



III-077 – AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE NITRITOS EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS EM BATELADA NO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO VISANDO A DESNITRIFICAÇÃO DE VIA CURTA

André Luiz Hossaka⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina.

Fernando Fernandes

Engenheiro Civil pela Unicamp. Doutor pelo Instituto Politécnico de Toulouse (França). Professor associado na área de saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Londrina. Com doutorado e pós-doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professora associada na área de saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Carolina Alves do Nascimento Alvim

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina.

Deize Dias Lopes

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Professora adjunta do na área de saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual de Londrina / Centro de Tecnologia e Urbanismo - Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380 - Campus Universitário - Londrina - PR - CEP: 86055-900 - Brasil - Tel: (43) 3371-4470. e-mail: andreossaka@yahoo.com.br

RESUMO

No presente trabalho, foi realizada uma avaliação do processo de oxidação de N-amoniaco até o estágio de nitrato (nitrificação) em um sistema de tratamento biológico de lixiviados de aterro sanitário do tipo lodos ativados em batelada. O dispositivo experimental era constituído de 2 tanques de aeração de 250L cada, que recebiam lixiviados com diferentes concentrações de N-amoniaco. Os Tempos de Detenção Hidráulica dos sistemas de tratamento eram determinados pela evolução do N-amoniaco nos tanques de aeração. Os resultados mostram que, mesmo havendo interferência da concentração de amônia livre (NH₃) na atividade biológica para a nitrificação, o sistema de lodos ativados em batelada se mostrou eficiente no acúmulo de nitratos quando aplicado ao lixiviado coletado no Aterro Controlado de Londrina – PR. Ainda com relação ao acúmulo de nitratos, o consumo de Alcalinidade em função da oxidação do nitrogênio pode ser um fator limitante em casos de efluentes com altas concentrações de N-amoniaco.

PALAVRAS-CHAVE: lixiviados; aterro sanitário; desnitrificação de via curta; remoção de nitrogênio; acúmulo de nitratos.

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais associados aos aterros de resíduos sólidos urbanos são inúmeros. Dentre os resíduos gerados, o biogás, pela alta capacidade o metano em provocar efeito estufa e os lixiviados são os mais relevantes. Mesmo com uma operação adequada dos aterros estes subprodutos podem causar impactos relevantes ao meio ambiente.

O lixiviado de aterro sanitário é o efluente resultante da combinação dos subprodutos oriundos do processo de biodegradação no interior das células do aterro com a percolação de líquidos através da massa de resíduos aterrados. Suas características físicas e químicas são determinadas por uma combinação de inúmeros fatores tais como: composição dos resíduos aterrados, revestimento superficial, índice pluviométrico e idade do aterro (FERNANDES et al., 2006). Em função disso, suas características podem apresentar grandes variações de aterro para aterro.



Um problema comumente observado nas unidades de tratamento de lixiviados em aterros sanitários é com relação à presença de Nitrogênio Amônico em altas concentrações. Em alguns casos, a concentração de N-amônico chega à 1.500 mg N-NH₃/L dependendo da idade do aterro (GOMES et al., 2006). A Tabela 1 mostra a variação das concentrações de NKT e N-amônico nos lixiviados de aterros sanitários em algumas cidades do Brasil.

Tabela 1: Variação das concentrações de NKT e N-amônico nos lixiviados de aterros sanitários em algumas cidades do Brasil.

Parâmetro (mg/L)	Santo André		São Giacomo		Londrina	
	min	max	min	max	min	max
NKT	600	4.950	144	1.494	642	1.666
N-amônico	25	1.000	0,6	1.258	569	1.367

*Fonte: GOMES et al. (2006).

A remoção de N-amônico é um aspecto que deve ser considerado no tratamento de lixiviados de aterro sanitário devido aos seus efeitos tóxicos para o meio ambiente, além da necessidade de atender aos padrões de emissão impostos pelos órgãos ambientais. A remoção de N-amônico pode ser realizada através de processos físico-químicos ou de processos biológicos.

Os processos de remoção de N-amônico se dividem em processos físico-químicos e processos biológicos. Com relação à remoção de N-amônico por vias biológicas, existem dois tipos de processos: a nitrificação seguida de desnitrificação, e a nitrificação seguida de desnitrificação (desnitrificação de via curta).

O processo de nitrificação/desnitrificação consiste em duas etapas distintas. Primeiramente o N-amônico é oxidado em condições aeróbias até íons nitrato (NO₃⁻). Em seguida o sistema é submetido a um regime anóxico, onde em função da ausência de oxigênio dissolvido no licor misto, as bactérias heterotróficas passam a utilizar o oxigênio das moléculas de nitrato como aceptor de elétrons (VON SPERLING, 1997), liberando na atmosfera gás nitrogênio (N₂).

A nitrificação/desnitrificação ou desnitrificação de via curta é similar ao processo via nitrato. Neste caso, durante a fase aeróbia o N-amônico é parcialmente oxidado, formando íons nitrito (NO₂⁻). Na etapa anóxica seguinte, o oxigênio das moléculas de nitrito é consumido, liberando N₂.

Tanto na desnitrificação à partir do nitrato quanto na desnitrificação de via curta, é importante observar a disponibilidade de matéria orgânica para as bactérias durante a etapa anóxica. A falta de matéria carbonácea durante a etapa anóxica limita a remoção dos nitritos e nitratos.

A desnitrificação de via curta apresenta algumas vantagens com relação ao processo via nitrato. A menor demanda de oxigênio durante a formação de nitritos e o menor consumo de matéria carbonácea ao longo da desnitrificação reflete em menores custos de operação neste tipo de processo (SCHMIDT et al., 2003), principalmente quando há necessidade de adição de fonte de carbono externa.

Um dos aspectos mais relevantes no acúmulo de nitritos é o controle da aeração. É possível obter acúmulo de nitritos com concentrações de Oxigênio Dissolvido em torno de 1,4mg O₂/L (CIDAD et al., 2004).

No caso de efluentes com altas concentrações de nitrogênio, o equilíbrio entre as formas de N-amônico (íons amônio – NH₄⁺ e amônia livre – NH₃) é fator determinante para o acúmulo de nitritos. O equilíbrio entre as formas de N-amônico em soluções aquosas pode ser expresso matematicamente pela equação 1.

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+]}{1 + 10^{\text{pKa} - \text{pH}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

[NH₃+NH₄⁺] = concentração de N-amônico

Ka = constante de ionização máxima para amônia

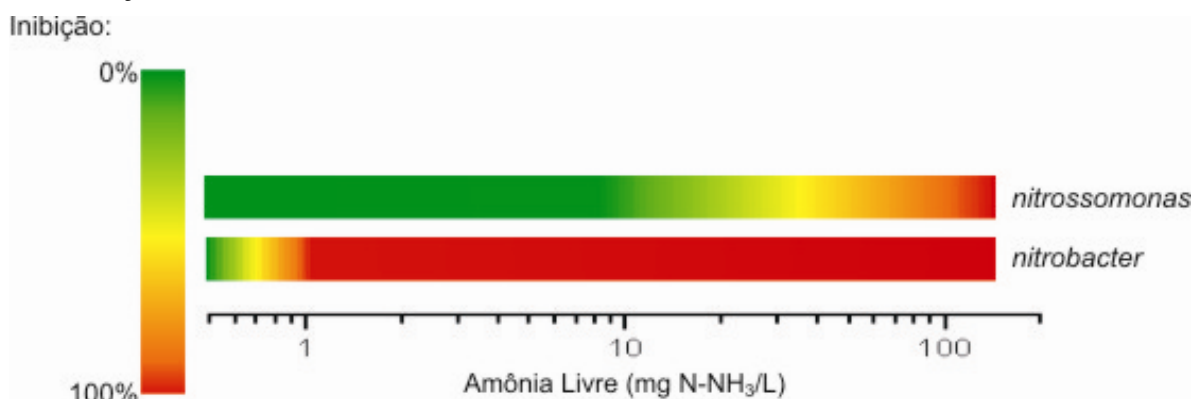
pKa = $4 \times 10^{-8} + 5 \times 10^{-5} \times t^2 - 0,0356 \times t + 10,072$

t = temperatura em °C



As bactérias que oxidam amônia até nitrito (*nitrossomonas*) são inibidas com concentrações de amônia livre a partir de 10mg N-NH₃/L, havendo inibição total com 150mg N-NH₃/L. A inibição das bactérias que oxidam nitrito até nitrato (*nitrobacter*) ocorre em uma faixa menor, dando início a uma concentração de amônia livre de 0,1mg N-NH₃/L, ocorrendo inibição completa com 1,0mg N-NH₃/L (HENZE et al., 1997). A Figura 1 ilustra como se dá a inibição das bactérias *nitrossomonas* e *nitrobacter* em função da concentração de amônia livre.

Figura 1: Representação gráfica da inibição das bactérias *nitrossomonas* e *nitrobacter* em função da concentração de amônia livre.



*Fonte: adaptado de HENZE et al. (1997)

Deste modo é possível afirmar que o acúmulo de nitritos durante a oxidação do N-amoniaco está diretamente relacionado com o pH e com a temperatura, uma vez que estes parâmetros influem diretamente nas concentrações de amônia livre.

O objetivo do presente trabalho é identificar os aspectos mais relevantes para o acúmulo de nitritos em um sistema biológico de tratamento de lixiviados de aterro sanitário em escala piloto (tanques de 250 litros) operado em batelada, visando posterior remoção de nitritos pela desnitrificação de via curta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram avaliados dois reatores de tratamento biológico do tipo lodos ativados em batelada aplicados a lixiviados de aterro sanitário em escala piloto (tanques de aeração de 250L). A Figura 2 mostra um dos tanques de aeração utilizados durante este experimento.

Em uma das unidades de tratamento, havia um sistema de remoção de N-amoniaco por “stripping” que antecedia o tratamento biológico. A outra unidade de tratamento recebia o lixiviado bruto, sem nenhum pré-tratamento. Deste modo as unidades de tratamento biológico recebiam lixiviados com diferentes concentrações iniciais de N-amoniaco.

A alimentação dos sistemas era intermitente (batelada), e o Tempo de Detenção Hidráulica era determinado pela evolução do N-amoniaco nos tanques de aeração ao longo do tempo.

Após a oxidação do N-amoniaco até nitrito, a aeração era suspensa e o reator era submetido a uma condição anóxica para remoção dos nitritos. Como o escopo deste trabalho é avaliar as condições que levam ao acúmulo de nitrito durante a etapa de aeração, os procedimentos realizados na etapa anóxica não serão aqui detalhados.

Após a fase anóxica, o reator era mantido em repouso durante 30 minutos para o descarte do sobrenadante, mantendo um volume de lodo de aproximadamente 30 litros. Feito isso, o reator era realimentado com o lixiviado dando início a um novo ciclo.

Figura 2: Sistema de tratamento biológico do tipo lodos ativados em batelada em escala piloto (tanque de 250L).



O lixiviado utilizado no experimento era coletado no Aterro Controlado de Londrina, que está em operação desde a década de 70. O lixiviado era coletado por caminhão-pipa, e era armazenado em um tanque de 5.000L que periodicamente era reabastecido. A Tabela 2 apresenta as características físico-químicas do lixiviado coletado no Aterro de Londrina.

Tabela 2: Características físico-químicas do lixiviado do Aterro Controlado de Londrina.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>MÉDIA</i>	<i>Unidade</i>
Sólidos Totais Fixos	6350	4530	5526	mg/L
Sólidos Totais Voláteis	3400	1650	2218	mg/L
Sólidos em Suspensão Voláteis	204	25	65	mg/L
DBO	330	80	176	mg/L
DQO	2913	1630	2430	mg/L
pH	8,78	8,05	8,34	-
Alcalinidade	6758	4551	5734	mg/L
NKT	1666	642	1272	mg/L
N-amoniacoal	1367	569	1075	mg/L
Nitrato	10	0	4	mg/L
Nitrito	0,1	0,0	0,0	mg/L
Fósforo	4,5	1,9	2,8	mg/L

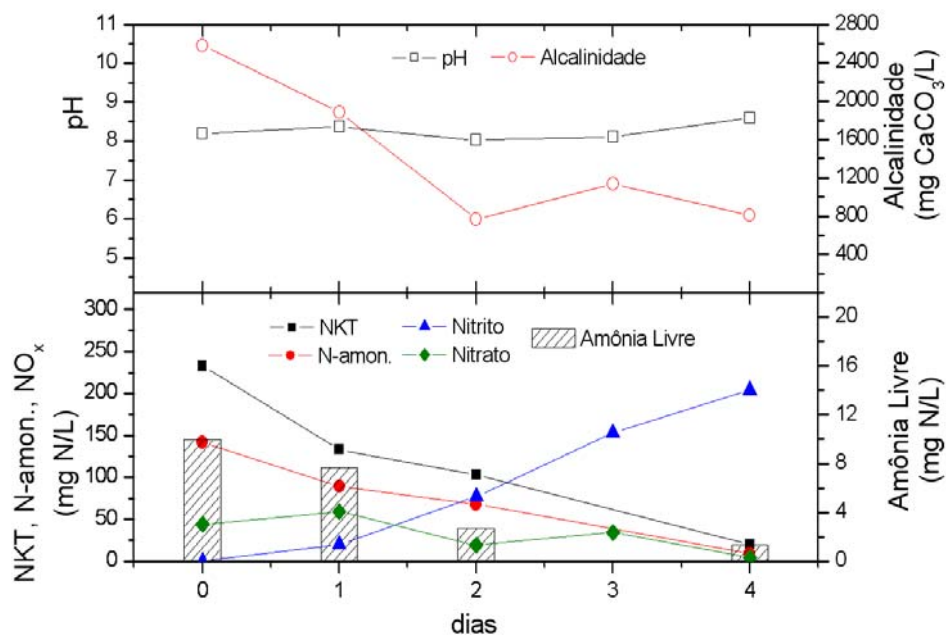
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este estudo, foram avaliados 3 períodos de aeração dos sistemas de tratamento biológico em escala piloto. A concentração inicial de N-amoniacoal em cada período de aeração variou entre 142 e 325 mg N-NH₃/L. Esta variação se deu em função das condições experimentais descritas no item anterior do presente trabalho.

A Figura 3 mostra a evolução dos compostos nitrogenados, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo durante o período de aeração 1. Os dados mostram que uma grande parcela do N-amoniacoal foi oxidada até nitrito, atingindo uma concentração de 204 mg N-NO₂⁻/L com um período de aeração de 4 dias. Com a oxidação do nitrogênio, observou-se também uma concomitante redução de Alcalinidade de 2.578 para 1.916 mg CaCO₃/L.



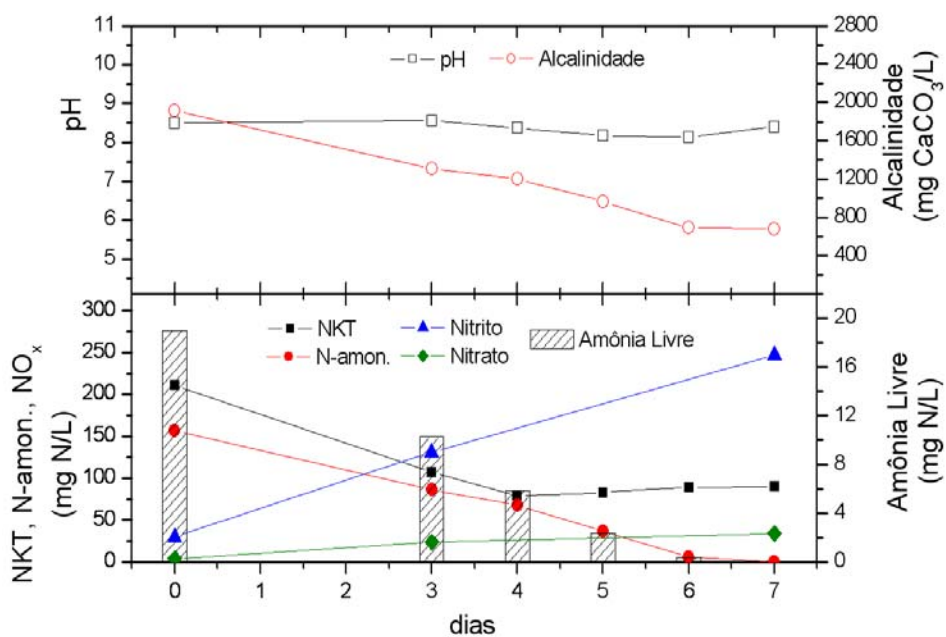
Figura 3: Evolução da série nitrogenada, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo no período de aeração 1.



As reações de oxidação do nitrogênio provocaram um consumo de 1.770 mg CaCO₃/L de Alcalinidade. Porém, devido à alta Alcalinidade do lixiviado, o consumo não provocou alterações no pH, que se manteve entre 8,0 e 8,6.

A Figura 4 mostra a evolução da série nitrogenada, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo durante o período de aeração 2. Neste caso, as condições do experimento levaram a uma concentração inicial de amônia livre de 19 mg N-NH₃/L.

Figura 4: Evolução da série nitrogenada, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo no período de aeração 2.

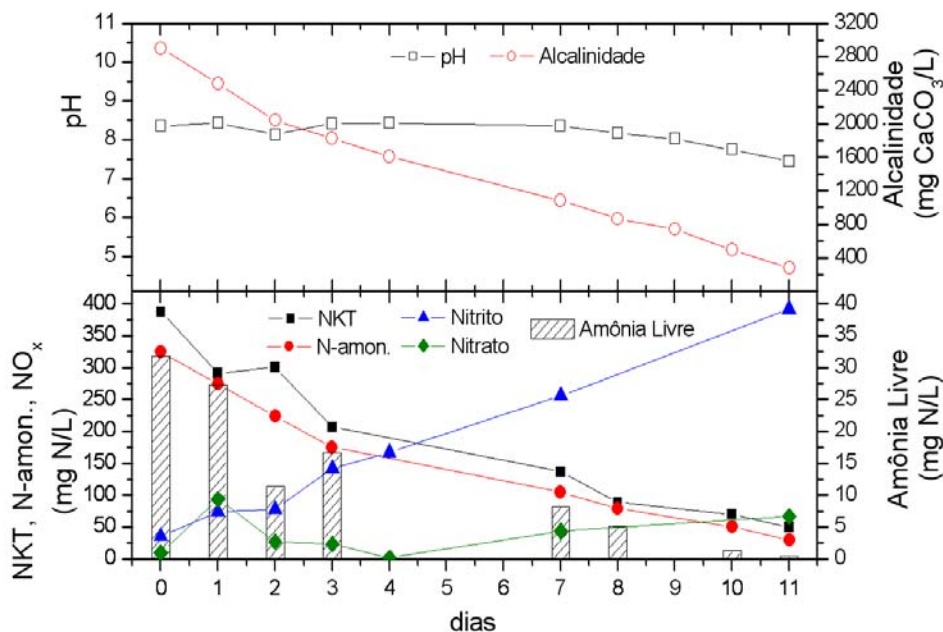


Neste caso o N-amoniaco também foi oxidado até nitrito até uma concentração de 247 mg N-NO₂⁻/L, com um período de aeração de 7 dias. Assim como no período anterior, houve um consumo de Alcalinidade em função da oxidação do nitrogênio de 1.237 mg CaCO₃/L.

No período de aeração 2, as condições experimentais eram similares às condições do período de aeração 1. Porém neste caso, a maior concentração de amônia livre no início do processo interferiu na atividade biológica para a oxidação do nitrogênio, o que demandou um maior tempo de aeração.

A Figura 5 mostra a evolução da série nitrogenada, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo durante o período de aeração 3. Mesmo havendo concentrações maiores de nitrogênio no início do processo (388 mg N-NH₃/L de NKT e 325 mg N-NH₃/L de N-amoniacal), a oxidação até nitrito ocorreu atingindo uma concentração de 392 mg N-NO₂/L com um período de aeração de 11 dias.

Figura 5: Evolução da série nitrogenada, do pH e da Alcalinidade ao longo do tempo no período de aeração 3.



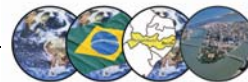
Assim como nos casos anteriores, a oxidação do N-amoniacal até nitrito causou um concomitante consumo de Alcalinidade, que foi reduzida de 2.902 para 279 mg CaCO₃/L. Neste caso, o consumo de Alcalinidade provocou alterações no pH, havendo queda de 8,4 para 7,5 à partir do 7º dia de aeração.

Observou-se uma formação mais intensa de nitritos a partir do 2º dia de aeração. Esse efeito ocorreu em função da inibição da atividade biológica pela concentração de amônia livre, que no início do processo era de 36 mg N-NH₃/L.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que:

- O sistema de lodos ativados em batelada se mostrou adequado ao acúmulo de nitritos quando aplicado ao lixiviado do Aterro Controlado de Londrina, que apresenta características físico-químicas que favorecem este tipo de processo. A alta Alcalinidade do lixiviado contribui para a manutenção do pH, fazendo com que não seja necessária a complementação de Alcalinidade ao sistema durante a oxidação do N-amoniacal.
- Porém, o consumo de Alcalinidade em função da oxidação do N-amoniacal é um aspecto que requer atenção. No caso de efluentes com altas concentrações de N-amoniacal, a Alcalinidade pode ser quase totalmente consumida no processo e o pH baixar a valores limitantes para o processo de nitrificação.



- No presente estudo, a estabilidade do pH ao longo dos períodos de aeração foi importante para a manutenção da amônia livre (NH_3) em níveis favoráveis ao acúmulo de nitritos, impedindo que a oxidação avançasse até o estágio de nitrato.
- Neste trabalho, as concentrações de amônia livre interferiram diretamente na atividade das bactérias *nitrossomonas*. Quanto maior a concentração de amônia livre no início do processo, maior o período de aeração necessário para a oxidação do N-amoniacal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CIUDAD, G.; RUBILAR, O.; MUÑOZ, P.; RUIZ, G.; CHAMY, R.; VERGARA, C.; JEISON, D. Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of a shortcut biological nitrogen removal process. *Process Biochemistry* 40 (2005) 1715-1719.
2. FERNANDES, F. Tratamento biológico de lixiviados de resíduos sólidos urbanos. In: Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário / Coodenador: CASTILHOS JR, A. B. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
3. GOMES, L. P. Processos de monitoramento da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos. In: Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário / Coodenador: CASTILHOS JR, A. B. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
4. HENZE, M.; HARREMOËS, P.; ARVIN, E.; JANSEN, J. Wastewater treatment Biological and chemical processes. Springer-Verlag Heidelberg 1997.
5. SCHMIDT, I.; SLIEKERS, O.; SCHMID, M.; BOCK, E.; FUERST, J.; KUENEN, J. G.; JETTEN, M.; STROUS, M. New concepts of microbial treatment process for the nitrogen removal in wastewater. *FEMS Microbiology Reviews* 27 (2003) 481-492.
6. VON SPERLING, M. Lodos ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 1997.