apresentados.

Tabela 2: Valores médios da TCO específica endógena e específica máxima exógena, como também da razão entre estas para os três diferentes lodos.

Lodo	TCO_{end} mgOD.gSVS ⁻¹ .d ⁻¹	TCO_{ex} (max) mgOD.gSVS ⁻¹ .d ⁻¹	TCO_{ex}/TCO_{end} (max)	OD/DQO (mgOD/mgCOD)
R2	4,3	13.3	3.1	0.207
R3	3,9	13.0	3,3	0.175
R4	4,5	15.2	3,4	0.189

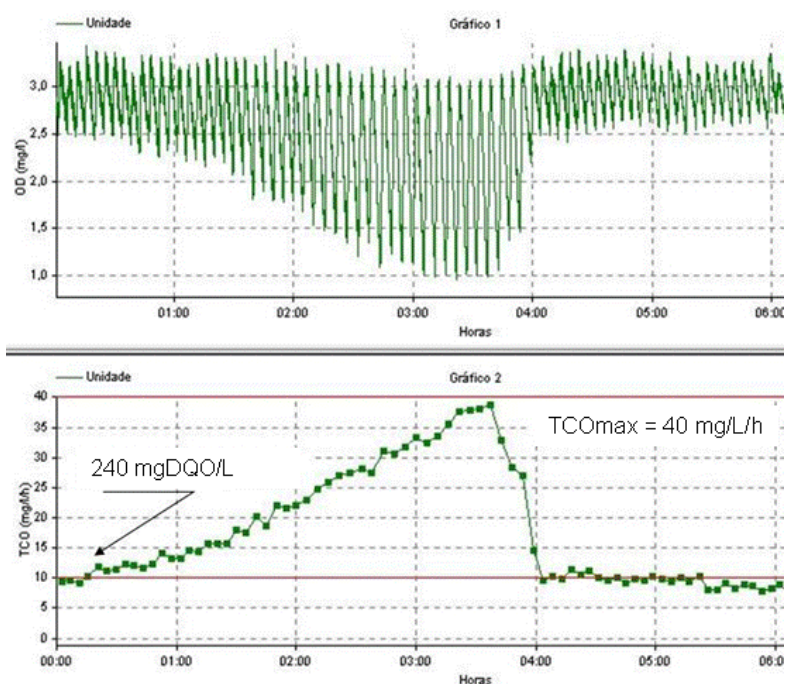


Figura 3: Perfis da concentração de OD e TCO gerados num teste respirométrico. TCO endógena = 10 mg.L⁻¹.h⁻¹ e exógena após a adição de 240 mgDQO /L em função do tempo, do lodo do reator R3.

OBJETIVO 3

A **Tabela 3** contém os valores da AME dos lodos gerados nos reatores R2, R3 e R4, sob condição estritamente anaeróbia, após exposição à aeração por intervalos de tempo diferentes. Em todos os casos a concentração de OD durante a aeração variou de 1 a 3 mg/L. Nessa tabela o percentual de redução nos valores da AME também está apresentado, tendo-se como referência o valor da AME antes dos lodos serem submetidos à aeração. Nas **Figuras (a, b e c)** podem-se ver as curvas de produção de metano durante o teste de AME.



No primeiro teste o lodo foi aerado por um período de apenas 3 horas. Esperava-se que esse período fosse suficiente para reduzir drasticamente o valor da AME. Contudo, os resultados mostraram que não houve redução da AME. No segundo teste a aeração durou 34 horas. Os resultados mostraram claramente que não houve redução no valor da AME durante as primeiras 9 horas de aeração. No terceiro teste, agora com duração de 48 horas, os resultados mostraram redução maior que 50% no valor da AME após 19 horas de aeração. Na **Figura 4** pode-se observar que quanto maior o período de aeração maior é o período para iniciar a produção de metano no teste de AME. Assim, para longos períodos de aeração a recuperação da atividade metanogênica leva um longo tempo e é apenas parcial.

Tabela 3: Valores da AME obtidos com lodo submetido a diferentes períodos de aeração. O percentual de redução da AME também está indicado.

1º Teste (reator R2)			2º Teste (reator R3)			3º Teste (reator R4)		
T _{EXP}	AME	AME (%)	T _{EXP} (h)	AME	AME (%)	T _{EXP} (h)	AME	AME (%)
0	0,116	100,0	0	0,096	100,0	0	0,075	100,0
2min	0,100	86,3	1	0,079	82,3	3	0,070	93,3
5min	0,093	80,3	3	0,101	105,2	6	0,065	86,7
15min	0,094	81,0	6	0,091	94,8	9	0,060	80,0
1hora	0,151	130,5	9	0,105	109,4	19	0,038	50,0
3hora	0,134	116,2	19	0,071	74,0	24	0,025	33,0
-	-	-	24	0,054	56,3	48	0,024	32,0

Onde: T_{EXE} = Tempo de Exposição à aeração controlada; AME (%) = Percentagem da redução da AME em relação a AME do lodo não aerado (T_{EXP}=0).

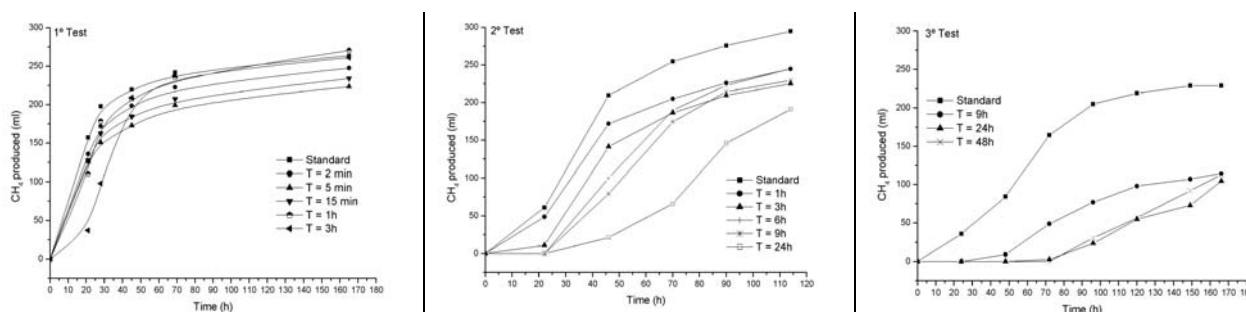


Figura 4: Produção de metano de amostras de lodo dos reatores R2 (1º Teste), R3 (2º Teste) e R4 (3º Teste), submetido à aeração controlada, tomadas em diferentes tempos de aeração.

CONCLUSÕES

A presença de oxigênio dissolvido em concentrações de até 6 mg/L em esgoto municipal, afluentes de reatores UASB, não afeta a eficiência de remoção de DQO nem a AME, mostrando ser desnecessário cuidados especiais para evitar a introdução de OD em reatores anaeróbios.

A taxa de utilização de OD (cerca de 13 mg.gSSV⁻¹.h⁻¹) foi superior a taxa máxima de introdução de OD (de 0,125 mg.gSSV⁻¹.h⁻¹) no reator R1 testado.

Lodo gerado sob condições estritamente anaeróbias exibe considerável capacidade de consumo de oxigênio tanto para a respiração endógena como para a exógena.



A TCO endógena específica do lodo anaeróbio estudado (cerca de $4 \text{ mgOD.mgSSV}^{-1}.\text{d}^{-1}$) está dentro da faixa normalmente encontrada para lodo aeróbio.

A TCO máxima específica do lodo analisado (cerca de $13 \text{ mgOD.mgSSV}^{-1}.\text{h}^{-1}$) é equivalente à de lodo aeróbio de boa capacidade metabólica.

A aeração contínua ($1 \text{ a } 3 \text{ mgO}_2/\text{L}$) por mais de 9 horas reduz significativamente a AME do lodo anaeróbio. Períodos curtos de aeração resultam num efeito pequeno e transitório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CATUNDA, S. Y.C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C. and FREIRE, R. C. S. (1996). *Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems*. IEEE Instrumentation and measurement technology conference. Bruxelas, Bélgica, Junho 4-6.
2. CAVALCANTI P.F.F. e VAN HAANDEL A.C. (2001): Comparação entre os métodos titrimétricos Kapp e DiLallo para Determinação da Alcalinidade e AGV. *Revista BIO – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária*. V5, N1, p47-51.
3. CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 246 p, 1997.
4. KATO M.T. (1994). *The anaerobic treatment of low strength soluble wastewaters*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
5. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995). 19th edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
6. VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. (1999). *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações*. Campina Grande - PB: Epgraf.
7. VAN HAANDEL, A.C. and VAN DER LUBBE, J. (2007). *Handbook biological wastewater treatment, design and optimization of the activated sludge systems*. Quist Publishing. Leidschendam, Holland.
8. VÁZQUEZ, C.E, MACARIE, H., KATO, M.T., VÁZQUEZ R.R. y VARALDO, H.M.P. (2001). Resistencia a la exposición al oxígeno de lodos anaerobios suspendidos (Oxygen exposition tolerance of anaerobic suspended sludge). *Interciencia*, **26**(11), 18 p. ISSN 0378-1844.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos às agências FINEP e CNPq pelo suporte financeiro como também à Cia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA pela cooperação.