



II-084 – COLIFORMES (TOTAIS, TERMOTOLERANTES E *E.COLI*) EM EFLUENTES DE SISTEMAS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO

Fernando José Araújo da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Fortaleza. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba, *Campus II*. Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Ceará. Prof. Adjunto na Universidade Federal do Ceará, *Campus Cariri*.

Maria Gorethe de Sousa Lima

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba, *Campus II*. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba, *Campus II*. Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Profa. Adjunto na Universidade Federal do Ceará, *Campus Cariri*.

Luiz Alberto Ribeiro Mendonça

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre e Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Ceará. Prof. Adjunto na Universidade Federal do Ceará, *Campus Cariri*.

Osmar Luiz Moreira P. Fonseca de Menezes

Discente no Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, *Campus Cariri*.

Endereço⁽¹⁾: Av. Ten. Raimundo Rocha S/N, Juazeiro do Norte- CE, CEP: 63040-360 - Brasil - Tel: (88) 35727223 - e-mail: fjas@cariri.ufc.br

RESUMO

O presente estudo tratou do desempenho de 36 estações de tratamento, empregando reatores anaeróbios, com pós-tratamento por cloração. Foram investigados 19 sistemas T_{SEP} -F_{AN} e 17 UASB. O estudo foi concentrado na remoção de coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (C_{TM}) e *E. coli* (EC). Os sistemas com UASB apresentaram constantes de decaimento de coliformes (k_b) mais elevadas. Os esgotos tratados apresentaram correlações mais destacadas para CT *versus* C_{TM} e C_{TM} *versus* EC. Nos efluentes anaeróbios, concentrações maiores de cloro residual livre proporcionaram maior redução bacteriana.

PALAVRAS-CHAVE: Reatores anaeróbios, Remoção de coliformes, Indicadores de patógenos.

INTRODUÇÃO

A contagem de bactérias indicadoras fecais em águas residuárias domésticas não se refere à poluição fecal apenas, mas principalmente à remoção de patógenos fecais pelos sistemas de tratamento. Mara (2004) lembra que os indicadores devem ser exclusivamente de origem fecal, ter densidades superiores a de patógenos (vírus e bactérias em especial), e apresentar em estações de tratamento uma remoção próxima à verificada para os patógenos. O autor ressalta ainda que a determinação de indicadores deve ser simples, barata, e que estas quantificações sejam confiáveis.

Apesar da improbabilidade de que um único organismo possa atender a tantas exigências, as bactérias do grupo coliforme permanecem como principal indicador de contaminação fecal. São largamente aplicadas aos controles da qualidade de águas de abastecimento, da água no ambiente e do despejo de efluentes (BITTON, 2005).

Os coliformes constituem um grupo heterogêneo, e, apesar do avanço da microbiologia, ainda mantém um conceito operacional simples: oxidam lactose, que em 24h produz gás a 37°C – temperatura do corpo humano. Em razão disto, os coliformes eram até recentemente – uma década atrás - divididos em coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF), sendo este último um subgrupo do primeiro. O subgrupo fecal passou a ser denominado de termotolerante (C_{TM}), por ser selecionado em temperatura superior (44°C) (MARA, 2004).

Mais recentemente, o grupo *Escherichia coli* passou a ser considerado um indicador mais confiável, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical, em substituição ao C_{TM}. O grupo *E. coli* é único por possuir a enzima β-glucuronidase em seu processo metabólico, que pode ser detectado em meio contendo substrato cromogênico, em contagem paralela à determinação dos coliformes totais.



A substituição de C_{TM} por EC tem sido gradual, havendo monitoração paralela em muitos casos. Tal precaução visa conhecer melhor uso de meios com substrato cromogênico, que permite quantificar CT e EC ao mesmo tempo. Neste contexto, os resultados obtidos com sistemas de tratamento de esgotos em escala real trazem mais confiança aos operadores (i.e. concessionárias de serviços de água e esgotos).

O presente estudo pretende avaliar as remoções de CT, C_{TM} e EC em dois tipos de configurações de tratamento anaeróbio de esgotos domésticos (tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e reator UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Sistemas anaeróbios podem proporcionar altas taxas de remoção de matéria orgânica (superficial e volumétrica), porém a remoção de patógenos é desprezível (CHERNICHARO et al., 2001). Portanto, a qualidade destes efluentes não garante adequação aos limites estabelecidos por normas ambientais, impondo a necessidade de pós-tratamento (VAN HAANDEL et al., 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram investigados 36 sistemas anaeróbios para tratamento de esgotos domésticos, em escala real. Dentre estes, 19 eram do tipo tanque séptico seguido de filtro anaeróbio ($T_{SEP-FAN}$) e 17 eram reatores UASB. O pós-tratamento dos efluentes dos conjuntos anaeróbios era feito com cloração (solução de hipoclorito de sódio). Os sistemas estavam localizados na periferia de Fortaleza – CE ($3^{\circ} 45'$ sul e $38^{\circ} 35'$ oeste), região Nordeste do Brasil.

Ao longo de 21 meses foram coletadas mensalmente amostras afluentes e efluentes, em cada sistema, no turno da manhã (por volta das 10hs). A investigação considerou os seguintes parâmetros: coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (C_{TM}), *Escherichia coli* (EC), turbidez (T_{URB}), temperatura (T , $^{\circ}C$), pH, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST). Exclusivamente nos efluentes, após as unidades de desinfecção, foram determinadas as concentrações de cloro residual livre (C_{RL}). Todos os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (2005). Foram realizadas ainda campanhas para estimar as vazões afluentes às estações de tratamento, e seus respectivos tempos de detenção hidráulica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas médias de esgotos afluentes e efluentes foram bastante homogêneas, com valores de 30 e $31^{\circ}C$, respectivamente, e coeficientes de variação ($CV = 100 * \sigma / \text{média aritmética}$) inferiores a 4% . O pH do esgoto afluente foi próximo do neutro com valores médios de $7,27$ ($\sigma = 0,42$) e $7,33$ ($\sigma = 0,36$) nos sistemas $T_{SEP-FAN}$ e UASB, respectivamente. Nos efluentes os valores foram ligeiramente inferiores, com médias de $7,08$ ($\sigma = 0,33$) e $7,11$ ($\sigma = 0,54$) para as referidas configurações. A tabela 1 mostra as características dos esgotos afluentes aos dois tipos de sistemas anaeróbios do estudo.

Tabela 1: Características de conteúdo orgânico e coliformes no esgoto afluente dos sistemas.

Parâmetro	$T_{SEP-FAN}$			$UASB$		
	Média	Mediana	σ	Média	Mediana	σ
T_{URB} (UT)	456	466	219	402	395	149
DQO (mg/L)	981	929	383	810	836	163
SST (mg/L)	436	453	173	353	325	88
CT (NMP/100 mL) ¹	$2,10E+08$	$1,70E+08$	$5,39E+08$	$3,78E+08$	$3,60E+08$	$6,01E+08$
C_{TM} (NMP/100 mL) ¹	$3,00E+07$	$2,70E+07$	$6,20E+07$	$6,26E+07$	$5,22E+07$	$8,28E+07$
EC (NMP/100 mL) ¹	$5,10E+07$	$5,00E+07$	$6,71E+07$	$8,36E+07$	$7,90E+07$	$7,26E+07$

¹Média geométrica.

Apesar de não haver diferenças significativas ($p < 0,003$) o conteúdo médio de T_{URB} , DQO e SST nos esgotos brutos dos sistemas $T_{SEP-FAN}$ foram um pouco maiores. A densidade microbiana dos organismos indicadores presentes nos esgotos brutos não apresentou qualquer distinção estatística significativa, seja com os dados originais ou discretizados (i.e. transformados para Log_{10}).

As figuras 1 e 2 mostram correlações entre as contagens de organismos indicadores nos afluentes das ETEs, com base em valores médios. Nota-se das figuras, que a dispersão do par C_{TM} versus EC foi maior, refletindo um coeficiente de explicação (R^2) menor.

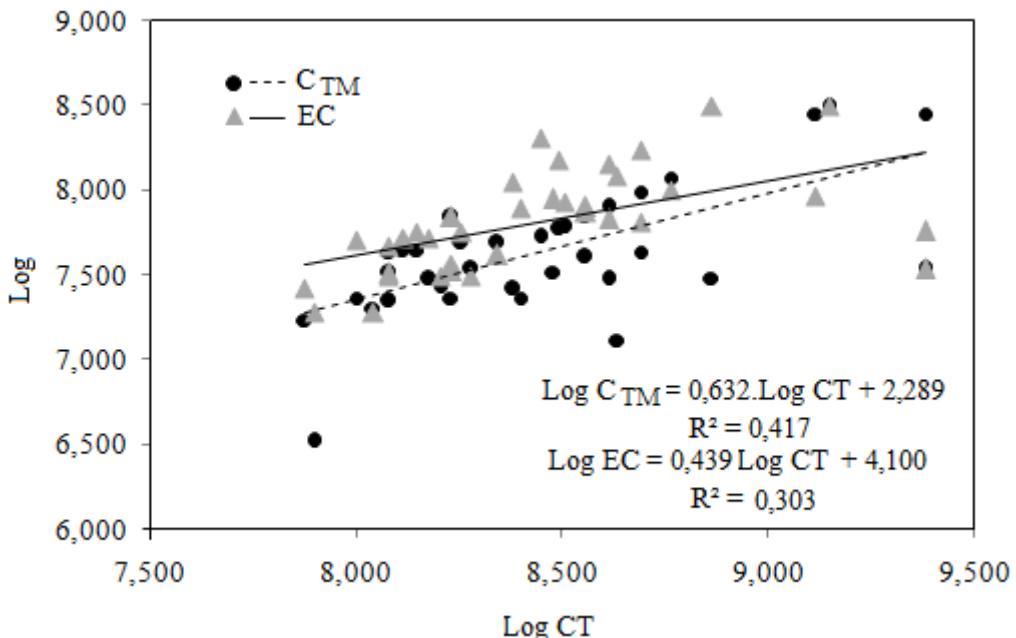


Figura 1: Correlação de CT com C_{TM} e EC no esgoto bruto dos sistemas anaeróbios do estudo tratado.

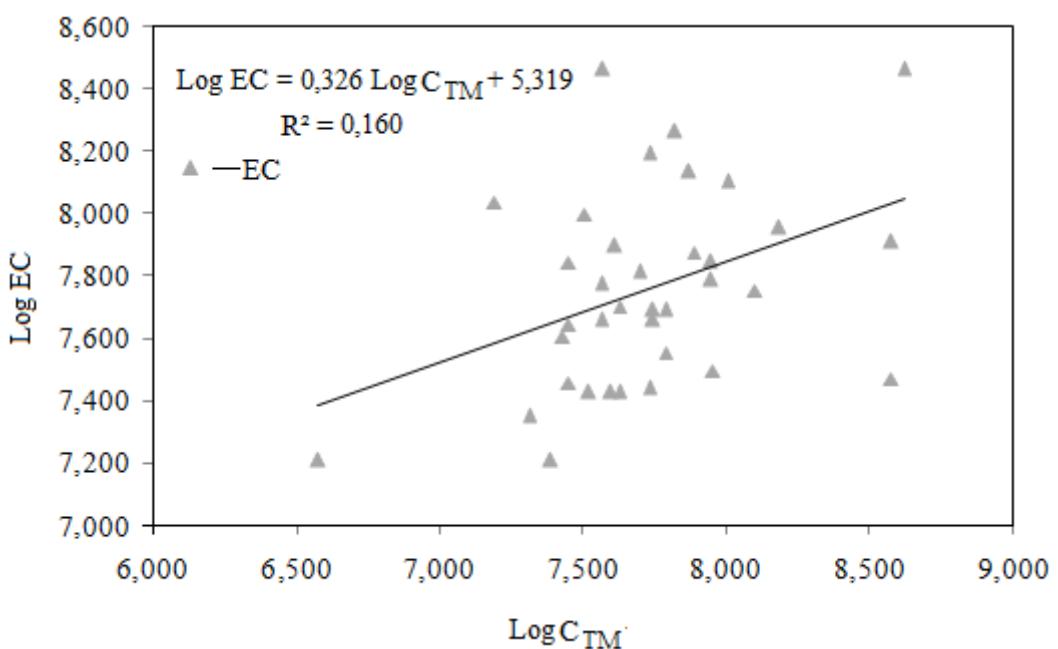


Figura 2: Correlação de C_{TM} com EC no esgoto bruto dos sistemas anaeróbios do estudo.

A remoção média de DQO nos sistemas de tratamento foi de 49% e 39% para SST. Para turbidez a redução média foi de 41%. Tais resultados são para o conjunto de dados agrupados dos dois tipos de sistemas anaeróbios (i.e. todos os T_{SEP} - F_{AN} e UASB). Os valores reduzidos, abaixo do que sugere a literatura (e.g. CHERNICHARO, 2007) refletem distinções de desempenho entre tipos de tratamento e ETEs individualmente.



Nos sistemas com UASB as remoções de DQO variaram de 36 a 86% (média de 63%) e as de SST de -12 a 83% (média de 54%). No caso dos sistemas T_{SEP}-F_{AN} a média de remoção de DQO foi de 39% (variando de 8 a 76%). Nestes sistemas a remoção média de SST foi de 24% (variando de -153 a 85%). As remoções de turbidez também apresentaram grande variação, com média de 35 e 49%, para os sistemas T_{SEP}-F_{AN} e UASB, respectivamente. Nos primeiros as remoções variaram de -28 a 74% e nos últimos de -15 a 92%.

Os resultados mostraram que havia plantas de tratamento cujo rendimento foi muito baixo, ou mesmo negativo (i.e. estado de colapso ou mau funcionamento). Isto exige atenção por parte dos operadores, a fim de identificar as razões, pois não havia indicação de sobrecarga afluente a nenhum dos sistemas.

Em amostras de efluentes não clorados (i.e. C_{RL} = 0) a remoção de organismos coliforme foi praticamente a mesma nos dois tipos de sistema, sem diferenças significantes (para $\alpha = 0,05$). Assim considerados, os valores médios de redução de CT, C_{TM} e EC foram de 0,894; 0,431 e 0,938 unidades de Log₁₀. As concentrações efluentes, antes da cloração, apresentaram média geométrica de CT de $1,7 \times 10^7$ NMP/100 mL, que variou de $1,6 \times 10^6$ a $5,8 \times 10^8$ NMP/100 mL. Para C_{TM} esta média foi de $9,6 \times 10^6$ NMP/100 mL, com variação de $1,6 \times 10^3$ a $3,5 \times 10^7$ NMP/100 mL. A média geométrica de EC nos efluentes anaeróbios não clorados foi de $5,8 \times 10^6$ NMP/100 mL (variação de $5,0 \times 10^2$ a $1,2 \times 10^8$ NMP/100 mL).

Entretanto, as constantes de decaimento de coliformes (k_b) baseadas em cinética de primeira ordem mostraram que os reatores UASB alcançaram melhor desempenho. Este foi determinado pelo reduzido tempo de detenção hidráulica (TDH), quando comparado ao dos sistemas T_{SEP}-F_{AN}. Enquanto nas estações constituídas de UASB o TDH variou de 0,27 a 1,89 dias (média de 0,47 dia), nos sistemas T_{SEP}-F_{AN} os valores foram bem superiores, variando de 1,20 a 8,50 dias (média de 2,16 dias). Há que se ressaltar que no caso dos sistemas T_{SEP}-F_{AN} as concepções de projeto foram bem mais conservadoras. Os resultados dos cálculos das constantes de 1^a ordem para decaimento de coliformes [k_b = ln (N₀/N)/TDH] estão na tabela 2, para efluentes não clorados.

Tabela 2: Constantes de remoção coliformes (dia⁻¹) nos conjuntos de estações estudadas.

UASB			T _{SEP} -F _{AN}		
CT	C _{TM}	EC	CT	C _{TM}	EC
4,379 (1,089-7,623)	2,111 (0,525-3,675)	4,594 (1,142-7,997)	0,953 (0,242-1,715)	0,459 (0,117- 0,827)	1,000 (0,254-1,799)

Houve clara distinção na densidade de organismos coliformes nos efluentes clorados dos dois tipos de sistemas. Isto foi relacionado à manutenção dos níveis de C_{RL} nos efluentes, pois enquanto 13,1% das amostras dos sistemas com UASB não continham C_{RL}, nos sistemas T_{SEP}-F_{AN} este percentual foi de 36,1%. Em termos de concentração média, o C_{RL} nos efluentes de UASB foi 67% superior, com média de 2,0 mg /L e variação de 0,10 a 3,17 mg/L. Nos sistemas T_{SEP}-F_{AN} as remoções médias de CT, C_{TM}, e EC foram, respectivamente, de 2,933; 2,601 e 2,801 unidades de Log₁₀. Nos sistemas com reatores UASB as remoções foram de 4,536; 4,033 e 4,433 unidades de Log₁₀, respectivamente. Para os dados agrupados a Figura 3 mostra correlações positivas entre os valores de C_{RL} e concentrações de C_{TM} e EC, com base nos valores médios.

Remoções médias de 4 unidades de Log₁₀ puderam ser alcançadas com C_{RL} mantido na faixa entre 2,0 e 2,5 mg/L. Mesmo assim ocorreram variações na remoção. Narkis et al. (1995) destacam que o crescimento de organismos dos indicadores depende da penetração do desinfetante nas partículas em suspensão. Portanto, o tempo de contato do desinfetante é relevante. Também, compostos parcialmente oxidados pelo cloro podem ficar disponíveis para o crescimento microbiano, demandando concentrações de C_{RL} maiores. Portanto, a remoção de matéria orgânica (DQO e SST) constitui requisito para melhor ação do desinfetante, conforme assinalam Winward et al. (2008).

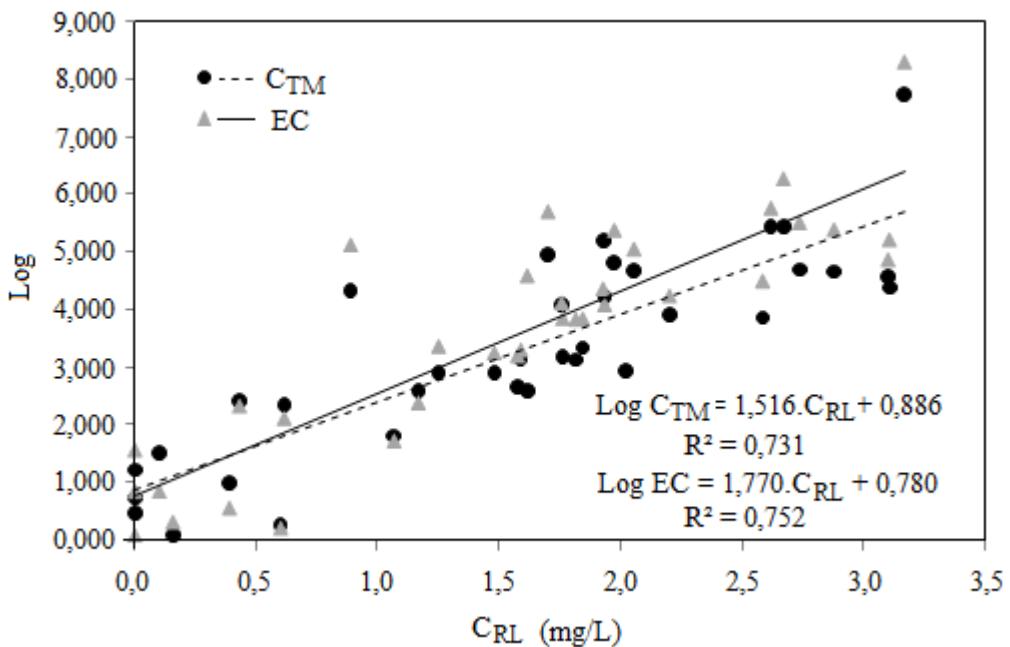


Figura 3: Correlação entre cloro residual livre (C_{RL}) e organismos indicadores C_{TM} e EC no efluente tratado dos sistemas anaeróbios do estudo.

As figuras 4 e 5 mostram correlações entre as contagens de organismos indicadores nos efluentes tratados das ETEs, com base em valores médios. Comparadas às correlações observadas no esgoto bruto (figuras 1 e 2), ressalta-se houve equalização na densidade microbiana efluente (demonstrada pelo maior coeficiente de explicação, R^2), a despeito do baixo desempenho na remoção de matéria orgânica e instabilidade na manutenção de C_{RL} adequado para desinfecção.

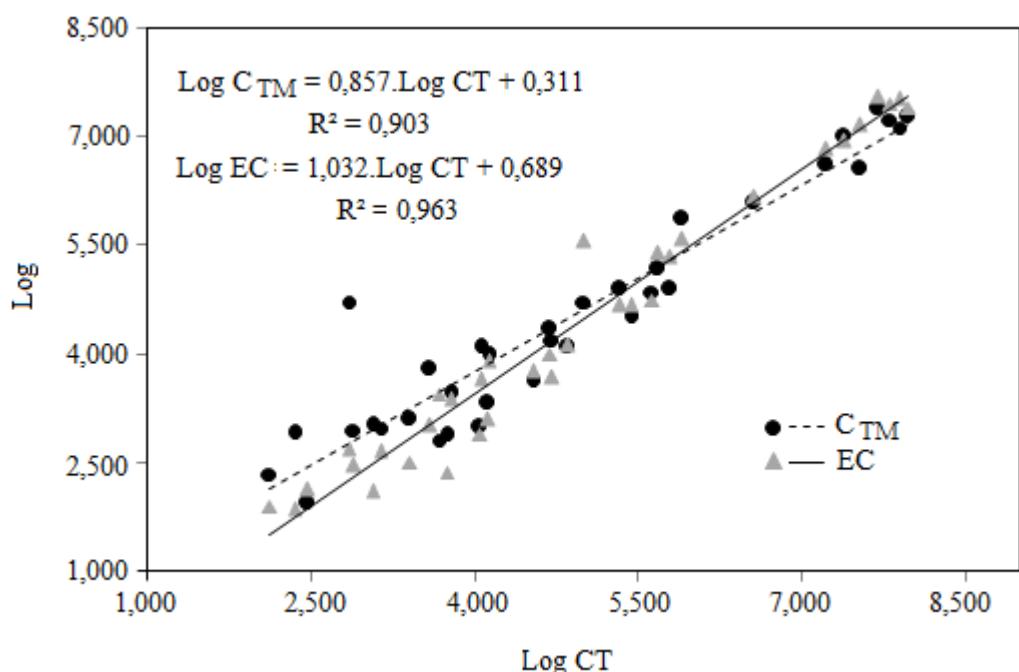


Figura 4: Correlação de CT com C_{TM} e EC no efluente tratado dos sistemas anaeróbios do estudo.

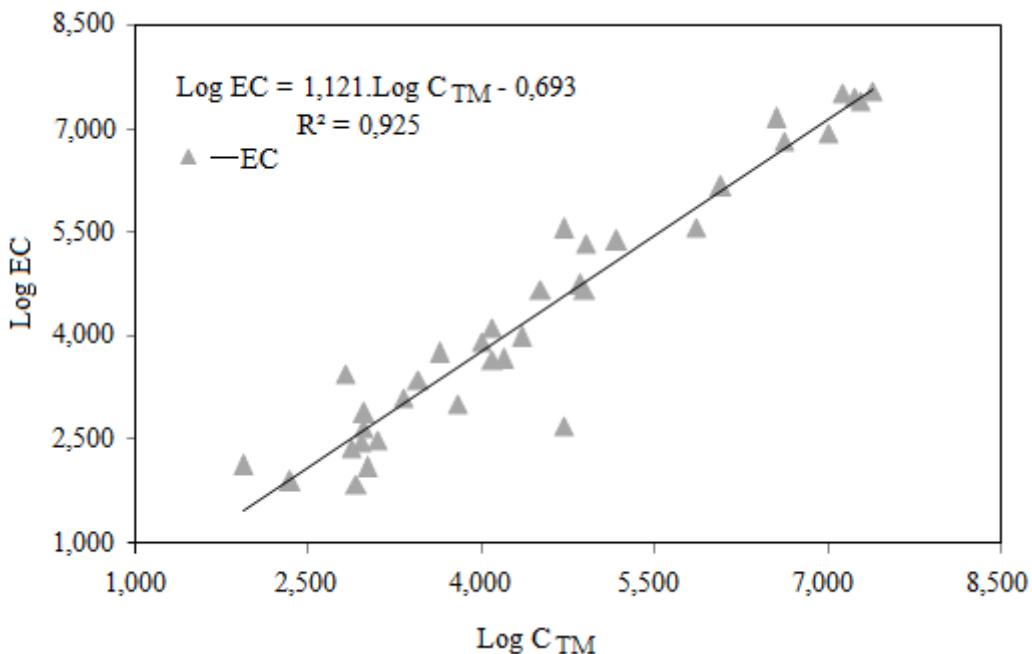


Figura 5: Correlação de C_{TM} com EC no efluente tratado dos sistemas anaeróbios do estudo.

Mudanças nas razões entre densidades microbianas ratificam o efeito do tratamento. Ocorreu incremento nas razões de C_{TM}/CT , EC/CT e C_{TM}/EC . A tabela 3 apresenta estes resultados, com observação para maior variação nos efluentes tratados. A justificativa para tal fato corresponde às hipóteses oferecidas por Narkis et al. (1995) e Winward et al. (2008) e já destacadadas neste texto.

Tabela 3: Razões entre densidades microbianas nos esgotos dos sistemas anaeróbios do estudo.

Sistema	Descriptor Estatístico	Afluente			Efluente		
		C_{TM}/CT	EC/CT	C_{TM}/EC	C_{TM}/CT	EC/CT	C_{TM}/EC
$T_{SEP-F_{AN}}$	Média	0,19	0,29	1,10	0,29	0,49	1,13
	Variação	0,04 - 0,41	0,01-0,50	0,10-8,23	0,01-1,09	0,01-3,57	0,14-3,30
	σ	0,10	0,13	1,77	0,24	0,77	0,94
UASB	Média	0,20	0,27	0,93	0,84	0,35	2,92
	Variação	0,01-0,41	0,02-0,71	0,25-3,08	0,09-3,62	0,07-1,00	0,25-11,46
	σ	0,10	0,16	0,70	0,86	0,23	3,00
Agrupado	Média	0,19	0,28	1,02	0,55	0,42	1,97
	Variação	0,01-0,41	0,01-0,71	0,10-8,23	0,01-3,62	0,01-3,57	0,14-11,46
	σ	0,10	0,14	1,36	0,67	0,58	2,32

CONCLUSÕES

Foram analisados os desempenhos de 19 sistemas tipo $T_{SEP-F_{AN}}$ e 17 UASB. Estes últimos apresentaram melhores resultados, tanto na remoção de matéria orgânica como bacteriana. O estudo destacou a remoção de bactérias indicadoras - coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (C_{TM}) e *E. coli* (EC). Para efluentes não clorados não houve diferença significativa de remoção nos dois tipos de sistemas anaeróbios. Entretanto, em razão do TDH menor, os sistemas com UASB apresentaram constantes de decaimento de coliformes (k_b)

mais elevadas. As correlações entre os pares $CT_x C_{TM}$ e $C_{TMx} EC$ foram maiores nos efluentes tratados (clorados ou não) que nos afluentes. Foram também observadas correlações positivas entre remoção bacteriana e concentrações de cloro residual livre (C_{RL}). Concentrações de C_{RL} entre 2,0 e 2,5 mg/L proporcionaram redução bacteriana da ordem de 4 unidades de \log_{10} . As razões entre as densidades bacterianas (C_{TM}/CT , EC/CT e C_{TM}/EC) foram maiores nos efluentes tratados, bem como suas flutuações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington, D.C.: APHA – American Public Health Association, 2005.
2. BITTON, G. Wastewater microbiology. 3rd edition. Wiley Series in Ecological and Applied Microbiology. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2005.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.
4. CHERNICHARO, C. A. L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Ed.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Prosab/ABES, 2001. Cap. VII, p. 376-454.
5. MARA, D. D. Domestic wastewater treatment in developing countries. London: Earthscan, 2004. 293 p.
6. NARKIS, N.; ARMON, R.; OFFER, R.; ORSHANSKY, F.; FRIEDLAND, E. Effect of suspended solids on wastewater disinfection efficiency by chlorine dioxide. Water Research, v. 29, n. 1, p. 227-236, 1995.
7. VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F. F.; FLORÊNCIO, L. Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, v. 5, n. 1, p. 21-38, February, 2006.
8. WINWARD, G. P.; AVERY, L. M.; STEPHENSON, T.; JEFFERSON, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: effect of organics and particles. Water Research, v. 42, n. 1-2, p. 483-491, 2008.