

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROCESSO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE PARADA, MAIA

Chia-Yau CHENG⁽¹⁾; Irina RIBAROVA⁽²⁾; Assunção ABREU⁽³⁾

RESUMO

Apresentam-se nesta comunicação os resultados da 1ª fase de estudo destinado ao melhor conhecimento do processo biológico aeróbio de tratamento da estação de tratamento de águas residuais de Parada, Maia.

A unidade de tratamento biológico de águas residuais da ETAR de Parada, que foi projectada nos anos 80s para uma capacidade inicial de 160 000 habitantes equivalentes, um caudal médio de 18 400 m³/d e uma carga orgânica de 8 600 kg CBO/d, possui um processo convencional de tratamento por lamas activadas sem nitrificação.

O modelo matemático para a simulação do processo de lamas activadas adopta o modelo n.º.1 do IAWPRC com a incorporação do software AQUASIM do EAWAG. Devido à especificidade do circuito hidráulico das lamas em excesso da ETAR de Parada o modelo n.º.1 de lamas activadas foi modificado para contemplar a remoção de lamas em excesso a partir do decantador secundário.

Os dados obtidos em ensaios realizados na ETAR, incluindo taxa de respiração de lamas activadas, concentração de matéria orgânica dissolvida e concentração de lamas activadas, foram utilizados para calibração do modelo e estimativa dos coeficientes cinéticos. Os parâmetros de concentrações de saturação média de oxigénio dissolvido para biomassa heterotrófica (K_{O_2H}), de matéria orgânica dissolvida (K_S), a taxa máxima de crescimento (μ_H) e a produção específica (Y_H) de biomassa heterotrófica foram estimados pelo método dos mínimos quadrados .

Os resultados de simulação em termos de concentração de CQO dissolvido da descarga final correspondem satisfatoriamente aos valores determinados em laboratório.

Palavras-chave: EATR, modelo matemático, simulação, IAWPRC, AQUASIM

⁽¹⁾ Professor auxiliar convidado, FEUP

⁽²⁾ Investigador, Universidade de Arquitectura, Engenharia Civil e Geodesia, Sofia, Bulgária

⁽³⁾ Engenheira responsável, ETAR de Parada, SMAS, Maia

1. INTRODUÇÃO

A modelação matemática é uma das formas possíveis para se otimizar a operação e controlo de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR). A sua utilização para a optimização de uma ETAR existente, recorrendo-se a programa de simulação em computador requer as seguintes passos:

- selecção ou formulação de um modelo matemático apropriado,
- caracterização da água residual e das lamas activadas,
- calibração do modelo utilizando dados de medição,
- verificação da calibração.

A finalidade do estudo em curso será a de disponibilizar um modelo para optimização da operação da ETAR de Parada através do controlo da rejeição de lamas activadas em excesso.

2. ETAR DE PARADA

A ETAR de Parada foi projectada para tratar as águas residuais de cerca de 75% do Concelho de Maia e de uma parte da Freguesia de S. Mamede de Infesta do Concelho de Matosinhos. A capacidade da ETAR é, numa primeira fase, dimensionada para 160 000 habitantes equivalentes, a um caudal de 18 400 m³/d e uma carga orgânica de 8 600 kg CBO/d. O tratamento biológico é efectuado em três tanques de arejamento, de 2 200 m³ cada, equipados com 6 arejadores de superfície com uma taxa unitária de transferência de oxigénio de 65 kg/h. Actualmente é utilizado apenas um tanque de arejamento com um tempo de retenção hidráulica de águas residuais de cerca de 6 horas. Verifica-se que não existe nitrificação no processo de tratamento biológico da ETAR. Para a rejeição do excesso de lamas activadas, lamas decantadas nos decantadores final são conduzidas por bombagem para os decantadores primários. Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma do processo de tratamento biológico da fase líquida.

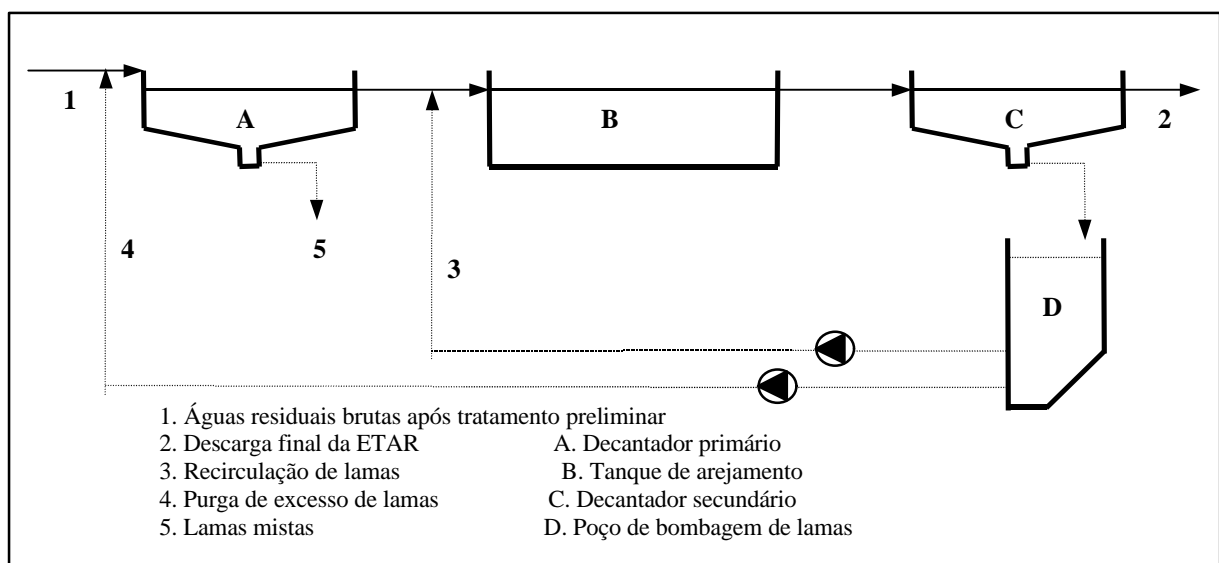


Figura 1. Fluxograma do processo de tratamento biológico da ETAR de Parada.

Para e rejeição do excesso de lamas activadas do processo biológico, procede-se à bombagem das lamas dos decantadores secundários para os decantadores primários.

3. MEDIÇÕES E CÁLCULOS

As variações diurnas de CQO (Carência Química de Oxigénio) nos efluentes dos decantadores primário e secundário, assim como o consumo de oxigénio para biomassa heterotrófica no tanque de arejamento foram medidos com intervalo de duas horas durante um período de uma semana. Os dados obtidos das medições contínuas de 32 horas entre 08:00 de 19.11.97 e 20:00 de 20.11.97 foram seleccionados para a calibração do modelo, enquanto os outros dados foram utilizados para verificação da adequação do mesmo.

Para a determinação de consumo de oxigénio foram recolhidas lamas activadas do tanque de arejamento as quais foram sujeitas a arejamento contínuo durante 80 minutos. A medição de consumo de oxigénio foi realizada com intervalos de 10 minutos. A taxa de consumo de oxigénio (TCO) foi calculada a partir do gradiente da curva de registo.

Os valores de CQO e CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio) das amostras de água residual filtradas e não filtradas foram utilizados para a primeira avaliação das fracções biodegradável, não biodegradável, solúvel e não solúvel das águas residuais de acordo com o mencionado por HENZE, 1992.

Os parâmetros obtidos das medições e dos cálculos, necessários para a calibração do modelo, são apresentados no Quadro 1, sendo as equações de cálculos apresentadas em seguida:

$$\text{recX} = (\text{SSr} \cdot \text{Qr}) / (\text{SS} \cdot \ln Q) \quad (1)$$

$$\text{BRT} = \text{SS} \cdot (\text{Vr} + \text{Vc}) / (\text{SSw} \cdot \text{Qss}) \quad (2)$$

Quadro 1. Parâmetros e valores determinados e calculados para calibração do modelo

t	DO	SS	SSr	SSw	Qr	Qw	recX	BRT	degCOD	DissS	DissI
°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	m ³ /d	m ³ /d	-	d	-	-	-
17.5	1.3	2 367	3 478	4 711	12 000	230	0.99	14	0.5	0.17	0.33

4 - FORMULAÇÃO DO MODELO

O modelo n.º 1 de lamas activadas da IAWPRC (HENZE *et al*, 1986) e o programa de computador AQUASIM (REICHERT, 1994) foram adoptados para a formulação do modelo matemático da ETAR de Parada.

4.1 - Variáveis e Processos

Atendendo a que não se verifica na ETAR de Parada a ocorrência de nitrificação ou desnitrificação no tanque de arejamento, os variáveis e processos bioquímicos originalmente incluídos no modelo n.º 1 da IAWPRC foram reduzidos para os seguintes:

(1) Componentes:

C_I	concentração de matéria orgânica não biodegradável dissolvida (ML^{-3}),
C_S	concentração de matéria orgânica biodegradável dissolvida (ML^{-3}),
X_I	concentração de matéria orgânica não biodegradável e não dissolvida (ML^{-3}),
X_S	concentração de substrato lentamente biodegradável e não dissolvida (ML^{-3}),
X_H	concentração de biomassa heterotrófica (ML^{-3}),
X_P	concentração de sólidos insolúvel e não biodegradável proveniente do declínio da biomassa (ML^{-3}),
C_{O_2}	concentração de oxigénio dissolvido (ML^{-3}).

(2) Parâmetros estequiométricos:

Y_H	crescimento da biomassa heterotrófica (M/M)
f_p	fracção inerte do produto do declínio de biomassa,
settl	coeficiente de concentração de lamas decantadas.

(3) Parâmetros cinéticos:

μ_H	velocidade máxima de crescimento específico de biomassa heterotrófica (T^{-1}),
K_S	concentração de substrato a $\mu_H/2$ (ML^{-3}),
$K_{O_2,H}$	concentração de oxigénio a $\mu_H/2$ para a biomassa heterotrófica (ML^{-3}),
b_H	coeficiente de declínio (auto-oxidação) de biomassa heterotrófica (T^{-1}),
k_h	velocidade máximo específico de hidrólise (T^{-1}),
K_X	concentração de substrato lentamente biodegradável a $\mu_H/2$ de hidrólise (ML^{-3}),
θ_{bH}	coeficiente de dependência de temperatura para b_H (θ^{-1}),
θ_{kh}	coeficiente de dependência de temperatura para k_h (θ^{-1}),
θ_{KX}	coeficiente de dependência de temperatura para K_X (θ^{-1}),
$\theta_{\mu H}$	coeficiente de dependência de temperatura para μ_H (θ^{-1}).

(4) Processos bioquímicos e de operação:

- Crescimento aeróbio de biomassa heterotrófica,
- Declínio de biomassa heterotrófica,
- Hidrólise de matéria orgânica,
- Remoção de lamas (biomassa) em excesso.

Os coeficientes estequiométricos e as taxas para a hidrólise de matéria orgânica, crescimento e declínio dos heterotróficos são idênticos aos propostos no modelo n.º 1 da IAWPRC. Contudo, foram acrescidos novos coeficientes estequiométricos, apresentados no Quadro 2, para o processo de remoção das lamas em excesso. Dado que a remoção de lamas em excesso na ETAR de Parada é realizada a partir do decantador em vez do tanque de arejamento, o coeficiente “settl”, definido como $recX \cdot Q_{in}/Q_r$, foi utilizado para cálculo da concentração das lamas decantadas.

Quadro 2. Coeficientes estequiométricos para o processo de remoção de lamas em excesso

Variável	X_I	X_S	X_H	X_P	taxa
Símbolo	- settl* X_I	- settl* X_S	- settl* X_H	- settl* X_P	1/BRT

4.2 - Compartimentos e Ligações

De modo a adoptar o programa de simulação AQUASIM, a ETAR de Parada foi dividido em dois compartimentos, nomeadamente, o tanque de arejamento e decantador secundário cuja características e os parâmetros associados são apresentados no Quadro 3. O transporte de substratos e biomassa entre os compartimentos é conduzido através das ligações e dos fluxos indicados no Quadro 4, as quais também são utilizados para simulação da bifurcação.

Quadro 3. Características e parâmetros dos compartimentos

Compartimento	Tipo de reactor	Volume, m ³	Processo	Input	
				Caudal	Fluxo
Tanque de arejamento	Mistura completa Volume constante	2 200	Hidrólise Crescimento Declínio	Q _{in}	C _L _{in} *Q _{in} C _S _{in} *Q _{in} X _L _{in} *Q _{in} X _S _{in} *Q _{in}
Decantador Final	Mistura completa Volume constante	4 200	Remoção de lamas em excesso	0	-

Quadro 4. Ligações entre os compartimentos do modelo

Ligação	Compartimento		Bifurcação		Fluxo
	Entrada	Saída	Designação	Compartimento	
TA - DF	TA	DF	-	-	-
DF - Descarga final	DF	-	RL	TA	Q _{in} *X _H *recX Q _{in} *X _I *recX Q _{in} *X _P *recX Q _{in} *X _S *recX

TA = Tanque de arejamento, DF = Decantador final, RL = Recirculação de lamas

5. RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DO MODELO

Para a primeira simulação do modelo foram introduzidos como variáveis de dado, os valores obtidos a partir dos resultados das medições realizadas na ETAR de Parada e apresentados no Quadro 1. Os valores dos variáveis constantes são idênticos aos utilizados no programa de simulação mencionado. Na Figura 2-(a) verifica-se que a flutuação da taxa de respiração das lamas activadas durante as 32 horas de observação na ETAR de Parada responde bem à obtida pela simulação. Contudo, a simulação para a concentração de CQO da descarga final da ETAR, apresentada na Figura 3-(a), apresenta uma discrepância significativa em relação aos valores medidos.

De modo a realizar-se a calibração do modelo, o programa AQUASIM inclui a estimação pelo método de minimização da soma dos quadrados dos desvios ponderados entre os valores medidos e calculados (REICHERT, 1994). Os resultados da estimação dos variáveis constantes do modelo são apresentados no Quadro 5 em que os valores sem ajuste pela estimação são também incluídos para comparação.

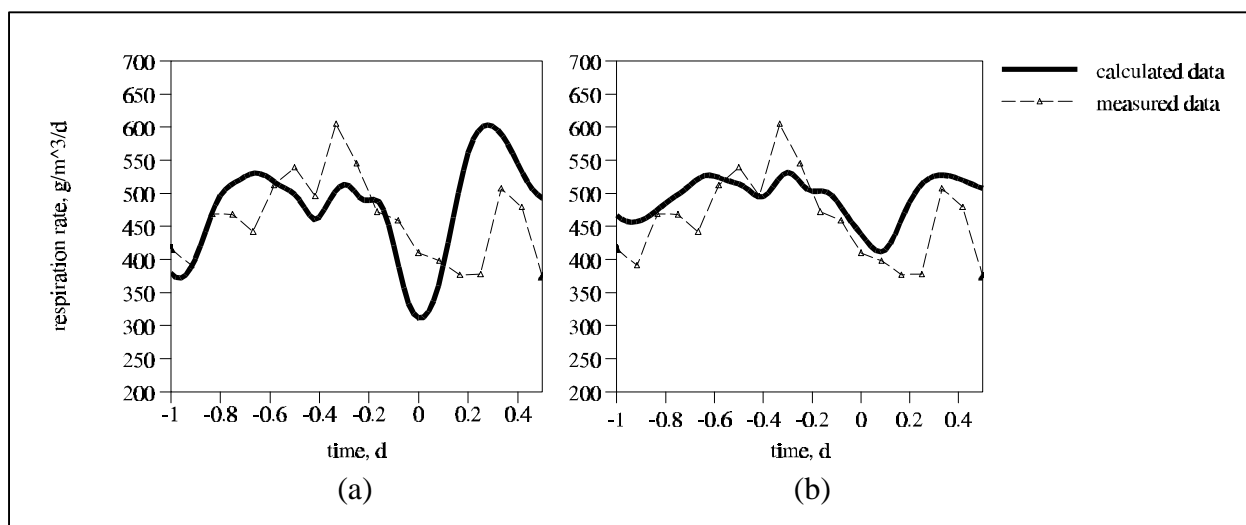


Figura 2. Taxa de respiração das lamas activadas: (a) sem estimação; (b) com estimação

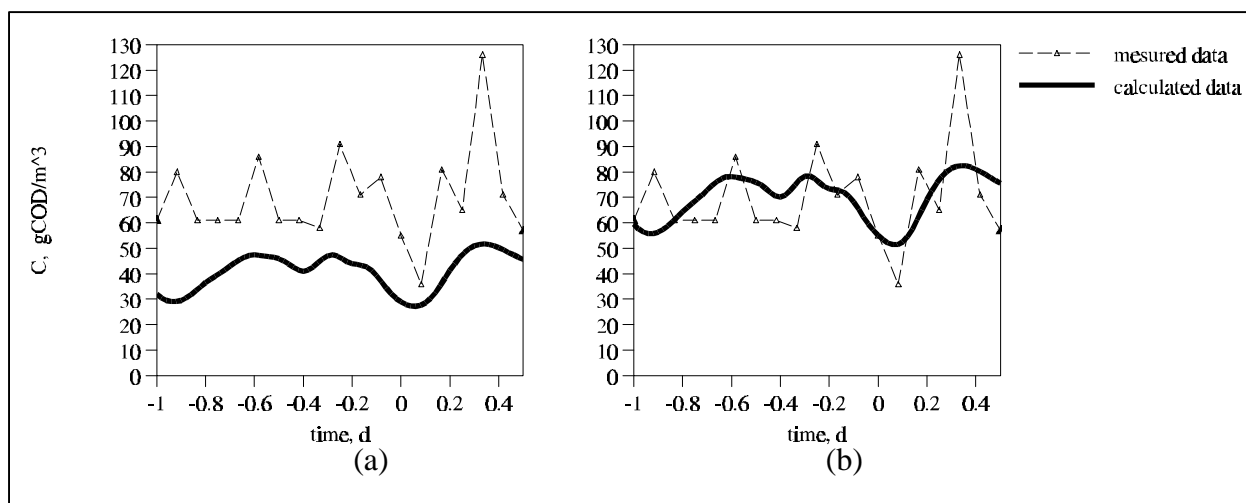


Figura 3. Concentração do substrato dissolvido: (a) sem estimação; (b) com estimação

Quadro 5. Estimação dos parâmetros constantes

Variável	Unidade	Valor antes da estimação	Valor após a estimação
$K_{O_2,H}$	g/m^3	0.2	0.92
K_S	g/m^3	20	196
μ_H a 20 °C	d^{-1}	6	10
Y_H	g biomassa/g CQO	0.67	0.42

As simulações da taxa de respiração e da concentração do substrato dissolvido com a introdução dos valores obtidos da estimação, apresentadas nas Figuras 2-(b) e 3-(b), respectivamente, correspondem bem aos dados de medição. As concentrações de biomassa medidas na ETAR foram utilizadas nas simulações como critérios adicionais para a verificação da fiabilidade do modelo calibrado. Na Figura 4 apresenta-se a eficácia de tratamento da ETAR de Parada comparando as concentrações de CQO dissolvido das águas

residuais afluentes (dados actuais) e as das descargas finais (calculadas pelo modelo calibrado).

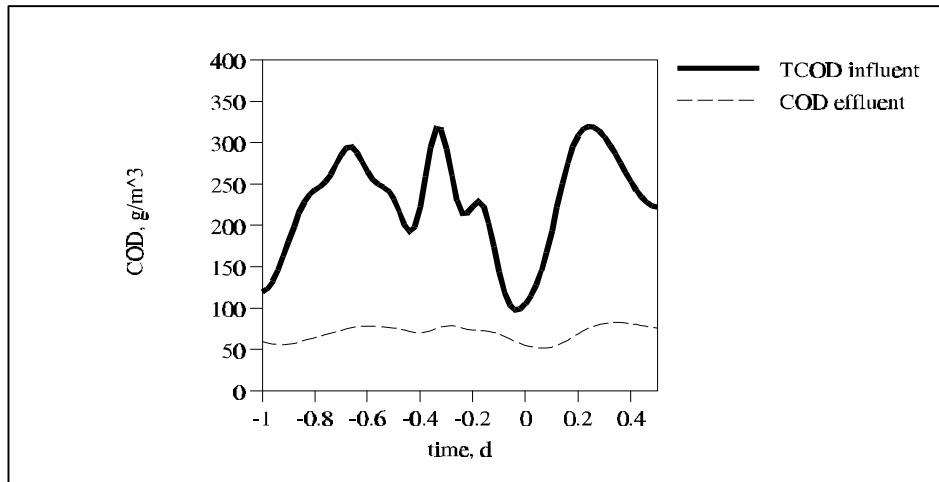


Figura 3. Eficácia prevista para o tratamento da ETAR de Parada

6. CONCLUSÃO

Um modelo matemático para o sistema de lamas activadas da ETAR de Parada foi construído com a combinação do modelo n.º 1 da IAWPRC e programa de simulação AQUASIM. Um novo coeficiente foi introduzido ao modelo construído de modo a descrever-se com maior rigor o processo de remoção de lamas em excesso da ETAR em estudo.

O modelo matemático foi calibrado com dados experimentais de taxa de respiração das lamas activadas da ETAR, e com os parâmetros cinéticos estimados pelo método incluído no programa de simulação. Foi atingida uma correlação elevada entre as medições e os resultados da simulação para a taxa de respiração, concentração de substrato (CQO) dissolvido e concentração de biomassa. A caracterização da água residual afluyente à ETAR foi considerada como a primeira etapa da calibração do modelo. Apenas quatro constantes, nomeadamente, $K_{O_2,H}$, K_S , μ_H e Y_H foram determinados pela estimação matemática. Prevê-se que o modelo calibrado possa ser aplicado para a optimização da operação da ETAR de Parada.

SIMBOLOGIA

BRT	tempo de retenção de lamas activadas (idade de lamas), (T),
DegCOD	fracção de CQO biodegradável no CQO total afluente ao tanque de arejamento,
DissI	fracção de CQO não biodegradável insolúvel no CQO não biodegradável total,
DissS	fracção de CQO biodegradável dissolvido no CQO biodegradável dissolvido total,
DO	concentração de oxigénio dissolvido (ML^{-3}),
lnQ	caudal médio de água residual afluente ao tanque de arejamento (L^3T^{-1}),
Q_in	caudal instantâneo afluente ao tanque de arejamento (L^3T^{-1}),
Qr	caudal médio de recirculação de lamas decantadas (L^3T^{-1}),
Qw	caudal médio de lamas em excesso (L^3T^{-1}),
SS	concentração de sólidos em suspensão no tanque de arejamento (ML^{-3}),
SSr	concentração de sólidos em suspensão das lamas recirculadas (ML^{-3}),
SSw	concentração de sólidos em suspensão das lamas em excesso (ML^{-3}),
T	temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
Vr	volume do tanque de arejamento (L^3),
Vc	volume de decantador final (L^3).

AGRADECIMENTOS

O estudo foi parcialmente financiado pelos fundos do Instituto Camões, Portugal. Agradecemos todo o apoio que nos foi prestado pela equipa técnica da ETAR de Parada durante a fase experimental do estudo, também da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e do Instituto de Hidráulico e Recursos Hídricos, Porto, pela disponibilização do equipamento e programa de simulação.

BIBLIOGRAFIA

- GUJER, W., HENZE, M. “Activated Sludge Modelling and Simulation”, *Wat. Sci Techn.*, **23**, 1991, pp. 1011-1023.
- HENZE, M., GRADY, C. P. L. Jr., GUJER, W., MARAIS, G. V. R. and MATSUO, T. *Activated Sludge Model No. 1*, IAWPRC, Scientific & Technical Reports, 1, London, 1986.
- HENZE, M. “Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes”, *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 6, 1992, pp. 1-15
- REICHERT, P. “Concepts underlying a Computer Program for the Identification and Simulation of Aquatic Systems”, EAWAG, ISBN 3-906484-08-4CH-8600 Dubendorf, Switzerland, 1994.