



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-135 – ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO EM REATOR RADIAL AERÓBIO DE LEITO FIXO UTILIZADO NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO

Ajadir Fazolo⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado e Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná –UNIOESTE –Campus Cascavel.

Marcelo Zaiat⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de São Carlos. Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos.

Endereço⁽¹⁾: Rua Universitária, 176 – Bairro Universitário – Cascavel – PR – CEP: - Brasil - Tel: (45) 220-3154



a.fazolo@uol.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação dos coeficientes volumétricos globais de transferência de oxigênio (K_{La}) de um reator de leito fixo com escoamento radial, em escala de bancada, utilizando como meio líquido água do sistema público de abastecimento e esgoto pré-tratado em reator anaeróbico horizontal de leito fixo, para vazões de ar variando entre 2 e 14 l.min⁻¹.

O reator radial de leito fixo foi construído em PVC, com capacidade útil de 13,2 litros, tendo altura útil de 19,5 cm e diâmetro de 29,2 cm e dividido internamente em cinco cilindros concêntricos com diâmetros de 7 cm, 11 cm, 19 cm, 23 cm, formados por telas de aço inox. A aeração era feita apenas no anel externo próximo a parede, enquanto que as matrizes de espuma de poliuretano para imobilização da biomassa ficaram confinadas no segundo e quarto compartimentos do reator.

Os valores de K_{La} variaram na faixa de 20,8 e 58,8 h⁻¹ para água do sistema público de abastecimento, e 16,8 a 53,0 h⁻¹ para esgoto pré-tratado anaerobiamente, aumentando com a vazão de ar. Esses valores foram correlacionados com a potência aplicada na massa líquida por unidade de volume, obtendo-se expressões do tipo lei de potência.

As relações entre os valores das concentrações de equilíbrio do oxigênio dissolvido para água de abastecimento público e esgoto pré-tratado anaerobiamente variaram entre 0,96 e 1,00 e a estimativa média do coeficiente α (alfa), definido como a relação entre os valores do K_{La} esgoto e K_{La} água, foi de 0,90.

PALAVRAS-CHAVE: Transferência de Oxigênio, Coeficiente Alfa, Aeração, Reator Radial de Leito Fixo, Esgoto Pré-tratado.

INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas combinados tendo um reator anaeróbico como primeira unidade seguida de pós-tratamento tem

se tornou uma das mais importantes opções de tratamento de águas residuárias no Brasil. No âmbito do PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) várias alternativas de pós-tratamento foram investigadas tais como, reatores aeróbios, tratamento físico-químico, lagoas de estabilização, disposição no solo, entre outras (CHERNICHARO et al., 2001).

Quando se deseja, além da remoção adicional de matéria orgânica, a conversão do nitrogênio, os sistemas aeróbios são os preferidos. Nos reatores aeróbios em que não há agitação mecânica, a introdução de ar é responsável pela aeração, homogeneização e manutenção da biomassa em suspensão, sendo frequentemente relacionada com a potência aplicada por unidade de volume do reator.

Nos sistemas nitrificantes, devido à baixa velocidade de crescimento das bactérias autótrofas, comparada com as bactérias heterótrofas, tem-se buscado alternativas de imobilização da biomassa, permitindo que os microrganismos permaneçam aderidos a um material suporte, dificultando o arraste para o efluente e tornando o tempo de retenção celular bem maior que o tempo de detenção hidráulica, sem a necessidade de separação e recirculação. Entretanto, uma das dificuldades desses sistemas de biofilmes é a manutenção de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido no meio líquido e a minimização das resistências à transferência de massa.

Recentemente, VIEIRA et al. (2003) desenvolveram um reator de leito fixo com escoamento radial, em que a biomassa imobilizada é confinada em anéis concêntricos, enquanto que a oxigenação ocorre em uma câmara sem a presença de material suporte e com baixa concentração de material em suspensão, favorecendo a transferência de oxigênio no meio líquido.

Neste trabalho, buscou-se avaliar os coeficientes globais de transferência de massa gás-líquido (K_La) em um reator radial de leito fixo, utilizando-se como meio água do sistema público de abastecimento e esgoto pré-tratado anaerobiamente, para potências aplicadas no meio líquido variando na ordem de 10 a 70 W.m⁻³.

MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação experimental foi realizada em um reator com escoamento radial de leito fixo construído em PVC, com capacidade útil de 13,2 litros, ocupando o líquido um volume de 10,5 litros, e tendo altura útil de 19,5 cm e diâmetro de 29,2 cm. Internamente, o reator era dividido em cinco cilindros concêntricos com diâmetros de 7 cm, 11 cm, 19 cm, 23 cm, formados por telas de aço inox (Figura 1). A câmara de aeração era constituída pelo anel externo próximo a parede do reator e a injeção do ar no meio líquido realizada por 10 pedras porosas. No segundo e no quarto compartimento do reator ficaram confinadas as matrizes de espuma de poliuretano para a imobilização da biomassa.

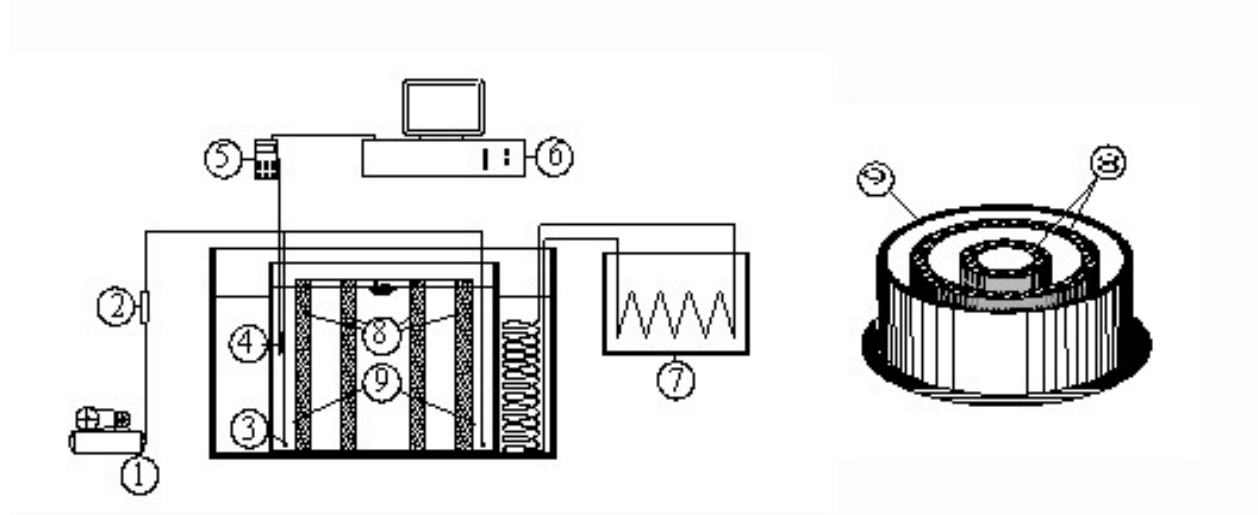


Figura 1 - Esquema do reator de escoamento radial aeróbio-anóxico de leito fixo: (a)- (1) compressor de ar, (2) medidor de vazão de ar, (3) pedras porosas difusoras de ar, (4) sensor de oxigênio dissolvido, (5) medidor de oxigênio dissolvido (6) computador para recebimento dos dados, (7) banho-maria termostatizado. (b) - (8) anéis contendo espuma confinada, (9) zona aerada (anel externo).

Para a determinação do coeficiente de transferência de oxigênio (K_{La}), inicialmente injetou-se nitrogênio gasoso na entrada de ar do reator para a remoção do oxigênio da fase líquida, até ser registrada a concentração próxima de 0,50 mg.l⁻¹. Em seguida, interrompeu-se a alimentação de nitrogênio e injetou-se uma vazão de ar constante, até que a concentração de oxigênio dissolvido se estabilizasse (aproximadamente 30 minutos).

Para o acompanhamento da variação do oxigênio dissolvido no reator, utilizou-se um medidor de oxigênio dissolvido marca Mettler Toledo - modelo MO 128 conectado a um computador, permitindo a aquisição "on-line" de dados com tempo aproximado de 1 (um) segundo. O software de aquisição de dados utilizado foi o Acquire® da Mettler Toledo. O tempo de resposta do eletrodo foi avaliado por meio de ensaio em atmosfera de nitrogênio e ar, e apresentou valor igual a 4,13 s, podendo-se desconsiderar o efeito do atraso.

A temperatura do meio líquido foi mantida em 22,4 ± 0,2°C, por meio da recirculação da água em banho-maria termostatizado.

Os valores do K_{La} e de C^∞ foram obtidos pelo ajuste da eq.(1), ASCE (1984), aos pontos experimentais, utilizando-se o método de regressão não linear de Levenberg-Marquart (Microcal Origin 6.0®):

$$C = C^\infty - (C^\infty - C_0)e^{-K_{La}(t-t_0)} \quad \text{equação (1)}$$

Nessa expressão, C^∞ é a concentração de equilíbrio do oxigênio no meio líquido, t_0 e C_0 são, respectivamente, o tempo e a concentração em que se inicia da aeração.

A vazão de ar foi controlada por meio de placa de orifício previamente calibrada para a faixa de 02 a 15 l.min⁻¹ e a potência aplicada por unidade de volume foi determinada considerando-se a expansão isotérmica da bolha de ar, conforme eq.(2) apresentada por CHISTI (1989):

$$\frac{P}{V} = \rho_L \cdot g \cdot V_s \quad \text{equação (2)}$$

sendo P/V a potência aplicada por unidade de volume (W.m⁻³), ρ_L a densidade do líquido, e V_s a velocidade superficial do ar (m.s⁻¹).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 são apresentadas as variações temporais típicas da concentração de oxigênio dissolvido para água do sistema público de abastecimento e esgoto pré-tratado anaerobiamente, respectivamente, e as curvas de ajuste a equação (1). Nos gráficos menores apresentam-se os resíduos.

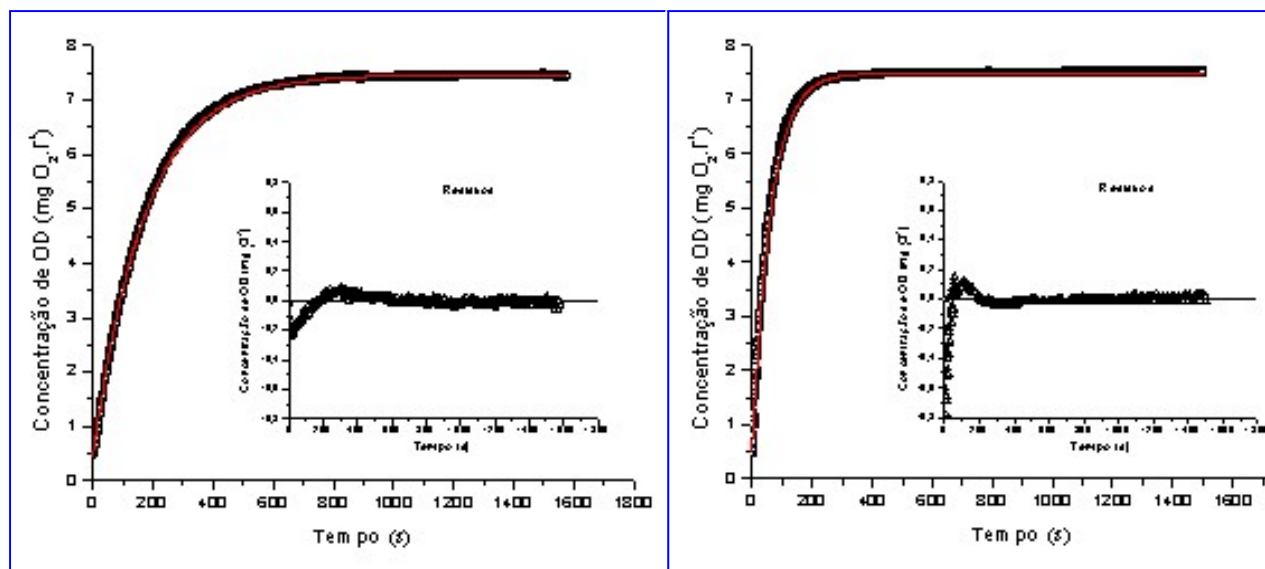


Figura 2- Variação temporal típica da concentração de oxigênio dissolvido (?) em água do sistema público de abastecimento e curva de ajuste dos pontos experimentais (–) ao modelo apresentado na eq.(1) para vazão de ar de 2 e 10 L.min⁻¹. O gráfico menor apresenta os resíduos (?) obtidos pela diferença entre os dados experimentais e os valores da curva ajustada

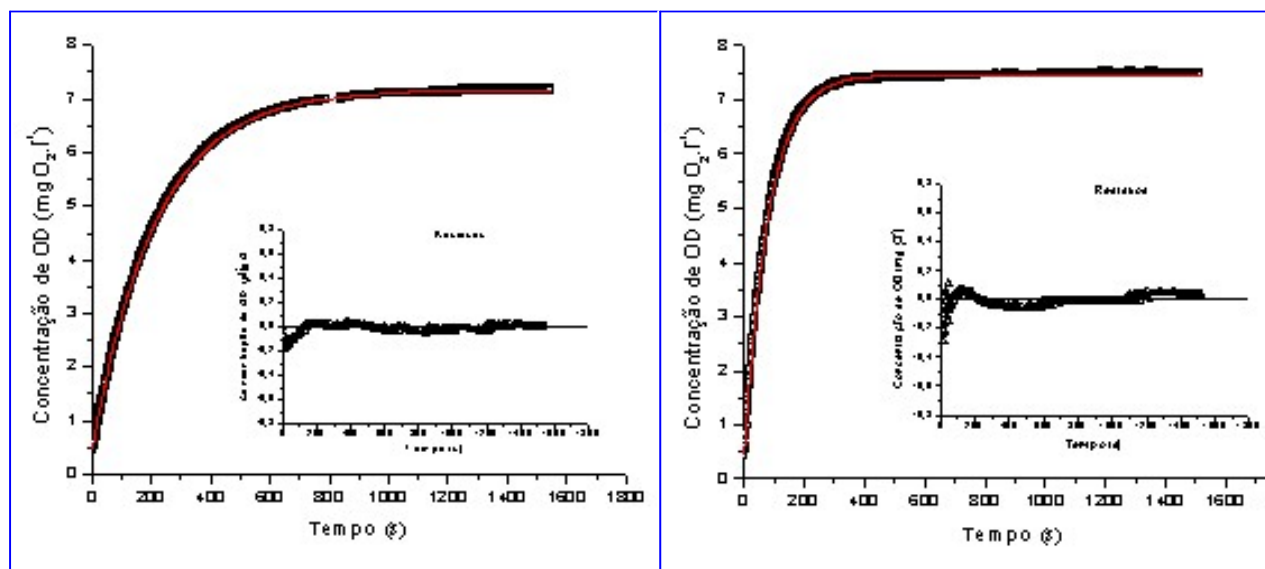


Figura 3- Variação temporal típica da concentração de oxigênio dissolvido (?) em esgoto pré-tratado anaerobiamente e curva de ajuste dos pontos experimentais (–) ao modelo apresentado na eq.(1) para vazão de ar de 2 e 10 L.min⁻¹. O gráfico menor apresenta os resíduos (?) obtidos pela diferença entre os dados experimentais e os valores da curva ajustada.

As curvas de resíduos, em geral, indicam ajustes muito bons dos pontos experimentais ao modelo. Observa-se também que os resíduos negativos nos primeiros instantes da aeração revelam que o modelo proposto pode compensar pequenos atrasos na resposta do eletrodo do medidor de OD, justamente na etapa em que a defasagem pode ser mais acentuada.

Na Tabela 1, são apresentados os valores de K_{LA} para água limpa e esgoto pré-tratado, obtidos pelo ajuste dos pontos experimentais à eq.(1), e os valores da potência aplicada na massa líquida por unidade de volume, determinados pela eq.(2) correspondente a vazões de ar variando de 2 a 14 L.min⁻¹.

Tabela 1 - Quadro resumo dos parâmetros experimentais

Vazão de Ar (l.min ⁻¹)	Vvm* (l.l ⁻¹ .min ⁻¹)	Velocidade Superficial (cm.s ⁻¹)	K _{La} Água (h ⁻¹)	K _{La} Esgoto (h ⁻¹)	P/V (W.m ⁻³)
2	0,41	0,136	20,8	16,8	10,9
4	0,82	0,272	29,9	25,7	21,8
6	1,22	0,408	37,3	32,5	32,7
8	1,64	0,544	40,6	39,1	43,6
10	2,04	0,680	49,4	44,4	54,5
12	2,45	0,817	51,6	47,7	65,4
14	2,86	0,953	58,8	53,0	76,3

Vvm* Volume de ar por volume de líquido por minuto

A relação entre as concentrações de oxigênio dissolvido na massa líquida em equilíbrio com a fase gasosa, para o esgoto e para a água limpa, denominado fator β' , para vazões de ar variando de 2 a 14 l.min⁻¹, é apresentada na Figura 4(a). Observa-se uma pequena variação dessa relação, na faixa de 0,96 e 1,00, que pode ser considerada pouco significativa para as condições de teste, uma vez que, segundo METCALF & EDDY (1991), esse fator pode variar entre 0,70 e 0,98 em esgotos domésticos. Constata-se, assim que, nas condições testadas, as características do efluente do reator anaeróbico afetou muito pouco a concentração de equilíbrio no meio líquido, comparando-se com a água limpa.

Para comparar a transferência de massa na água e no esgoto, em um determinado sistema de aeração, o coeficiente α (alfa), tem sido definido como a relação entre $K_{Laesgoto}$ e $K_{Laágua}$.

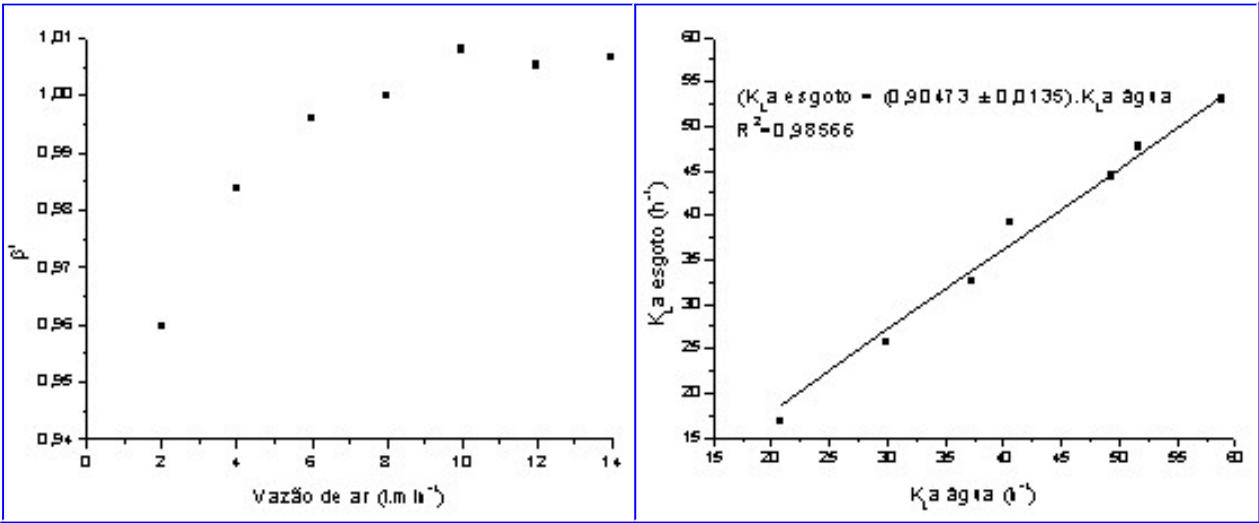


Figura 4- (a) Variação do fator β' ($C_{OD\text{ esgoto}}/C_{OD\text{ água limpa}}$) em função da vazão de ar; (b) Estimativa do fator α ($K_{La\text{ esgoto}}/K_{La\text{ água}}$).

A Figura 4(b) demonstra a relação entre os valores dos coeficientes volumétricos globais de transferência de massa para água limpa e esgoto pré-tratado. Verifica-se que, em média, os valores para o esgoto correspondem a aproximadamente 0,9 dos valores para água limpa. De acordo com ECKENFELDER (1989) e METCALF & EDDY (1991), valores típicos de α para aeração com ar difuso, variam na faixa de 0,4 a 0,8 em tanques de aeração contendo biomassa em suspensão, podendo indicar que a configuração do reator com escoamento radial e leito fixo, com a câmara de aeração separada do compartimento que contém a biomassa imobilizada, contribuiu favoravelmente na transferência de oxigênio no meio líquido. Entretanto, conforme STENSTROM E GILBERT (1981), o fator α pode variar com uma série de condições, tais como características do esgoto, intensidade de mistura, concentração de sólidos em suspensão, método de aeração, escala e outros.

Com os dados da Tabela 1, os valores de K_{La} foram correlacionados com a potência aplicada, conforme apresentado nas expressões (3) e (4):

$$K_{La}(\text{água}) = 5,77 \pm 0,63 \left(\frac{P}{V} \right)^{0,53 \pm 0,03} \quad R^2 = 0,99035$$

equação (3)

$$K_{La}(\text{esgoto}) = 4,35 \pm 0,23 \left(\frac{P}{V} \right)^{0,58 \pm 0,01} \quad R^2 = 0,99810$$

equação (4)

Constata-se que o valor do expoente na expressão do tipo lei de potência para o esgoto (0,58) foi ligeiramente superior ao verificado para a água (0,53), o que indica que, com o aumento da potência introduzida no sistema, o aumento do K_{La} será mais efetivo no meio contendo esgoto pré-tratado. Além disso, observa-se que o incremento da potência aplicada não resulta em aumento linear do valor de K_{La} .

Devido à natureza complexa dos esgotos sanitários, fica difícil identificar os fatores que possivelmente contribuíram para o incremento no expoente, em relação à água limpa. Vários autores, entre eles, STENSTROM E GILBERT (1981), KARGI E MOO-YOUNG (1985), WAGNER E POPEL (1996), destacam o papel dos surfactantes nos processos de transferência de massa gás-líquido. Em geral, há entendimento de que essas substâncias são absorvidas na interface ar-líquido, resultando na redução da tensão superficial e, conseqüentemente, no diâmetro da bolha de ar, o que provoca aumento relativo na área interfacial e no coeficiente global de transferência gás-líquido (K_{La}). Entretanto, os resultados muitas vezes são conflitantes e não conclusivos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho permitem concluir que:

- os valores de K_{La} variaram na faixa de 20,8 e 58,8 h^{-1} para água do sistema público de abastecimento, e 16,8 a 53,0 h^{-1} para esgoto pré-tratado anaerobiamente;
- os valores de K_{La} aumentaram com o incremento da vazão de ar (potência aplicada), seguindo equação do tipo lei de potência, sendo o expoente para o esgoto ligeiramente superior ao verificado para água do sistema público de abastecimento;
- o valor de a (relação entre K_{La} esgoto e K_{La} água) foi estimado em 0,9, ligeiramente superior ao reportado para sistemas com aeração por ar difuso e biomassa em suspensão, possivelmente devido a configuração do reator com escoamento radial e leito fixo e a baixa concentração de sólidos no esgoto pré-tratado anaerobiamente;
- as características do esgoto pré-tratado anaerobiamente afetaram muito pouco as concentrações de equilíbrio do oxigênio dissolvido no meio líquido, comparando-se com a água limpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASCE (1984). *ASCE Standard. Measurement of oxygen transfer in clear water*. ANSI/ASCE.
2. CHERNICHARO, C. A. L.; van HAANDEL, A. C.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. (2001). Introdução. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coordenador). *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Belo Horizonte. MG.
3. CHISTI, M.Y. (1989). *Airlift bioreactors*. Elsevier Science Publishers Ltda. New York. p. 245.
4. ECKENFELDER, W.W.(1989). *Industrial water pollution control*. McGraw-Hill International ed.p.400.
5. KARGI, F.; MOO-YOUNG, M. (1985). *Transport phenomena in bioprocess*. In: *Comprehensive Biotechnology*, 1ª edição, Pergamon Press, v.2, p.5-56.
6. METCALFF & EDDY.(1991). *Wastewater engineering: treatment disposal and reuse*. 3º. ed. New York, McGraw-Hill International Editions, 1334 p.
7. STENSTROM, M.K.;GILBERT,R.G.(1981). Effects of alpha, beta and theta factor upon the design, specification and operation of aeration systems. *Water Research*. v.15., p.643-654.

8. VIEIRA, L. T., FAZOLO, A., ZAIAT M., FORESTI E. (2003). Integrated horizontal-flow anaerobic and radial-flow aerobic reactors for the removal of organic matter and nitrogen from domestic sewage. *Environmental Technology*. , v.24, n.01, p.51 - 58.
9. WAGNER, M.; POPEL, H.J.(1996). Surface active agents and their influence on oxygen transfer. *Water Science & Technology*, v.34, n.3-4, p.249-256.