

## IV-Bastos-Brasil-1

### REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E *E. coli* EM LAGOAS DE POLIMENTO: PRODUÇÃO DE EFLUENTES ADEQUADOS À UTILIZAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E PISCICULTURA

#### Rafael K.X. Bastos<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Adjunto - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Chefe da Divisão de Água e Esgotos da UFV.

#### Paula Dias Bevilacqua

Médica Veterinária (UFV), Mestrado em Epidemiologia (UFMG), Doutorado em Epidemiologia (UFMG), professora adjunta e pesquisadora do Departamento de Veterinária da UFV.

#### Camila Abreu Borges Silva

Bacharel em Ciências Biológicas (UFV). Mestranda em Saneamento Ambiental (UFV).

#### Rosane Cristina de Andrade

Tecnóloga em Laticínios (UFV). Graduanda em Engenharia Ambiental (UFV)

#### Renata Cristina Chagas

Engenheira Ambiental (UFV). Mestranda em Engenharia Agrícola (UFV).

#### Endrik Nardotto Rios

Engenheiro Civil (UFV). Mestrando em Saneamento Ambiental (UFV).

Aplicar

Foto

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. CEP: 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. Fone: (31) 3899 2352; Fax: (31) 3899 2819; e-mail: [rkxb@ufv.br](mailto:rkxb@ufv.br)

#### RESUMO

Os critérios recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a utilização de esgotos sanitários em irrigação e piscicultura, anteriormente expressos em termos de coliformes termotolerantes, em recente atualização passaram a ser descritos com base no indicador *E.coli*. Entretanto, reconhecendo situações em que limitações analíticas ou financeiras possam impor restrições à determinação de *E.coli*, resta estabelecer os alcances e limites de, alternativamente, basear-se o monitoramento de efluentes de lagoas em coliformes totais. Este estudo confirma a elevada capacidade de sistemas de lagoas rasas de polimento/maturação em produzir efluentes de excelente qualidade microbiológica. Com base no monitoramento, ao longo de quase quatro anos, de um sistema experimental de lagoas, registra-se uma tendência bastante similar entre os decaimentos de coliformes totais e *E.coli* e uma diferença, sensivelmente consistente, de uma unidade logarítmica ( $1 \log_{10}$ ) entre as concentrações destes organismos nos efluentes das lagoas. Sugere-se, portanto, que as recomendações da OMS, expressas em limites de *E.coli* / 100 mL, estariam igualmente satisfeitas se descritas em termos de coliformes totais / 100 mL, computando-se uma unidade logarítmica ( $1 \log_{10}$ ) a mais.

**Palavras-chave:** organismos indicadores, coliformes totais, *E. coli*, lagoas de polimento.

#### INTRODUÇÃO

A elevada capacidade de remoção de organismos patogênicos é um dos principais atrativos dos sistemas de lagoas para o tratamento de esgotos, particularmente as lagoas de polimento e de maturação. O termo lagoas de maturação é empregado para unidades de pós-tratamento em que não se espera mais a remoção de DBO, mas têm a função de remoção de patógenos e, por vezes, de nutrientes; lagoas de polimento é o termo geralmente utilizado para unidades que recebem efluentes de reatores UASB, cumprindo também o papel de remoção complementar de

matéria orgânica (von SPERLING, 2002). Em ambos os casos, a configuração típica destas unidades - lagoas rasas, grandes áreas de espelho d'água expostos à ação da luz solar e tempos de detenção hidráulica relativamente elevados - favorece a inativação de bactérias e vírus por irradiação ultravioleta (UV). Com profundidades mais reduzidas, a penetração da luz solar na massa líquida é facilitada e a atividade fotossintética é intensificada, promovendo a produção de OD, o consumo de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, a elevação do pH; por sua vez, pH e OD elevados são fatores que, sinergeticamente, acentuam os efeitos dos raios UV (von SPERLING *et al.*, 2003).

À redução de organismos indicadores (usualmente bactérias do grupo coliforme) a uma certa densidade residual no efluente das lagoas, e não necessariamente sua ausência, deve corresponder a virtual ausência de organismos patogênicos (von SPERLING *et al.*, 2003).

Para a utilização de esgotos tratados em irrigação, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugeria até recentemente os seguintes critérios: (i) irrigação irrestrita:  $\leq 10^3$  coliformes termotolerantes (Cter) /100 mL e  $\leq 1$  ovo de helmintos (nematóides) / L; (ii) irrigação restrita:  $\leq 1$  ovo de helmintos / L; para a piscicultura adotam-se as seguintes recomendações:  $\leq 10^4$  Cter /100 mL no tanque de piscicultura ou  $10^3$  Cter /100 mL no afluente ao tanque de piscicultura e ausência de ovos de helmintos (trematóides) (WHO, 1989). Em recente atualização, os critérios da OMS passaram a ser descritos com base no indicador *E.coli*. Conjugando diversas medidas de mitigação de riscos (tais como o tratamento dos esgotos, a restrição de culturas, de técnicas de irrigação e a proteção individual), para as situações mais desfavoráveis, os critérios permaneceram essencialmente os mesmos (expressos em termos de *E.coli*); para a irrigação restrita  $\leq 10^4$  *E.coli* /100 mL e  $\leq 1$  ovo de helmintos / L. O padrão bacteriológico deve ser observado em termos de média geométrica; o padrão de ovos de helmintos com base em média aritmética (WHO, 2006a, 2006b).

Entretanto, reconhecendo situações em que limitações analíticas ou financeiras possam impor restrições à determinação de *E.coli*, resta estabelecer os alcances e limites de, alternativamente, basear-se o monitoramento de efluentes de lagoas em coliformes totais. Disto se trata neste trabalho em uma avaliação comparativa da remoção de *E. coli* e coliformes totais em lagoas de polimento.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos na Unidade Integrada de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Viçosa, Viçosa-MG, Brasil: um conjunto reator UASB + biofiltro aerado submerso (UASB + BF) em escala real e pré-fabricado em aço, seguido de uma série de três lagoas de polimento em escala piloto, pré-fabricadas em fibra de vidro e com flexibilidade operacional de alturas de lâmina e tempo de detenção hidráulica. O sistema foi monitorado de novembro de novembro de 2001 a julho de 2005, com frequência variável, de semanal a quinzenal. As análises bacteriológicas foram realizadas com o emprego de método cromogênico (Colilert® ou Fluorocult®) e, assim como para os demais parâmetros químicos, segundo as prescrições do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Na Tabela 1 apresentam-se as diversas fases operacionais do sistema.

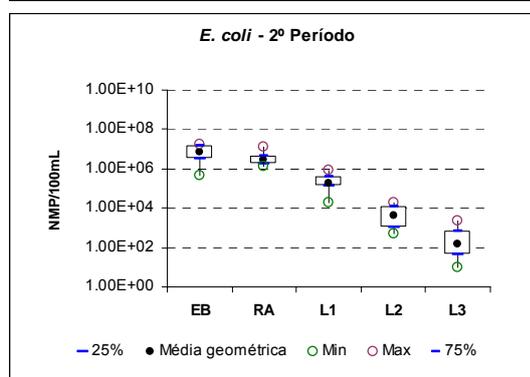
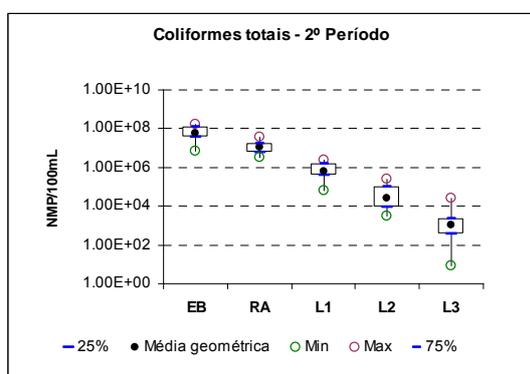
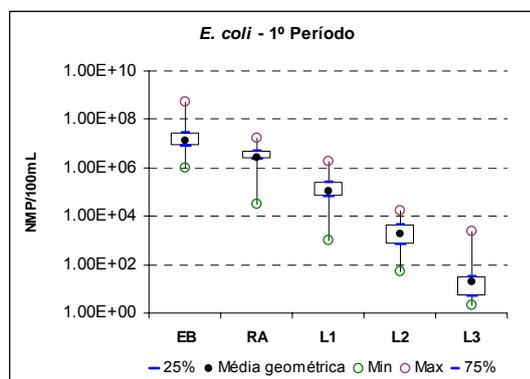
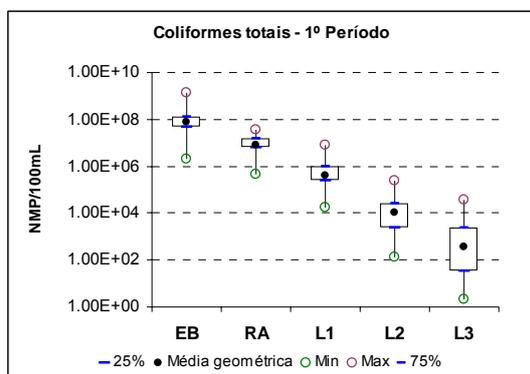
**Tabela 1: Características operacionais da série de lagoas, Unidade Integrada de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Viçosa, Viçosa-MG, 2001-2005**

Parâmetros	Período 1 (nov 2001 - abr 2002)			Período 2 (jun - dez 2002)		
	L1 <sup>(1)</sup>	L2	L3	L1	L2	L3
Q (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
TDH (d) <sup>(3)</sup>	9,4	9,4	9,4	7,0	7,0	7,0
h (m)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	Período 3 (fev - jun 2003) <sup>(4)</sup>			Período 4 (mar - set 2004)		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Q (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	2,0	2,0	2,0	4,2	4,2	2,1
TDH (d)	7,0	5,4	2,3	3,4	3,4	5,1
h (m)	0,9	0,7	0,3	0,9	0,9	0,7
	Período 5 (set 2004 - jul 2005)					
	L1	L2	L3			
Q (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	3,0	3,0	1,5			
TDH (d)	4,7	4,7	7,2			
h (m)	0,9	0,9	0,7			

**Notas:** (1) Li: lagoas em série; (2) Q: vazão; (3) TDH: tempo de detenção hidráulica; (4) Instalação do BF.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas na forma de gráficos box-plot, a estatística descritiva das concentrações de coliformes totais e *E. coli* ao longo das unidades de tratamento, para todos os períodos de monitoramento.



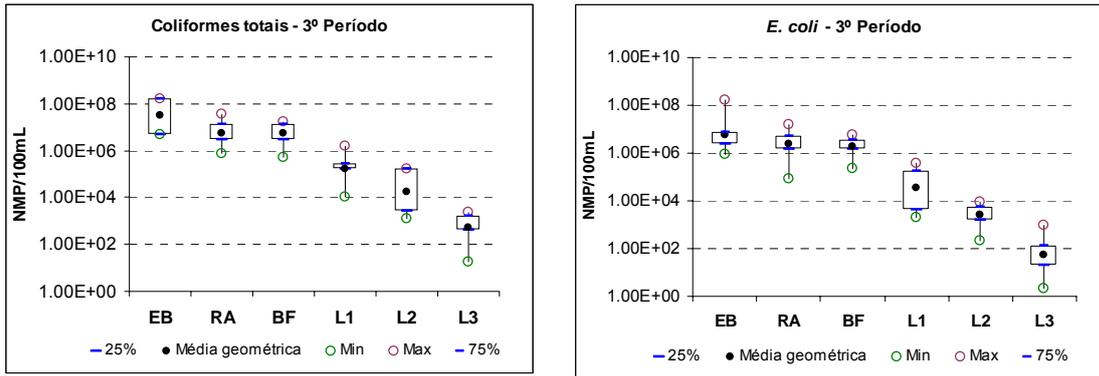


Figura 1: Estatística descritiva das concentrações de coliformes totais e *E. coli* ao longo das unidades de tratamento, períodos 1 a 3.

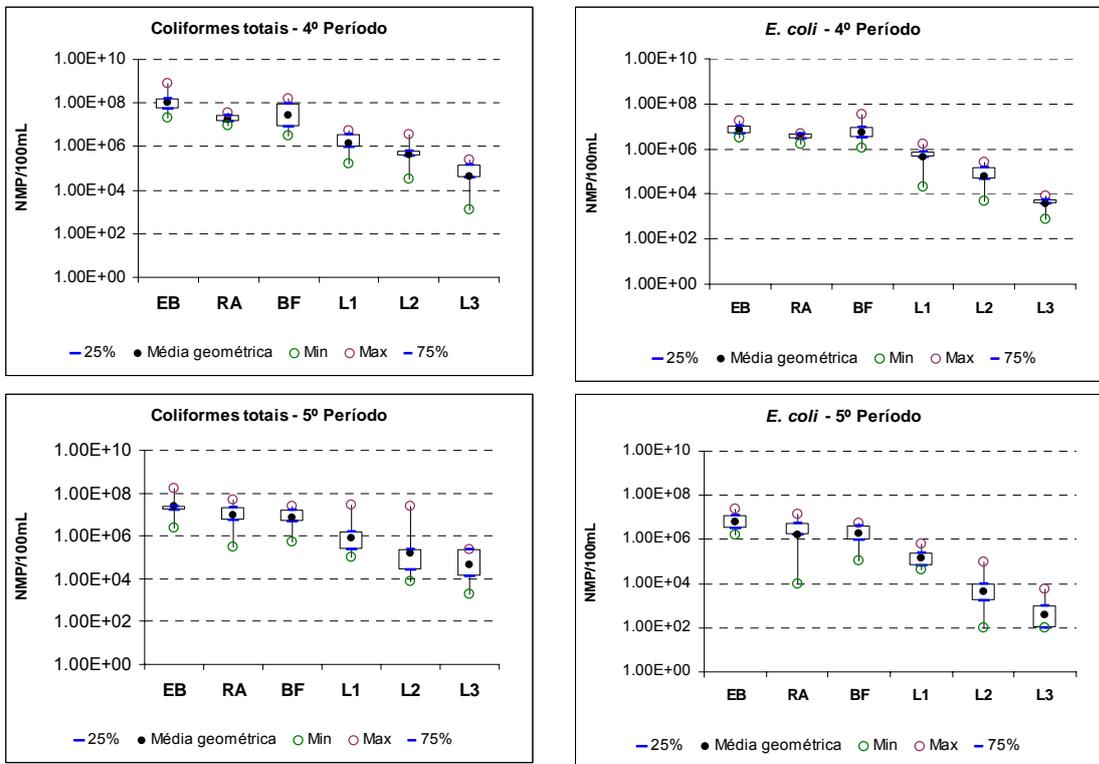


Figura 2: Estatística descritiva das concentrações de coliformes totais e *E. coli* ao longo das unidades de tratamento, períodos 4 e 5.

De acordo com os cenários de exposição mais desfavoráveis considerados pela OMS (WHO, 2006a, WHO, 2006b), à exceção do quarto período, verifica-se que o efluente final (lagoa 3) poderia ser utilizado, sem restrições para a irrigação e para a piscicultura; já o efluente da lagoa 2, também à exceção do quarto período poderia ser à irrigação restrita e piscicultura. Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se os valores médios de remoção de coliformes totais e *E. coli* (em unidades logarítmicas) e os respectivos coeficientes de decaimento ( $K_b$ ), calculados para cada lagoa e em cada período operacional. Nestes cálculos foi admitido o regime de fluxo disperso, sendo o número de dispersão estimado como  $d = 1/(L / B)$  ( $L$  = comprimento,  $B$  = largura) (von SPERLING, 2002).

**Tabela 2: Remoção (unidades logarítmicas) na série de lagoas.**

Período	Remoção ( $\log_{10}$ )					
	L1		L2		L3	
	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>
1	1,31	1,40	1,59	1,74	1,47	1,97
2	1,27	1,19	1,37	1,67	1,37	1,44
3	1,51	1,74	0,95	1,12	1,56	1,67
4	1,26	1,12	0,54	0,81	1,02	1,23
5	0,98	1,08	0,72	1,52	0,55	1,07

O sistema de lagoas apresentou remoção total de coliformes totais entre 2,25 (período 5) e 4,37 (período 2) unidades logarítmicas e de *E.coli* variando de 3,17 (período 4) a 5,11 (período 1) unidades logarítmicas. Em geral, verifica-se que as eficiências mais baixas de remoção correspondem aos períodos que apresentam menores tempos de detenção hidráulica. Nota-se ainda que quando se procedeu à uma redução mais drástica de lâmina na lagoa 3 (período 3) o desempenho desta unidade não se viu comprometido.

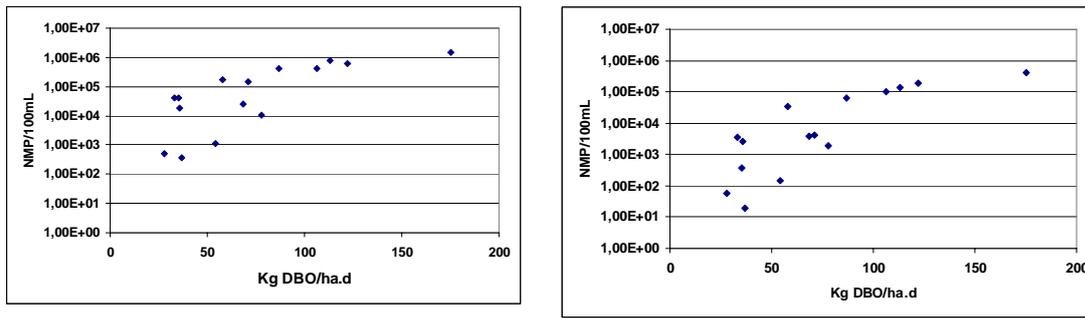
**Tabela 3: Coeficientes de decaimento bacteriano na série de lagoas**

Período	$K_b$ ( $d^{-1}$ )					
	L1		L2		L3	
	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>	CT	<i>E. coli</i>
1	0,81	0,80	0,89	0,87	1,13	1,23
2	0,80	0,75	1,00	1,14	1,20	1,25
3	1,10	0,84	1,24	1,27	1,63	2,03
4	1,70	0,84	0,77	1,02	0,85	1,41
5	1,04	0,84	1,00	1,09	0,92	0,94

Salvo exceções, os resultados confirmam o esperado: coeficientes de decaimento crescentes à medida que se avança na série de lagoas e decaimento de *E.coli* um pouco mais acentuado do que o de coliformes totais (nas lagoas 2 e 3). A bem da verdade, no geral, os decaimentos de coliformes totais e *E. coli* podem ser considerados bem similares. A remoção bacteriana encontra consistência com o ambiente estabelecido nas lagoas ao longo da série – menores cargas orgânicas e teores crescentes de pH e OD (Tabela 4 e Figura 4).

**Tabela 4: Valores médios de pH e oxigênio dissolvido nas lagoas a meia profundidade**

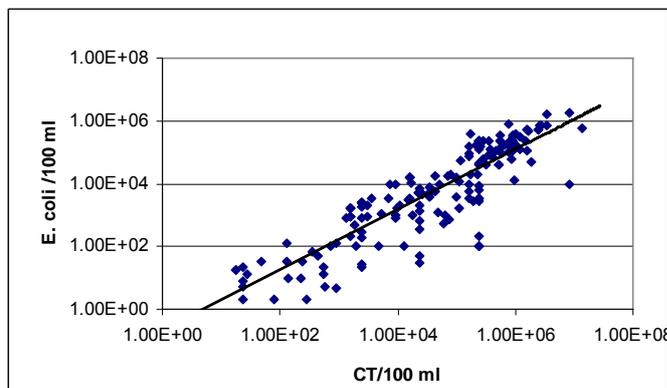
Período	L1		L2		L3	
	pH	OD	pH	OD	pH	OD
I	7,9	1,2	8,4	2,8	9,7	6,5
II	7,4	5,5	8,4	8,8	9,2	12,8
III	7,8	4,0	8,1	5,8	8,9	13,2
IV	7,8	7,6	8,2	8,8	8,8	10,4
V	7,7	7,9	8,0	8,9	8,4	9,5



(a) (b)

**Figura 4: Taxa de aplicação superficial e concentração efluente de CT (a) e *E. coli* (b) (valores médios).**

Procurou-se associar as concentrações de *E.coli* e coliformes totais nos efluentes das lagoas em (Figura 6). O ajuste de regressão desta associação está apresentado na Equação 1. Em geral, percebe-se uma diferença entre as concentrações de *E.coli* e coliformes totais de cerca de 1 unidade logarítmica.



**Figura 6: Concentrações de *E.coli* x coliformes totais nos efluentes das lagoas**

$$E.coli / 100 \text{ mL} = (0,2332 \text{ CT} / 100 \text{ mL})^{0,955} \quad (R^2 = 0,7665) \quad \text{equação (1)}$$

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam que lagoas de estabilização, mais especificamente lagoas de polimento (ou maturação) rasas, podem alcançar elevada eficiência de remoção de coliformes, atendendo as recomendações da OMS de qualidade de efluentes para irrigação e piscicultura.

Com base em um vasto banco de dados, sugere-se que as recomendações da OMS, expressas em limites de *E.coli* / 100 mL, estariam igualmente satisfeitas se descritas em termos de coliformes totais / 100 mL, computando-se uma unidade logarítmica ( $1 \log_{10}$ ) a mais. Por exemplo, um efluente com  $10^4$  CT / 100 mL corresponderia a aproximadamente  $10^3$  *E.coli* / 100 mL e estaria apto para a irrigação irrestrita.

Não se pretende com este trabalho sugerir alterações nas recomendações da OMS, mas os resultados constituem importante ferramenta prática em situações em que, por limitações analíticas ou financeiras, a determinação rotineira de *E.coli* possa se ver dificultada.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa no âmbito do PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, financiado e gerenciado pela FINEP e pelo CNPq. Os autores agradecem o apoio, aporte de recursos e de bolsas de pesquisa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. Washington, DC: APHA, 1998.
2. von SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 2<sup>a</sup> ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2002, 196 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 3).
3. von SPERLING, M; JORDÃO, E. P.; KATO, M. T.; ALÉM SOBRINHO, P.; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R. P. Lagoas de estabilização, p. 275-336. In: Gonçalves. R. F. (Org.). Desinfecção de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES / RiMa Artes e Texto, 2003. 267p (Projeto PROSAB).
4. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva: WHO, 1989 (Technical Report Series, 778).
5. WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006a. 213p.
6. WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 3: Wastewater and excreta use in aquaculture. Geneva: WHO. 2006b. 149p.