

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE DETENÇÃO E DA TAXA DE APLICAÇÃO DE LODO NA HIDRÓLISE E ACIDOGÊNESE DE LODO PRIMÁRIO

INFLUENCE OF THE SLUDGE RETENTION TIME AND SLUDGE APPLICATION RATE ON THE HYDROLYSIS AND ACIDOGENESIS OF PRIMARY SLUDGE

ANDRÉ LUIZ DA S. S. COELHO

Doutorando da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Mestre em Engenharia Civil, área de concentração de Saneamento, pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

EUGENIO FORESTI

Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP)

Recebido: 05/10/04 Aceito: 09/04/05

RESUMO

A pesquisa teve, como objetivo principal, a avaliação da influência do tempo de detenção de lodo (TDL), bem como da taxa de aplicação de lodo (TA) na hidrólise e acidogênese de lodo primário de uma estação de tratamento de esgotos. Utilizou-se um digestor hidrolítico de lodo (DHL), em escala de bancada, com volume útil de 1,3 L, operado em bateladas seqüenciais, submetido a diferentes valores de TA, expressa como a razão entre a DQO total e a concentração de SSV aplicada por batelada, ao longo de diferentes tempos de detenção do lodo (TDL). Avaliou-se o desempenho do DHL na produção de DQO filtrada e de ácidos voláteis (AGV), bem como as taxas de hidrólise e de acidogênese, para os valores de TA de 1,7, 2,1 e 2,7 gDQOt/gSSV.d. Foi avaliada, também, a composição dos ácidos voláteis (AGV) gerados no reator. Os resultados permitiram concluir que a taxa de hidrólise foi satisfatória somente a partir da TA de 2,1 gDQOt/gSSV.d, tendo sido obtido o melhor resultado com a TA de 2,7 gDQOt/gSSV.d. Em todos os ensaios, o maior valor obtido para a taxa de acidogênese ocorreu com tempos de detenção de lodo próximos a dois dias. A produção de AGV foi proporcional à taxa de aplicação de lodo somente durante o período em que a taxa de acidogênese foi ótima, decrescendo com o aumento de TDL. Os principais tipos de ácidos voláteis produzidos foram o acético e o propiônico.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário, lodo primário, hidrólise, acidogênese, tempo de detenção de lodo.

ABSTRACT

The main aim of the research was to evaluate the influence of the sludge retention time (SRT) and application rate (AR) on hydrolysis and acidogenesis of primary sludge from a sewage treatment plant. The study was carry out using a lab-scale hydrolytic sludge digester (HSD) of 1.3 L useful volume, operated in sequencing batch mode, subjected to different sludge application rates (AR), expressed as the ratio between total COD and VSS concentration applied to each batch, along different sludge retention time (SRT). The values of applied AR expressed as kg COD/kg SSV.d were 1.7, 2.1, and 2.7. The reactor performance was evaluated in terms of filtered COD (and hydrolysis rate) and VFA (and acidogenesis rate) production, for each SRT tested. VFA composition was also determined. The results allowed concluding that the hydrolysis rate was only satisfactory for the AR of 2.1 and 2.7 gCODt/gVSS.d. The optimum acidogenesis rate was obtained at the SRT of two days for all the essays applied. VFA production was directly proportional to the applied AR only for the optimum acidogenesis rate period, at SRT of two days approximately, tending to decrease for the higher values of SRT. Acetic and propionic acids were the main VFA produced by the HSD reactor.

KEYWORDS: Domestic sewage, primary sludge, hydrolysis, acidogenesis, sludge retention time.

INTRODUÇÃO

É cada vez maior a relevância dada por sanitaristas e ambientalistas à necessidade da aplicação do tratamento terciário a efluentes domésticos e industriais, visando, assim, a proteção de corpos receptores contra lançamentos excessivos de macronutrientes, como nitrogênio e fós-

foro. Inúmeros foram os estudos realizados, nas últimas décadas, em todo o mundo, visando a se obter formas cada vez mais eficientes e econômicas de se produzir efluentes de estações de tratamento de efluentes (E.T.E) contendo menores concentrações de nitrogênio e fósforo, de maneira a atender às exigências da legislação quanto aos padrões de lançamentos

em corpos aquáticos. Estudos já realizados sobre o tratamento terciário demonstraram que os ácidos graxos voláteis (AGV) se apresentam como uma fonte de carbono ideal para os processos biológicos de remoção de nutrientes, tanto de nitrogênio, como de fósforo (Jonsson et al, 1996).

A hidrólise do lodo retido em decantadores primários pode permitir a

obtenção de uma fonte de carbono ideal, como os AGV, para a remoção biológica de nitrogênio e fósforo em E.T.E. (Banister & Pretorius, 1998; Ferreiro & Soto, 2003; Álvarez et al, 2001).

Segundo Hatziconstantinou et al, (1996), a hidrólise em digestores hidrolíticos de lodo primário pode enriquecer o efluente com compostos orgânicos solúveis que, quando retornados, podem servir como uma valiosa fonte de carbono para a subsequente remoção de nutrientes. Moser-Engeler et al, (1999) também concluíram que o produto da hidrólise de lodo primário poderá facilitar a remoção de nutrientes, já que é um substrato prontamente biodegradável que pode ser produzido na própria ETE. Ainda segundo os mesmos autores, os principais parâmetros envolvidos no projeto destas unidades são a temperatura, o tempo de detenção hidráulica (TDH) e o tempo de detenção de lodo (TDL ou idade de lodo). Para Banerjee et al, (1998), além dos parâmetros anteriormente citados, devem também ser consideradas as características do esgoto e o pH.

Miron et al, (2000), pesquisando sobre o papel do TDL na hidrólise e acidificação de lodo primário, concluíram que a hidrólise de carboidratos e lipídeos aumenta com o aumento do TDL e que a hidrólise de proteínas ocorre quando as condições para metanogênese são desfavoráveis. Concluíram, também, que valores de TDL ≤ 8 dias, resultaram em condições acidogênicas com insignificante produção de biogás, enquanto que, com valores de TDL > 8 dias, as condições metanogênicas prevaleceram.

A maioria dos autores citados não faz referência ao fato de que a maior produção de compostos orgânicos solúveis pode não estar associada à maior produção de ácidos voláteis, que são os compostos de maior interesse para a remoção de nutrientes.

Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa que teve o intuito de analisar a influência do tempo de detenção de lodo e da taxa de aplicação de lodo (TA) na hidrólise e acidogênese de lodo primário, em digestores hidrolíticos operados sob regime de batelada, visando uma consequente produção de compostos orgânicos solúveis de interesse para os processos de desnitrificação.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada utilizando-se um digestor hidrolítico de lodo (DHL), em escala de bancada, com

volume útil de 1,3 L e confeccionado em acrílico, conforme apresentado na Figura 1 (a) e (b).

Foram realizadas alimentações, em bateladas, com lodo primário, sob diferentes valores de TA (1,7, 2,1 e 2,7 gDQO_f/gSSV.d) para cada batelada, avaliando-se diariamente, na forma de perfil temporal, o desempenho do DHL referente à produção de DQO filtrada (DQO_f), bem como a concentração e composição dos ácidos voláteis (AGV) gerados no reator. Todas as análises foram realizadas com o sobrenadante do DHL. A coleta de amostras para a obtenção de cada perfil foi encerrada quando a concentração de DQO_f passou a apresentar valores decrescentes, indicando a ocorrência de metanogênese. Foram realizados 3 perfis para cada TA estudada. Em seguida, o reator era esvaziado e preenchido novamente com lodo e submetido a novo valor de TA. A redução da concentração de lodo par se obter o valor de TA desejado era realizada por meio de diluição do lodo com água destilada. O lodo primário utilizado na pesquisa foi coletado em um decantador primário da Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Franca-SP. Após a coleta e transporte, o mesmo era armazenado, por um prazo de até 15 dias, em câmaras frias, à temperatura de 4 °C. As características apresentadas pelo lodo primário, em cada alimentação, podem ser observadas na Tabela 1.

O DHL era provido de agitador mecânico operando a 100 rpm, alternando-se os períodos de agitação (30 min) e sem agitação (90 min). Os valores de DQO total (DQO_t), DQO_p, SST e SSV foram obtidos de acordo com métodos prescritos pela APHA (1995). A quantificação dos ácidos voláteis foi realizada pelo método de cromatografia líquida (HPLC), descrito por Santos (2003). A Tabela 1 apresenta, resumidamente, os parâmetros monitorados na pesquisa.

RESULTADOS

As características do lodo primário utilizado, com diferentes valores de TA em cada batelada, são apresentadas na Tabela 2. Foi verificado que o lodo primário utilizado apresentou alto teor de sólidos inertes, principalmente areia, atingindo em torno de 50% dos sólidos suspensos totais (SST). No entanto, os resultados obtidos permitem admitir que este fato não afetou negativamente o desempenho do DHL na fase hidrolítica/fermentativa em que foi operado.

As produções de DQO_f e AGV, ao longo dos ensaios, foram determinadas pela diferença entre as concentrações ao longo do tempo de detenção do lodo e as apresentadas no momento da alimentação (tempo zero). Portanto, os valores apresentados referem-se à produção acumulada de DQO_f e AGV. As taxas de hidrólise e acidogênese, são representadas, respectivamente, pelas concentrações de DQO_f e AGV, em relação à concentração inicial de sólidos suspensos voláteis (SSV_i).

O valor de TA teve profunda influência sobre a produção de DQO_f [Figura 2(a)]. Para o menor valor de TA (1,7), houve pouca ou quase nenhuma produção de DQO_f ao longo do ensaio. Para os valores de TA de 2,1 e 2,7, houve produção considerável de DQO_f. No primeiro caso, entre o segundo e o quinto dia, houve produção média da ordem de 682 mgDQO_f.L⁻¹. No segundo caso, houve produção crescente até por volta do oitavo dia, atingindo-se o valor máximo de 1.840 mgDQO_f.L⁻¹. Com isso, ficou evidenciado que quanto maior o valor de TA, maior foi a produção de DQO_f.

Com relação à produção de AGV [Figura 2(b)], o mais importante foi verificar que, para os três valores de TA aplicados, a produção ótima foi atingida em tempos de detenção de lodo próximos a dois dias. Obtiveram-se concentrações de AGV da ordem de 600 mg.L⁻¹, para os valores de TA de 1,7 e 2,1, e de 1.000 mg.L⁻¹ quando o valor de TA foi de 2,7. Portanto, para tempos de detenção de lodo da ordem de dois dias, foi possível alcançar o valor mais elevado de produção de AGV, principalmente de ácido acético e de ácido propiônico, como será visto posteriormente. Portanto, a aplicação desse processo pode resultar em ganho para ETES na posterior utilização dos produtos gerados para a remoção de nutrientes.

De posse dos resultados de produção de DQO_f e AGV, foi possível se relacioná-los com as taxas de hidrólise (T_h) e acidogênese (T_a). Como mostra a Figura 3 (a), para o valor de TA de 1,7, foram obtidos valores insignificantes de T_h, podendo-se afirmar praticamente não ocorreu a hidrólise do lodo. Embora tenha havido produção de ácidos [Figura 2 (b)], é provável que a acidogênese tenha ocorrido a partir de material orgânico solúvel (aminoácidos, açúcares e ácidos de longa cadeia) já presente no lodo. Para os valores de TA de 2,1 e 2,7, de um modo geral, foi possível obterem-se valo-

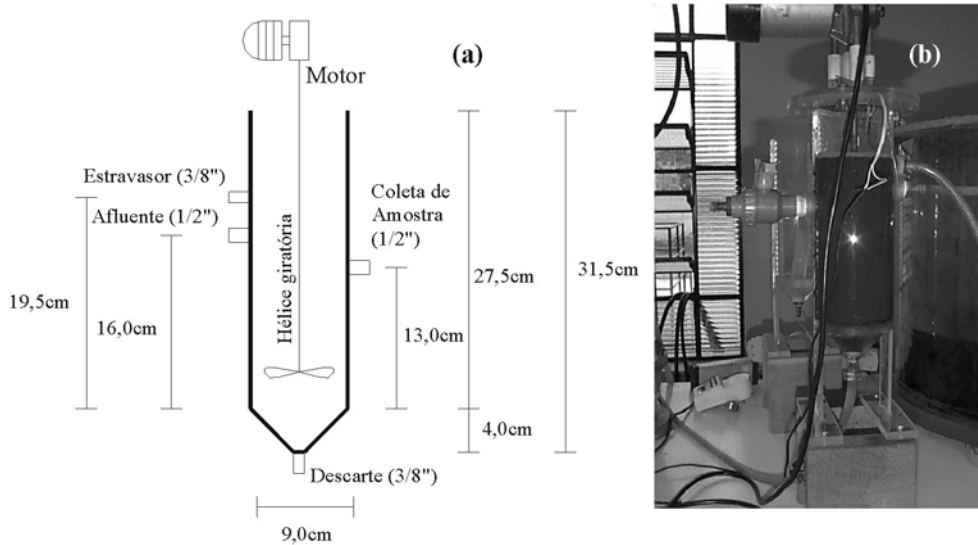


Figura 1 - Digestor hidrolítico de lodo (DHL) utilizado na pesquisa, (a) detalhes e (b) foto

Tabela 1 - Parâmetros, métodos e frequências utilizadas na pesquisa

Parâmetro	Método	Frequência
DQO total (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	1 por dia
DQO filtrada (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	2 por dia
pH	Potenciométrico	2 por dia
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	Titulométrico	2 por dia
AGV (mgHac.L ⁻¹)	Titulométrico	2 por dia
AGV (mg.L ⁻¹)	Cromatografia líquida	2 por dia
SST (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	1 por dia
SSV (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	1 por dia

Tabela 2 - Características do lodo primário em cada ensaio

TA (gDQO _t .gSSV.d ⁻¹)	DQO _t (g.L ⁻¹)	DQO _f (g.L ⁻¹)	SST (g.L ⁻¹)	SSV (g.L ⁻¹)	AGV (g.L ⁻¹)
1,7	44,5	2,2	70,0	34,2	0,5
2,1	46,4	2,8	56,3	29,4	1,4
2,7	56,1	2,6	52,2	27,2	0,6

res satisfatórias de T_h em torno de 4 dias. O fato de a hidrólise ter sido pouco significativa quando foi aplicado o menor valor de TA indica que esta pode ser fator limitante para a aplicação vantajosa do processo.

A Figura 3 (b) mostra que, para tempos de detenção do lodo em torno de dois dias, foi possível alcançar ótimos índices de acidogênese, conforme se pode observar pelos valores de T_a . Considerando-se a possibilidade de utilização dos

substratos produzidos neste processo em processos de remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias, este é um resultado importante. Provavelmente a hidrólise foi o fator limitante para o processo de acidogênese, conforme demonstram os baixos valores T_h .

O desempenho de DHL pode ser avaliado fazendo-se a análise da variação da hidrólise e acidogênese em relação aos valores máximos alcançados, conforme apresentado na Figura 4. Observa-se que

a hidrólise apresentou seu melhor desempenho em ciclos de quatro a seis dias, enquanto que, no ciclo de dois dias, atingiu cerca de 80% de seu valor máximo. Com relação à acidogênese, os melhores desempenhos foram obtidos nos ciclos entre um e três dias, tendo o ciclo de dois dias apresentado a acidogênese máxima.

Com relação à composição dos ácidos formados, como mostra a Figura 5 (a), (b) e (c), no período em que a taxa de acidogênese se mostrou maior (dois

primeiros dias), houve predominância dos ácidos acético e propiônico na composição dos AGVs, para todos os valores de TA aplicados. Juntos, estes ácidos corresponderam a aproximadamente 70% do total. Vale ressaltar que, em todos os casos, neste período, foi verificada a presença de aproximadamente 10 % de ácido isobutírico na composição dos AGV formados.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na presente pesquisa sobre hidrólise e acidogênese de lodo primário apontam para a viabilidade do uso de reatores hidrolíticos, operados em bateladas sequenciais e alimentados com lodo primário de Estações de Tratamento de Esgotos, na produção de compostos de interesse para a etapa de

remoção biológica de nutrientes. Foram obtidas taxas de hidrólise satisfatórias com tempo de detenção de lodo de quatro dias, para taxas de aplicação de lodo (TA) de 2,1 e 2,7 gDQO/gSSV.dia. A quantidade de DQO_f obtida na hidrólise foi proporcional à TA aplicada, tendo sido possível se obter um valor ótimo de taxa de acidogênese com tempos de detenção de lodo próximos a dois dias. Constatou-se

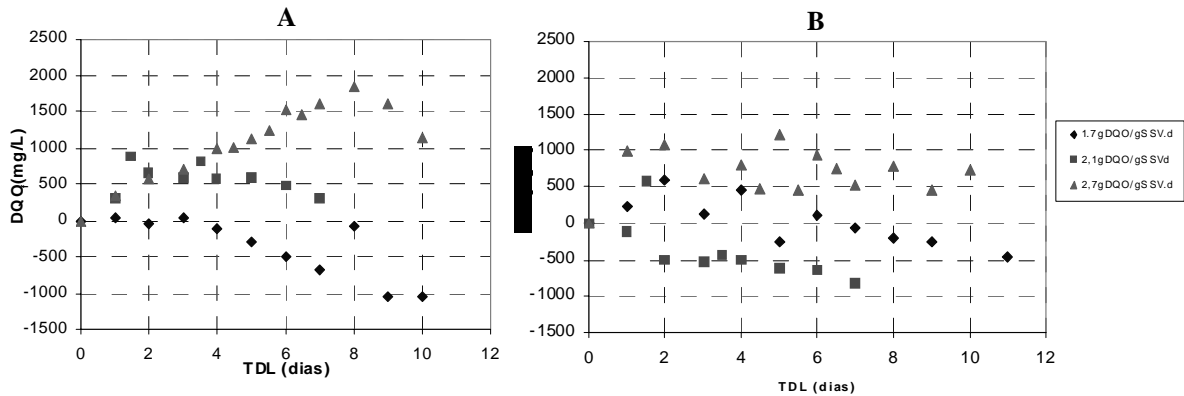


Figura 2 - (A) Produção de DQO_f e (B) Produção de AGV

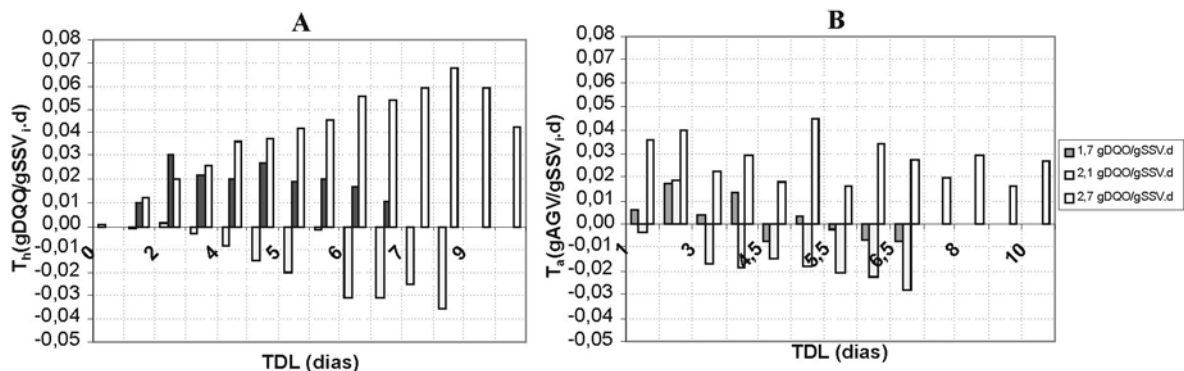


Figura 3 - (A) Taxas de hidrólise e (B) Taxas de acidogênese

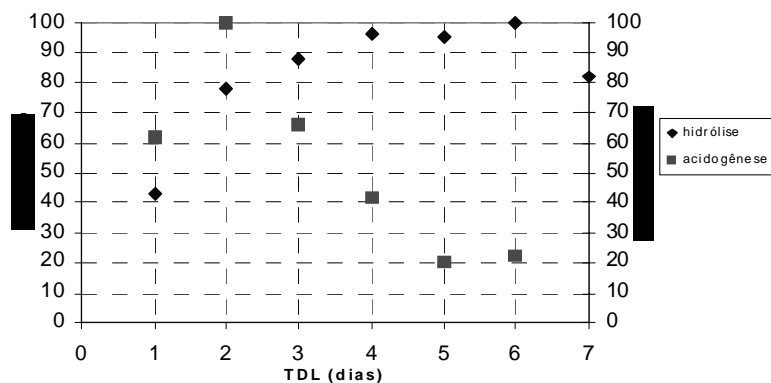


Figura 4 - Composição dos AGV ao longo do tempo de detenção de lodo para TA de: (A) 1,7, (B) 2,1 e (C) 2,7 gDQO/gSSV.d.

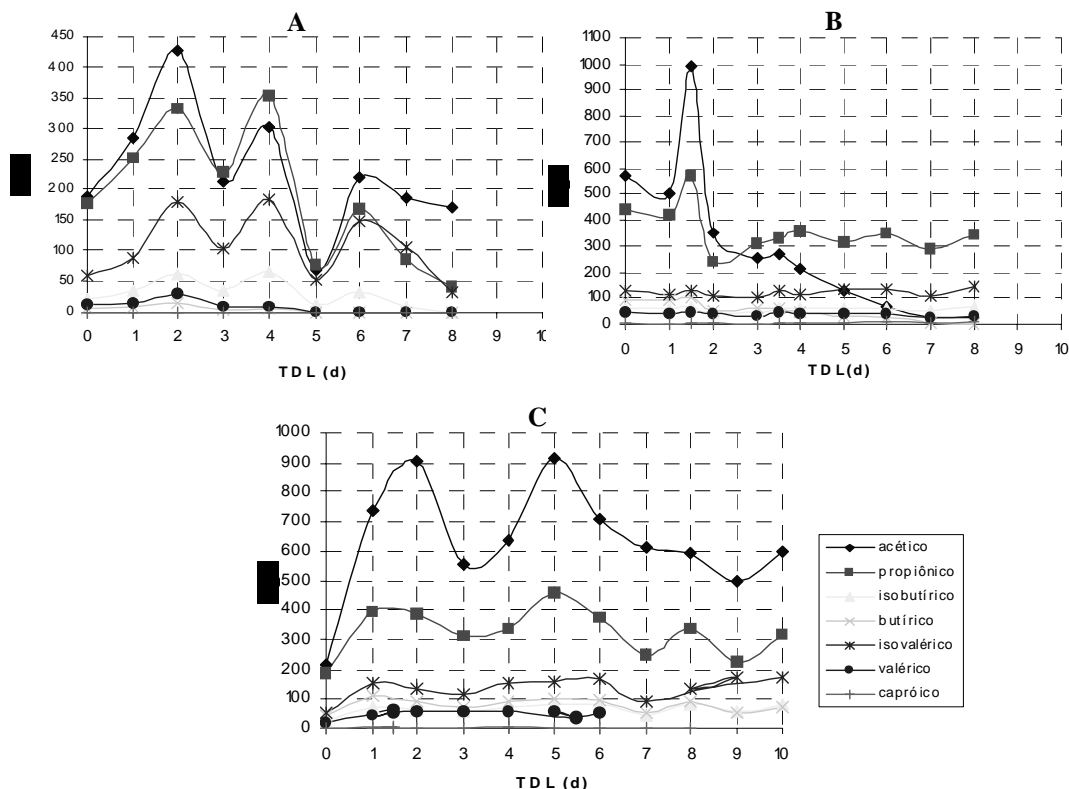


Figura 5 - Composição dos AGV ao longo do tempo de detenção de lodo para TA de: (A) 1,7, (B) 2,1 e (C) 2,7 gDQO/gSSV.d

que a concentração de ácidos voláteis produzidos foi proporcional à taxa de aplicação de lodo, durante o período em que a taxa de acidogênese foi ótima, sendo que os principais ácidos voláteis produzidos na hidrólise do lodo primário foram o acético e o propiônico.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de Doutorado, bem como os recursos disponibilizados pela Reserva Técnica da referida bolsa, recursos estes responsáveis pelo custeamento desta pesquisa.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por todo o apoio no fornecimento do lodo primário utilizado na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, J.A., et al. M. *Anaerobic hydrolysis of a municipal wastewater in a pilot-scale digester*. Water Science and Technology, v. 47, n. 12, p. 223-230. 2003.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19a ed. Washington: American Public Health Association. 2000.
- BANERJEE, A.; ELEFSINIOTIS, P.; TUHTAR, D. *The effect of addition of potato-processing wastewater on the acidogenesis of primary sludge under varied hydraulic retention time and temperature*. Journal of Biotechnology, v. 72, p. 203-212. 1999.
- BANISTER, S.S.; PRETORIUS, W.A. *Optimization of primary sludge acidogenic fermentation for biological nutrient removal*. Water SA, v. 24, n. 1, p. 35-41. 1998.
- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19a ed. Washington: American Public Health Association. 2000.
- FERREIRO, N.; SOTO, M. *Anaerobic hydrolysis of primary sludge: Influence of sludge concentration and temperature*. Water Science and Technology, v. 47, n.12. p. 239-246. 2003.
- HATZICONSTANTINO, G. J.; YANNAKOPOULOS, P.; ANDREADAKIS, A. *Primary sludge hydrolysis for biological nutrient removal*. Water Science and Technology, v. 34, n. 1-2, p. 417-423. 1996.
- JONSSON, K. et al. *Operational factors affecting enhanced biological phosphorus removal at the treatment plant in Helsingborg, Sweden*. Water Science and Technology, v. 34, n. 1-2, p. 64-74. 1996.
- MIRON, Y. et al. *The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems*. Water Research, v. 34, n. 5, p. 1705-1713. 2000.
- MOSER-ENGELER, R. et al. *Products from primary sludge fermentation and their suitability for nutrient removal*. Water Science and Technology, v. 38, n. 1, p. 265-273. 1998.
- SANTOS, S. G. *Utilização de metanol, etanol e metano como doadores de elétrons para a desnitrificação*. São Carlos. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.

Endereço para correspondência:

Eugenio Foresti
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13560-590 São Carlos - SP - Brasil
Tel: (16) 3373-9522
Fax: (16) 3373-9550
E-mail: eforesti@sc.usp.br