

Luana Lima Guimarães
Patrícia Gonçalves de Freitas
Organizadoras

MEIO AMBIENTE:

GESTÃO, PRESERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

3



2021

CAPÍTULO 36

DOI: 10.47402/ed.ep.c202182935486

TRATAMENTO ANAERÓBIO E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO DE UM EFLUENTE AGROINDUSTRIAL EM REATOR UASB

Tatiane Chitolina Mansano, Mestre em Engenharia Química, ESTiG-IPB
Simone Delezuk Inglez, Doutora em Ciências na área de Química Analítica e Inorgânica, Universidade São Paulo e Professora Universitária, UTFPR
Ramiro José Espinheira Martins, Doutor em Engenharia Química, FEUP-Portugal e Professor Universitário, ESTiG-IPB

RESUMO

O rápido crescimento da população e a crescente necessidade de alimentos, tem levado a um aumento do volume gerado de efluentes agroindustriais. A descarga inadequada desses efluentes afeta significativamente a qualidade dos recursos hídricos. Dessa forma, torna-se imperioso investir em processos de tratamento dos efluentes agroindustriais, em particular processos de baixo custo. Nesse contexto, o presente estudo compreende a concepção e construção de um reator UASB e otimização do tratamento por digestão anaeróbia do efluente bruto da produção de castanha pela empresa agroindustrial Sortegel. A eficiência do sistema foi avaliada mediante a determinação/monitorização dos parâmetros Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO₅), Sólidos Suspensos Totais (SST), taxa de produção e qualidade (% de metano) do biogás. O reator foi alimentado durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40 °C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (HRT) e caudal volumétrico (QV): 0,66 d (QV=1509 L.m⁻³.d⁻¹); 1,33 d (QV=755 L.m⁻³.d⁻¹); 2,41 d (QV=415 L.m⁻³.d⁻¹). A eficiência média de remoção de CQO alcançou valores de 69%, 82% e 75%, respectivamente e, simultaneamente, a eficiência de remoção de CBO₅ associada foi de 84%, 91% e 70%. Relativamente ao teor de SST, os valores de remoção foram 78%, 94% e 63%. A taxa de produção de metano situou-se entre 2500 e 4800 L.CH₄.kg⁻¹ CQO removido.d⁻¹. Para o conjunto dos tempos de retenção hidráulico testados, foram registadas elevadas concentrações de metano no biogás gerado: 66 - 75%, 70% e 75% para HRT de 0,66, 1,33 e 2,41 dias, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente agroindustrial; digestão anaeróbia; metano; reator UASB, economia circular.

INTRODUÇÃO

Por muitos anos a castanha foi utilizada como um recurso para a sobrevivência na Ásia, Europa do Sul e Norte da África. Atualmente a produção de castanhas na Europa e Ocidente não é mais uma fonte de subsistência, mas continua a desempenhar um papel importante na



alimentação, obtenção de madeira e valorização da paisagem. Portugal foi o terceiro maior produtor de castanha na Europa (UE 28) e o sétimo a nível mundial em 2013, com uma produção anual de 24700 t, sendo o norte do País responsável por 84% da produção [1].

A produção industrial de castanha origina efluentes líquidos e seu descarte inadequado tem como uma das consequências a diminuição da qualidade de água potável para áreas urbanas [2]. Dessa forma, torna-se necessário haver intervenções das entidades governamentais, através de normas, políticas nacionais do ambiente e coimas aplicadas pelo não cumprimento das leis [3]. Neste âmbito, torna-se imprescindível para a sobrevivência no mercado, a implementação de meios de tratamento convencionais dos efluentes, com custos mínimos que, garantindo a qualidade e comercialização do produto, combinem a depuração dos efluentes com a produção de energia renovável [4].

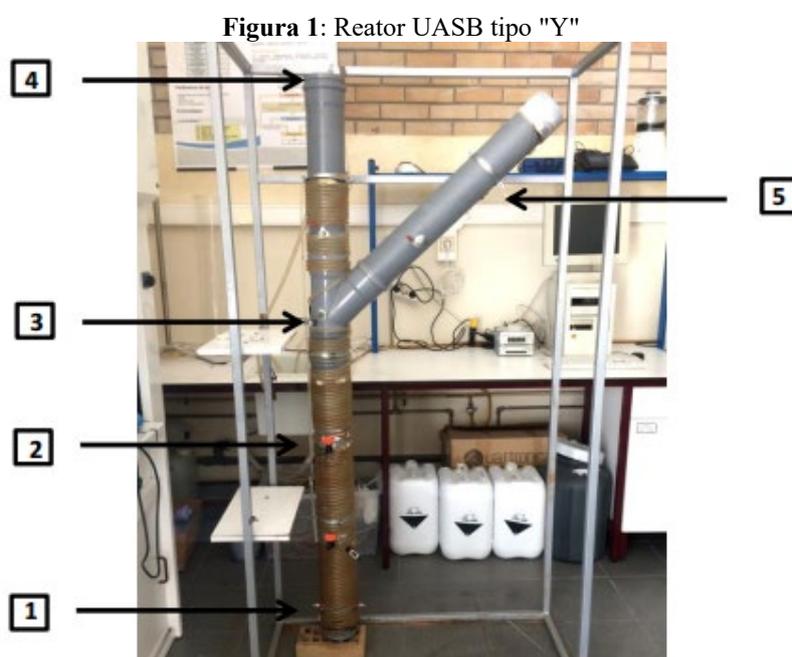
A digestão anaeróbia vem sendo implantada como uma alternativa adequada, muito eficiente e de baixo custo [5]. Esta tecnologia é muito utilizada no processo de tratamento de águas residuais, onde, em condições anaeróbias e mesofílicas, os microrganismos anaeróbios convertem a matéria orgânica em um material mais estabilizado gerando como coproduto o biogás que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica e energia térmica [6][7]. Este tratamento pode ser realizado utilizando um reator de leito de lama de fluxo ascendente (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), que mantém um leito de lama com maior concentração de biomassa no fundo, melhorando a eficiência do processo [8].

Neste estudo foi avaliada, num reator UASB à escala laboratorial, a eficiência de tratamento do efluente da empresa agroindustrial Sortegel, mediante a monitorização da Carência Química de Oxigénio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de cinco dias a 20 °C (CBO₅) e Sólidos Suspensos Totais (SST), e ainda da determinação da qualidade (% de metano) e da taxa de produção de biogás.

MATERIAIS E MÉTODOS

O reator utilizado foi do tipo UASB em “Y”, construído a partir de tubos de PVC com diâmetro de 10 cm e um volume útil de 16 litros. Como inóculo (fonte de biomassa) foi utilizada lama proveniente do digestor anaeróbio da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Bragança – Portugal, que ocupou 6,2 L (39% do volume útil).

Conforme se pode ver na Figura 1, a entrada do substrato acontece no ponto 1 através de uma bomba peristáltica (WATSON 120S), sendo a alimentação feita em regime semi-contínuo, com o tempo de funcionamento da bomba controlado por um temporizador. Após o escoamento ascendente, a corrente líquida, já estabilizada, passa pelo separador trifásico e sai pela tubagem inclinada (ponto 5). O biogás gerado é coletado no ponto 4, quantificado através de um dispositivo de polietileno, em forma de “H”, que mede através de impulsos elétricos o volume produzido, sendo a concentração de CH₄ medida por um sensor de metano (BlueSens, BCSC₄, biogás). O reator está revestido por uma mangueira em forma de serpentina, por onde circula água quente de modo a manter a temperatura dentro do reator entre 30 e 40°C. A temperatura interna é monitorizada através de dois termopares (marca Multi) localizados no ponto 3 e entre os pontos 1 e 2.



Fonte: Autores.

O reator foi alimentado com efluente agroindustrial durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30 - 40 °C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (TRH) (ou caudal volumétrico - QV): 2,41 d (QV=415 L.m⁻³ reator.d⁻¹) – semanas 1 a 16; 1,33 d (QV=755 L.m⁻³ reator.d⁻¹) – semanas 17 a 23; 0,66 d (QV=1509 L.m⁻³ reator.d⁻¹) – semanas 24 a 25. A frequência das análises para o controlo dos parâmetros físico-químicos e os métodos analíticos utilizados para a determinação desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros monitorizados e frequência de amostragem

Parâmetro	Frequência de Amostragem			Método analítico
	Entrada do Reator	Reator	Saída do Reator	
pH	Diário	Diário	Diário	4500 H ⁺ B [9]
Temperatura	Diário	Diário	Diário	-
Sólidos Totais (ST)	Semanal	Mensal	-	2540 B [9]
Sólidos Fixos (SF)	Semanal	Mensal	-	2540 E [9]
Sólidos Voláteis (SV)	Semanal	Mensal	-	2540 E [9]
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Semanal	-	Semanal	2540 D [9]
Alcalinidade	Semanal	Semanal	Semanal	2330 B [9]
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	Semanal	-	Semanal	5210 B [9]
Carência Química de Oxigénio (CQO)	Semanal	-	Semanal	5220 C [9]
Ácidos Gordos Voláteis (AGV)	Semanal	Semanal	Semanal	[10]

Fonte: Autores.

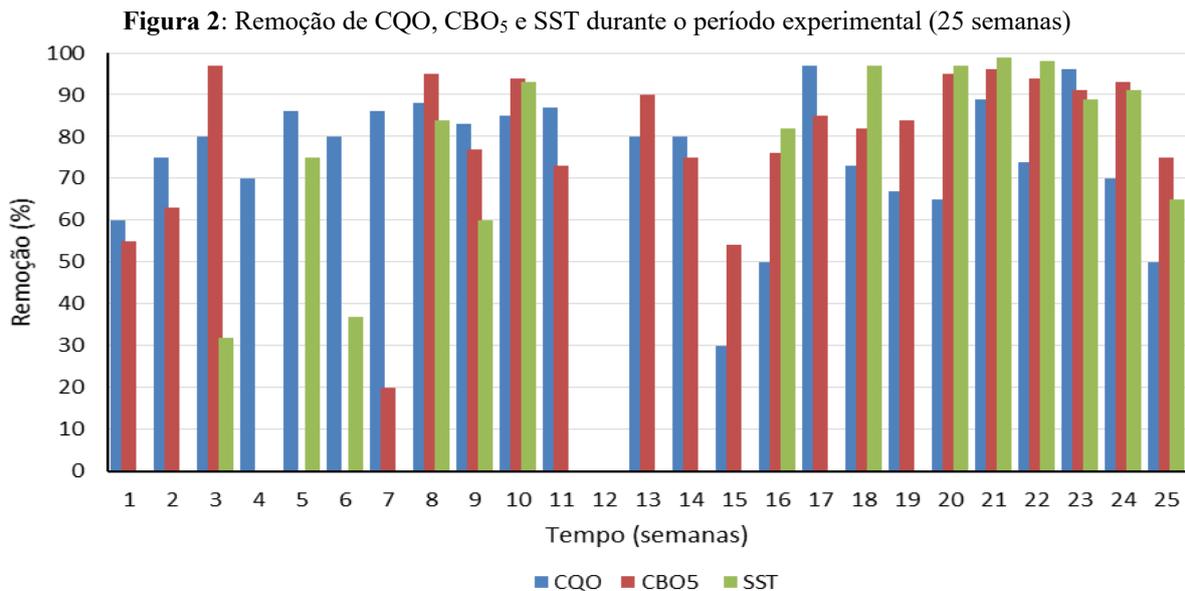
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH ótimo para o crescimento microbiano deve estar na faixa de 6,5 a 8,2 [11], fato registado no interior do reator UASB na maior parte do tempo de operação, em que o pH variou de 5,6 a 8,0. Para a alimentação o pH variou na gama 4,9 - 8,1, valor usual para a generalidade dos efluentes industriais [12]. A alcalinidade interfere diretamente no pH pois proporciona o efeito tampão quando há produção de ácidos na digestão anaeróbia, pelo que é necessário mantê-la entre 2000 a 5000 mg.L⁻¹ de CaCO₃ [13]. Para compensar a baixa alcalinidade e pH ácido do substrato foi adicionado bicarbonato de sódio à alimentação.

Outro parâmetro monitorado foi a concentração de ácidos gordos voláteis (AGV) que podem inibir o potencial de degradação da biomassa para valores superiores a 1500 mg.L⁻¹ [14]. É de referir que valores entre 1200-9900 mg.L⁻¹ podem inibir parcialmente a fase metanogénica e valores acima de 5800 mg.L⁻¹ provocam inibição total [15]. Para os três pontos de controlo, entrada, saída e no interior do reator, os valores registados não excederam os 300 mg.L⁻¹. Além disso, o acompanhamento diário da temperatura interna do reator mostrou que o sistema de

aquecimento permitiu manter a temperatura entre 15 e 45 °C, na maior parte do tempo dentro da gama mesófila.

Para os diferentes tempos de retenção hidráulica (HRT), 0,66 d (QV=1509 L.m⁻³.d⁻¹), 1,33 d (QV=755 L.m⁻³.d⁻¹) e 2,41 d (QV=415 L.m⁻³.d⁻¹), foram obtidas remoções médias da carência química de oxigénio de 69% (gama 50% - 70%), 82% (gama 65% - 97%) e 75% (gama 60% - 88%), respetivamente (Figura 2).



Fonte: Autores.

Verifica-se que se trata de um resultado satisfatório ao comparar com o trabalho realizado por Khan et al. [16] em que num estudo em diversos países utilizando o reator UASB foram obtidas remoções de CQO entre 50 a 90%. Além disso, foram registados valores da CQO inferiores a 150 mg.L⁻¹ entre a 5^a e 13^a semana (com QV de 416 L.m⁻³.d⁻¹), cumprindo-se o estipulado no decreto-lei nº236/98 [17].

Além disso, foram obtidas percentagens médias de remoção de CBO₅ de 84% (75 a 93%), 91% (76 a 96%) e 70% (55 a 97%) para os valores de HRT de 0,66 d, 1,33 d e 2,41 d, respetivamente (Figura 2). Na alimentação, a CBO₅ variou de 60 a 1850 mg O₂.L⁻¹, tendo-se registado para o efluente tratado valores no intervalo 6 a 832 mg O₂.L⁻¹. Entre a 5^a e 13^a semana (QV = 415 L.m⁻³.d⁻¹) registaram-se valores entre 100-150 mg O₂.L⁻¹. Nesse período, quer a CBO₅, quer a concentração de SST no efluente clarificado, mostraram a necessidade de um pós-tratamento para cumprir os limites de descarga no meio hídrico.

De acordo com a Tabela 2, pode concluir-se que a remoção de CQO e CBO₅ alcançaram valores similares aos encontrados na literatura. Relativamente ao teor de SST, a remoção foi superior a valores encontrados na literatura para outros tipos de efluentes. Além disso, as remoções de SST, CQO e CBO₅ foram maiores para uma carga orgânica volumétrica (COV) de 1,64 Kg CQO.m⁻³.d⁻¹ e notou-se um melhor desempenho do reator para TRH = 1,33 d (QV=755 L.m⁻¹.d⁻¹).

Tabela 2: Resultados da literatura e obtidos neste estudo, para a remoção de CQO, CBO₅ e SST.

Efluente	COV (kg CQO. m ⁻³ .d ⁻¹)	CQO (% rem.)	CBO ₅ (% rem.)	SST (% rem.)	Ref.
	0,9	-	53	46	[18]
Efluente doméstico	2,3	57	64	64	[19]
	7,8	70	-	74	[20]
	10,4	39	-	34	[20]
	3,4	69	79	72	[21]
Águas residuais domésticas e laticínios	3,4	69	79	72	[21]
Águas residuais sintéticas	4,0	90-92	94-96	-	[22]
Efluente agroindustrial	0,59	75	73	66	Nes te estudo
	1,64	80	90	96	
	7,85	60	84	78	

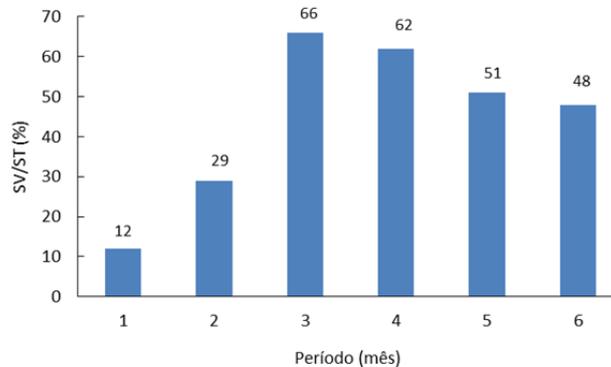
Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em relação ao teor de ST foram obtidos valores mínimos de 316 mg.L⁻¹ e 719 mg.L⁻¹ e valores máximos foram 3107 mg.L⁻¹ e 1738 mg.L⁻¹ para a alimentação e no interior do reator, respetivamente. Em estudos realizados por Al-Jamal e Mahmoud (2009), ao tratarem águas residuais domésticas num reator UASB, as amostras apresentaram valores de ST superiores, na gama 53,9 a 66,9 g.L⁻¹.

A razão SV/ST é um indicador indireto da concentração de biomassa no reator, sendo um valor mínimo de 0,67 considerado adequado para um bom desempenho do sistema [23]. Ao estudar o tratamento de efluente doméstico combinado com efluente de uma indústria de laticínios, utilizando um reator UASB, Tawfik et al. (2008) obtiveram para SV/ST valores da ordem de 0,66 [21]. A Figura 3 permite observar que entre o 3º e o 4º mês a razão situa-se perto do valor 0,67, o que pressupõe um bom desempenho do reator. Fato que é, aliás, confirmado pelos valores médios de remoção de CQO (82%) e a CBO₅ (91%), obtidos nesse período (Figura 2).

Conforme mostra a Figura 4, a produção de biogás chegou a atingir cerca de 4700 L.kg⁻¹ CQO alimentação.d⁻¹, enquanto a produção máxima de metano foi de cerca de 2400 L.kg⁻¹ CQO alimentação.d⁻¹ (valores obtidos na semana 19).

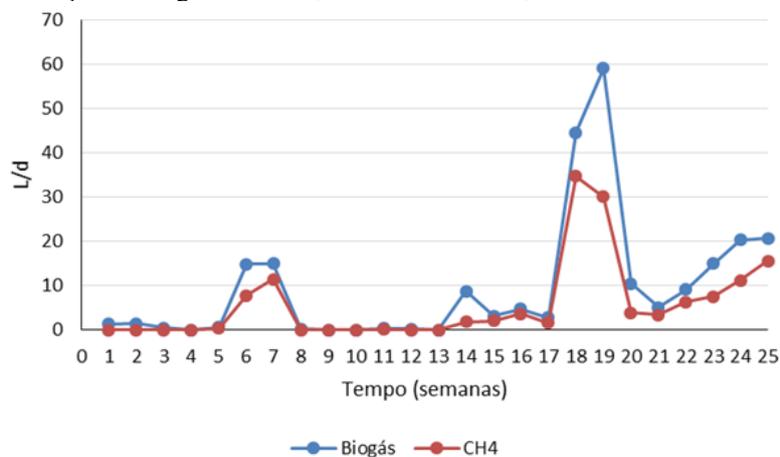
Figura 3: Razão SV/ST no interior do reator UASB.



Fonte: Autores.

A ordem de grandeza dos valores registados nas semanas 18 e 19 (Figura 4) está correlacionada com a concentração de CQO do efluente nesse período (valores de CQO em torno de 3000 mg.L⁻¹), enquanto que para as restantes semanas em que a concentração de biogás gerado foi inferior, a CQO apresentou valores em torno de 900 mg.L⁻¹.

Figura 4: Produção de biogás e metano, num reator UASB, durante as 25 semanas do estudo.

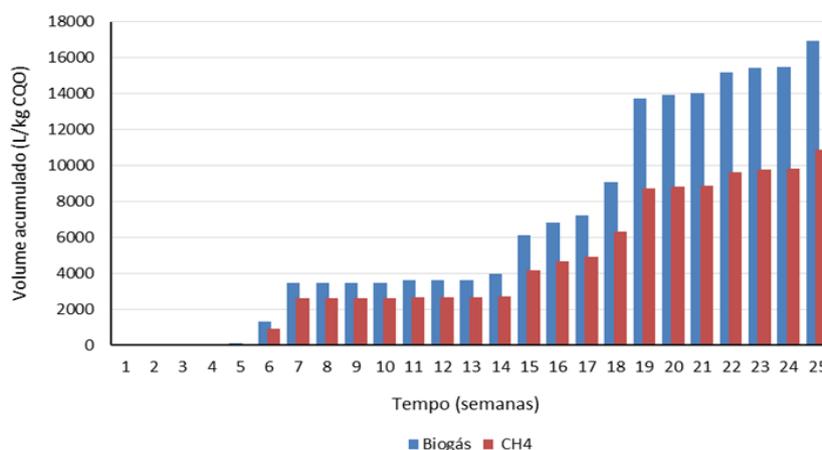


Fonte: Autores.

A Figura 5 mostra a produção acumulada de biogás e metano. As concentrações médias de metano no biogás gerado foram ao longo do estudo de 33%, 58% e 65% para TRH de 0,66, 1,33 e 2,41 d, respetivamente. Porém, durante determinados períodos, a percentagem de CH₄ no biogás chegou a atingir valores entre 70 e 80%. Para sistemas de cogeração o teor de metano no biogás não pode ser inferior a 40-45%, pois teores baixos impedem a operação dos motores

[24]. Atendendo a que as características do substrato variam ao longo do tempo, tal pode justificar as quedas na percentagem de metano, o que pode comprometer o sistema.

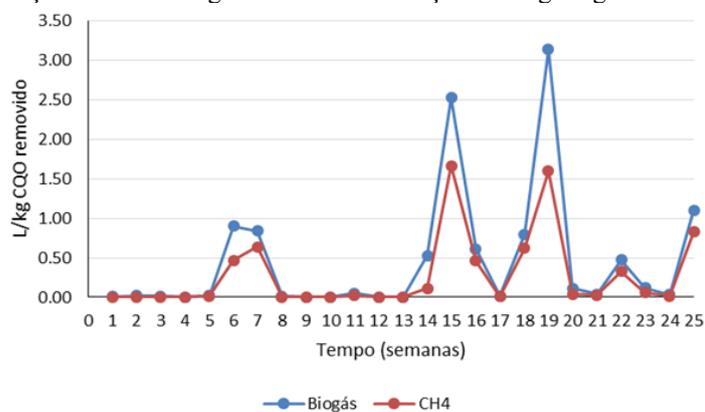
Figura 5: Produção acumulada de biogás e metano.



Fonte: Autores.

A Figura 6 apresenta valores para o volume de biogás e metano produzido por massa de carga orgânica removida, expressa em termos de CQO. Durante todo o estudo a produção média diária foi de 0,47 e 0,33 L.kg⁻¹ de CQO removida para biogás e metano, respetivamente. Os valores são relativamente reduzidos, mas admite-se que tal possa ser devido à elevada variabilidade da composição do efluente industrial (CQO variou entre 80 e 10000 mg O₂.L⁻¹).

Figura 6: Produção diária de biogás e metano em função da carga orgânica removida (CQO).



Fonte: Autores.

Foi registada uma produção máxima de biogás e metano, respetivamente, de 59 e 30-35 L.d⁻¹ (para QV = 755 L.m⁻³ reator.d⁻¹), a que correspondem 3,1 e 1,7 L.kg⁻¹ CQO removida.

CONCLUSÕES

O reator UASB pode ser usado no tratamento primário de um efluente agroindustrial de produção de castanha, obtendo-se valores muito satisfatórios de remoção de CQO, CBO₅ e SST para caudais volumétricos de 415 a 1509 L.m⁻³.d⁻¹.

Permite simultaneamente uma valorização energética do processo, associada à elevada taxa de produção de metano registada em períodos significativos, 2500 a 4800 L CH₄.Kg⁻¹ CQO removido.d⁻¹.

Apesar da elevada variabilidade da carga orgânica do efluente, foram obtidas eficiências médias de remoção de CQO de 75%, 82% e 69%, para QVs de 415, 755 e 1509 L.m⁻³.d⁻¹, respetivamente. Para QV 415 L.m⁻³.d⁻¹ e COV aplicada ao reator a variar na gama 0,03 a 1,3 kg CQO.m⁻³.d⁻¹, a eficiência de remoção de CQO revelou-se praticamente independente deste parâmetro. O aumento de QV aplicado para 755 L.m⁻³.d⁻¹ proporcionou remoções mais elevada, 65 a 97%, evidenciando uma relação direta com a maior ordem de grandeza de COV aplicada ao reator, próximos de 2 kg CQO.m⁻³.d⁻¹

Relativamente à remoção de CBO₅, a eficiência média para QV de 415, 755 e 1509 L.m⁻³.d⁻¹ foi de 70%, 91% e 84%, respetivamente, sendo um fator relevante no bom desempenho do processo de digestão anaeróbia, as baixas concentrações de Ácidos Gordos Voláteis (120, 50 e 24 mg.L⁻¹, respetivamente).

REFERÊNCIAS

Rosa, D., Figueiredo, F., Castanheira, É., Feliciano, M., Maia, F., Santos, J., Silva, A.P., Trindade, H. & Freire, F. (2015). Life-Cycle greenhouse gas assessment of Portuguese chestnut. Conference on Energy for Sustainability 2015-Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, May 14-15, Coimbra, Portugal.

Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., & Niu, Z. (2016). Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: Implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9.

Fernandes, G. F., & Oliveira, R. A. (2006). Desempenho e processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinicultura. *Engenharia Agrícola*, 26, 243-256.

Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99, 5881-5890.



Vieira, G. E., & Alexandre, G. P. (2014). Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico. *Revista Liberato*, 14, 01-104.

Szarblewski, M. d., Schneider, R. d., & Machado, E. L. (2012). Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes. *Revista Jovens pesquisadores*, 62-74.

Chen, Y., He, J., Mu, Y., Huo, Y.-C., Zhang, Z., Kotsopoulos, T. A., et al. (2015). Mathematical modeling of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors: Simultaneous accounting for hydrodynamics and bio-dynamics. *Chemical Engineering Science*, 137, 677-684.

Batstone, D., & Jensen, P. (2015). Anaerobic Processes. *Water-quality Engineering*, 4, 615-639.

APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater (2012). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington.

Buchauer, K. (1998). A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water S. A.*, 24(1), 49-56.

Maria, J. S. (2015). Tratamento Anaeróbio do Efluente da Indústria de Laticínios usando um Reactor UASB. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola.

Bustillo-Lecompte e Mahrab Mehrvar (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances, *Journal of Environmental Management* 161, 287-302.

Linville, J. L., Shen, Y., Schoene, R. P., Nguyen, M., & Urgun-Demirtas, M. (2016). Impact of trace element additives on anaerobic digestion of sewage sludge with in-situ carbon dioxide sequestration. *Process Biochemistry*, 51, 1283-1289.

García-Sandoval, J. P., Méndez-Acosta, H. O., González-Alvarez, V., Schaum, A., & Alvarez, J. (2016). VFA robust control of an anaerobic digestion pilot plant: experimental implementation. *IFAC-Papers online*, 49 (7), 973-977.

Shi, X., Lin, J., Zuo, J., P. L., Li, X. & Guo, X. (2016). Effects of free ammonia on volatile fatty acid accumulation and process performance in the anaerobic digestion of two typical bio-wastes. *Journal of Environmental Sciences* (online 31 julho 2016).

Khan, A. A., Gaur, R. Z., Tyagi, V., Khursheed, A., & Lew, B. (2011). Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1232-1251.

Decreto-Lei nº 236/98 (1998). *Diário da República*, 3676-3722

Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zu'bi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M., et al. (2005). Treatment of strong domestic sewage in a 96 m³ UASB reactor operated at ambient temperatures: two-stage versus single-stage reactor. *Bioresource Technology*, 96, 577-585.



Moawad, A., Mahmoud, U., El-Khateeb, M., & El-Molla, E. (2009). Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 242, 325-335.

Moharram, M., Abdelhalim, H., & Rozaik, E. (2015). Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *HBRC Journal*, 12(1), 99–105.

Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227, 167-177.

Singh, K. S., Harada, H. & Viraraghavan, T. (1996). Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 55, 187-194.

Al-Jamal, W., & Mahmoud, N. (2009). Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology*, 100, 1061-1068.

Probiogás. (2010). Guia prático do Biogás: Geração e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

