

II-533 - PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UASB VISANDO A UTILIZAÇÃO EM SOLOS AGRÍCOLAS

Gilberto Carlos Sundefeld Júnior⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia PUC Campinas. Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Doutorando em Engenharia Civil pelo departamento de Hidráulica e Saneamento na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Roque Passos Piveli

Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Silvana Audrá Cutolo

Pós-Doutora em Biologia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Célia Regina Montes

Professora Doutora da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil. Avenida Professor Almeida Prado, travessa 2, CEP.05508-900, São Paulo SP, Brasil, Tel/Fax: 55-11-3091-5529, E-mail: gilberto@sundefeld.com.br.

RESUMO

Existe no Brasil uma grande quantidade de estações de tratamento de esgoto localizadas no entorno de cidades de médio e pequeno porte as quais têm condições adequadas para disponibilização de seus efluentes para a utilização na agricultura. Esta pesquisa objetivou levantar condições de aplicação simples e econômica quanto a sua implantação e operação para o pós-tratamento do efluente de estação de tratamento de esgoto pelo processo de reator anaeróbio de manta de lodo em fluxo ascendente, UASB, com a finalidade da utilização de seus efluentes na irrigação de culturas agrícolas. Utilizou-se como base a implantação de sistema piloto em uma estação de tratamento de esgoto pelo processo UASB e como pós-tratamento a decantação de seu efluente em decantador de alta taxa seguido de filtração em filtro de leito de manta geotêxtil. Como resultados foram encontrados efluente de UASB pós-tratado com a concentração de SST de 8 mg/L, de ABS (254nm) de 0,285 cm⁻¹ e turbidez de 17 UNT, desta maneira foi possível efetivar a desinfecção deste efluente por irradiação ultravioleta eliminando eventual prejuízo à cultura devido a presença de residual químico no líquido.

PALAVRAS-CHAVE: UASB, pós-tratamento, decantação lamelar, filtração, desinfecção.

INTRODUÇÃO

Existe a preocupação com a disponibilidade de água para o consumo humano e isto tem levado à procura de usos alternativos para as classes de águas de menor qualidade. A aplicação de águas residuárias provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na agricultura torna-se uma opção como forma de preservação dos recursos hídricos próximos aos centros urbanos e como fonte de água e nutrientes para as culturas. Pesquisadores têm encontrado benefícios na produtividade das culturas irrigadas com efluente de ETE, entretanto não é uma prática isenta de riscos, principalmente devido ao transporte de determinados constituintes característicos de esgoto doméstico como sódios e organismos patogênicos, prejudiciais as plantas, ao solo e ao ser humano.

Uma forma de preservar a qualidade do efluente tratado de estações de tratamento de esgoto quanto à sua constituição química, aquela que é de interesse para a agricultura, é a utilização de agentes físicos de desinfecção, pois assim não é imposto ao efluente residuais químicos que por ventura venham a ser prejudiciais para a cultura. A desinfecção de efluente com irradiação ultravioleta é boa alternativa para esta finalidade, contudo o efluente deverá ser preparado para que a desinfecção por irradiação seja realizada de forma efetiva. A desinfecção com UV é mais efetiva em águas com cor, turbidez e sólidos em suspensão de pequeno valor devido a necessidade de penetração da luz no meio. A dose de UV é o principal parâmetro de projeto e controle operacional da desinfecção UV, sendo definida como o produto da intensidade de irradiação I e do tempo de exposição t (Daniel, 2001).

$$Dose = I \times t$$

Eq.(01)

I: Intensidade de irradiação que passa pelo meio líquido (mW/cm²);
t = tempo de exposição à irradiação UV (s)

Assim, parte da energia emitida pela fonte de irradiação é absorvida pelas substâncias presentes na água como matérias dissolvidas e em suspensão. Esta absorção segue a Lei de Beer-Lambert.

$$I = I_0 \times e^{-\alpha x}$$

Eq.(02)

I_0 : intensidade de irradiação emitida pela fonte (mW/cm²);
x: espessura da camada de líquido exposta à irradiação (cm);
 α : coeficiente de absorção (cm-1).

Considerando que na superfície da lâmina líquida ($x=0$) a intensidade de irradiação é máxima ($I = I_0$), desprezando a absorção pelo ar entre a fonte e a superfície, e na profundidade x a intensidade é mínima, pode-se calcular a intensidade média (I_m) integrando a equação 02 (Morowitz, 1950, apud Daniel 2001):

$$I_m = \frac{I_0}{\alpha L} [1 - e^{-\alpha L}]$$

Eq. (03)

I_m : intensidade média de irradiação (mW/cm²);
L: espessura da lâmina líquida.

O coeficiente α depende da qualidade do meio líquido e é determinado mensurando a absorvância em comprimento de onda 254 nm.

$$\alpha = A \times \ln 10 = 2,303 A$$

Eq. (04)

α = coeficiente de absorvância;
A = absorvância a 254 nm (cm-1).

As principais características que influenciam na percentagem de transmitância ($T (\%) = 100 \times 10^{-A}$) são a presença de compostos orgânicos, inorgânicos e sólidos em suspensão. A figura 1 ilustra o caminhar da luz em um meio líquido com impurezas.

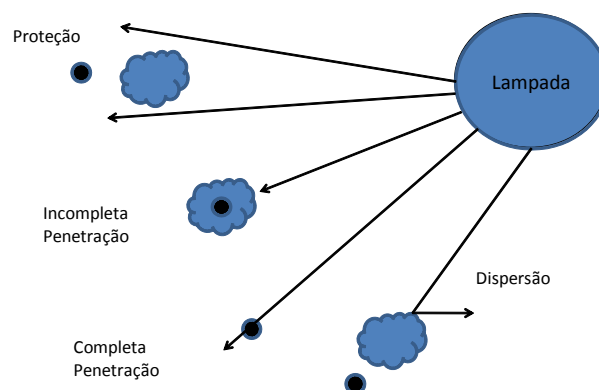


Figure 1 – Efeitos da matéria particulada na desinfecção UV.
Adaptado de Ricardo Franci Gonçalves (2003).

O processo de tratamento UASB tem como característica a baixa capacidade de remoção de nutrientes e, também de remoção de material coloidal e em suspensão tendo como valores típicos em seu efluente a concentração de SST entre 50 e 100 mg/L (CHERNICHARO, 1997) e partindo deste contexto elaborou-se este projeto para avaliar os desempenhos do sistema de tratamento de esgoto em escala real constituído de tratamento preliminar e reator UASB seguido de pós-tratamento por decantação em alta taxa (lamelar),

filtração em manta geotêxtil e desinfecção por radiação ultravioleta. As condições operacionais de cada etapa de tratamento serão associadas com a qualidade do efluente final em termos de matéria orgânica, sólidos em suspensão, macro e micro-nutrientes, íons de interesse agrônômico e de organismos patogênicos. Com este arranjo pretendeu-se produzir um efluente clarificado e sanitariamente seguro, sem que os principais nutrientes sejam removidos, de forma que possa ser aplicado de forma vantajosa na irrigação de culturas vegetais.

OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar os desempenhos de sistema de tratamento de esgoto em escala real constituído de tratamento preliminar e reator UASB, seguido de pós-tratamento por decantação em alta taxa (lamelar), filtração em manta geotêxtil e desinfecção por radiação ultravioleta.

METODOLOGIA UTILIZADA

A estação de tratamento de esgoto objeto da pesquisa é composta por peneiramento rotativo, caixa de areia aerada tipo vortex, reatores UASB e lodo ativado. A vazão média é de 230 L.s⁻¹ recebendo esgoto sanitário. Foi construído o sistema de pós-tratamento do efluente dos reatores UASB para irrigação de cultura de laranja em área experimental atendendo à vazão de 3 m³/h, demandada pelo sistema de irrigação.

O sistema piloto de pós-tratamento é composto de: (1) captação de efluente do UASB; (2) dosagem de 0,5 mg/L de solução diluída à 0,05% de polímero catiônico Paestrol 852; (3) decantação de efluente do UASB floculado em decantador lamelar com taxa de escoamento superficial 115 m³/m².d; (4) filtração do efluente do decantador em filtro de manta geotêxtil com densidade 130 g/m² e com taxa de escoamento superficial 10 m³/m².d; (5) desinfecção do efluente do filtro de manta geotêxtil em reator de irradiação ultravioleta a uma intensidade de irradiação de 2,77 W.h/cm² e tempo de exposição de 20 segundos; (6) irrigação de cultura de laranja com efluente desinfetado. A figura 2 representa o fluxograma do processo de tratamento escolhido assim como do processo de pós-tratamento instalado.

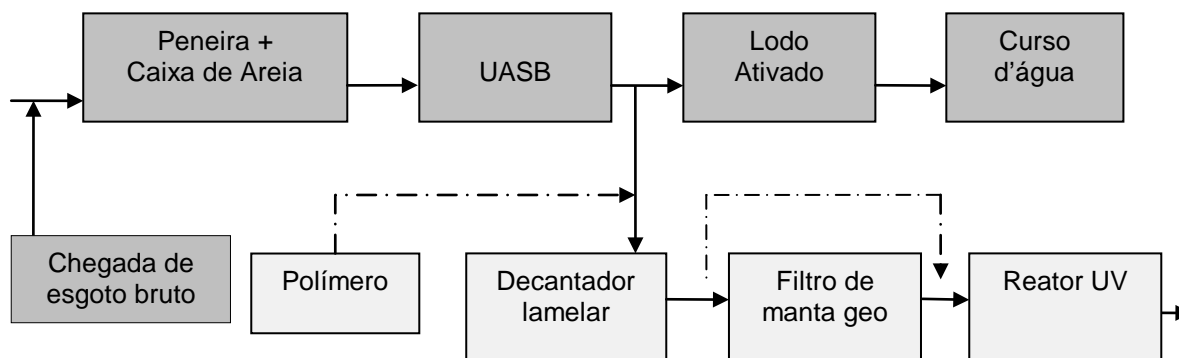


Figura 2 – Esquema da ETE e do sistema de desinfecção.

Paralelamente, foi avaliada a desinfecção do efluente do decantador lamelar diretamente, isto é, sem a etapa de filtração.

Foram realizadas coletas e análises físico-químicas com frequência semanal, incluindo: pH, turbidez e absorbância ao comprimento de onda 254 nm, DQO, sólidos em suspensão, fósforo total e solúvel. Foram realizadas análises e exames biológicos sobre as mesmas amostras para os ensaios físico-químicos tendo sido quantificados coliformes totais, E-coli, cistos de protozoários, larvas e ovos de helmintos utilizando-se a câmara de Sedgwick-Rafter com volume de 1 mL. Os pontos de coleta foram: (1) esgoto bruto, (2) efluente do UASB, (3) efluente do decantador lamelar, (4) efluente do reator U.V. após filtro de manta geotêxtil e (5) efluente do reator U.V. após decantador lamelar. Os ensaios foram realizados conforme os preceitos do Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 21st ed, 2005. Foram feitas medições in loco da evolução de lâmina d'água no filtro de manta geotêxtil com o propósito de avaliação da lâmina líquida sobre o meio filtrante.

RESULTADOS OBTIDOS

A variação da capacidade de desinfecção em relação a quantidade de sólidos em suspensão no líquido é apresentada no gráfico 1. A desinfecção apresentou-se efetiva com concentrações de *E-coli* para valor médio de $2,20 \times 10^3$ NMP/100mL e a respectiva quantidade de de SST sempre abaixo de 20 mg/L. As concentrações de sólidos em suspensão ao longo do processo de tratamento e de pós tratamento se comportaram de forma decrescente sendo a média de sua concentração no esgoto bruto igual à 180 mg/L, no efluente do reator UASB de 93 mg/L, no efluente do decantador lamelar de 63 mg/L e, por fim, no efluente do filtro de manta geotêxtil desinfetado igual à 8 mg/L. Estes valores estão apresentados na Tabela 1 abaixo com seus respectivos desvios padrão. A concentração baixa de sólidos em suspensão é fundamental para o bom resultado na desinfecção por ultravioleta e neste caso de reutilização agrícola protege o sistema de irrigação.

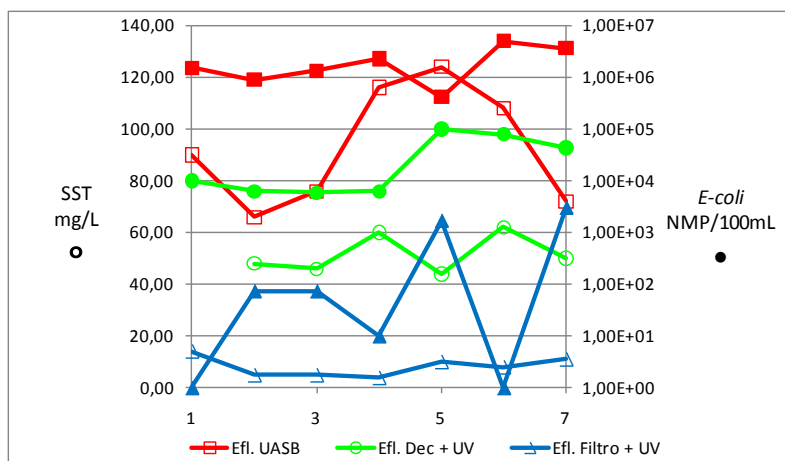


Figura 3 – Série de dados de sólidos em suspensão e de quantidade de *E-coli* dos efluentes do UASB, do decantador desinfetado e do filtro de manta desinfetado.

Com a finalidade de avaliação dos efeitos impostos aos resultados da desinfecção pelo reator ultravioleta pela concentração de sólidos, turbidez e pela medida da absorvância do meio líquido, realizou-se as respectivas medições aplicando a dose de ultravioleta determinada e quantificando o *E-coli* remanescente. Na figura 4 estão apresentados os dados para coliformes fecais em Log de N/No em relação ao parâmetro absorvância em $\lambda = 254$ nm gerando as localizações dos pontos em diferentes regiões para o efluente do decantador lamelar e para o efluente do filtro de manta geotêxtil, ambos desinfetados com irradiação ultravioleta.

A nuvem de pontos do efluente do filtro de manta geotêxtil desinfetado encontra-se sobre a grandeza $ABS = 0,285 \text{ cm}^{-1}$ e tem média de $\text{LogN/No} = 4,68$, já a nuvem dos pontos do efluente do decantador lamelar desinfetado encontra-se sobre a grandeza $ABS = 0,604 \text{ cm}^{-1}$ e tem média de $\text{LogN/No} = 1,88$.

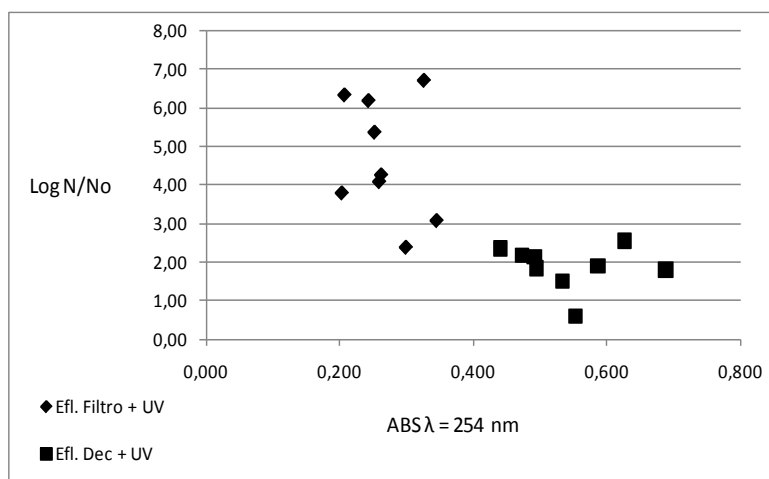


Figura 4 – Dispersão relativa entre Log N/No para *E-coli* versus ABS em $\lambda = 254 \text{ nm}$ para efluente desinfetado a partir do decantador lamelar e a partir do filtro de manta geotêxtil.

Do mesmo modo analisado acima, na figura 5 estão apresentados os dados para coliformes fecais em Log de N/No em relação ao parâmetro turbidez gerando as localizações dos pontos e as diferentes regiões para o efluente do decantador lamelar desinfetado e para o efluente do filtro de manta geotêxtil desinfetado, ambos com irradiação ultravioleta.

A nuvem de pontos do efluente do filtro de manta geotêxtil desinfetado encontra-se sobre a grandeza turbidez = 17 UNT e tem média de LogN/No = 4,68, já a nuvem dos pontos do efluente do decantador lamelar desinfetado tem sua média sobre a grandeza turbidez = 53 UNT e tem média de LogN/No = 1,88.

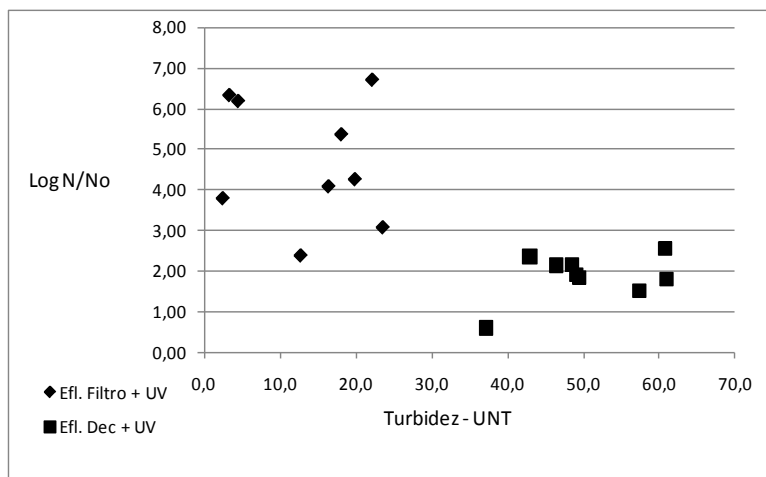


Figura 5 – Dispersão relativa entre Log N/No para E-coli e Turbidez para efluente desinfetado do decantador lamelar e do filtro de manta geotêxtil.

A concentração média de Helmintos no esgoto foi 1,28 ovos/L e para o efluente do UASB 1,19 ovos/L, o efluente filtrado e desinfetado apresentou 0,89 ovos /L. O sistema de pós tratamento removeu 25% dos ovos de helmintos do efluente do UASB. A ETE somada ao pós-tratamento removeu 44% dos ovos de helmintos presentes no esgoto bruto. A figura 6 mostra que 25% das amostras do efluente final atingiram a remoção total de ovos de helmintos.

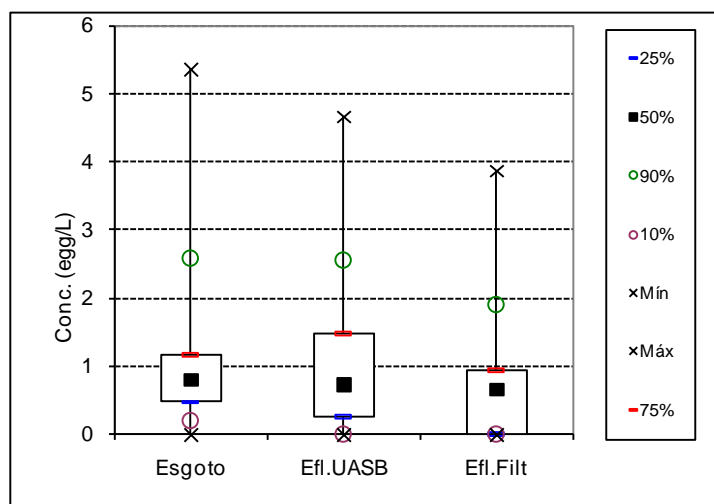


Figura 6 – Estatística sobre a concentração de ovos de helmintos presentes no esgoto bruto, no efluente do reator UASB e no efluente do sistema de pós-tratamento desinfetado com irradiação UV.

Em relação à manutenção de nutrientes no efluente tratado e desinfetado com a finalidade de utilização agrícola e objetivando sua quantificação em substituição à adubação química foi medido e analisado o parâmetro fósforo e suas transformações ao longo do processo de tratamento e do pós-tratamento proposto. O esgoto bruto apresentou a concentração média de fósforo total de 3,81 mg/L e concentração média de fósforo solúvel de 2,24 mg/L e seus respectivos desvios padrões apresentados na Tabela 1 abaixo, o tratamento

do esgoto por peneiramento, desarenamento e reator UASB levou a concentração de fósforo total e de fósforo solúvel às concentrações médias de 3,60 mg/L e 2,26 mg/L respectivamente. A partir das unidade de tratamento o efluente submetido ao pós-tratamento apresentou uma evolução de declínio da concentração de fósforo total até a concentração média de 2,54 mg/L no efluente do reator ultravioleta, ou seja, decantado e filtrado. A concentração média de fósforo solúvel por sua vez apresentou 2,17 mg/L permanecendo aproximadamente igual aquela encontrada no esgoto bruto. A Figura 7 apresentada estatística das concentrações de fósforo solúvel e total caracterizando a remoção da fração particulada e e manutenção da fração solúvel.

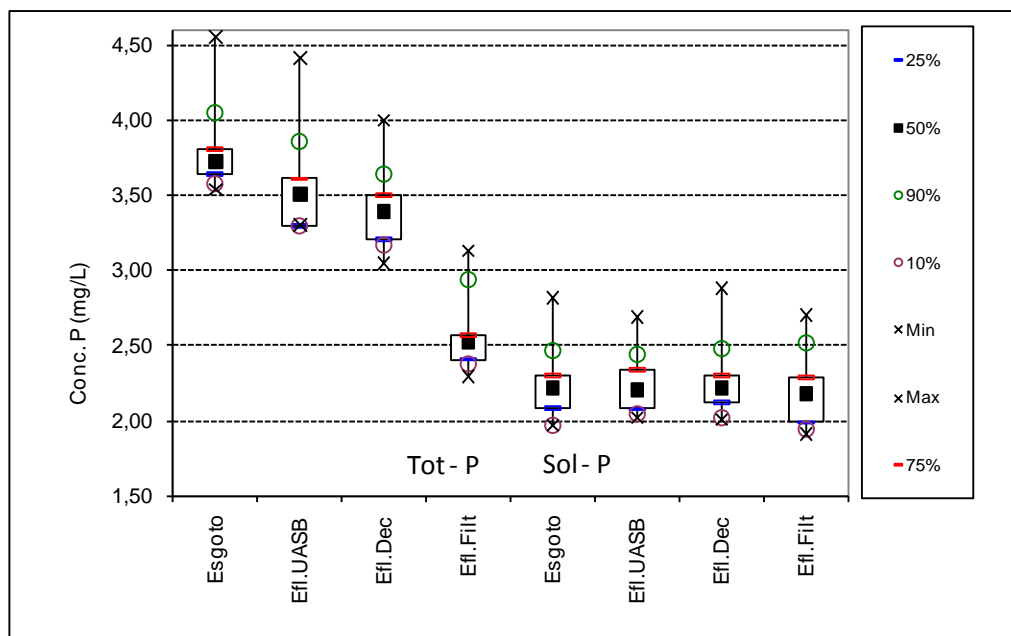


Figura 7 – Estatística da concentração de fósforo e sua transformação ao longo do processo de tratamento.

Foi realizada a evolução dos parâmetros de nutrientes no líquido com a finalidade de subsidiar a capacidade de alimentação das culturas que recebem o efluente, como esperado foi removida a fração particulada, a qual seria prejudicial ao sistema de distribuição do líquido para irrigação, e tendo sido mantido no líquido a fração solúvel, à qual é facilmente associado pela planta.

Tabela 1 – Média e desvio padrão dos dados de pH, DQO, SST, E-coli, ABS, Turbidez, Ovos de Helmintos e fósforo.

	SST (mg/L)		ABS $\lambda=254\text{nm}$ (cm-1)		Turbidez (UTN)		E-coli (NMP/100mL)		Fósforo total (mg/L)		Fósforo orgânico (mg/L)	
	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp
Esgoto	180	30,4	1,374	0,155	110	22	7,8E+06	5,5E+06	3,81	0,34	2,24	0,29
Eff. UASB	93	23,0	0,683	0,135	62	12	1,9E+06	1,2E+06	3,60	0,39	2,26	0,23
Eff. Dec	63	10,5	0,604	0,116	53	8	3,8E+04	3,6E+04	3,42	0,31	2,28	0,30
Eff. Filter + UV	8	3,7	0,285	0,040	17	6	2,2E+03	4,9E+03	2,54	0,27	2,17	0,28

Para o acompanhamento da capacidade de filtração pela manta geotêxtil em função do acúmulo de sólidos em sua superfície foi anotada a altura da lâmina líquida com o volume totalizado passante. Os valores são sensíveis pelo curto período de medição tendo acréscimo de 5 mm em 50 m³ de efluente filtrado, apresentados na Figura 8.

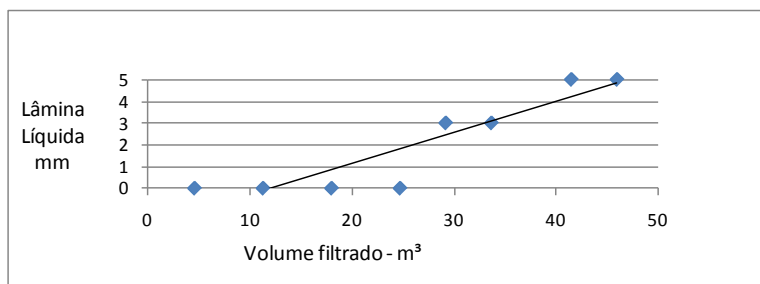


Figura 8 – Evolução da lâmina líquida sobre o filtro de manta geotêxtil em função do volume filtrado.

CONCLUSÕES

A utilização de irradiação ultra violeta como agente desinfetante de efluente de reator UASB teve resultado satisfatório, tomando como referência a quantidade de coliformes fecais medidos como *E-coli* no efluente preparado para utilização na irrigação, com média de $2,2E+03 \pm 4,9E+03$ NMP/100mL, a Resolução Conama 357/2005 enquadra na Classe 3 a irrigação de arbóreas e forrageiras sendo que não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes (coliformes fecais) por 100 mL. O efluente atingiu com o pós-tratamento com decantação lamelar e filtração seguido de manta geotêxtil as características físicas de SST abaixo de 20 mg/L, Turbidez abaixo de 20 UNT e absorvância em λ -254 nm medida em amostras não filtradas em média de $0,285 \pm 0,04$ cm-1. A aplicação de decantação lamelar seguida de filtração em manta geotêxtil apresentou ser um bom conjunto de preparação para a desinfecção em UV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gonçalves, R.F. Desinfecção de Efluentes Sanitários. Projeto PROSAB. 438 p, Rio de Janeiro, 2003.
2. dos Santos, M.L.F. et al. Tratamento e Utilização de Esgoto Sanitário. Projeto PROSAB. 438 p, Rio de Janeiro, 2006.
3. Chernicharo, C.A.L. Reatores anaeróbios, 1st ed., vol. 5; DESA/UFGM; Belo Horizonte, MG. 1997.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005.
5. Daniel, L.A.. Métodos Alternativos de Desinfecção de Água. Projeto PROSAB. 142 p, São Paulo, 2001.
6. Daniel, L.A. Alternativas para desinfecção de esgoto sanitário. In: Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória. 6p. 2001.
7. Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse, 4th ed.; McGraw-Hill: New York, NY. 2003.
8. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA. 2005.
9. WHO – World Health Organization. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva, technical report Series, 778. 1989.
10. Von Sperling, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto, 2nd ed., vol. 1; DESA/UFGM; Belo Horizonte, MG. 1996.