SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL UTILIZANDO AS EQUAÇÕES CINÉTICAS DO MODELO ASM3 (IWA) COM DECANTADOR IDEAL: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA IDADE DO LODO

Guilherme Pioli Bossani, Werner Siegfried Hanisch

Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: guilherme.pioli@unifesp.br

RESUMO – Com o uso do suplemento Solver do Excel, simulou-se um processo de lodos ativados convencional a partir do modelo cinético ASM3, considerando um decantador ideal. O Excel foi escolhido por ser um software acessível para facilitar a aplicação em fins didáticos e em plantas de tratamento de efluentes. Esse processo consiste na clarificação do efluente por meio de microrganismos, em que o consumo de substrato resulta no crescimento de uma biomassa conhecida como lodo. Subdividiu-se o efluente em frações mássicas solúveis e particuladas, cujas concentrações foram analisadas em função da idade do lodo, que é uma condição operacional importante para o processo. As concentrações dessas frações responderam de forma coerente com a literatura em função da variação da idade do lodo.

Palavras-chave: Tratamento de Efluentes; Simulação; Modelo ASM3; Lodos Ativados; Excel.

ABSTRACT – A conventional activated sludge process was simulated using the Excel Solver add-in, based on the ASM3 kinetic model and assuming an ideal sedimentation tank. Excel was selected due to its accessibility, facilitating its use for educational purposes and in wastewater treatment plants. This process involves wastewater clarification through microorganisms, where substrate consumption results in the growth of biomass, known as sludge. The wastewater was subdivided into soluble and particulate mass fractions, with their concentrations analyzed as a function of sludge age, an important operational parameter for the process. The concentrations of these fractions responded consistently with the literature as sludge age varied.

Keywords: Wastewater Treatment; Simulation; ASM3 Model; Activated Sludge; Excel.

Tipo do trabalho: (x) Iniciação científica ( ) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1 INTRODUÇÃO

O processo de lodos ativados convencional é amplamente utilizado como método para tratamento de efluentes. Este processo consiste na transformação da matéria orgânica do efluente em biomassa por meio do fornecimento de oxigênio, seguida de uma operação unitária de separação com a recirculação de biomassa, considerando seu descarte parcial, que resulta em um efluente clarificado e com baixa concentração de matéria orgânica [1].

Modelos matemáticos são a melhor opção de simulação devido à alta demanda de recursos necessários na elaboração de plantas piloto, além de não ser possível realizar medições em tempo real dos parâmetros do processo por conta de seu caráter dinâmico não-linear [2].

Diante disso, a Associação Internacional de Água (IWA) desenvolveu diversos modelos para a simulação do comportamento do processo de lodos ativados, que se tornaram ferramentas poderosas para prever a dinâmica não-linear do sistema em meio a mudanças das condições operacionais [3].

Os modelos da literatura atual são elaborados em softwares comerciais de computação ou de simulação. Atualmente, a aplicação destes modelos é uma prática popular em países desenvolvidos, porém não são aplicados extensivamente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento [4].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar a simulação de um modelo protótipo da literatura em um software simples, prático e acessível, que seja robusto o suficiente para variar as condições de operações e facilitar sua aplicação em plantas de tratamento de efluentes.

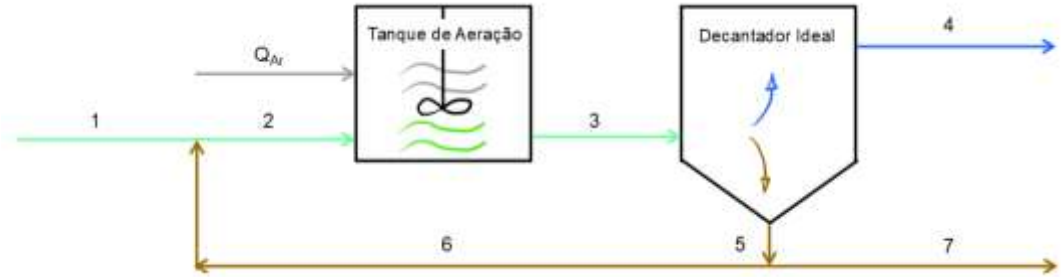
Dessa forma, a simulação foi elaborada no Excel por meio do suplemento Solver que é um software amplamente utilizado em projetos industriais. O modelo protótipo selecionado foi o Modelo de Lodos Ativados Número 3 (ASM3) da IAWQ [5] por ser um dos mais usados na literatura internacional [2,3,6,7,8,9,10]. Em relação à operação unitária de separação, considerou-se um decantador secundário ideal com o intuito de facilitar a convergência do modelo, que simboliza um equipamento que recircula completamente a biomassa sólida, deixando o efluente completamente limpo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação do processo de tratamento por lodos ativados representada na Figura 1 foi concebida a partir do balanço de massa no processo em regime estacionário para cada fração mássica do processo, considerando um decantador ideal. As frações mássicas dos constituintes foram definidas com base no modelo cinético para processos aeróbios, o ASM3, desenvolvido pela IWA [5]. Foram incluídas no balanço a corrente de recirculação de lodo (6) e vazão de descarte do lodo (7). Também foi considerada a idade do lodo (slude retention time - SRT), que é o tempo de retenção celular para os microrganismos do processo, por ser uma condição operacional importante em plantas de lodo ativado convencional, que impacta diretamente outras, como a vazão de descarte do lodo.

Outra equação necessária foi o balanço de massa para o oxigênio, que permitiu relacionar a vazão de ar (Q_{Ar}) fornecida com sua transferência de oxigênio, utilizando parâmetros empíricos e considerando a concentração de oxigênio no tanque como uma condição operacional fixa [11].

Figura 1: Fluxograma do processo de lodos ativados convencional.



O modelo cinético para os processos aeróbios (ASM3) subdivide a composição do efluente em frações mássicas solúveis e particuladas e elabora equações cinéticas para os processos bioquímicos de hidrólise, crescimento celular heterotrófico e autotrófico e decaimento celular baseados na equação de Monod. Essas frações solúveis (S_i) e particuladas (X_i) constituem-se: S_{O2} (oxigênio dissolvido), S_I (matéria orgânica inerte), S_S (matéria orgânica rapidamente biodegradável), S_{NH4} (amônia livre e íon amônio), S_{N2} (nitrogênio na forma de dinitrogênio), S_{NOX} (nitrogênio na forma de nitrito e nitrato), S_{HCO3} (alcalinidade total em termos de bicarbonato), X_I (matéria orgânica inerte particulada), X_S (matéria orgânica lentamente biodegradável), X_H (biomassa heterotrófica), X_{STO} (armazenamento nas células heterotróficas), X_A biomassa autotrófica).

A unidade de medida das concentrações de S_{O2}, S_I, S_S, X_I, X_S, X_H, X_{STO} e X_A foi expressa em gramas de demanda química de oxigênio por metro cúbico (g DQO/m³), sendo essa a quantidade utilizada de oxigênio pelos microrganismos no processo de oxidação [12]. Em seguida, as concentrações de S_{NOX}, S_{NH4} e S_{N2} foram expressas em gramas de nitrogênio por metro cúbico (g N/m³), e por fim S_{HCO}, em mols de bicarbonato por metro cúbico (mol HCO_3^- /m³).

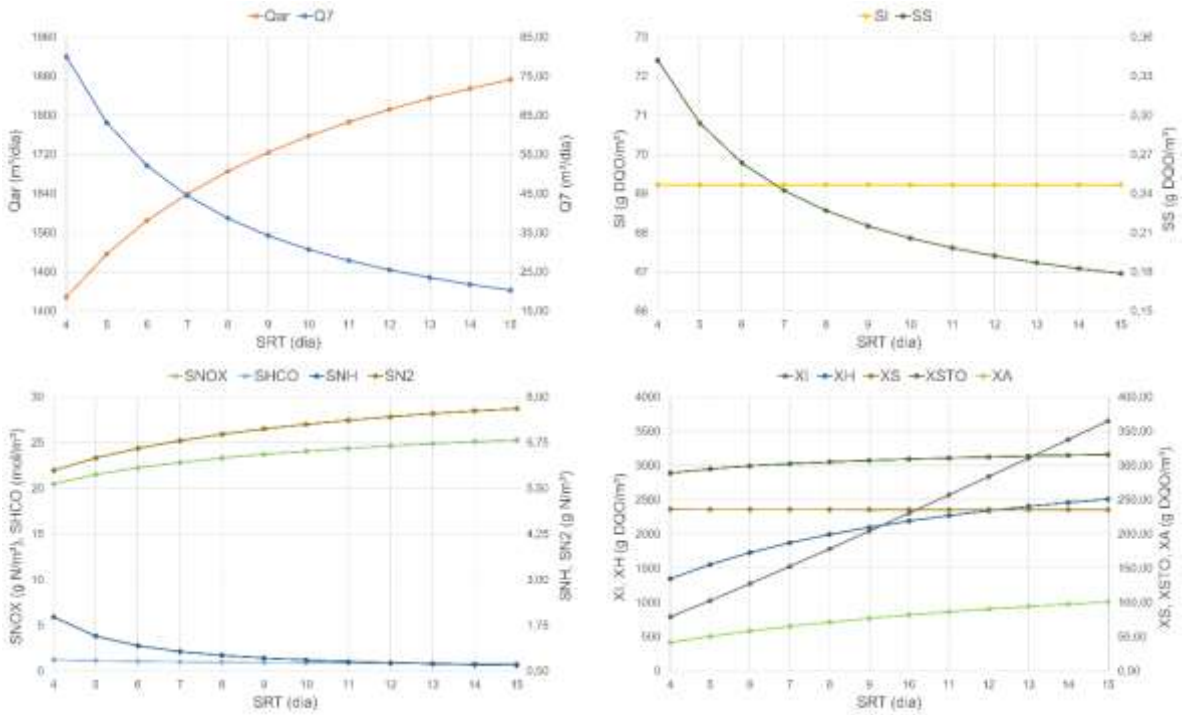
Por fim, a simulação foi realizada variando-se a idade do lodo entre 4 e 15 dias, considerando um tanque de aeração (reator biológico) com volume de 800 m³, concentração fixa de oxigênio de 2,0 g/m³, razão de recirculação de 60% e seguintes valores para as frações mássicas do esgoto doméstico bruto em países em desenvolvimento [13]: Vazão de 2000 m³/dia, S_{O2} de 0 g DQO/m³, S_I de 69 g DQO/m³, S_S de 138 g DQO/m³, S_{NH4} de 20 g N/m³, S_{N2} de 0 g N/m³, S_{NOX} de 0 g N/m³, S_{HCO3} de 4 mol HCO_3^-/m³, X_I de 58 g DQO/m³, X_S de 265 g DQO/m³, X_H de 69 g DQO/m³, X_{STO} de 0 g DQO/m³, X_A de 0 g DQO/m³.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados da simulação das vazões e das concentrações das frações mássicas em função da idade do lodo.

Os resultados da simulação apresentaram desvios em relação aos da literatura [13], porém suas variações em função da SRT são condizentes com o que se espera de um processo de lodos ativados convencional. Esses desvios são justificados pela simulação ter sido realizada com um decantador ideal, diferentemente de [13] que uso um decantador real, baseado no modelo de Takács [14].

Figura 2: Resultados da simulação



O aumento da idade do lodo (SRT) resulta em uma maior vazão de ar (Q_{Ar}) em consequência da maior demanda de oxigênio dos processos aeróbios, enquanto a vazão de descarte de lodo (Q_7) diminui para manter as frações particuladas por mais tempo no sistema. A concentração de matéria orgânica inerte (S_I) se mantém constante por conta de seu caráter inerte, enquanto a matéria orgânica rapidamente biodegradável (S_S) apresenta um consumo maior, uma vez que é o substrato orgânico do processo.

Em relação às frações nitrogenadas, observa-se um maior consumo de amônia (S_{NH4}) e de liberação de dinitrogênio (S_{N2}). O aumento do consumo de S_{NH4} é justificado pelo processo de crescimento de biomassa autotrófica, que é um processo de nitrificação, enquanto o aumento da liberação de dinitrogênio é justificado pelos processos anóxicos, que são de desnitrificação. Também há um leve aumento de nitrito e nitrato (S_{NOX}) e uma leve diminuição da alcalinidade (S_{HCO3}). Esses apresentam variações menores por serem componentes intermediárias dos processos de nitrificação e desnitrificação.

A respeito das frações particuladas, constata-se o crescimento da biomassa heterotrófica (X_H) e autotrófica (X_A), além do aumento da concentração de matéria orgânica inerte particulada (X_I) por causa dos processos de respiração endógena. A concentração de armazenamento nas células heterotróficas (X_{STO}) permanece praticamente constante, com um leve aumento, por ser apenas o intermediário entre o substrato S_S e a biomassa X_H. Por fim, a concentração da matéria orgânica lentamente biodegradável (X_S) apresenta uma leve diminuição por conta de sua hidrólise.

4 CONCLUSÃO

O suplemento Solver do Excel foi vantajoso para simular o processo de lodos ativados convencional, mostrando-se robusto o suficiente para variar condições operacionais e trazer resultados dentro do esperado. Sugere-se o aperfeiçoamento da simulação por meio da

modelagem de um decantador real. Diante disso, a incorporação do modelo do decantador de Takács [14] está em desenvolvimento como continuidade do trabalho e migração do modelo para Phyton.

5 REFERÊNCIAS

1. Von Sperling, M. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. London, UK: IWA Publishing.
2. S. Demir and E. B. Atçı, "Sensitivity analysis and principal component analysis for the determination of the most influential kinetic parameters in activated sludge modeling," *J Environ Chem Eng*, vol. 9, no. 5, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105872.
3. L. M. Ruiz, P. Rodelas, J. I. Pérez, and M. A. Gómez, "Sensitivity analyses and simulations of a full-scale experimental membrane bioreactor system using the activated sludge model No. 3 (ASM3)," *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, vol. 50, no. 3, pp. 317–324, Feb. 2015, doi: 10.1080/10934529.2015.981122.
4. C. M. Lopez-Vazquez, M. Mithaiwala, M. S. Moussa, M. C. M. van Loosdrecht, and D. Brdjanovic, "Coupling ASM3 and ADM1 for wastewater treatment process optimisation and biogas production in a developing country: Case-study Surat, India," *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 3, no. 1, pp. 12–25, 2013, doi: 10.2166/washdev.2013.017.
5. W. Gujer, M. Henze, T. Mino, and M. Van Loosdrecht, "Activated Sludge Model No. 3," in *Water Science and Technology*, 1999, pp. 183–193. doi: 10.1016/S0273-1223(98)00785-9.
6. J. Peres, J. Morais, W. Silva Júnior, S. Gavazza, L. Florencio, and M. Kato, "Mathematical modeling for domestic sewage treatment system with simultaneous removal of organic matter and nitrogen," *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol. 26, no. 4, pp. 765–773, 2021, doi: 10.1590/S1413-415220180025.
7. A. Elawwad, M. Zaghloul, and H. Abdel-Halim, "Simulation of municipal-industrial full scale WWTP in an arid climate by application of ASM3," *Journal of Water Reuse and Desalination*, vol. 7, no. 1, pp. 37–44, Mar. 2017, doi: 10.2166/wrd.2016.154.
8. F. Gao, J. Nan, and X. Zhang, "Simulating a cyclic activated sludge system by employing a modified ASM3 model for wastewater treatment," *Bioprocess Biosyst Eng*, vol. 40, no. 6, pp. 877–890, Jun. 2017, doi: 10.1007/s00449-017-1752-8.
9. Huisman, J. L., & Gujer, W. (2002). Modelling wastewater transformation in sewers based on ASM3. *Water Science and Technology*, 45(6), 51–58. https://iwaponline.com/wst/article-pdf/45/6/51/425342/51.pdf
10. Koch, G., Kuhni, M., Gujer, W., & Siegrist, H. (2000). Calibration and validation of activated sludge model No. 3 for Swiss municipal wastewater. *Water Research*, 34(14), 3580–3590. https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00785-9
11. Hanisch, W. S. (1999). *Desenvolvimento de modelos mecanístico e neural para o processo de lodos ativados de tratamento de esgotos sanitários*.
12. Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2014). *Environmental engineering: Fundamentals, sustainability, design* (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
13. Molleta, L. B. (2015). *Modelagem de um sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados convencional (modelo ASM3 da IWA) e de decantador secundário*. Universidade Federal de São Paulo, Diadema, SP.
14. Takacs, I., Patry, G. G., & Nolasco, D. (1991). A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research*, 25(10), 1263–1271. https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90066-Y