

PARAMETERS OF THE MODELS MATHEMATICS SIMILE THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN OVERLAND FLOW

S. P. P. FONSECA: Enga. Civil, Doutora, Engenheira de Operação da Divisão de Tratamento de Efluentes da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, COPASA. Rua Mar de Espanha 453, Sto Antônio, BH, MG. (0xx31) 9965.4351. sandra.parreiras@copasa.com.br

A. A. SOARES: Engo. Agrícola, Doutor em Engenharia de Irrigação pela University of California, Davis, Professor Titular do DEA/UFV. E-mail: aasoares@ufv.br

A. T. MATOS: Engo. Agrícola, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa-UFV, Professor Adjunto do DEA/UFV. E-mail: amatos@ufv.br.

M. A..MARTINEZ: Engo. Agrícola, Doutor em----- pela University-----UFV, Professor Adjunto do DEA/UFV. E-mail:martinez@ufv.br

Presented at
GIGR-INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING
XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2008
Brazil, August 31 to September 4, 2008

ABSTRACT: The objective of the present work was to determine the parameters of the equations which simulate the removal of the organic matter in relation to the length of the treatment band of the sewage treatment unit (ETE), of overland flow system. The plant area was land leveled in four plans, each one with three borders of 1 m width, 25 m length with 2% of slope, and cultivated with Tifton 85 grass bermudagrass (*Cynodon spp.*). The application rate of $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ was applied for ten hours a day and six day a week, during six months of operation. The samples of sewage collected along the borders, at every 2 meters up to 18 meters were submitted to analyses the BDO and QDO. The EPA model proposed in 1984 represented well the removal of the BDO and QDO, however the coefficients K and K' differed from those observed by other authors under different edafoclimatic conditions, kind of effluent treated and application rates.

KEYWORDS: wastewater, removal BDO, velocidade de infiltração básica, Tifton 85

INTRODUCTION

The overland flow method consists of sewage application in the beginning of the cultivated strips with declivity from 2 to 8%, being the treated effluent generated, collected and launched in the collective water bodies. The soils used in this practice should have low permeability, which is why the ground water contamination is moderated. The sewage purification depends on the vegetation, responsible for the absorption of the minerals made available by the organic matter decomposition and the microorganisms, which develop, in the biological film, formed in the plant-soil interface.

A eficiência do tratamento por disposição no solo está diretamente relacionada com as inter-relações água-solo-plantas e clima. Utilizando os parâmetros internacionais de dimensionamento de ETEs, podem-se cometer erros de sub ou superdimensionamento, além da possível contaminação do lençol freático, caso não seja feita adequadamente a escolha do solo para implantação de ETE por escoamento superficial.

O objetivo do trabalho foi obter e compará-los os parâmetros da equação empírica dos modelos matemáticos recomendados pela U. S. *Environmental Protection Agency* (EPA, 1981 e 1984), utilizando efluente do tratamento primário do tipo tanque séptico, nas condições edafoclimáticas do município de Viçosa, MG.

METHODOLOGY

The fieldwork was conducted in the experimental area of the Department of the Federal University of Viçosa (UFV), in Viçosa, MG, Brazil. The domestic sewage comes from a residential suburb called Condominium Bosque Acamari, composed by 136 one-family residential units.

The Experimental Sewage Treatment Station (ETEe), with a total area of 300 m^2 , consists of preliminary treatments, equalization tank, septic tank and overland flow system, under the edafoclimatic conditions of Viçosa, MG, implanted in a Dystrudepts, with a clayey-sandy texture. The plant area was land leveled in four plans, each one with three borders of 1 m width, 25 m length with 2% of slope, and cultivated with Tifton 85 grass bermudagrass (*Cynodon spp.*). The application rate of $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ was applied for ten hours a day and six day a week, during six months of operation.

The application rate of $0,48 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ was applied for ten hours a day and six day a week, during six months of operation (agosto a dezembro de 2006). The samples of sewage collected along the borders, at every 2 meters up to 18 meters. Nas amostras coletadas foram realizadas análises de BDO e QDO, conforme recomendado no Standard Methods...– APHA (2001).

O modelo testado foi o proposto pela EPA, 1984, que simula a remoção de material orgânico ao longo da faixa de tratamento, desenvolvido por Smith, 1982 (equações 1 e 2). O modelo considera dois estágios: o primeiro se aplica aos primeiros 10 m do comprimento da rampa, onde a taxa de remoção orgânica é mais rápida, e o segundo, ao restante da rampa, de acordo com a equação 1.

$$\frac{C-R}{C_0} = A \exp(-K \cdot L) \quad \text{Eq. 1}$$

em que adota-se:

A, A' □ fração sedimentável da BDO do esgoto aplicado, correspondente ao primeiro e segundo estágio respectivamente;

K, K' □ coeficientes de ajuste (m^{-1}), correspondente ao primeiro e segundo estágio respectivamente;

L □ distância a partir do início da faixa de tratamento (m); e

R □ concentração residual estimada do esgoto.

O modelo descrito na equação 1 prevê que a fração de matéria orgânica remanescente deveria aproximar-se de zero, para rampas de grande comprimento; entretanto, tem sido demonstrado que às concentrações de BDO no escoamento de faixas de tratamento tendem a valores diferentes de zero, que variam de 3 a $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, provavelmente como resultado de liberação de orgânicos solúveis a partir do sistema solo-planta (SMITH e SCHROEDER, 1985).

Os coeficientes K e K', correspondente ao primeiro e segundo estágio respectivamente, variaram em função da taxa de aplicação (q), de acordo com a equação 2.

$$K = \frac{k_1}{q^n} \quad \text{Eq. 2}$$

em que adota-se:

k_1 e k_2 □ coeficientes determinados empiricamente ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$), correspondente ao primeiro e segundo estágio respectivamente; que consideram o valor incorporado à massa líquida perdida devido a evapotranspiração e à percolação (SMITH, 1982);

n, n' □ coeficientes determinados empiricamente, correspondente ao primeiro e segundo estágio respectivamente; e

q □ taxa de aplicação ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$).

Os valores dos coeficientes da equação 2 foram obtidos aplicando-se análise de regressão aos dados experimentais de BDO e QDO coletados ao longo da faixa de tratamento, para obter os valores de k_1 , k_2 , n e n', por regressão, e, posteriormente, determinar os valores de K e K'.

As concentrações relativas (C/C0) em cada ponto de amostragem (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 m) foram determinadas para cada evento de amostragem num total de 14 repetições ao longo do tempo. Estes valores foram utilizados para obter os parâmetros do modelo (equação 2), por meio de regressão exponencial. Para efeito de análise estatística, considerou-se o experimento montado no delineamento inteiramente casualizado com tratamentos (distância) e repetições (dias/meses).

RESULTS AND DISCUSSION

A concentração da BDO ao longo da faixa de tratamento foi reduzida, em média, 48,7%, correspondente à concentração média do efluente de $99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, até 18 m do início da faixa (Tabela 1). A redução da QDO foi em média de 57,3%, correspondente à concentração média do efluente de $177 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ até 18 m do início da faixa. Os valores obtidos foram superiores aos citados por Loures (2002) com faixas de 10 m de comprimento e inferiores aos citados por Coraucci Filho (1991), que variou a

taxa de aplicação de 0,15 a 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹ e faixas variando de 20 a 40 m e aos citados por Fonseca (2000), com taxas variando de 0,20 a 0,48 m³.h⁻¹.m⁻¹ e faixas com 20 m de comprimento, ambos autores utilizaram efluente de esgoto bruto, tratamento preliminar.

Foram, ainda, inferiores aos valores citados por Cerqueira (2004) e aos de Marquezini (2000) para a taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹, os quais utilizaram efluentes de lagoa anaeróbia, tratamento secundário. A diferença entre os resultados da remoções de BDO e QDO é devida à variação da concentração de cada efluente e ao tempo de detenção do esgoto na faixa de tratamento.

Tabela 1 – Estatística descritiva e eficiência de remoção de BDO e QDO do efluente de tanque séptico e ao longo da faixa de tratamento

Indicadores avaliados	Variáveis	Efluente do tanque séptico	Distâncias ao longo da faixa de tratamento em metros									
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	
			1º. Estágio					2º. Estágio				
BDO (mg.L ⁻¹)	Mínimo	138	108	116	91	95	72	73	66	52	69	
	Máximo	255	300	235	252	272	185	191	167	145	143	
	Mediana	193	189	167	143	132	115	107	100	91	104	
	Média	193	191	173	151	147	121	123	108	97	99	
	Desvio-padrão	37	47	35	39	47	38	42	36	31	25	
	Coefficiente de variação (%)	19,1	24,4	20,4	25,8	32,0	31,0	33,9	33,7	32,1	25,1	
	Eficiência do sistema (%)	0 a 8 m ⇒ 23,9 (máx. 51,1)					0 a 18 m ⇒ 48,7 (máx. 74,8)					
QDO (mg.L ⁻¹)	Mínima	300	252	220	198	136	97	97	98	78	137	
	Máxima	538	576	499	613	587	427	306	293	240	200	
	Mediana	416	376	304	264	294	235	199	189	182	192	
	Média	416	383	330	312	288	250	201	194	178	177	
	Desvio-padrão	74	83	89	114	118	87	54	58	46	26	
	Coefficiente de variação (%)	17,8	21,7	27,1	36,5	41,0	34,6	27,1	29,7	25,6	14,7	
	Eficiência do sistema (%)	0 a 8 m ⇒ 30,7 (máx. 61,1)					0 a 18 m ⇒ 57,3 (máx. 79,8)					

Os coeficientes da equação exponencial para BDO (A = 1,0258 e K = 0,0384) e QDO (A = 0,9977 e K = 0,0502) (Tabela 2), correspondentes às concentrações do efluente de BDO e QDO, iguais a 192 e 411 mg.L⁻¹, respectivamente, referentes ao 1º. estágio, foram próximos aos obtidos por Loures (2002), a qual obteve os valores de BDO (A = 1,0243 e K = 0,0119) e QDO (A = 1,0472 e K = 0,0374), correspondentes às concentrações do efluente de BDO e QDO, iguais a 353 e 642 mg.L⁻¹, respectivamente. Já Abernathy et al. (1985) e Coraucci Filho (1991), encontraram valores de A inferiores aos coeficientes determinados neste experimento

Tabela 2 – Modelos ajustados para BDO e QDO em função da distância, com os respectivos coeficientes de determinação e remoções simuladas até 8 m e de 8 até 18 m

Parâmetros	Coeficientes		R2	Modelo exponencial (Z em metros)	Remoção experimental	Remoção simulada				
	K1 e k2	n e n'		Equação de regressão		----- (%) -----				
1º. Estágio -----						L ≤ 8 m	2 m	4 m	6 m	8 m
BDO	0,03949	-0,03757	0,93092	(C-5)/Co = 1,026.exp.(-0,038419.Z)	28,4	5,0	12,0	18,5	24,6	
QDO	0,05126	-0,02935	0,98242	(C-5)/Co = 0,998.exp.(-0,050171.Z)	35,5	9,8	18,4	26,2	33,2	
2º. Estágio -----						8 < L ≤ 45 m	18 m	25 m	35 m	45 m
BDO	0,05405	-0,71471	0,84468	(C-5)/Co = 0,884.exp.(-0,031989.Z)	48,5	50,3	60,3	71,2	79,1	
QDO	0,02880	0,46015	0,87983	(C-5)/Co = 0,837.exp.(-0,040372.Z)	56,8	59,6	69,5	79,6	86,4	

Os valores do coeficiente A próximos para concentrações muito diferentes, deve-se provavelmente, ao processo de estabilização da matéria orgânica no início das faixas de tratamento, as condições climáticas que influenciaram no processo de estabilização da matéria orgânica e ao tempo de detenção.

Os valores do coeficiente K (Eq.2) encontrados por Loures (2002) e Coraucci Filho (1991), para o 1º. estágio, não foram tão próximos aos obtidos neste experimento. O ocorrido deve-se ao fato de que nos valores de k1 e k2 é considerada a massa líquida perdida em consequência da evapotranspiração e da percolação. A ETE do experimento de Loures (2002) foi vegetada com o capim Coastcross, em um ARGISSOLO cuja a VIB variou de 0,82 a 1,05 cm.h⁻¹, a de Coraucci Filho (1991), vegetada com o capim *Brachiaria humidicola* em solo de textura areia franca e VIB variando de 1,82 a 3,6 cm.h⁻¹ e a

deste experimento, vegetada com o capim Tifton 85, em um CAMBISSOLO e VIB de 1,95 a 2,66 cm.h⁻¹. O tipo de planta depuradora e as características físicas do solo, principalmente a VIB, podem ter interferido nos resultados.

Avaliando os valores dos coeficientes, do segundo estágio, os A iguais a 0,59, 0,76 e 0,88 e os K iguais a 0,043, 0,039 e 0,032, sugeridos por Smith e Schroeder (1985) e Abernathy et al. (1985), correspondentes às concentrações médias de BDO de 72; 126; e 192 mg.L⁻¹ do afluentes aplicado nas faixas de tratamento, respectivamente, e os deste experimento (Tabela 2), observa-se que, para as concentrações menores de BDO, a fração sedimentável tende a ser menor após o primeiro estágio, independentemente do tamanho da faixa e dos valores de K, que são próximos. Já Coraucci Filho (1991) obteve valores de 0,71 para A e de 0,040 para K igual, muito próximos aos dos autores citados anteriormente, para uma concentração muito alta de BDO, igual a 370,0 mg.L⁻¹, tal fato deve-se, provavelmente a velocidade da estabilização do material orgânico.

Observa-se na Tabela 2 que, quanto maiores os coeficientes K e K', menores as relações C/Co; portanto, maiores foram as remoções e os valores negativos de n e n', indicando que $K=k/qn$ aumentou com a taxa de aplicação. O modelo subestimou a eficiência de remoção de matéria orgânica de BDO e QDO no primeiro estágio e foi inverso no segundo estágio.

Observa-se, na Tabela 2, que a diferença para mais entre o valor registrado e o modelo é de -13,4 e 6,5% de BDO₅ e QDO, respectivamente, para o primeiro estágio; para o segundo estágio, a diferença é de 3,5 e 4,5% para BDO₅ e QDO, respectivamente. O valor negativo da diferença se deve à variabilidade do tempo de decomposição da material orgânico. Os valores encontrados indicam que o modelo proposto por EPA (1984) representou adequadamente a remoção do material orgânico.

Ao simular a remoção de matéria orgânica ao longo da faixa de tratamento, a maior eficiência se dará quando o esgoto atingir os 45 m, correspondentes a 79,1 e 86,4% em relação à BDO e QDO, respectivamente.

CONCLUSIONS

The EPA model proposed in 1984 represented well the removal of the BDO and QDO, however the coefficients K and K' differed from those observed by other authors under different edafoclimatic conditions, kind of effluent treated and application rates.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank to the Department of Agricultural Engineering and the Federal University of Lush - UFV, for the support in the accomplishment of the research project and to the CNPq for the financing of the present study.

REFERENCES

- ABERNATHY, A. R.; BORUP, M. B.; ZIRSCHKY, J. Overland flow wastewater treatment at Easley, S.C. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 57, n. 4, p. 291-299, Apr. 1985.
- CERQUEIRA, R. S. Pós-tratamento de efluente de lagoa anaeróbia por escoamento superficial no solo. Campinas, SP: UNICAMP, 2004. 335 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Arquitetura) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CORAUCCI FILHO, B. Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método do escoamento superficial. Campinas, SP: UNICAMP, 1991. 1336 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- FONSECA, S. P. P. Avaliação do tratamento e esgoto doméstico bruto pelo método de escoamento superficial utilizando o capim coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Viçosa, MG: UFV, 2000. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LOURES, A. P. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; OLIVEIRA, R. A.; FONSECA, S. P. P. Qualitative parameters in overland flow systems for domestic wastewater treatment: prediction equations. In: *Inter-Regional Conference on Environment and Water*, 5., 2002, Burkina Faso, África. BOOK... Burkina Faso, África: IER/ETS, novembro, 2002. p. 392-401.
- MARQUEZINI, S. I. Sistema de tratamento de esgoto no solo: comportamento de duas vegetações suportes. Campinas, SP: UNICAMP, 2000. 348 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Arquitetura) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- SMITH, R. G.; SCHROEDER, E. D. Field studies of the overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 57, n. 7, p. 785-794, July. 1985.
- SMITH, R. G. The overland flow process. A viable alternative for the removal of organic material from wastewaters? A predictive model. *Environmental Progress*, v. 1, n. 3, p. 195-205, Aug. 1982.
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Supplement on rapid infiltration and overland flow design manual – land treatment of municipal waste water – Process. Washington, D.C.: Department of the Interior, 1984. 121 p.
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Process design manual – Land treatment of municipal wastewater. Washington, D.C.: Department of the Interior, 1981. 625 p.