



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

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

II-032 – AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO EM LAGOAS DE POLIMENTO ATUANDO COMO PÓS-TRATAMENTO DE REATOR UASB

Fernanda de Castro Figueiredo Chiatti⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Especialista em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente. Mestranda do Curso de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na UFMG.

Marcos von Sperling⁽²⁾

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College, Universidade de Londres. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG - Av. Contorno, 842 - 7^o andar - Centro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.110-060 -Brasil - Tel: +31 (xx) 3238-1935 - Fax: +31 (xx) 3238-1879 -

 marcos@desa.ufmg.br

RESUMO

O sistema em escala de demonstração, utilizado na presente pesquisa, foi implantado na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Arrudas, e é composto por um reator anaeróbio tipo UASB (250 hab.) seguido de quatro lagoas de polimento. As lagoas de polimento foram projetadas com total flexibilidade operacional, podendo trabalhar todas em série, todas em paralelo, ou com qualquer outra combinação, além de poderem operar com diferentes profundidades.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento das lagoas de polimento atuando como pós-tratamento de reator UASB, quanto à remoção do nutriente nitrogênio. A pesquisa foi realizada em duas fases operacionais distintas, o que possibilitou avaliar o efeito de diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH) e profundidades nas lagoas, além do efeito da variação no número de lagoas operando em série. Em ambas as Fases, a vazão média afluente ao reator UASB foi de 40 m³/dia. Na Fase 1 as quatro lagoas operaram em série, com profundidade de 0,40 m, tratando toda a vazão efluente do reator UASB (40 m³/dia). Na Fase 2 as lagoas foram divididas em dois sistemas, cada um operando com duas lagoas em série: no sistema 1 as lagoas 1 e 2 operaram em série, com profundidade de 0,80 m, tratando uma vazão média de 20 m³/dia; no sistema 2 as lagoas 3 e 4 operaram em série, com profundidade de 0,40 m, tratando uma vazão média de 20 m³/dia.

As lagoas promoveram uma importante remoção de amônia. Os elevados valores de pH e temperatura, observados nas lagoas, certamente contribuíram para a volatilização da amônia em ambas as Fases da pesquisa.

Foi também avaliada a aplicação de equações existentes na literatura, desenvolvidas na América do Norte, para a estimativa da concentração efluente de amônia e de nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: Reator UASB, Lagoas de Polimento, Pós-tratamento, Remoção de Nitrogênio.

INTRODUÇÃO

Apesar dos reatores UASB serem eficientes na remoção do material orgânico e dos sólidos em suspensão, em geral as concentrações de DBO₅ e SST no efluente apresentam-se acima dos limites impostos pela legislação (CAVALCANTI et al., 2001; CHERNICHARO, 1997), havendo a necessidade de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes. Tem-se ainda o fato de que a digestão anaeróbia pouco afeta a remoção de outros constituintes também importantes no

esgoto, como é o caso dos organismos patogênicos e nutrientes (notadamente nitrogênio e fósforo) (VON SPERLING, 1995).

Este pós-tratamento pode ser alcançado de forma simples e conveniente em lagoas de polimento, que constituem uma das alternativas mais atraentes de desinfecção de efluentes de reatores UASB, uma vez que mantêm a simplicidade conceitual e o baixo custo típico dos reatores anaeróbios. Além disto, como no sistema UASB + lagoas de polimento praticamente não há ocorrência de exalação de maus odores, sua operação torna-se mais aceitável perto de regiões urbanas.

O pós-tratamento em lagoas de polimento tem os seguintes objetivos principais, em ordem de importância:

- redução da concentração de DBO₅ e SST;
- redução da concentração de patógenos;
- remoção de nutrientes, no caso de lançamento em lagos, represas e estuários.

O pré-tratamento no reator UASB promove uma redução de 65 a 80% da concentração do material orgânico (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994), o que leva a uma reduzida geração de CO₂ nas lagoas de polimento. Além disto, tem-se também, no reator UASB, uma elevada remoção do material coloidal do esgoto, produzindo um esgoto digerido com baixa turbidez, o que possibilita a penetração da luz solar em maior parte da coluna d'água, ou seja, ter-se-á uma maior atividade fotossintetizante nas lagoas, e consequentemente, um maior consumo de CO₂.

A redução da concentração de CO₂ resulta num aumento substancial do pH, que é essencial para a remoção de nutrientes em lagoas de polimento (CAVALCANTI et al., 2001).

Considerando que a perda de CO₂ por dessorção só ocorre até um valor de pH de pouco mais que 8, é necessário que a taxa de consumo devido à fotossíntese seja maior que a taxa de produção pelas bactérias (processo de estabilização da matéria orgânica), para que ocorra o consumo biológico do dióxido de carbono (CO₂).

De acordo com VON SPERLING (2002), são os seguintes os possíveis mecanismos de remoção de nitrogênio em lagoas, sendo que o primeiro é o mais representativo:

- volatilização da amônia;
- assimilação da amônia pelas algas;
- assimilação dos nitratos pelas algas;
- nitrificação – desnitrificação;
- sedimentação do nitrogênio orgânico particulado.

Quando o pH sobe, o íon amônio (NH₄⁺) tende a se transformar em amônia livre (NH₃), um gás que irá se desprender da fase líquida. Desta maneira, haverá remoção de nitrogênio da massa líquida, pela volatilização da amônia (CAVALCANTI et al., 2001; VON SPERLING, 2002), que é o principal mecanismo de remoção de nitrogênio. O aumento da temperatura é outro fator que contribui para a volatilização da amônia livre, uma vez que conduz a uma elevação da fração não ionizada (NH₃) da amônia e a uma redução da fração ionizada (NH₄⁺).

Salienta-se que nem sempre a remoção de nutrientes é conveniente, pois para o caso de aplicação do efluente na irrigação, é interessante que estes sejam conservados, uma vez que poderão substituir os nutrientes de fertilizantes químicos.

Porém, caso o efluente final seja lançado em águas de superfície, principalmente em lagos, represas e estuários, é desejável que se reduza ao máximo o teor de nutrientes, no intuito de se evitar o crescimento exacerbado de algas, podendo levar à ocorrência do processo de eutrofização, interferindo nos usos desejáveis do corpo d'água. A ocorrência do processo de eutrofização em rios é menos freqüente, uma vez que turbidez e velocidade elevadas são condições desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas.

A literatura apresenta algumas equações, desenvolvidas na América do Norte, para a estimativa da concentração efluente de amônia e de nitrogênio, sendo que a equação apropriada, a cada caso estudado e ou avaliado, deve ser aplicada sequencialmente em cada lagoa da série, de forma a conduzir ao valor da concentração no efluente final (VON SPERLING, 2002).

De acordo com PANO E MIDDLEBROOKS (1982), *apud* VON SPERLING (2002), tem-se duas equações para a remoção da amônia, sendo uma aplicável para temperaturas do líquido inferiores a 20 °C e a outra para temperaturas do líquido superiores ou iguais a 20 °C (Equação 1), a qual será adotada no presente trabalho.

$$C_e = \frac{1}{1 + [5,035 \times 10^{-3} \times (A/Q) \times e^{1,540 \times (pH - 6,6)}]} \quad \text{Equação (1)}$$

$$1 + [5,035 \times 10^{-3} \times (A/Q) \times e^{1,540 \times (pH - 6,6)}]$$

É importante salientar que a aplicação da fórmula acima apresentada não leva em consideração a grande parcela de nitrogênio orgânico que é convertida em amônia nas próprias lagoas, considerando apenas a concentração média de nitrogênio amoniacal presente no efluente do reator UASB.

De acordo com WPFC (1990) e CRITES E TCHOBANOGLIOUS (2000), *apud* VON SPERLING (2002), também para a remoção de nitrogênio tem-se duas equações, sendo uma aplicável para lagoas com regime hidráulico mais próximo à mistura completa, e a outra para lagoas com regime hidráulico mais próximo ao fluxo em pistão (Equação 2), a qual será adotada no presente trabalho.

$$C_e = C_o \times e^{-K \times [t + 60,6 \times (pH - 6,6)]} \quad \text{Equação (2)}$$

$$K = 0,0064 \times 1,039^{(T-20)}$$

onde:

C_o = concentração afluente (mg/L) C_e = concentração efluente (mg/L)

Q = vazão afluente (m³/d) A = área superficial da lagoa (m²)

pH = pH na lagoa t = tempo de retenção hidráulica na lagoa (d)

T = temperatura do líquido (°C) K = coeficiente de remoção (d⁻¹)

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento de lagoas de polimento atuando como pós-tratamento de reator UASB, quanto à remoção do nutriente nitrogênio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de diferentes tempos de retenção hidráulica e profundidades nas lagoas;
- Avaliar o efeito da variação no número de lagoas operando em série;
- Avaliar o efeito de fatores intervenientes, tais como pH e temperatura;
- Avaliar a aplicabilidade de equações existentes na literatura, para a remoção de amônia e nitrogênio.

METODOLOGIA

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O sistema em escala de demonstração utilizado na presente pesquisa (Figura 1) foi implantado na Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Arrudas, encontra-se em operação desde agosto de 2002, e é composto por um reator anaeróbio tipo UASB seguido de quatro lagoas de polimento.

Esta Estação Experimental foi construída e implantada pela UFMG junto à Estação de Tratamento de Esgotos do

Arrudas, tratando, assim, os esgotos mais representativos de Belo Horizonte, numa iniciativa pioneira e inédita em Minas Gerais, no âmbito do PROSAB - Programa Nacional de Pesquisa em Saneamento Básico - Edital 3.

Figura 1: Vista do reator UASB e das quatro lagoas de polimento – ETE Experimental Arrudas.



Após passar pelo tratamento preliminar da ETE Arrudas, constituído de gradeamento, desarenador e medidor Parshall, o esgoto bruto é bombeado para o reator UASB, e deste, por gravidade, é direcionado às lagoas.

O reator tipo UASB foi dimensionado para uma população de 250 habitantes, ocupando uma área de 3,2 m². Suas principais características são detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do Reator UASB.

Carac.	Unid.	Valores
Volume	m ³	14,2
Altura	m	4,5
Diâmetro	m	2,0
TDH	h	7,5
Vazão média	m ³ /d	40
Material	--	Ferro-cimento

As lagoas de polimento (Figura 1), num total de quatro unidades, foram dimensionadas para uma população de 250 habitantes, sendo taludadas, com inclinação de 45°, ocupando uma área total de 1.074 m². Elas foram projetadas com total flexibilidade operacional, podendo trabalhar todas em série, todas em paralelo, ou com qualquer outra combinação, além de poderem operar com diferentes profundidades.

As lagoas 1 e 2 foram totalmente (taludes e fundo) impermeabilizadas com geomembrana plástica de 0,8 mm de espessura. Entretanto, as lagoas 3 e 4 tiveram apenas os taludes impermeabilizados com a geomembrana, uma vez que o fundo foi coberto por uma camada de 0,3 m de argila compactada, de maneira a se pesquisar o possível crescimento de vegetação enraizada nestas lagoas.

As principais características geométricas das lagoas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Características de cada lagoa de polimento.

Características	Unid.	Valores
Comprimento no fundo	m	25,00
Comprimento a 1/2 altura	m	26,00
Comprimento no NA máximo	m	27,00
Largura no fundo	m	5,25
Largura a 1/2 altura	m	6,25
Largura no NA máximo	m	7,25
Profundidade máxima	m	1,0
Profundidades intermediárias	m	0,8/ 0,6/ 0,4

Ressalta-se a existência de poucos estudos sobre a remoção de Nitrogênio em sistemas com esta configuração, e ainda, a dificuldade em se alcançar boas eficiências de remoção deste parâmetro, principalmente quando do lançamento do efluente final em águas de superfície, devido à possibilidade de ocorrência do processo de eutrofização.

Este sistema em escala de demonstração foi também objeto de estudo de outra pesquisa, cujo objetivo foi avaliar a utilização de lentilhas d'água para a melhoria da qualidade do efluente de lagoas de polimento. Portanto, a lagoa 4 distingue-se das demais lagoas do sistema, uma vez que nela foram introduzidos dois tipos distintos de lentilhas d'água, denominadas *Wolffia* e *Lemnas*. Ambas pertencem à família das Lemnaceae, e são plantas aquáticas livres-flutuantes com uma grande capacidade para remover nutrientes em esgotos. A *Wolffia*, diferentemente da *Lemna*, não possui raiz, e é considerada uma das menores angiospermas conhecidas.

FASES OPERACIONAIS

A pesquisa foi realizada em duas fases operacionais distintas. A Fase 1 teve a duração de 5 meses (agosto a dezembro de 2002) e a Fase 2 teve a duração de 6 meses (janeiro a junho de 2003).

As características operacionais do reator UASB foram mantidas constantes ao longo das Fases 1 e 2 da pesquisa (ver Tabela 1).

Na Fase 1 as quatro lagoas operaram em série, com profundidade de 0,40 m, tratando uma vazão de 40 m³/d. Na Fase 2 foram avaliados comparativamente dois sistemas de duas lagoas em série: o sistema 1 (lagoas 1 e 2) operando com 0,80 m de profundidade e o sistema 2 (lagoas 3 e 4) com 0,40 m de profundidade. Nesta Fase 2, a finalidade principal foi avaliar e confirmar a melhor performance das lagoas rasas, frente às lagoas mais profundas, sob diversas condições climáticas.

Resumidamente, foram avaliados os seguintes sistemas:

Fase 1: Sistema - reator UASB seguido das lagoas 1, 2, 3 e 4, operando em série

Fase 2: Sistema 1 - reator UASB seguido das lagoas 1 e 2, operando em série

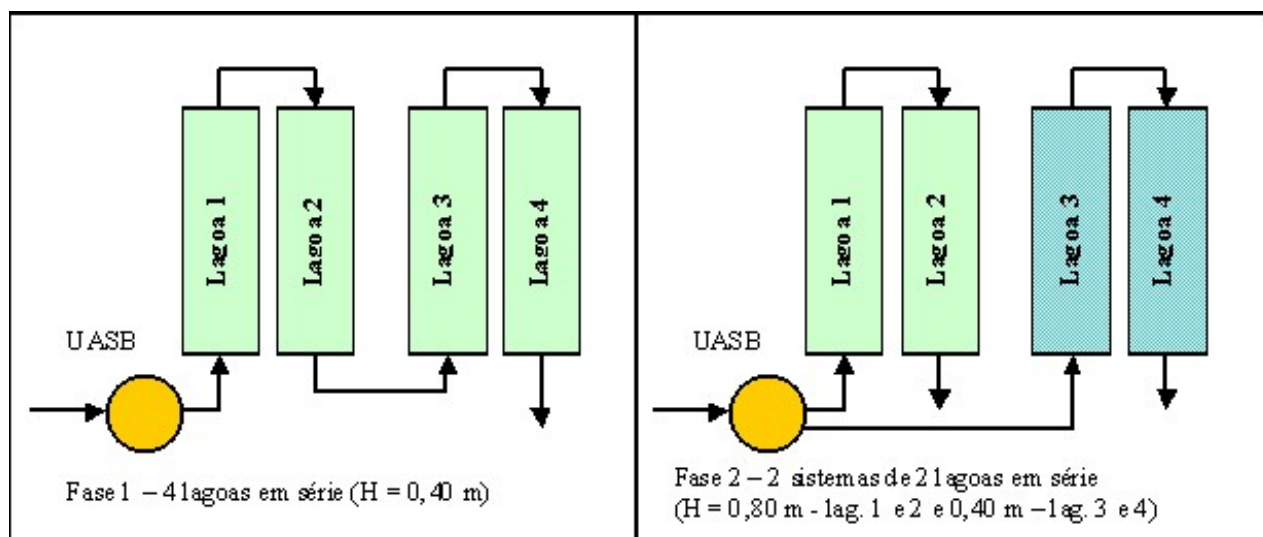
Sistema 2 - reator UASB seguido das lagoas 3 e 4, operando em série

As principais características operacionais das lagoas encontram-se sintetizadas na Tabela 3 e na Figura 2:

Tabela 3: Fases Operacionais.

Monitoramento	Fase 1	Fase 2	
Período	ago. a dez./2002	jan. a jun./2003	
Configuração	4 lagoas em série	2 sistemas de 2 lagoas em série	
Lagoas estudadas	1, 2, 3 e 4	1 e 2 (sistema 1)	3 e 4 (sistema 2)
Prof. das lagoas (m)	0,40	0,80	0,40
Vol. cada lagoa (m ³)	57,40	124,83	57,40
Vazão média (m ³ /d)	40,0	20,0	20,0
TDH cada lagoa (d)	1,43	6,24	2,87

Figura 2: Resumo das características operacionais do sistema de tratamento.



MONITORAMENTO DO SISTEMA

Na Fase 1, o monitoramento do sistema foi realizado através de amostragens compostas para o esgoto bruto e o efluente do reator UASB, e de amostragens simples para o efluente de cada uma das quatro lagoas, cujas coletas foram realizadas às 08:00 horas. Já na Fase 2, foram realizadas amostragens simples para todos os seis pontos de coleta. Na fase 2, todas as coletas foram realizadas às 08:00 horas.

Semanalmente foram realizadas análises físico-químicas de DBO (total e filtrada), DQO (total e filtrada), sólidos suspensos (totais, fixos e voláteis), NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl, amônia, nitrato e fósforo, e análises microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*. As amostras foram preservadas em gelo e transportadas para processamento no Laboratório de Microbiologia do DESA/UFGM, tendo sido observados os tempos de coleta e preservação preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998).

As medidas de pH, temperatura e OD foram feitas nos mesmos pontos de coleta das amostras, três vezes por semana, às 08:00 e 14:00 horas, sendo que nas lagoas a medida destes três parâmetros foi feita a 20 cm de profundidade. As

medições de vazão foram realizadas apenas na saída do reator UASB, na caixa de distribuição para as lagoas, uma vez ao dia, para obtenção do valor diário e do real tempo de detenção hidráulica.

RESULTADOS

É importante salientar que se observou durante toda a Fase 2 um esgoto bruto atípico, visualmente de baixa turbidez, muito diluído, com baixas concentrações de matéria orgânica e sólidos, menos da metade dos valores obtidos durante a Fase 1. Uma possível explicação para este fato é a mudança ocorrida na forma de coleta do esgoto bruto e do efluente do reator UASB, que, conforme anteriormente comentado, foi realizada através de amostragens compostas na Fase 1, e por amostragens simples na Fase 2. Porém, salienta-se, ainda, que esta mudança não afetou os resultados obtidos para o efluente do reator UASB, uma vez que em seu interior ocorre, naturalmente, o amortecimento dos picos de concentração que ocorrem no esgoto bruto ao longo do dia.

NITROGÊNIO

Nos Gráficos 1 e 2, a seguir, estão apresentadas as concentrações médias de nitrogênio orgânico, amônia e nitrato obtidas durante as Fases 1 e 2 da pesquisa.

Gráfico 1: Concentrações médias de Nitrogênio Total – Fase 1 (quatro lagoas em série).

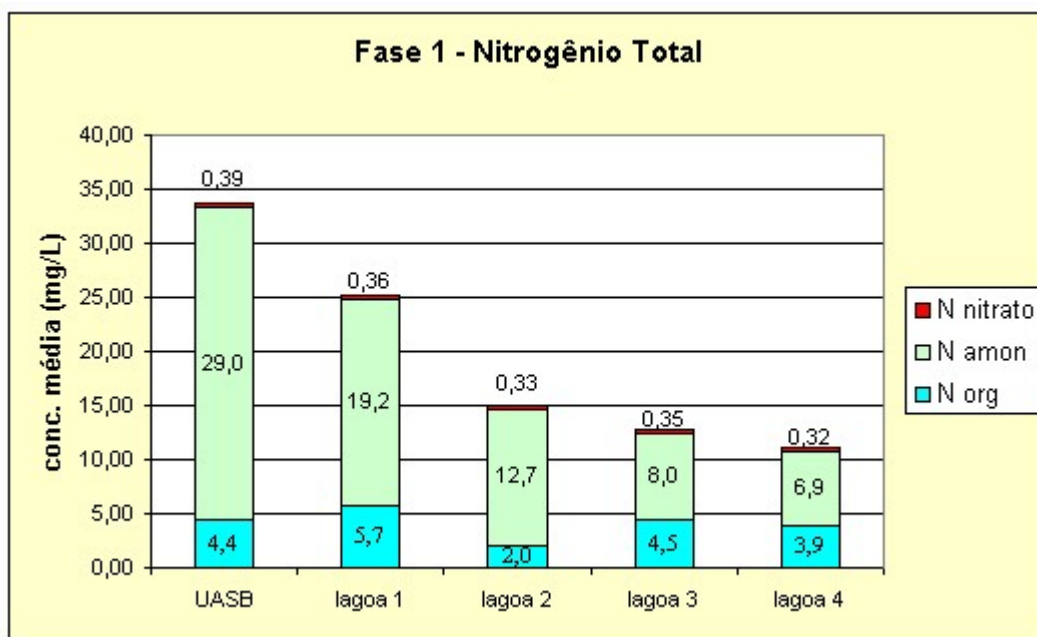
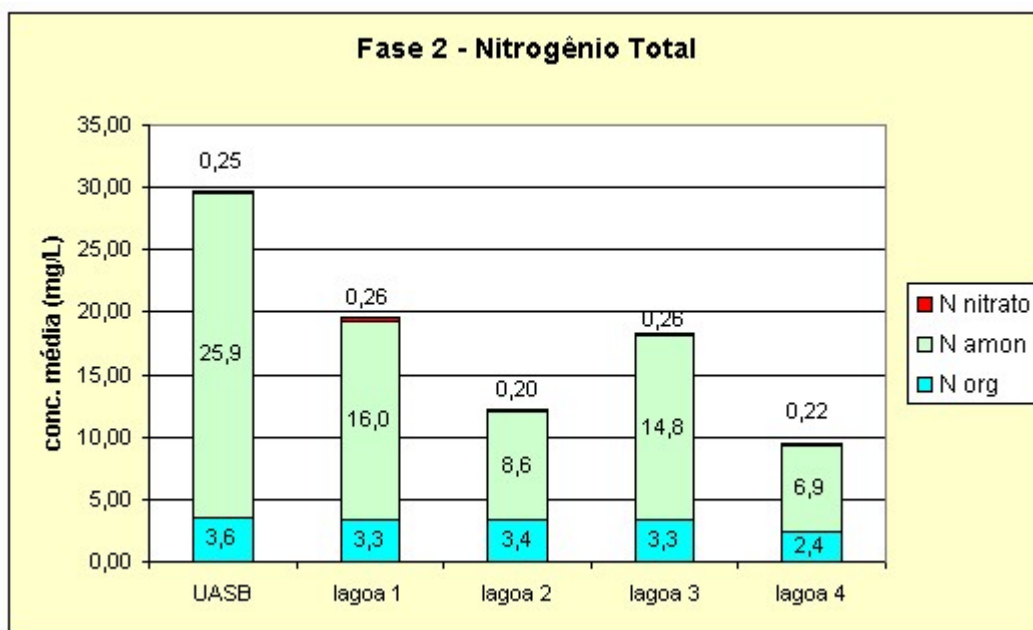


Gráfico 2: Concentrações médias de Nitrogênio Total – Fase 2 (dois conjuntos independentes: lagoas 1 e 2 em série, lagoas 3 e 4 em série).



De acordo com METCALF & EDDY (1991), o nitrogênio está presente em esgotos domésticos sob as seguintes formas:

- nitrogênio amoniacal (12 a 50 mg/L)
- nitrogênio orgânico (8 a 35 mg/L)
- nitrito (desprezível)
- nitrato (desprezível)

Tendo em vista que a eficiência de remoção de nitrogênio em reatores UASB é usualmente muito baixa, na etapa de avaliação dos resultados obtidos foram focalizados, principalmente, os sistemas de lagoas de polimento. Além disto, como consequência do processo de amonificação que ocorre no interior do reator UASB, normalmente, seu efluente apresenta uma concentração de amônia superior à do esgoto bruto, como de fato foi observado em ambas as fases da pesquisa.

Conforme esperado, a remoção mais significativa de nitrogênio foi verificada na fração de amônia. As concentrações de nitrato apresentaram-se baixas, indicando baixa nitrificação (como seria de se esperar), e o N orgânico permaneceu aproximadamente o mesmo. Como as lagoas estiveram aeróbias durante toda a pesquisa, acredita-se na não ocorrência do processo de desnitrificação.

As lagoas promoveram uma importante remoção de amônia. Na Fase 1, o sistema de lagoas apresentou eficiência média de 76,2% na remoção deste parâmetro, sendo que as melhores eficiências individuais foram observadas nas duas primeiras lagoas da série (L1 e L2). Na Fase 2, o sistema 2 apresentou maior eficiência na remoção de amônia que o sistema 1, cujos valores foram de 73,4% e 66,8%, respectivamente.

Quanto ao padrão de lançamento de amônia, preconizado na resolução CONAMA 20/86 (5,0 mg N/L), o atendimento foi verificado em apenas 29% dos resultados obtidos na Fase 1, e em 14% e 36%, nos sistemas 1 e 2 da Fase 2, respectivamente. É importante salientar que este é um padrão bastante rigoroso e difícil de ser cumprido.

Nas Tabelas 4 e 5, abaixo, estão apresentadas as eficiências médias de remoção de NTK, obtidas durante as Fases 1 e 2 da pesquisa, respectivamente.

Tabela 4: Resultados da eficiência média de remoção (%) de NTK – Fase 1.

Parâmetro	L1	L2	L3	L4	Sistema
NTK	25,5	41,0	14,8	13,7	67,7

Tabela 5: Resultados da eficiência média de remoção (%) de NTK – Fase 2.

Parâmetro	L1	L2	Sist. 1	L3	L4	Sist. 2
NTK	34,5	38,2	59,3	38,7	48,6	68,5

Quanto à remoção de NTK, o desempenho das lagoas foi satisfatório, sendo que as eficiências verificadas na Fase 1 (67,7%) e no sistema 2 da Fase 2 (68,5%) apresentaram-se bem próximas.

Observa-se que, na Fase 1, as eficiências de remoção de NTK mais significativas foram obtidas nas duas primeiras lagoas da série (L1 e L2).

A comparação entre o desempenho dos dois sistemas avaliados na Fase 2, mostrou que, as lagoas mais rasas (0,40 m), componentes do sistema 2, mesmo com o menor TDH, mostraram-se mais eficientes na remoção de NTK que as lagoas menos rasas (0,80 m), componentes do sistema 1.

Nos Gráficos 3 e 4, a seguir, estão apresentadas as eficiências médias de remoção de amônia obtidas experimentalmente durante as Fases 1 e 2 da pesquisa, e ainda, as eficiências calculadas com o auxílio da Equação 1, utilizando os valores médios de pH medidos no período da tarde (14:00h), também para ambas as Fases da pesquisa.

Gráfico 3: Comparação entre os dados experimentais e calculados (14:00h) das eficiências médias de remoção (%) de N amoniacal – Fase 1.

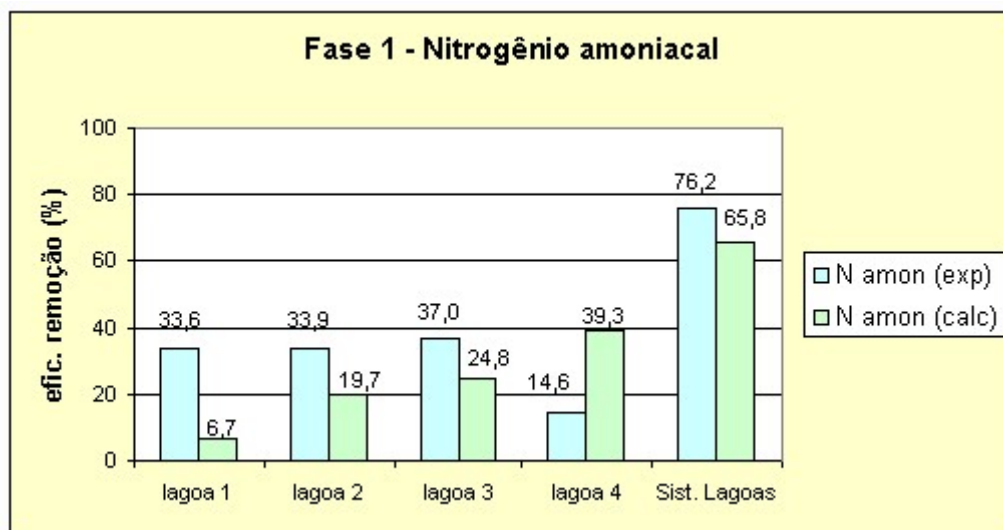
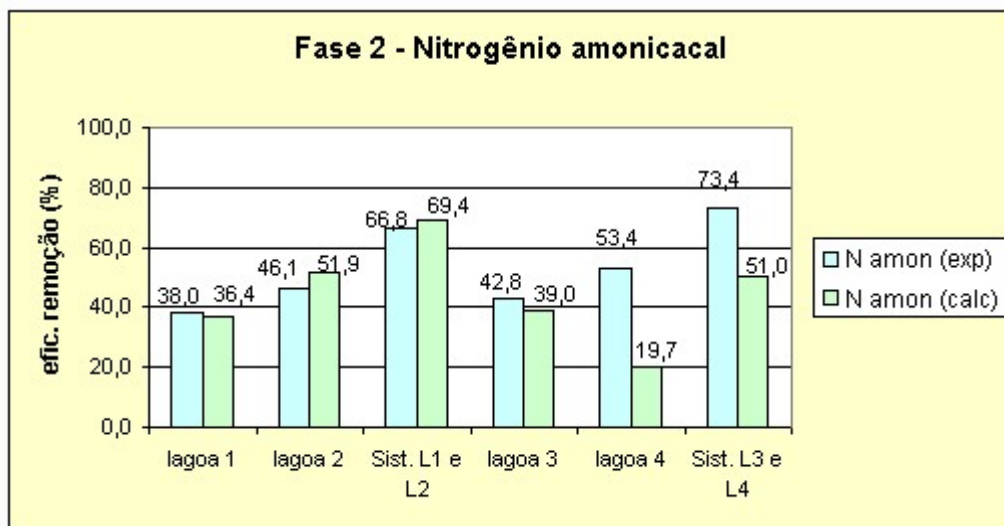


Gráfico 4: Comparação entre os dados experimentais e calculados (14:00h) das eficiências médias de remoção (%) de N amoniacal – Fase 2.



Quanto à remoção de amônia, observa-se que, para a Fase 1, a eficiência calculada com o auxílio da Equação 1 apresentou-se relativamente próxima à obtida experimentalmente para o sistema de lagoas, apesar de que as eficiências individuais de cada lagoa, obtidas experimentalmente, foram bastante superiores às calculadas; exceto na lagoa 4, onde esta situação se inverteu. Já na Fase 2, os valores obtidos foram bastante satisfatórios, com exceção da lagoa 4, cuja eficiência calculada apresentou-se bastante inferior à obtida experimentalmente. Deve-se lembrar que na lagoa 4 foram introduzidas lentilhas d'água, as quais diminuíram a penetração da energia luminosa e, em decorrência, a atividade fotossintética e a elevação do pH.

Nos Gráficos 5 e 6 a seguir, estão apresentadas as eficiências médias de remoção de nitrogênio total obtidas experimentalmente durante as Fases 1 e 2 da pesquisa, e ainda, as eficiências calculadas com o auxílio da Equação 2, utilizando os valores médios de pH e temperatura medidos no período da tarde (14:00h), também para ambas as Fases da pesquisa.

Gráfico 5: Comparação entre os dados experimentais e calculados (14:00h) das eficiências médias de remoção (%) de N total – Fase 1.

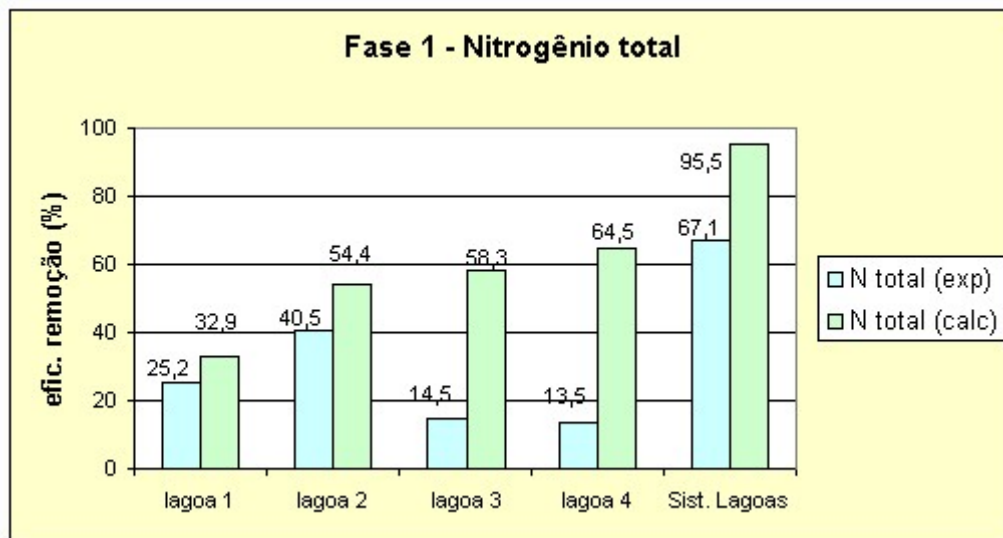
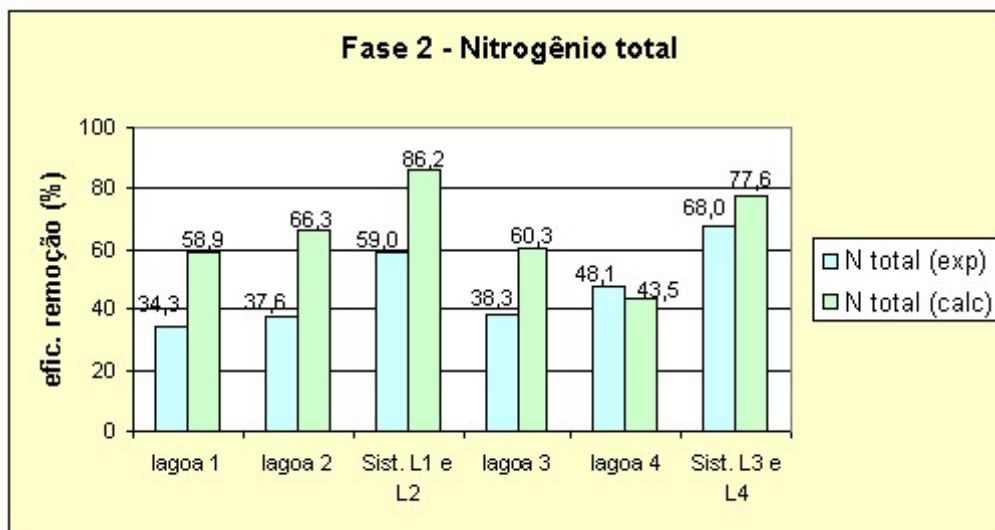


Gráfico 6: Comparação entre os dados experimentais e calculados (14:00h) das eficiências médias de remoção (%) de N total – Fase 2.



Durante a Fase 1, as eficiências de remoção de N total mais significativas foram obtidas nas duas primeiras lagoas da série (L1 e L2).

Também em relação ao nitrogênio total, foi confirmado o melhor desempenho das lagoas mais rasas em relação às mais profundas, uma vez que, durante a Fase 2, as lagoas mais rasas (L3 e L4) mostraram-se mais eficientes na remoção do referido parâmetro, que as lagoas menos rasas (L1 e L2).

Ainda em relação à remoção de nitrogênio total, durante ambas as Fases da pesquisa, as eficiências obtidas experimentalmente, tanto para cada sistema de lagoas, quanto para cada lagoa individualmente (exceto L4, na Fase 2), se apresentaram inferiores às calculadas com o auxílio da Equação 2. Deve-se lembrar, novamente, a introdução de lentilhas d'água na lagoa 4.

pH, OXIGÊNIO DISSOLVIDO E TEMPERATURA

As Tabelas 6 e 7, abaixo, apresentam os resultados médios de pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T), obtidos durante as Fases 1 e 2 da pesquisa, respectivamente.

Tabela 6: Resultados médios de pH, OD e temperatura – Fase 1.

Parâmetro	Esgoto Bruto	Efluente								
		UASB	L 1	L 2	L 3	L 4	L 1	L 2	L 3	L 4
			08:00h				14:00h			
pH	6,47	6,55	6,98	7,69	8,19	8,10	7,44	8,24	8,43	8,87
OD (mg/L)	---	---	0,96	1,29	2,63	2,43	1,21	2,27	3,36	4,84
T (°C)	23,94	23,48	21,86	21,96	21,69	21,27	24,61	25,17	25,13	23,98

Tabela 7: Resultados médios de pH, OD e temperatura – Fase 2.

Parâmetro	Esgoto Bruto	Efluente								
		UASB	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 1		Sistema 2	
			L 1	L 2	L 3	L 4	L 1	L 2	L 3	L 4
			08:00h				14:00h			
pH	6,94	6,91	7,68	8,39	7,98	7,16	8,24	8,65	8,41	7,79
OD (mg/L)	---	---	2,02	2,90	2,50	1,10	1,94	3,27	3,60	2,89
T (°C)	24,81	24,92	24,34	24,43	24,00	22,74	27,17	26,92	26,50	24,57

Em termos gerais, tanto na Fase 1, quanto na Fase 2, os valores de pH e OD cresceram ao longo das unidades constituintes do sistema, com pequena diminuição na lagoa 4, fato este realmente esperado, tendo em vista que o tapete formado pelas lentilhas dificulta a penetração da luz solar na coluna d'água, o que dificulta a realização da fotossíntese pelas algas, acarretando um reduzido consumo de CO₂, e a conseqüente redução do pH no meio, além da baixa geração de oxigênio. Apenas na Fase 1, no período da tarde, é que o crescimento do pH e do OD manteve-se crescente ao longo de todas as lagoas, o que é aceitável, tendo em vista que este é o horário de maior incidência solar, e ainda que, nesta Fase, foram avaliadas as quatro lagoas operando em série.

Na Fase 2 as lagoas apresentaram valores de pH e temperatura superiores aos obtidos na Fase 1, o que certamente contribuiu para a maior eficiência obtida na Fase 2, em termos de remoção de amônia, para cada lagoa individualmente, conforme pode-se observar nos Gráficos 1 e 2, anteriormente apresentados.

Quanto à temperatura, pode-se observar que em ambas as fases, a temperatura da lagoa 4 apresentou-se inferior à das demais lagoas, o que deve ser também devido à introdução das lentilhas. Além disto, como também esperado, às 14:00h os resultados de pH, OD e temperatura apresentaram-se superiores aos encontrados pela manhã, às 08:00h.

CONCLUSÕES

Em termos gerais, pode-se dizer que os resultados mais significativos quanto à remoção de nitrogênio foram observados na Fase 1 e no sistema 2 da Fase 2, fato este realmente esperado, tendo em vista as baixas profundidades com que as lagoas operaram (0,40 m) nos referidos sistemas.

Quanto à aplicabilidade de equações existentes na literatura, pode-se dizer que os resultados mais satisfatórios foram verificados para o parâmetro amônia, no sistema 1 da Fase 2, onde os valores calculados de eficiência média de remoção se apresentaram muito próximos dos obtidos experimentalmente.

Os valores de pH nas lagoas, que se apresentaram próximos ou até mesmo superiores a 8,0, aliados às elevadas temperaturas, certamente contribuíram para a volatilização da amônia em ambas as Fases avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAVALCANTI, P.F.F., VAN HAANDEL, A., KATO, M.T., VON SPERLING, M., LUDUVIC, M.L. e MONTEGGIA, L.O. Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Lagoas de Polimento In: CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO et al.: *Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Projeto PROSAB, 2001. Cap.3, p. 105-170.
2. CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5. Reatores Anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. 246p.
3. JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. ABES, 1995. 720 p.
4. MASCARENHAS, L.C.A.M. *Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 121p.
5. MASCARENHAS, L.C.A.M., VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L., ANDRADE, A.V. e CHIATTI, F.C.F. *Avaliação do desempenho de um sistema composto por um reator UASB e quatro lagoas de polimento*

em série. Relatório Final do PROSAB Edital 3, Tema 2, 2003.

6. METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. McGraw-Hill Inc. 3ª ed. 1991. 1334p.
7. VAN HAANDEL, A. e LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbico de esgotos. Um manual para regiões de clima quente*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994. 245p.
8. VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1995. 240p.
9. VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 3. Lagoas de estabilização*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2ª ed. 2002. 196 p.