



Configurações inovadoras de lagoas de estabilização e de fotobiorreatores para o tratamento e recuperação de recursos de esgoto sanitário

*Rafael K. X. Bastos
Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil*

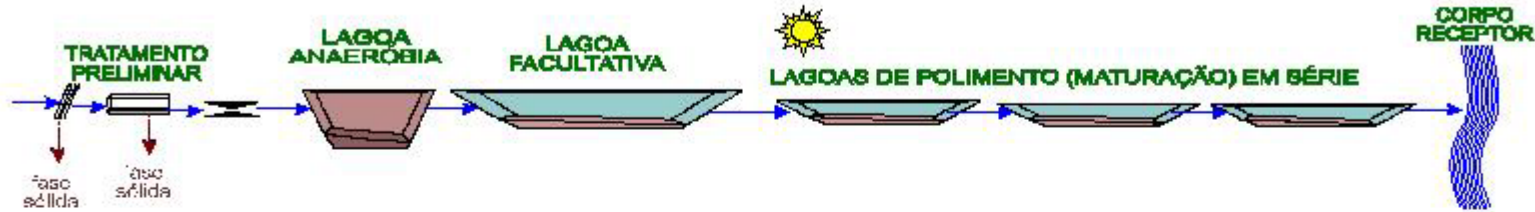




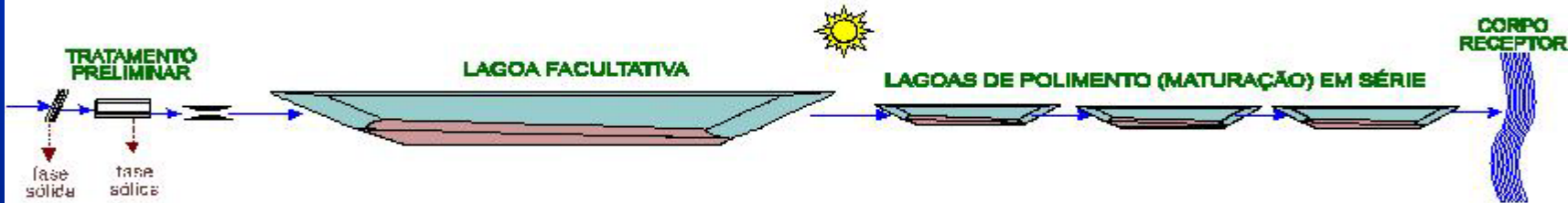
Sistemas de lagoas

SISTEMAS CONVENCIONAIS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

LAGOA ANAERÓBIA - LAGOA FACULTATIVA - LAGOAS DE MATURAÇÃO



LAGOA FACULTATIVA - LAGOAS DE MATURAÇÃO



REATORES UASB SEGUIDOS DE LAGOAS DE POLIMENTO

REATOR UASB - LAGOAS DE POLIMENTO



Universidade Federal de Campina Grande
Programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

REENGENHARIA
DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Professor: Adrianus Van Haandel

Sistemas de lagoas

- ▶ Lagoas anaeróbias
- ▶ Lagoas facultativas
- ▶ Lagoas aeradas

Lagoas de estabilização



Remoção de matéria orgânica carbonácea

- ▶ Lagoas de polimento
UASB + lagoas
- ▶ Lagoas de maturação

Pós – tratamento

- ▶ remoção matéria orgânica
- ▶ ▶ remoção patógenos
- ▶ ▶ remoção nutrientes (N)

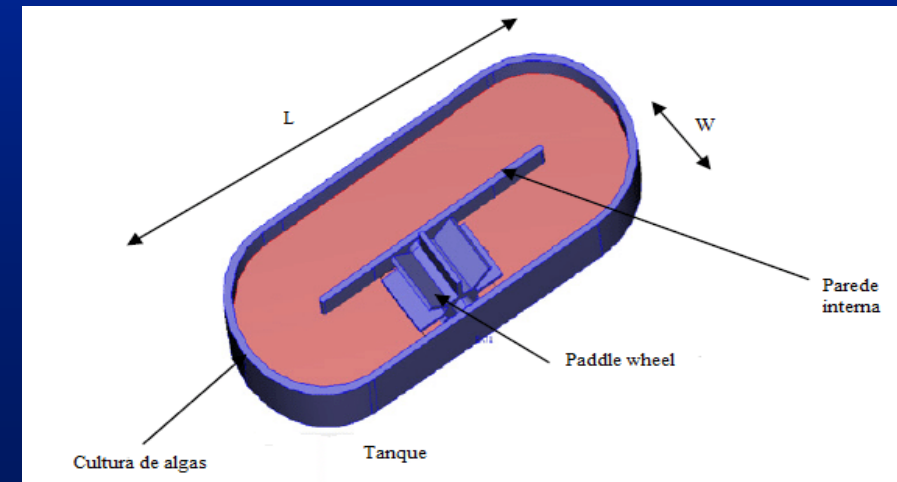
Sistemas de lagoas

▶ Lagoas aeradas } Lagoas de estabilização ➡ Remoção matéria orgânica carbonácea



▶ Lagoa de alta taxa

- ▶ remoção matéria orgânica
- ▶ remoção patógenos
- ▶ remoção nutrientes (N)
- ▶ produção de biomassa



Remoção de matéria orgânica e nutrientes

Parâmetro	Eficiência típica de remoção (%)				
	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa - maturação	Reator UASB + lagoa de polimento
DBO	75 - 85	75 - 85	80 - 85	80 - 85	80 - 85
DQO	65 - 80	65 - 80	70 - 83	70 - 83	70 - 83
SS	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 - 80
Amônia	< 50	< 50	50 - 75	50 - 75	50 - 75
Nitrogênio	< 60	< 60	50 - 65	50 - 65	50 - 65
Fósforo	< 35	< 35	> 50	> 50	> 50

Fonte : von Sperling et al (2003)

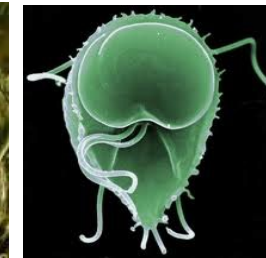
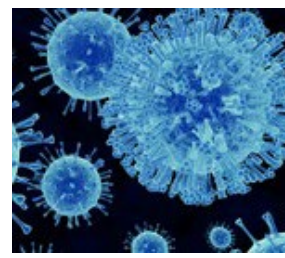
Remoção de matéria orgânica e nutrientes

Parâmetro	aerada facultativa	aerada mistura completa + decantação
DBO	75 - 85	75 - 85
DQO	65 - 80	65 - 80
SS	80 - 85	70 - 80
Amônia	< 30	< 50
Nitrogênio	< 30	< 60
Fósforo	< 35	< 35

Fonte : von Sperling (2005)

Tratamento de esgotos - remoção de patógenos

Processo de tratamento	Eficiência típica de remoção (\log_{10})			
	Bactérias	Vírus	Protozoários	Helmintos
Processo secundários convencionais + decantação secundária	0-2	0-1	0-1	0-2
Precipitação química	1-2	0-1	0-1	1-3
Precipitação química + Filtração terciária	1-2	1-2	1-3	1-3
Biofiltros	0-2	0-1	0-1	0-2
Reatores anaeróbios	0-1	0-1	0-1	0-1
Lagoas de estabilização	1-6	1-4	1-4	1-3
Desinfecção	2-6	1-4	0-3	0-1
Precipitação química + Filtração terciária + desinfecção	2-6	1-4	1-4	1-3



Remoção de patógenos

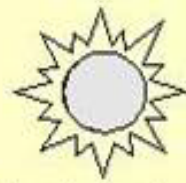
Parâmetro	Eficiência típica de remoção (% ou unidades log removidas)				
	Lagoa facultativa	Lagoas anaeróbia + facultativa	Lagoas facultativa + maturação	Lagoas anaeróbia + facultativa + maturação	UASB + lagoa de polimento
Coliformes	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Bactérias patogênicas	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Vírus	≤ 1 log	≈ 1 log	2- 4 log	2- 4 log	2- 4 log
Cistos de protozoários	???	???	100%	100%	100%
Ovos de helmintos	98 – 100%	98 – 100%	100%	100%	100%

Fonte : von Sperling et al (2003)

Tabela 5.2 – Porcentagem de remoção de DBO solúvel (DBO_{5f}), fósforo total (Pt), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e *E. coli* em lagoas de alta taxa (LAT) e com respectivos pré e pós-tratamentos.

Variável	Referência	Pré-tratamento	Eficiência do pré-tratamento (%)	Eficiência da LAT (%)	Pós-tratamento	Eficiência do pós-tratamento (%)
DBO _{5f}	Craggs et al., 2003	lagoa primária	-	54,5	lagoa de maturação	16
	Hamouri et al., 1994	decantador primário	34,1	81,8	-	-
	Park e Craggs, 2010	digestor anaeróbio	-	95,8	decantador	-22,9
	Craggs et al., 2012	decantador	-	84-92	-	-
Pt	Craggs et al., 2003	lagoa primária	-	15,3	lagoa de maturação	13,3
	Oswald, 1990	lagoa facultativa	7,1	7,7	decantador lagoa de maturação	33,3 37,5
N-NH ₄	Craggs et al., 2003	lagoa primária	-	91	lagoa de maturação	27,8
	el Hamouri et al., 1994	decantador	20	61,9	-	-
<i>E. coli</i>	Craggs et al., 2003	lagoa primária	-	96,2	lagoa de maturação	96,2
	Craggs et al., 2012	decantador	-	99,7	-	-
Ovos de helmintos	el Hamouri et al., 1994	decantador	96,5	80,0*	-	-

*incremento menor que 10% na eficiência global

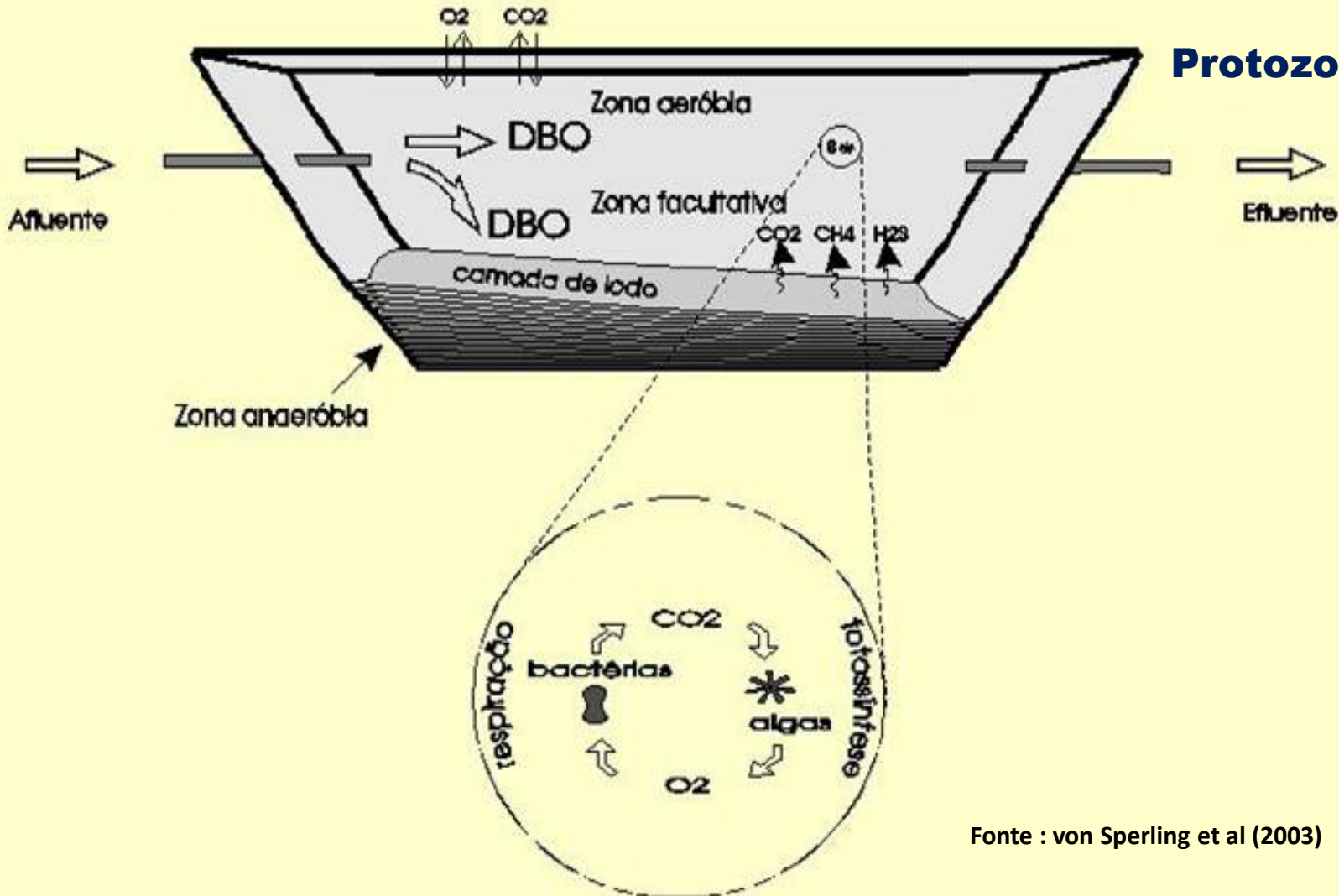


Energia luminosa

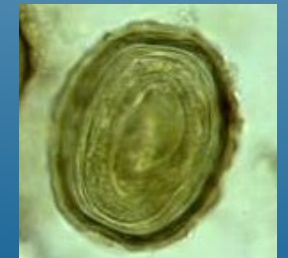
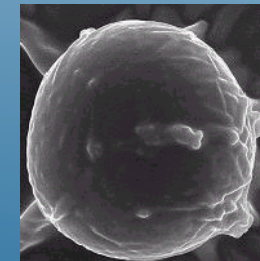
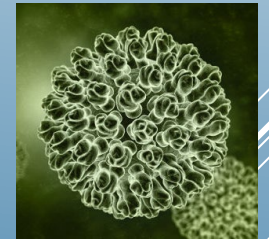
Mecanismos de remoção

bactérias e vírus: inativação radiação UV

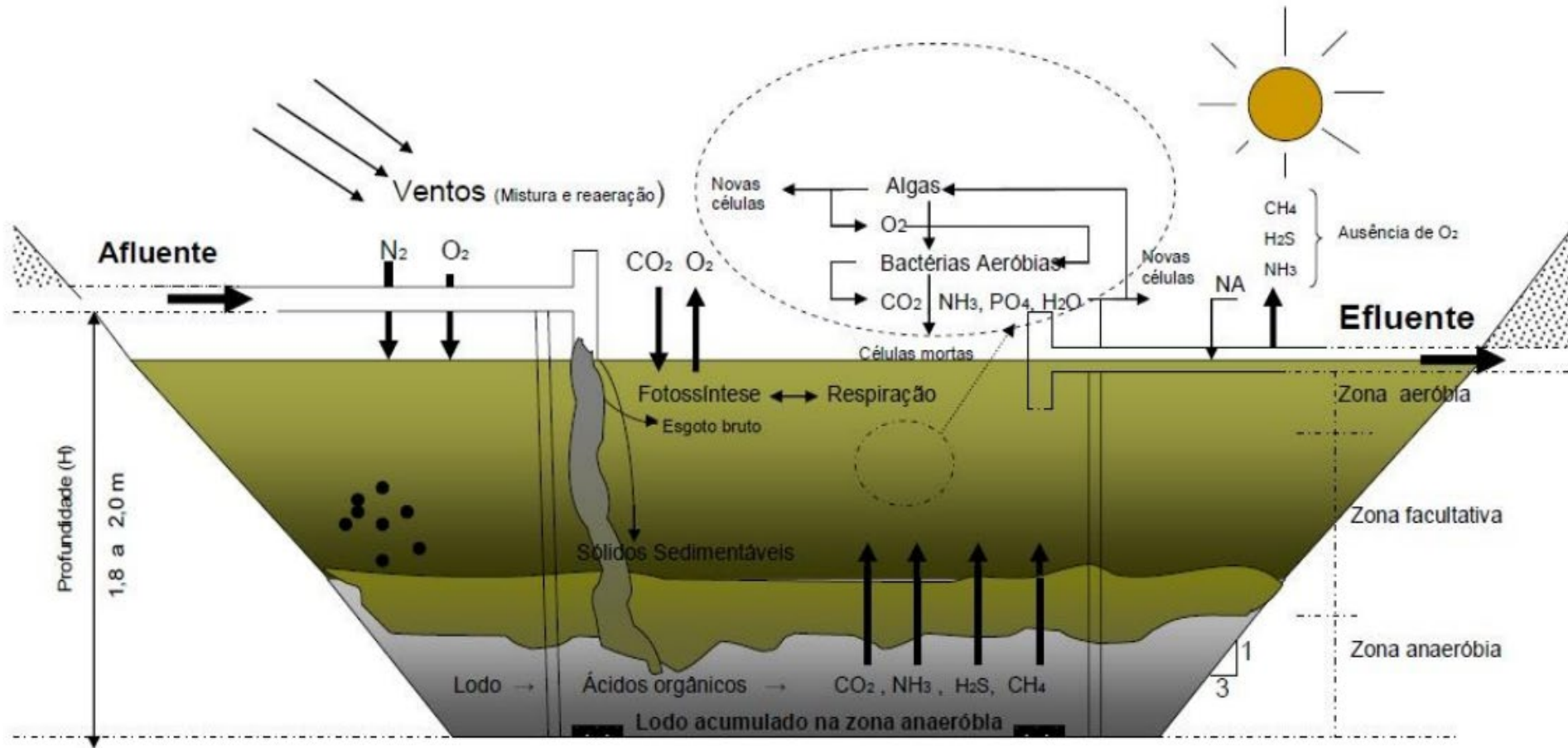
Protozoários e helmintos: sedimentação



Fonte : von Sperling et al (2003)



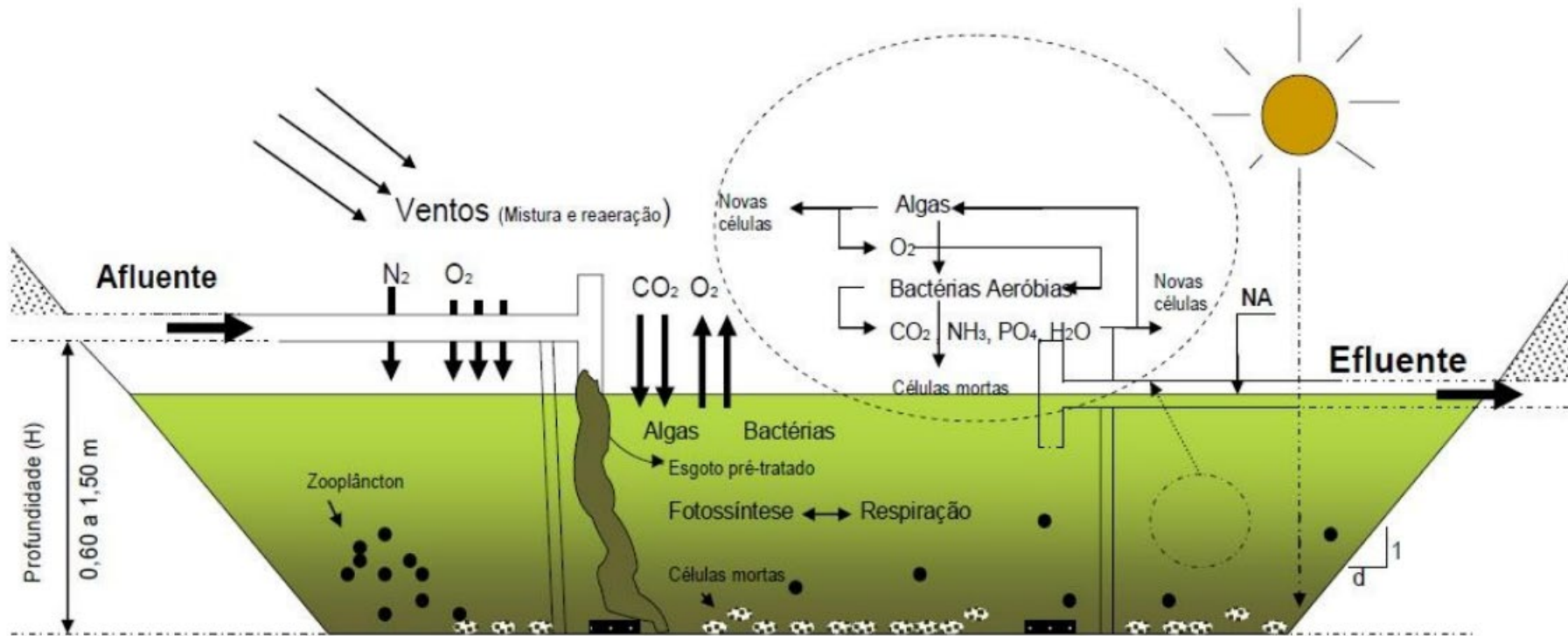
Esquema de uma lagoa facultativa



Fonte: SILVA FILHO, 2007.

Introdução ao emprego de microalgas no tratamento de esgoto sanitário

Esquema de uma lagoa de maturação

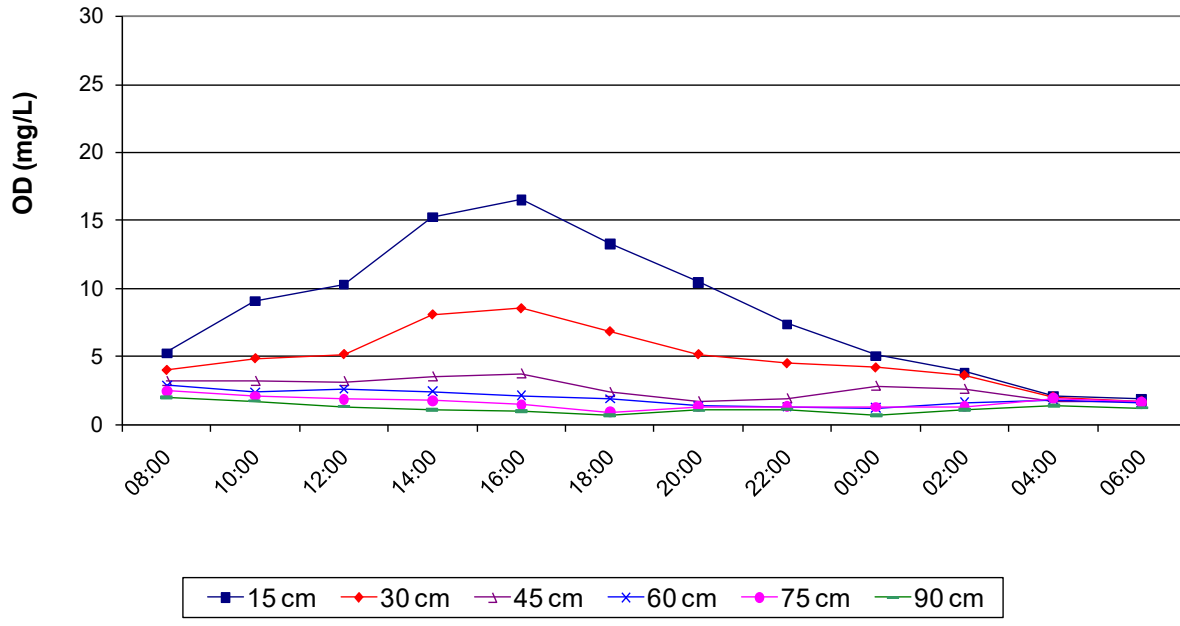


Fonte: SILVA FILHO, 2007.

Introdução ao emprego de
microalgas no tratamento de
esgoto sanitário

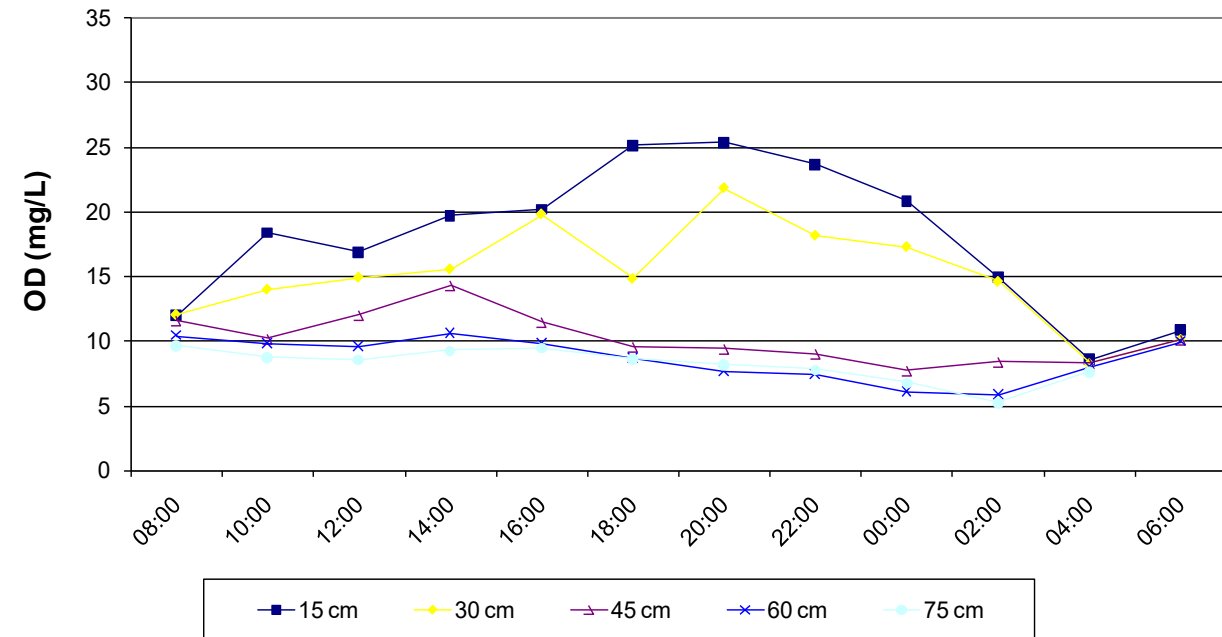
OD início da série

Perfil de Oxigênio Dissolvido

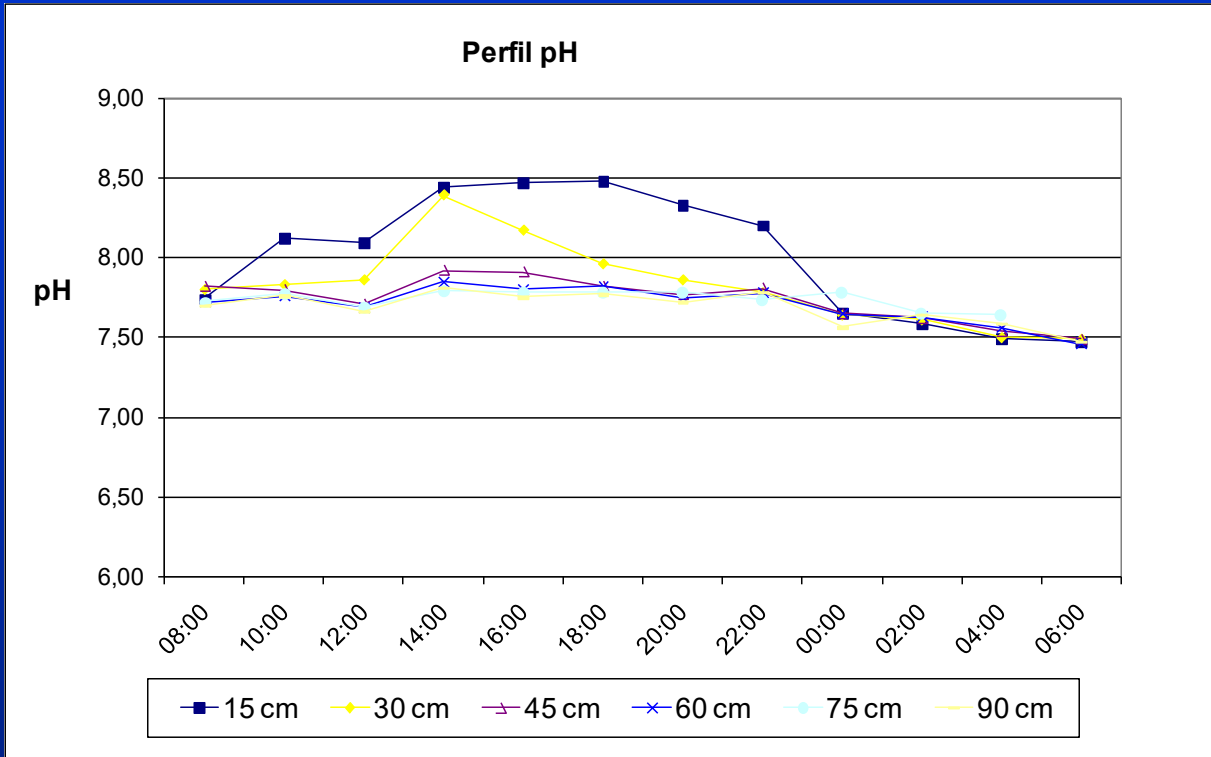


OD final da série

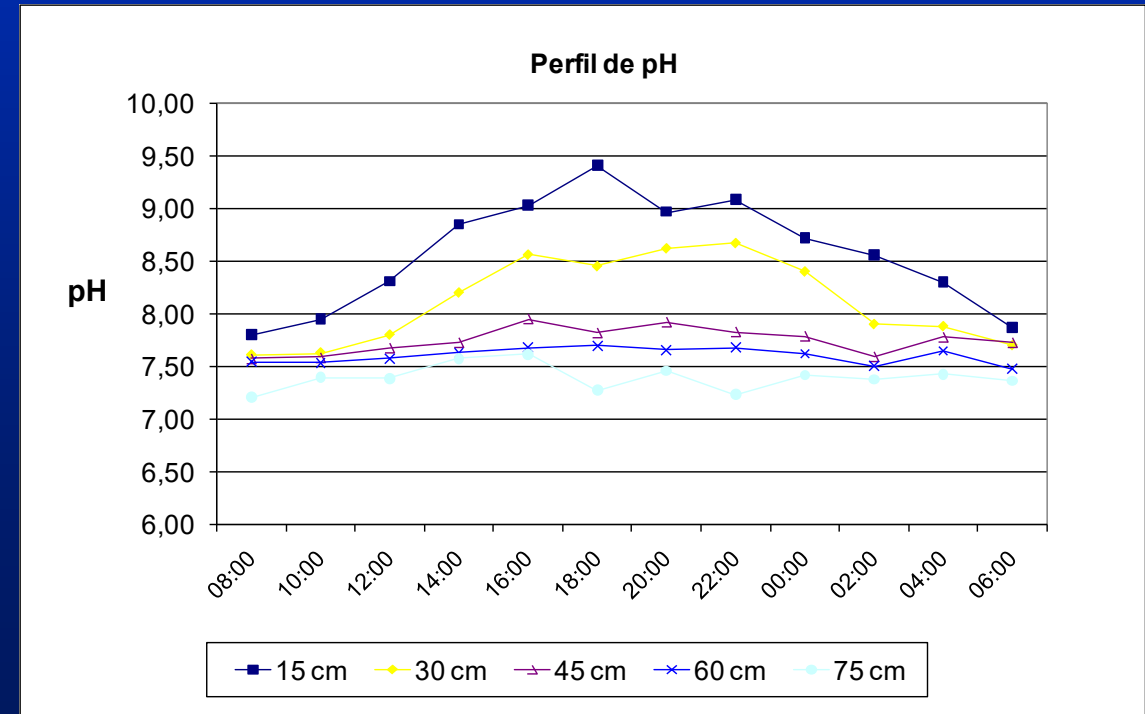
Perfil de Oxigenio dissolvido



pH início da série



pH Final da série



ETE experimental

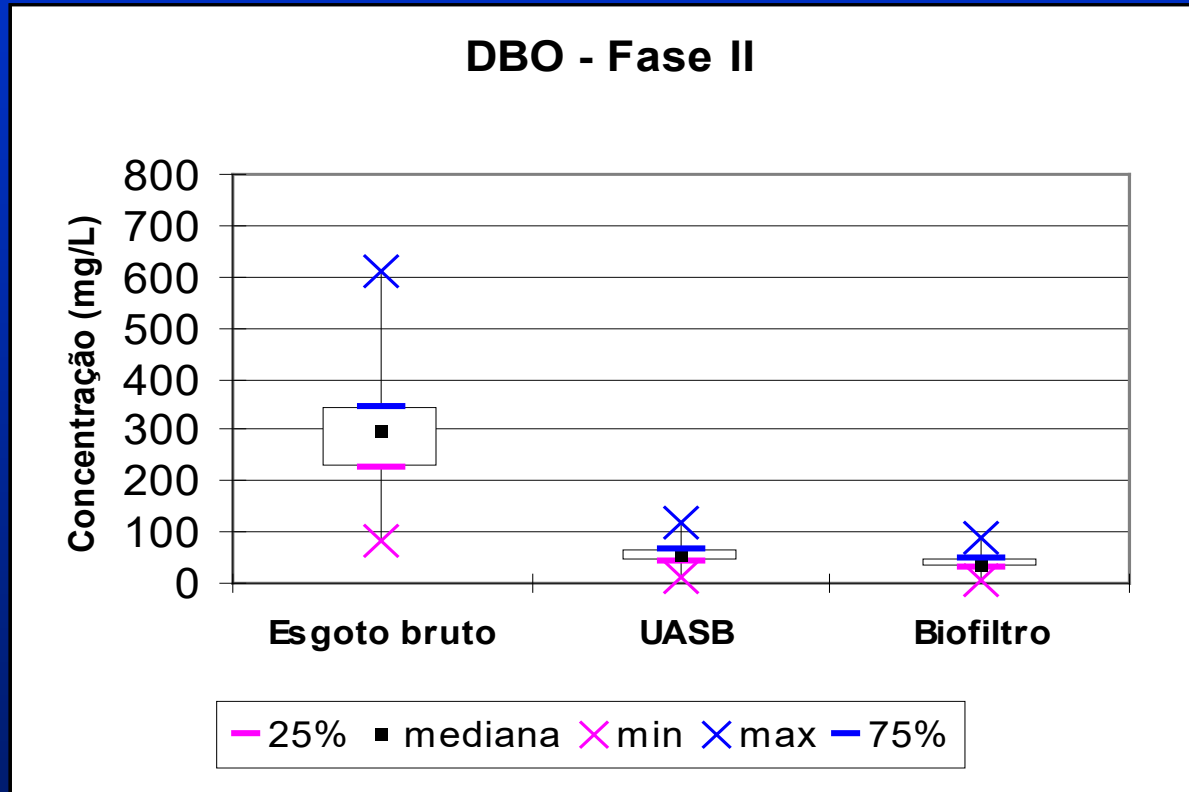


Unidade Integrada Tratamento e Reúso – Violeira, Viçosa-MG



UASB +BF

Remoção de matéria orgânica

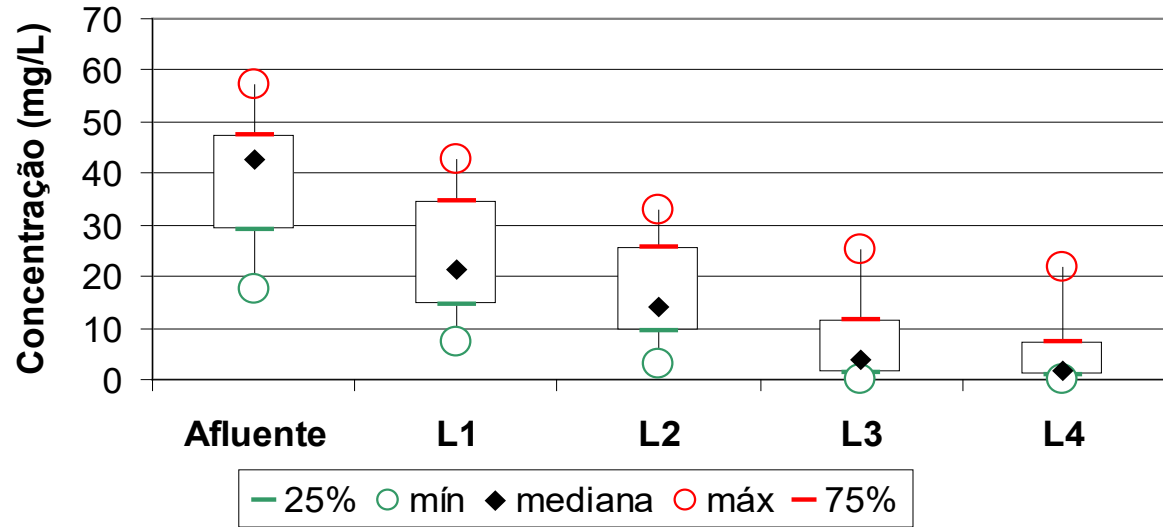


UASB 80%

BF 20%

Amônia total

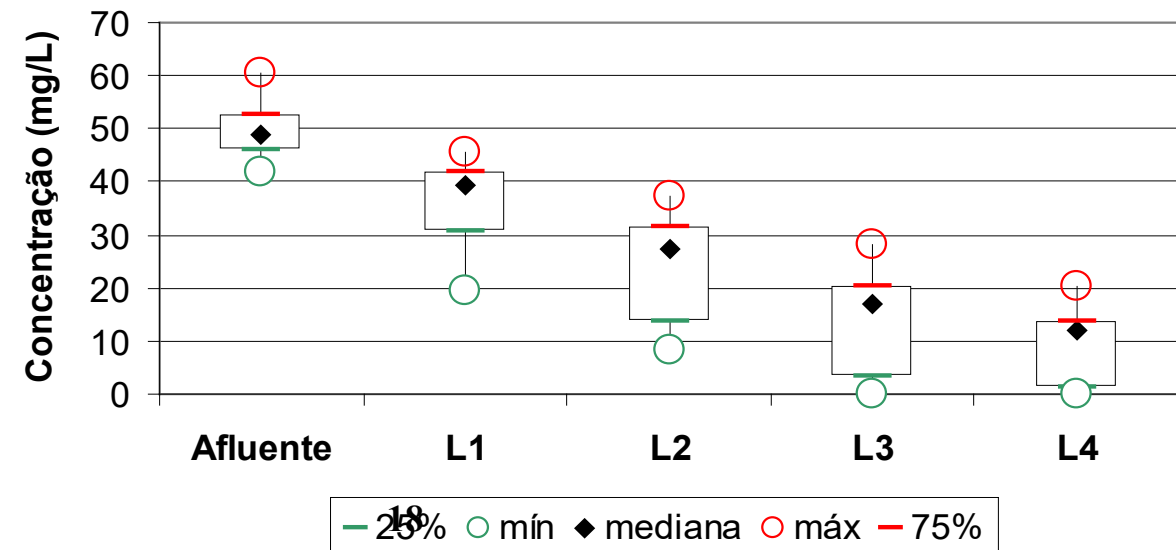
NH₃ Total - Período Quente

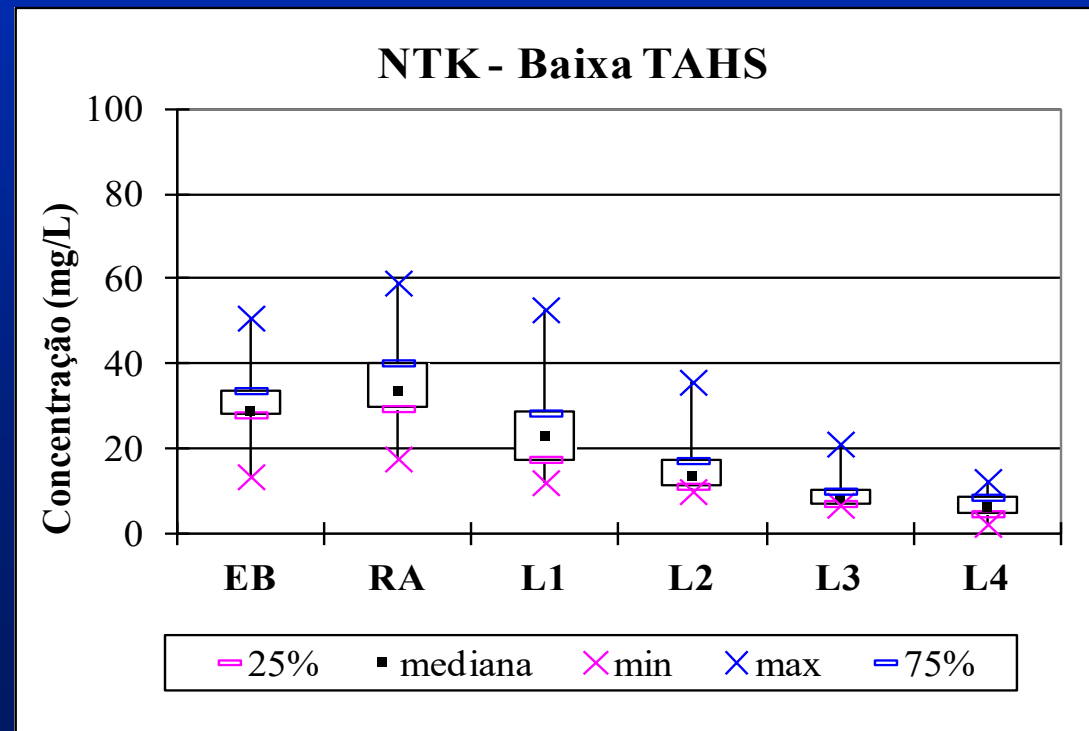
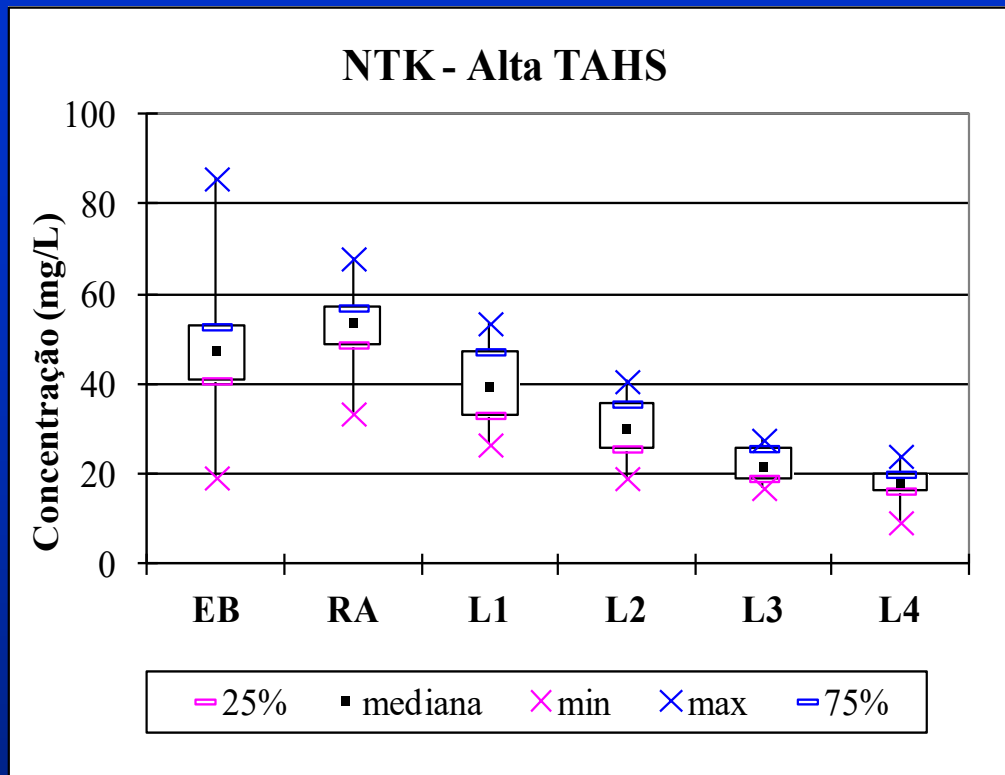


	Afluente	L1	L2	L3	L4
Média	39	24	16	8	5
Desvio Padrão	12	11	10	8	7

	Afluente	L1	L2	L3	L4
Média	50	35	24	14	10
Desvio Padrão	5	8	10	9	7

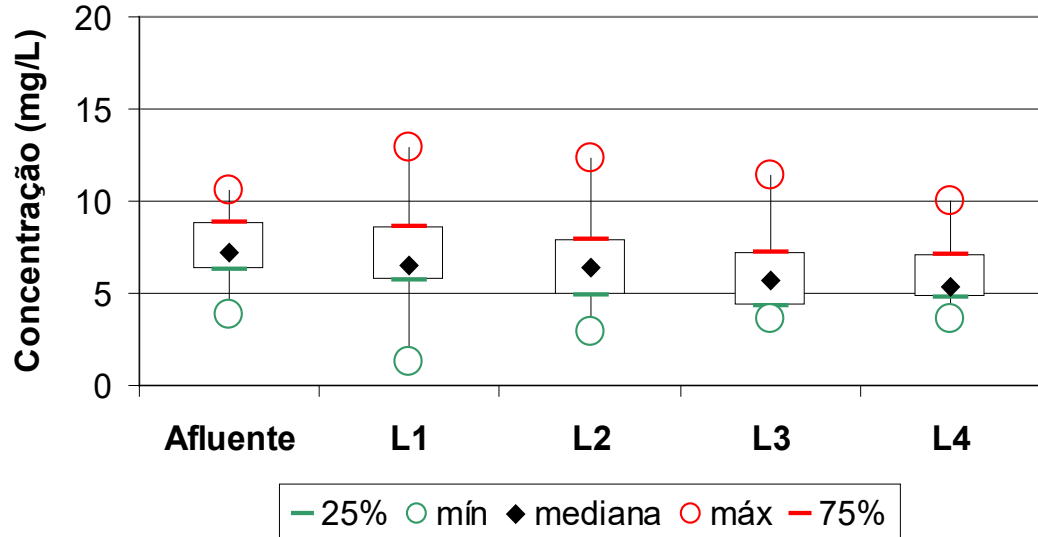
NH₃ Total - Período Frio





Fósforo total

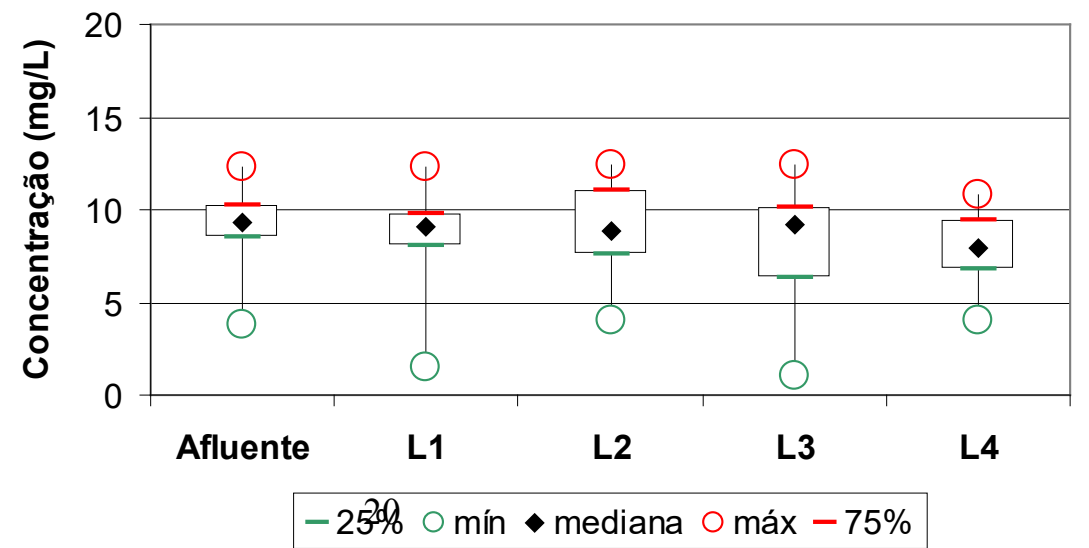
Fósforo total - Período quente



	Afluyente	L1	L2	L3	L4
Média	7,2	7,1	6,6	6,2	5,9
Desvio Padrão	2,1	2,6	2,3	2,2	1,8

	Afluyente	L1	L2	L3	L4
Média	9,2	8,5	8,9	8,2	7,9
Desvio Padrão	3,6	2,4	2,5	2,8	2,0

Fósforo total - Período frio





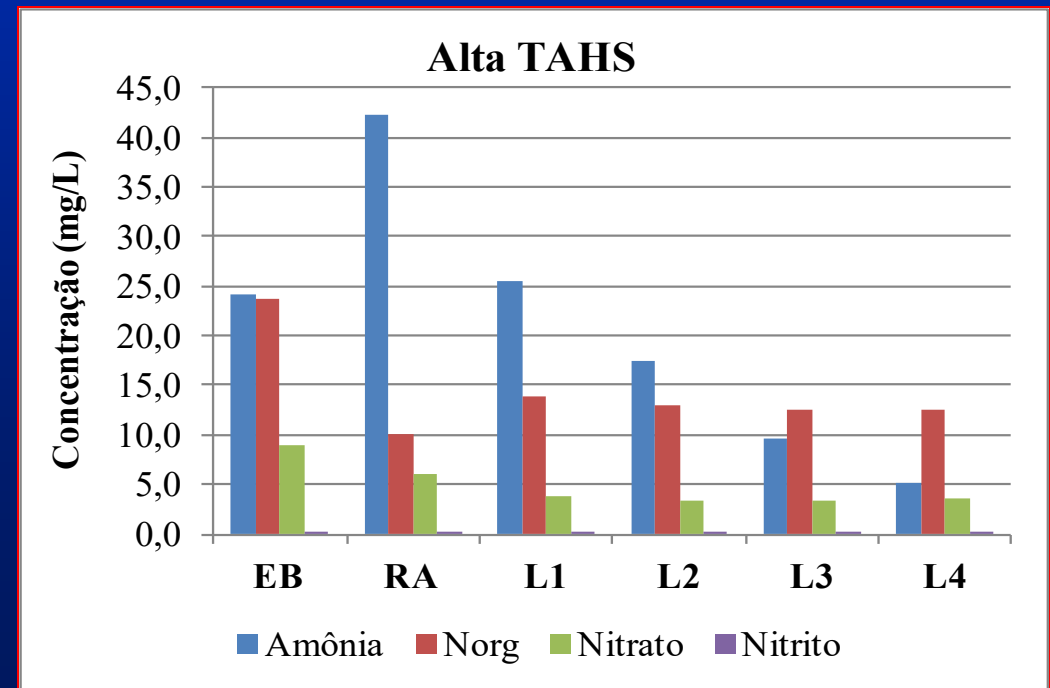
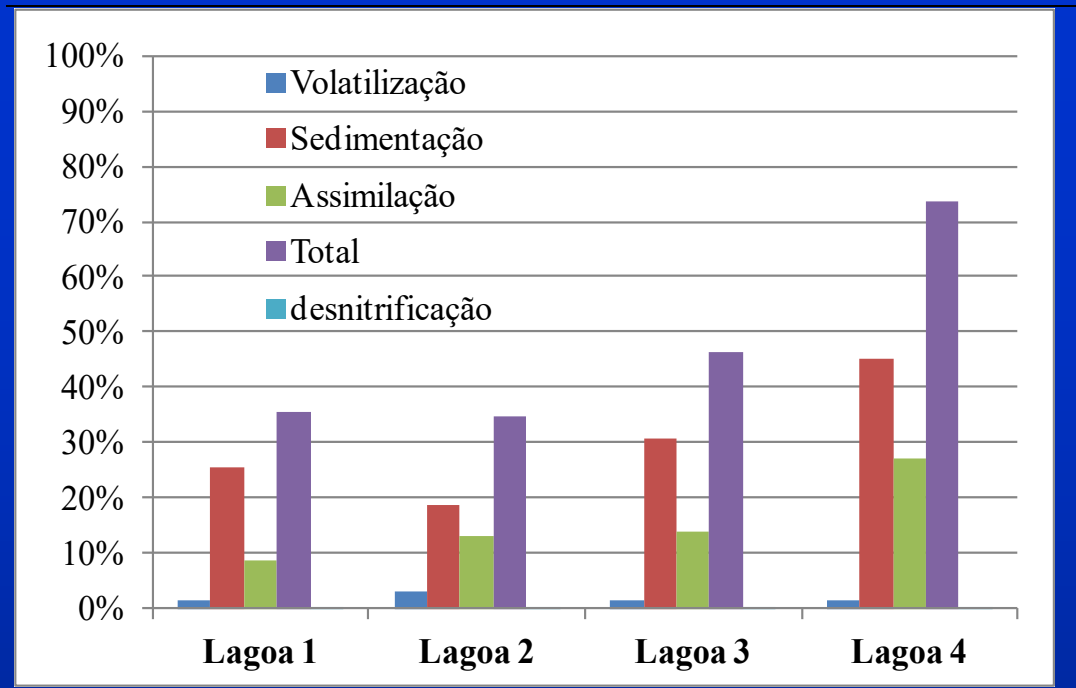
Fitoplâncton (organismos/mL)

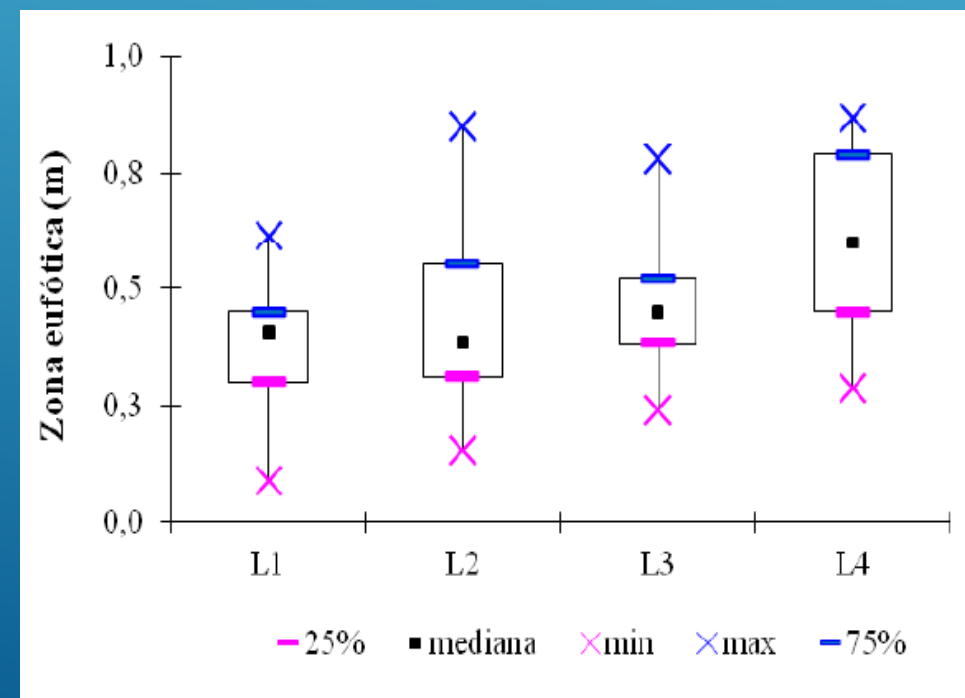
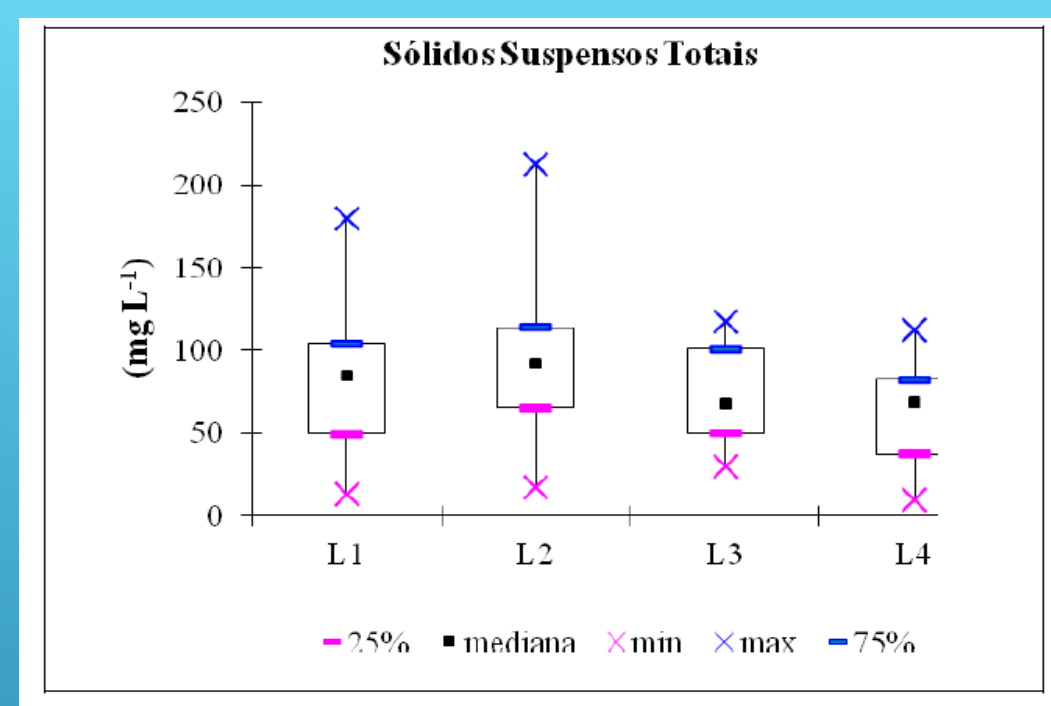
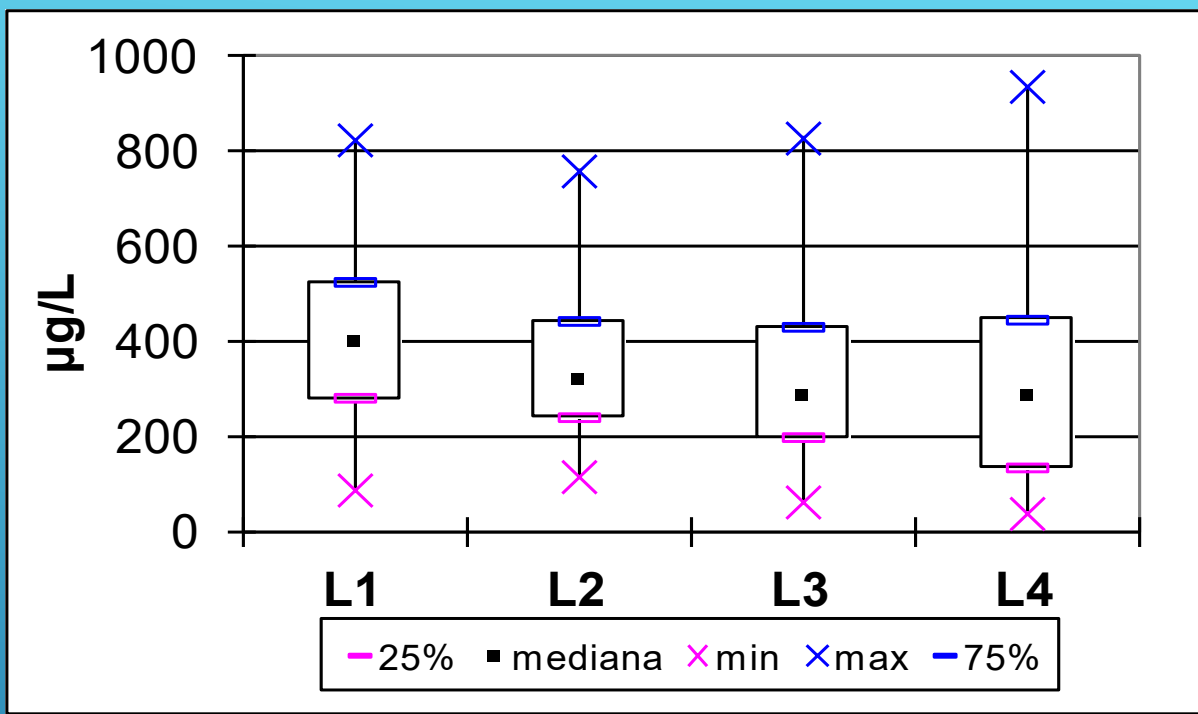
Táxons	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Lagoa 1				
<i>Chlorella</i>	9	8	7	8,0
<i>Clamydomonas</i>	16	0	0	5,3
<i>Euglena</i>	99	92	133	108,0
<i>Diatomacea</i>	32	0	0	10,7
<i>Scenedesmus</i>	0	0	3	1,0
Total	156	100	143	
Lagoa 3				
<i>Chlorella</i>	26	21	87	44,7
<i>Clamydomonas</i>	11	0	0	3,7
<i>Euglena</i>	16	27	14	19,0
<i>Coelastrum</i>	2	0	0	0,7
<i>Gleocystis</i>	2	0	0	0,7
<i>Scenedesmus</i>	6	11	13	10,0
<i>Phacus</i>	18	1	0	6,3
Total	81	49	114	



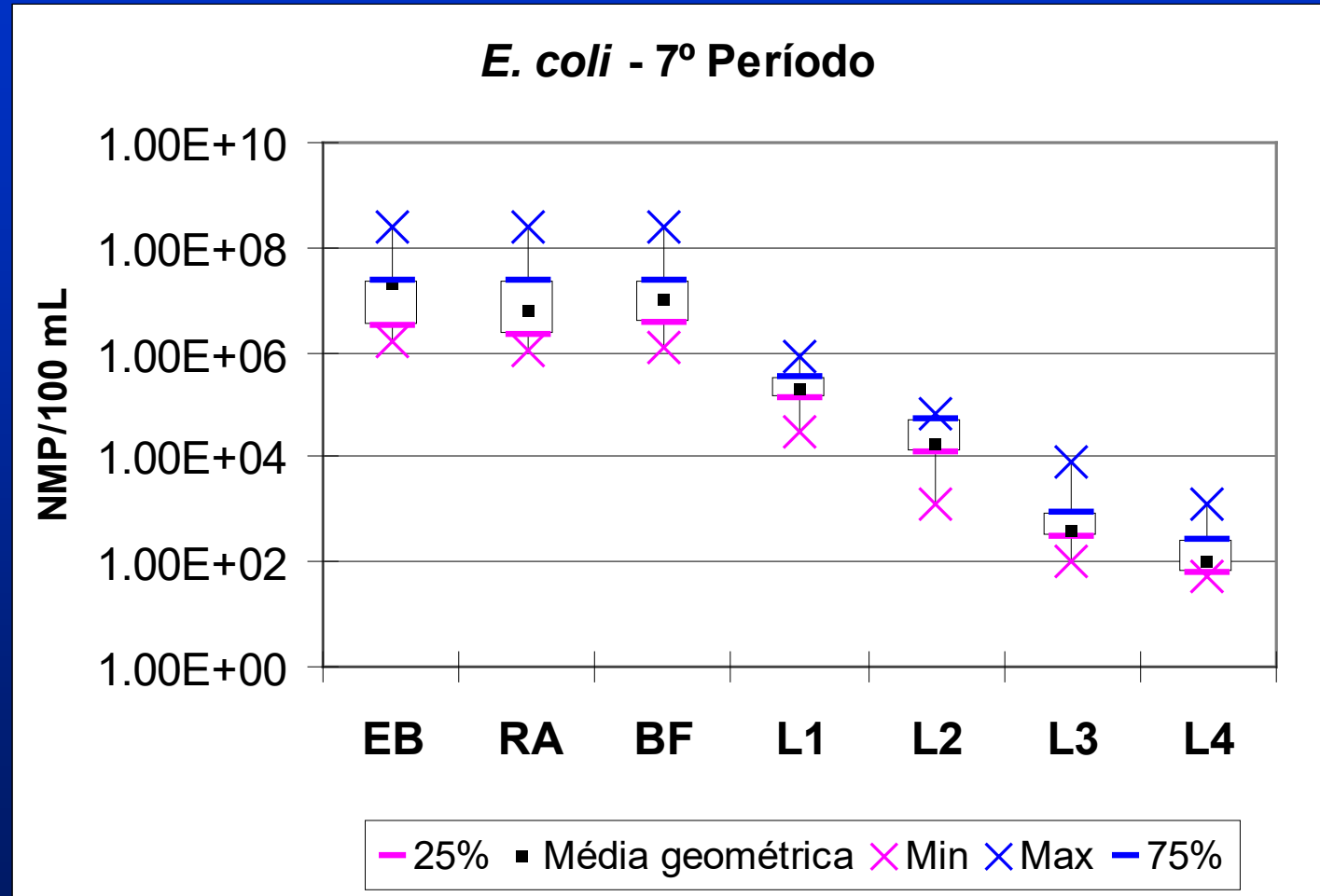
Zooplâncton (organismos/m³)

Táxons	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Lagoa 1				
Rotifera	11379	33711	35784	26958
Cladocera	58	820	503	460
Copepoda	3457	0	488	1315
Total	14894	34531	36775	28733
Lagoa 2				
Rotifera	13254	93652	5121	37342
Cladocera	96	6842	0	2313
Copepoda	5248	6779	0	4009
Total	18598	107273	5121	43664
Tanque 1				
Rotifera	20468	90112	102577	71052
Cladocera	102	5319	0	1807
Copepoda	10354	8795	29444	16198
Total	30924	104226	105521	89057





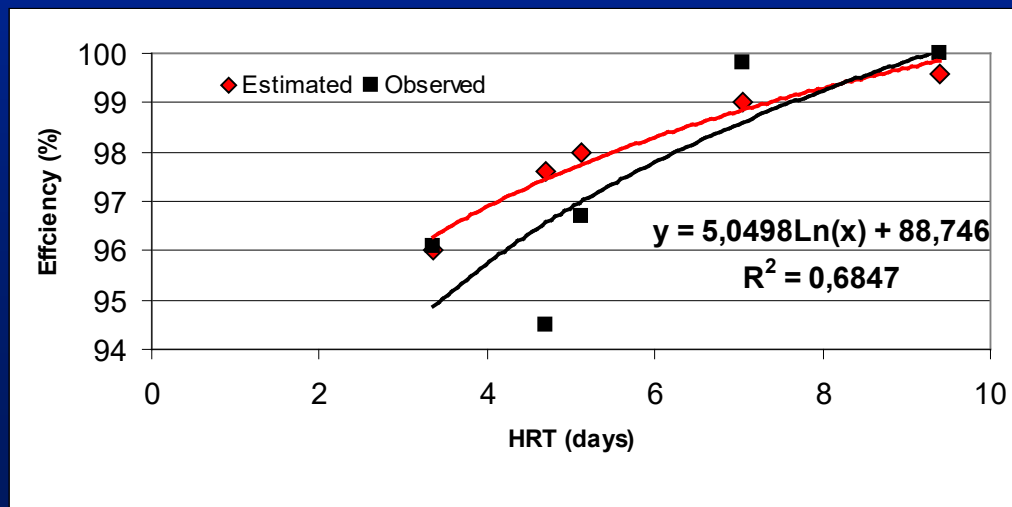
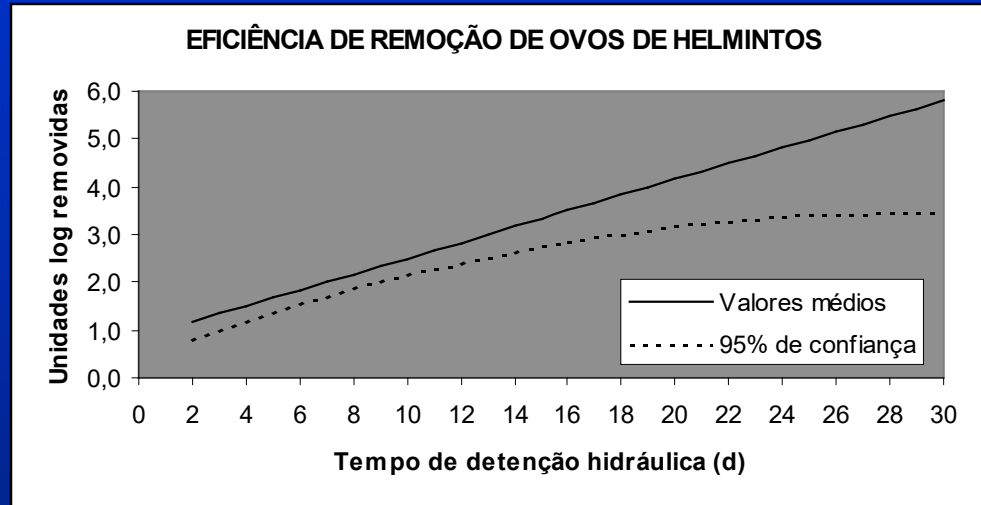
Remoção de coliformes



Remoção de ovos de helmintos em lagoas de estabilização

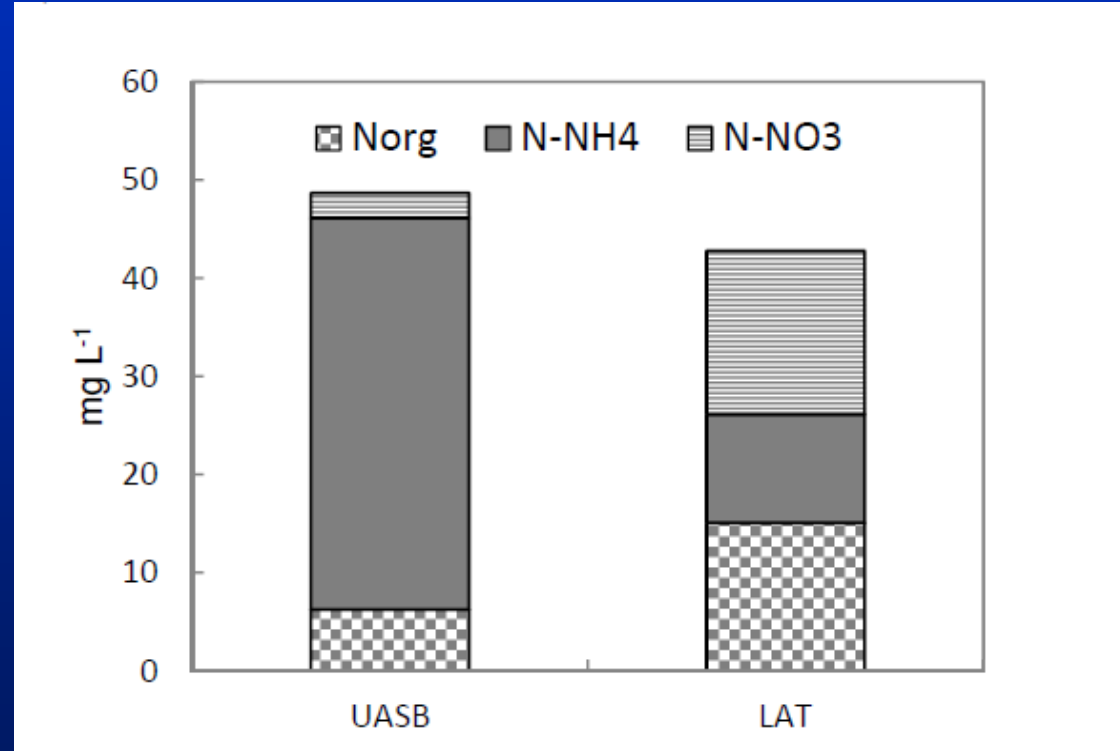
$$E = 100 \cdot [1 - 0,14 \cdot e^{(-0,38 \cdot t)}]$$

Ayres et al (1992)



Ayres et al (1992)

Bastos et al (2006)



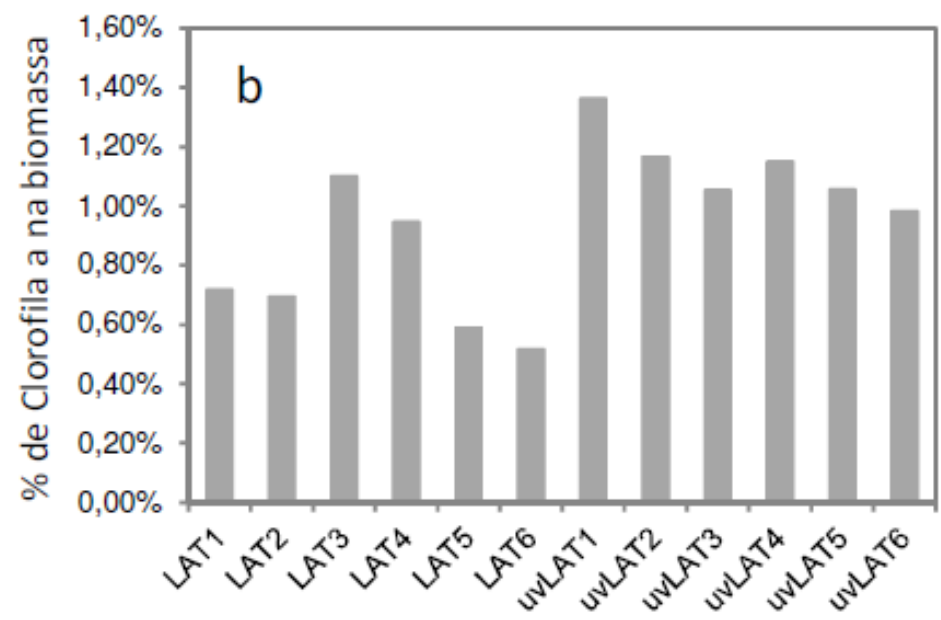
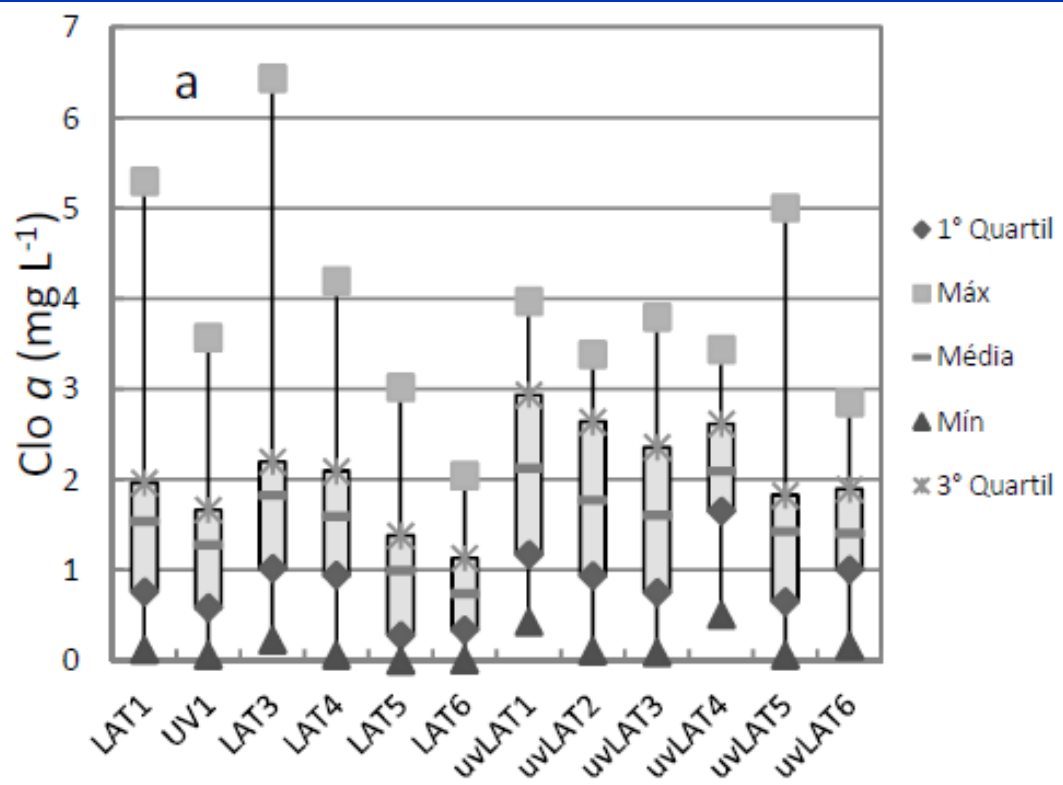


Tabela 8.2 – Características e desempenho em % de remoção de diferentes sistemas de pós-tratamento do reator UASB

	LAT (esse estudo)	LAT ⁽¹⁾	LAT ⁽²⁾	AC ⁽³⁾	LP ⁽⁴⁾	LP ⁽⁵⁾	
TDH (dias)	4	7,5	3	4,5	22,4-37,6	4	4
Profundidade (m)	0,3	0,7	0,3	-	0,4-0,9	0,6	0,4
Área (m ²)	3,3	43,5	45	24	64,8	32	32
TAS (kg DBO ha ⁻¹ dia ⁻¹)	162 *	47	172 *	31	39 - 64	180	146
TAH (m ³ m ⁻² dia ⁻¹)	0,076	0,093	0,1	0,063	0,092 - 0,153	0,14	0,14
DQO (%)	-14	14	-37	50 - 75	-	25	31
NTK (%)	42	49	37	20 - 70	70	-	-
N-NH ₄ (%)	71	73	64,5	20 - 80	90	-	-
Pt (%)	0	26	23	30	30	-	-
Ps (%)	14	-	-	-	-	-	-
SST (%)	-108	-152	-111	70	-	21	-11
E. coli (und. log.)	2,1	-	0,5-2,5	2 - 4	4 - 4,5	1,9	2,7

*TAS em termos de DQO total. Fonte: ⁽¹⁾ Monteggia e Filho (2001); ⁽²⁾ Nascimento (2001); ⁽³⁾ Calijuri et al. (2009); ⁽⁴⁾ Bastos et al. (2010a); ⁽⁵⁾ Mascarenhas et al. (2004).

Reúso - oportunidades (potencial)

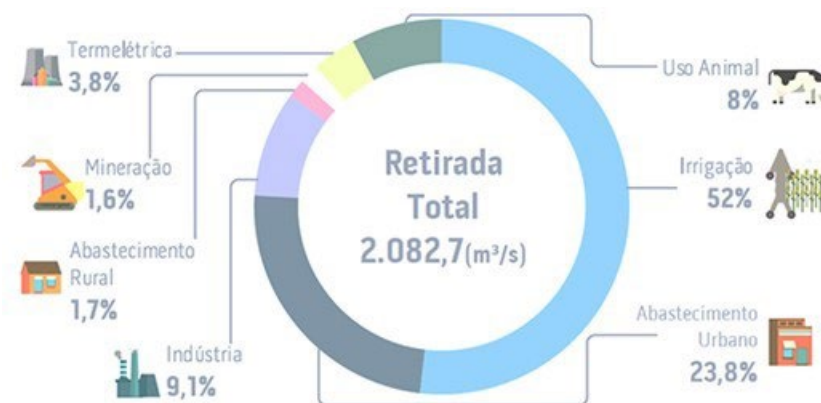
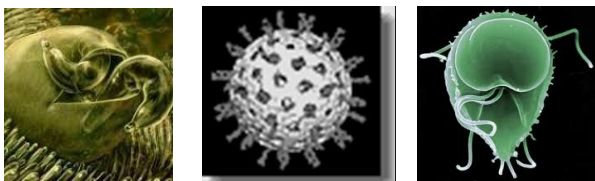
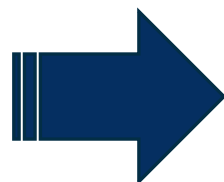
Vantagens

- ❖ reciclagem de nutrientes
- ❖ controle de poluição
- ❖ economia de insumos
- ❖ economia de água



Limitações

- ❖ efeitos no solo e plantas
- ❖ contaminação lençol
- ❖ aspectos sanitários



Reúso controlado utilização segura do ponto de vista sanitário, sustentável dos pontos de vista ambiental e econômico

Reúso - oportunidades (potencial) x limitações

▶ Irrigação irrestrita

sem restrição de técnicas de irrigação ou cultura irrigada
(culturas ingeridas cruas)

▶ Irrigação restrita

restrição de técnicas de irrigação ou culturas irrigadas; limitada à produção de culturas não ingeridas cruas, processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores

Grupos de risco

- ▶ consumidores de produtos irrigados
- ▶ ▶ consumidores de produtos animais alimentados com material irrigado
- ▶ ▶ trabalhadores em contato direto com a água de irrigação, solo e culturas irrigadas
- ▶ ▶ público residente nas proximidades de áreas irrigadas (principalmente quando utilizada a irrigação por aspersão)



► Piscicultura

Grupos de risco

consumidores de peixes cultivados com esgotos sanitários, trabalhadores em contato direto com a água de cultivo e peixes



► Reúso urbano

irrigação de parques e jardins, campos de esporte e lazer, cemitérios (...)

Grupos de risco

usuários e transeuntes em locais com aplicação de efluentes, trabalhadores em contato direto com a água de reúso, solo e material irrigado



Oportunidades (potencial x limitações)

Parâmetro	Esgoto Bruto	Efluente anaeróbio	Efluente Lagoa de polimento
pH	7,0	6,80 - 7,30	7 -10
ST (mg/L)	700- 1.110	800	>1.000
DBO (mg/L)	350 - 400	100 - 120	10 - 70
N-org. (mg/L)	15 - 30	10 - 30	2 - 10
N-NH ₃ (mg/L)	20 - 40	25 - 40	3 - 30
N total (mg/L)	35 - 70	35 - 70	5 - 40
P-total	5 - 25	5- 25	3-15
K (mg/L)	15-30	15-30	15-30
Na (mg/L)	20 - 100	20 - 100	20 - 100
Ca (mg/L)	5 - 40	5 - 40	5 - 40
Mg (mg/L)	5 - 40	5 - 40	5 - 40
RAS	2 - 10	2 - 10	2 - 10
CE (ds/m)	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0
Cloretos (mg/L)	100 - 200	100 - 200	100 - 200
E.coli (NMP/100 mL)	10 ⁶ - 10 ⁹	10 ⁵ - 10 ⁸	10 - 10 ⁵
Ovos de helmintos/L	10 - 10 ²	5 - 20	ND

REATOR UASB SEGUIDO POR LAGOAS DE POLIMENTO EM SÉRIE

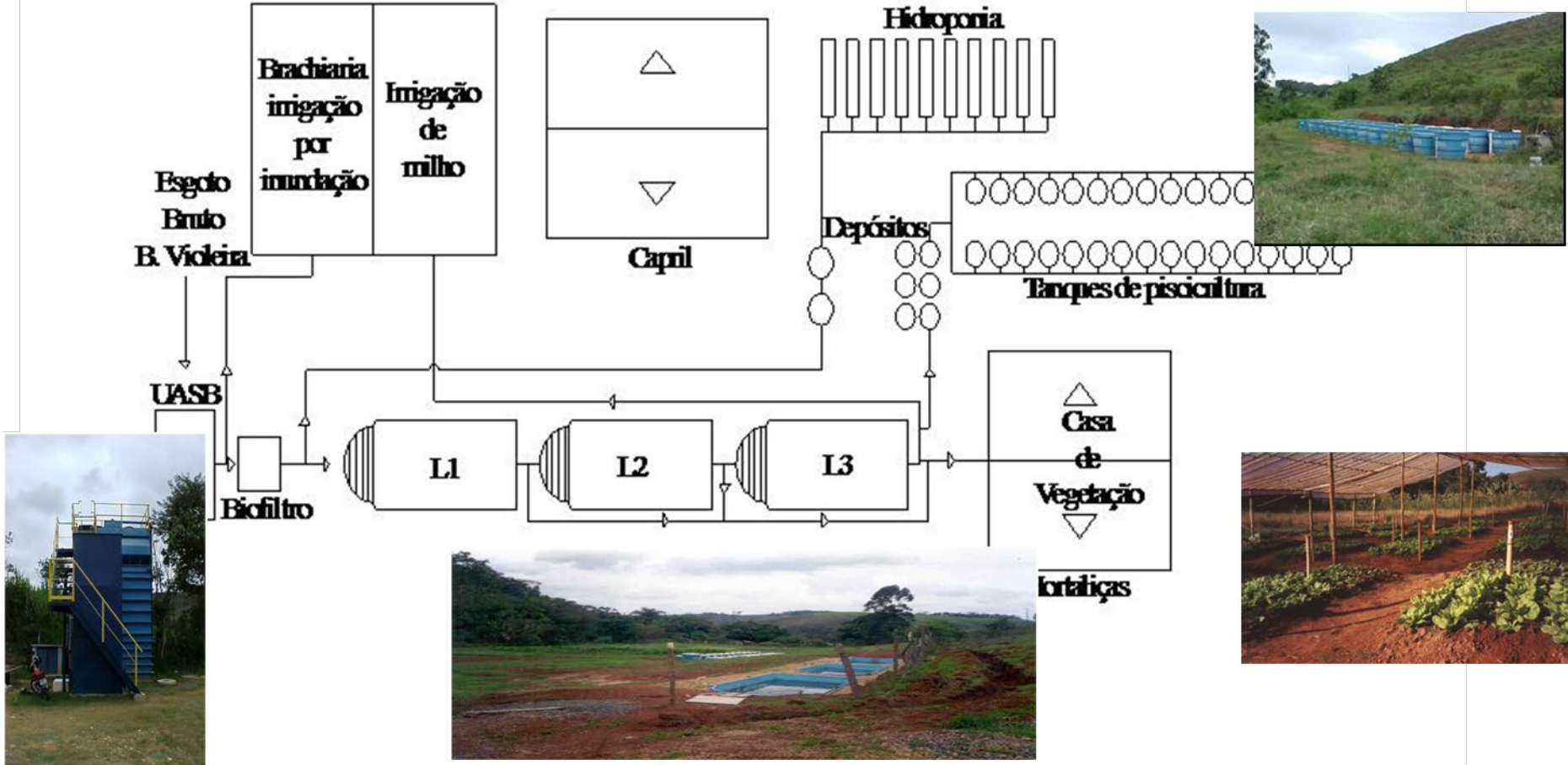
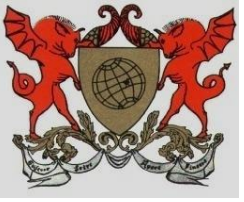


Irrigação restrita: 10^4 E.coli / 100mL
< 1 ovo helmintos /L

Irrigação irrestrita: 10^3 E.coli / 100mL)

Piscicultura : 10^4 E.coli / 100mL
5 mg NH_3 /L

Área E.coli x Área NH_3





Muito obrigado !!!