

AVALIAÇÃO DE LODO ANAERÓBIO, PROVENIENTE DE REATOR UASB TRATANDO RESÍDUO DE CERVEJARIA, COMO INÓCULO PARA REATOR ANAERÓBIO HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF) TRATANDO VINHAÇA

Valdilene de MELO ALVES¹; Erica SALES FERREIRA LIMA²; Nájila REJANNE ALENCAR JULIÃO CABRAL³; Eduardo BOSCO MATTOS CATTONY⁴

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Endereço: Rua Mario Mamede nº 1166 Apto 401 Bairro de Fátima Cep: 60415-000 Fortaleza - Ce, telefone: (085) 32571030, e-mail: valdilene.melo@gmail.com

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: ericasafeli@hotmail.com

(3) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: najila@cefetce.br

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: cattony@cefetce.br

RESUMO

O aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos sistemas biológicos, para o tratamento de águas residuárias, está intimamente relacionado com os avanços em microbiologia, principalmente no que diz respeito aos consórcios microbianos. Diferentes microrganismos, com metabolismos específicos e agindo conjuntamente, são responsáveis pelas diversas etapas da mineralização da matéria orgânica no ambiente. Inserido neste contexto, o presente trabalho de pesquisa, que ainda está em fase inicial, e que é vinculado ao projeto de Desenvolvimento Científico Regional (DCR) intitulado “Estudo para Otimização Operacional de Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) Tratando Vinhaça” (processo nº 35.0426/2005-8 – NV), tem como objetivos distintos; avaliar o uso de lodo anaeróbio de reator UASB, tratando água residuária de cervejaria, como inóculo para a partida do RAHLF, e avaliar o uso de matrizes de fibra da casca de coco verde (FCCV) como opção, “ecologicamente correta”, de material suporte, alternativo e de baixo custo, para o crescimento da biomassa microbiana durante o tratamento da vinhaça.

Palavras-chave: RAHLF, vinhaça, tratamento anaeróbio, fibra da casca de coco verde e lodo anaeróbio.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. Os sub-produtos da cana são utilizados, em larga escala, para a produção de açúcar, álcool combustível e bio-diesel. A agroindústria brasileira da cana-de-açúcar tem adotado programas de políticas de preservação ambiental que atualmente servem como exemplos para planejamentos ecologicamente corretos na agricultura em vários países do mundo. Por conta disso, já existem diversas usinas brasileiras que comercializam crédito de carbono, por conta dessa eficiência ambiental.

Diversos países já despertaram o interesse no setor sucroalcooleiro brasileiro, principalmente pelo baixo custo da produção de açúcar e álcool. As importações entre as nações de primeiro mundo, crescem a cada ano pois esses países, visam diminuir as emissões de poluentes na atmosfera e a dependência de combustíveis fósseis, como o petróleo. Estudos realizados comprovaram que uma tonelada de cana-de-açúcar gera em torno de 80 litros de etanol sendo que um hectare de terra produz cerca de 88 toneladas de cana-de-açúcar, que no fim produzem 7040 litros de etanol por hectare.

Apesar da maioria dos resíduos gerados pela cana-de-açúcar serem quase totalmente aproveitáveis como a torta de filtro, e vinhaça, estudos de impactos ambientais comprovam que a destinação na qual poderia trazer benefício economicamente sustentáveis nem sempre é o que de fato acontece. A vinhaça, por exemplo, é o subproduto da produção de álcool e possui além de água, elevados teores de nutrientes e são em sua maioria, destinados para fertirrigação nas lavouras de cana-de-açúcar. Esse método pode trazer sérios impactos ambientais se não for administrado de maneira correta. Segundo alguns estudos, a água subterrânea e o lençol freático são os mais prejudicados pois sofrem contaminação nesse método amplamente praticado no país.

Devido a essa grande geração desse sub-produto da cana somado a crescente preocupação em reaproveitar esse resíduo na agroindústria canavieira no país, surgiram estudos e ensaios utilizando tecnologias para o tratamento da vinhaça com o propósito de oferecer soluções economicamente viáveis para a indústria quanto sustentáveis para o meio ambiente.

A digestão anaeróbia da vinhaça aliada aos estudos em biorreatores, ganhou espaço no tratamento desse resíduo no mundo científico e demonstra ser uma saída sustentável para esse resíduo poluidor.

Foresti e Ribas (2006) realizaram ensaios em reator anaeróbio de leito fluidificado (RALF) tratando vinhaça e concluíram que o reator anaeróbio apresentou desempenho satisfatório em relação à remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DQO) da água residuária analisada. Eles obtiveram sucesso também, na adaptação do lodo de aves à vinhaça que foi fundamental para a rápida partida e desempenho do reator.

Damiano e Silva (2005) avaliaram a degradação da vinhaça pela biomassa anaeróbia, sob condições mesofílicas, através de ensaios em batelada e constataram reduções máximas da demanda bioquímica de oxigênio (DQO) de 81% e ótima adaptação da biomassa anaeróbia à vinhaça.

Gonçalves e Silva (1998) estudaram o tratamento físico-químico da vinhaça, concluíram que este processo apresentou remoções da demanda bioquímica de oxigênio (DQO) na faixa de 30 a 52% e que o lodo gerado constituiu-se num importante fertilizante rico em nutrientes, com uma perspectiva promissora.

Inserido nesse contexto, o presente trabalho, teve o propósito de avaliar um tipo de material suporte para crescimento microbiano e lodo anaeróbio utilizado proveniente de reator UASB tratando resíduo de cervejaria, para o tratamento da vinhaça em diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH). O lodo foi inoculado em fibras de casca de coco verde que serviu como material suporte para o reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF). A avaliação da adaptação do lodo foi feita através de ensaios físico-químicos e microbiológicos realizados em laboratório com o objetivo de acompanhar a eficiência do sistema montado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vinhaça é o resíduo da produção do álcool, sendo sua composição de 93% de água e do restante, 74,85% dos constituintes sólidos são substâncias orgânicas (BRAILE & CAVALCANTI, 1993). Em média gera-se 13L de vinhaça para cada litro de álcool produzido. Esse grande volume gerado, seu baixo pH e sua elevada demanda química de oxigênio (DQO) faz com que a vinhaça se torne um rejeito de alto poder poluidor. Quando este rejeito é lançado aos meios hídricos exige uma elevada taxa de oxigênio para estabilizar-se pois, apresenta um altíssimo potencial redutor, além de apresentar problemas de insalubridade e características corrosivas (MARTINELE, 2005).

O uso da vinhaça como fertilizante em solos cultivados com cana-de-açúcar é prática comum, mas por recomendações da CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo), essa água residuária deve ser adequadamente tratada para a remoção e estabilização de matéria orgânica e minerais, especialmente potássio, pois tem uma alta ação redutora (MADEJÓN *et al.*, 2001), acarretando a longo prazo riscos de contaminação dos solos, lençóis freáticos e corpos de água. Sendo assim, o tratamento biológico da vinhaça pode ser uma solução para a indústria sucroalcooleira, permitindo a entrada de uma nova tecnologia dentro das usinas e destilarias.

A finalidade do material suporte é a de reter sólidos no interior do reator, seja através do biofilme formado na superfície do material suporte, seja através de retenção de sólidos nos interstícios do meio ou abaixo deste. As principais vantagens de uma camada suporte para crescimento microbiano em sistemas de tratamento são: atuar como dispositivo para separar os sólidos dos gases, ajudar a promover a uniformização do escoamento no reator, melhorar o contato entre os constituintes do despejo afluente e os sólidos biológicos contidos no reator, permitir o acúmulo de grande quantidade de biomassa, com o conseqüente aumento do tempo de retenção celular e atuar como uma barreira física, evitando que os sólidos sejam carregados para fora do sistema de tratamento (Leite *et al.*, 2003). Na busca por novos materiais suporte para crescimento microbiano em bioreatores, no presente trabalho estão sendo testadas matrizes de fibra da casca do coco verde (FCCV) e látex. Para efeito de comparação, ainda serão testadas espumas de poliuretano, um já reconhecido meio suporte para crescimento de biomassa, na operação do reator tratando vinhaça.

A indústria da água-de-coco verde vem despontando promissoramente no mercado brasileiro, com crescimento de consumo estimado em 20% ao ano. Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de coco verde, com uma área equivalente a 57 mil hectares. No entanto, esse aumento gera cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca/ano, transformando-se em um sério problema ambiental, principalmente para as grandes cidades. Cerca de 70% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos do Brasil é composto por cascas de coco verde, material de difícil degradação e que, além de foco e proliferação de doenças, vem diminuindo a vida útil de aterros sanitários. Na cidade de Fortaleza-CE, nos meses de alta estação (Junho, Julho, Agosto, Dezembro, Janeiro e Fevereiro) somente na Avenida Beira-Mar e na Praia do Futuro, são geradas 40 toneladas por dia do resíduo (EMBRAPA, 2005).

O reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) foi idealizado e concebido (ZAIAT *et al.*, 1994) com a característica de fixação de biomassa em seu leito e nos interstícios do material de recheio. Por definição está configuração de reator faz parte da segunda geração de bioreatores anaeróbios. A primeira geração de reatores anaeróbios (BENEFIELD & RANDALL, 1980) consistiam em sistemas de mistura sem reciclo de sólidos biológicos nos quais o tempo de residência celular era igual ao tempo de residência hidráulica. Desde 1995, o RAHLF vem sendo testado de forma diversificada nos estudos da caracterização hidrodinâmica (CABRAL, 1995), da cinética e transferência de massa (VIEIRA *et al.*, 1996), no tratamento de esgoto sanitário sintético e natural (ZAIAT *et al.*, 1997; ZAIAT *et al.*, 2000; LIMA, 2001; SARTI *et al.*, 2001), e tratamento de efluente da indústria de papel (FORESTI *et al.*, 1995). Ainda, DAMIANOVIC (1997), BOLAÑOS (2001), OLIVEIRA (2001), DE NARDI (2002), CATTONY *et al.* (2005) e GUSMÃO (2005) analisaram a degradação de compostos orgânicos aromáticos em RAHLF e verificaram que a associação de microrganismos, na forma de biofilmes, foram determinantes para a remoção de pentaclorofenol (PCP), fenol, formaldeído e BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), respectivamente.

Inserido neste contexto, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivos distintos; avaliar o uso de lodo anaeróbio de reator UASB, tratando água residuária de cervejaria, como inóculo para a partida do RAHLF, e avaliar o uso de matrizes de fibra da casca de coco verde (FCCV) como opção, “ecologicamente correta”, de material suporte, alternativo e de baixo custo, para o crescimento da biomassa microbiana durante o tratamento da vinhaça.

3. OBJETIVOS

- Avaliar o uso de fibras de casca de coco verde (FCCV) como material suporte para crescimento de consórcio microbiano anaeróbio em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) capaz de tratar vinhaça.
- Avaliar a adaptação do lodo anaeróbio, proveniente de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) tratando resíduo de cervejaria da cidade de Fortaleza, como inóculo do RAHLF para tratamento de vinhaça.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Reator anaeróbio horizontal de leito fixo

O reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) foi construído em PVC, com 100 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro (Figura 1 e 2), contendo 7,85 L de volume total e 4,0 L de volume útil. Considerando a porosidade das matrizes de FCCV de 80%, neste primeiro ensaio o volume líquido do reator foi de aproximadamente 3,2 L. O reator foi operado, neste primeiro momento, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 24hs e a uma temperatura de aproximadamente 32° C (± 3).

Foram colocados pontos para retirada de amostras, ao longo do corpo do reator, denominados C/D 1, C/D 2, C/D 3, C/D 5 e C/D 8. Estes pontos correspondem, no sentido afluente-efluente, a relação Comprimento/Diâmetro (C/D) do leito do reator.

O bombeamento da água residuária, para dentro do sistema, foi realizado com o auxílio de uma bomba peristáltica da marca Gilson (modelo Minipuls 3) e mangueiras de silicone (Figura 3).

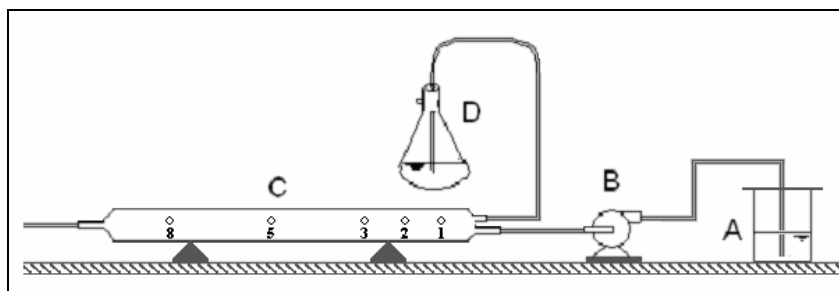


Figura 1. Esquema do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) em escala de bancada: (A) reservatório de afluente, (B) bomba peristáltica, (C) reator, (D) saída do gás.



Figura 2. À esquerda: câmara que abriga o RAHLF. À direita: o RAHLF.



Figura 3. Bomba peristáltica da marca Gilson (modelo Minipuls 3) e mangueiras de silicone acopladas durante alimentação do reator.

4.2. Inóculo

O lodo utilizado e avaliado como inóculo foi proveniente de reator UASB tratando resíduo de cervejaria da cidade de Fortaleza.

O lodo foi macerado e colocado em contato com as matrizes de FCCV por período de aproximadamente 24 horas. Após este período, para a imobilização da biomassa, o material suporte foi transferido para o interior do reator.

4.3. Água residuária

A água residuária (vinhaça) utilizada foi coletada *in natura* do parque industrial do Grupo Ypióca (cinco fábricas, localizadas em torno da cidade de Fortaleza-CE) e armazenada a 4°C (Figura 4). Armazenada nestas condições por três meses, a vinhaça não apresentou alterações significativas nos valores de DQO, devido provavelmente ao seu pH extremamente ácido (em torno de 3). O substrato a ser tratado no reator foi constituído por vinhaça diluída e suplementada com solução de NaHCO_3 , para o ajuste do pH ao valor 7. Devido à falta de recursos financeiros, as soluções de vitaminas, propostas no projeto original como suplemento para o meio de alimentação, foram descartadas do experimento.



Figura 4. Armazenamento da vinhaça sob refrigeração.

4.4. Material suporte para crescimento microbiano

Matrizes de fibra de casca de coco verde (FCCV), cortadas em cubos com aresta de 5 cm, foram usadas como material suporte para o crescimento microbiano (Figura 5).



Figura 5. À esquerda: placas de FCCV. À direita: detalhe de um dos cubos usados para preencher o leito do reator.

4.5. Amostragem

As amostras estudadas foram retiradas do afluente, efluente e ao longo do reator. Os pontos de amostragem correspondem em relação C/D (comprimento/diâmetro) a 1, 2, 3, 5 e 8, respectivamente (Figura 1).

4.6. Análises físico-químicas

As análises de demanda química de oxigênio (DQO), de sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrato, nitrito, fósforo e de sulfato foram realizadas de acordo com métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1998).

As análises volumétricas de ácidos e alcalinidade seguiram os protocolos propostos por Dilallo & Albertson (1961) e Ripley et al (1986), respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O reator foi operado com concentração de DQO afluente de, aproximadamente, 4700 mg.l^{-1} , reduzindo para cerca de 200 mg.l^{-1} (eficiência de remoção acima de 95%) no efluente. No período de 30 dias foi observado como necessário para estabilização do sistema e, conseqüentemente, melhor eficiência na remoção da matéria orgânica, sendo que o maior consumo ocorreu, logo, no primeiro trecho do reator, correspondendo aos pontos de amostragem C/D 1 e C/D 2. No restante do reator, não houve alteração significativa na remoção da matéria orgânica (Figura 6 e Tabela 1). A queda de eficiência na remoção da matéria orgânica, observada no gráfico, próxima ao quadragésimo dia de operação do sistema, se deve ao fato de terem ocorrido problemas de vazamento. Sanados esses problemas, o metabolismo anaeróbico do sistema se estabilizou e a eficiência do tratamento da água residuária voltou a crescer.

Tabela 1. Conjunto de análises e resultados obtidos após a estabilização do metabolismo anaeróbico do RAHLF, recheado com FCCV inoculada com lodo anaeróbico proveniente de UASB, operando com TDH de 24hs e a temperatura de 32°C .

Análises	Afluente	Efluente
DQO (mg/l)	4636	150
Ácidos Voláteis (mg $\text{CH}_3\text{COOH/l}$)	82	58
Alcalinidade (mg CaCO_3/l)	110	140
pH	7	8,5
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	299,66	10,33
Fósforo Total (mg/l)	38,58	33,03
Sulfato (mg/l)	10,96	2,41
Nitrato (mg/l)	0,0919	0,152
Nitrito (mg/l)	0,012	0,0389
Turbidez (un.cor)	431	2,34

O pH efluente próximo a 7, mostrou-se ligeiramente mais alcalino, em relação ao afluente de 8,5 (Figura 7 e Tabela 1). Esta leve tendência de alcalinização foi comprovada, também, pelas análises volumétricas de alcalinidade (Figura 8 e Tabela 1), que apresentou tendência de elevação durante a operação do sistema. Esses valores de pH estão provavelmente relacionados com a produção de bases de sais de ácidos inorgânicos fracos (por exemplo bicarbonato) e de sais de ácidos voláteis (como por exemplo acetato e propionato). A capacidade de alcalinização do reator se mostrou eficiente durante todo este primeiro ensaio.

A análise volumétrica de ácidos pode ser visualizada na Figura 9 e Tabela 1. A queda nos teores de ácidos no meio efluente deve estar relacionada com o acúmulo e, subseqüente, maior consumo de ácidos orgânicos, muito provavelmente o ácido acético. O ácido acético é o principal ácido orgânico formado a partir da oxidação do etanol que é a fonte de carbono predominante na vinhaça.

O conteúdo de sulfato, no meio afluente, sempre esteve próximo a 10 mg/l . Apesar destas baixas concentrações, a remoção do sulfato pelo sistema pode ser observada e apresentou o mesmo comportamento da matéria orgânica (Figura 10 e Tabela 1). Alta eficiência de remoção, próxima a 80%, foi verificada no primeiro trecho do reator (C/D 1 a 2), logo após os primeiros 30 dias de operação.

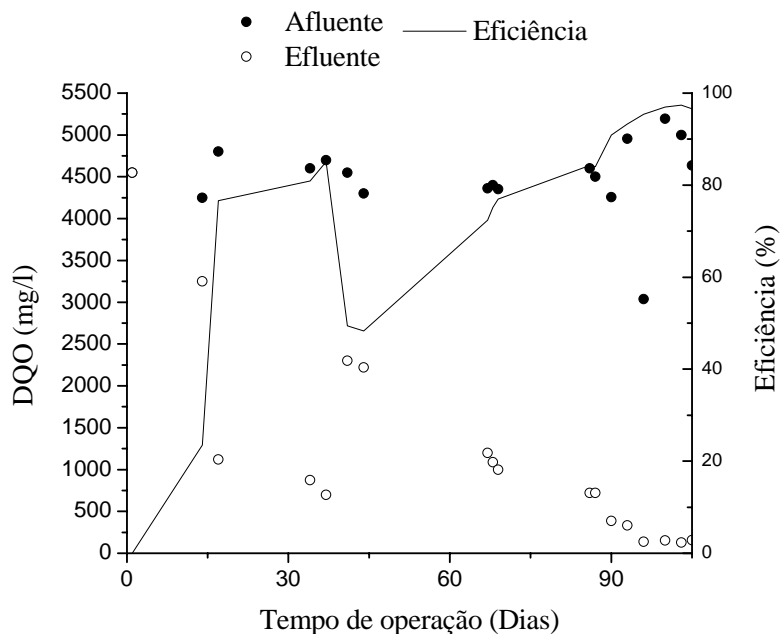


Figura 6. Variação temporal da matéria orgânica (expressa em DQO) no ensaio com FCCV inoculada com lodo anaeróbio proveniente de UASB.

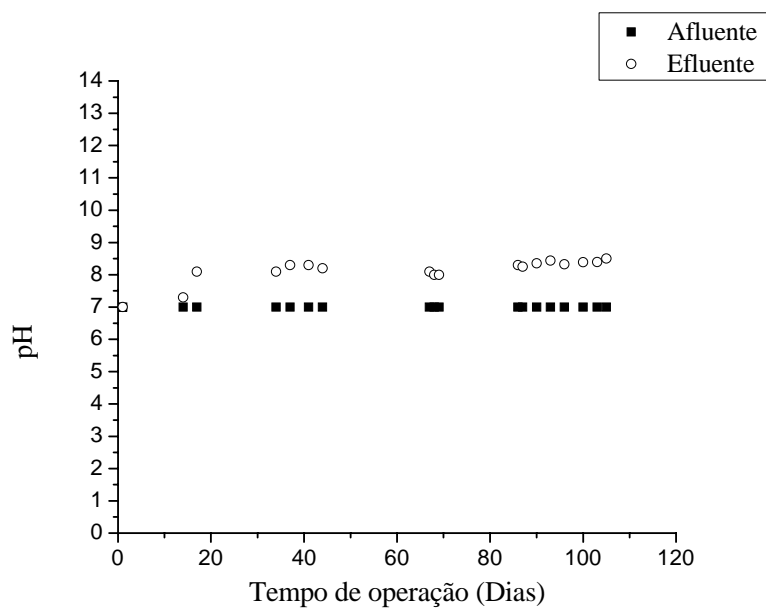


Figura 7. Variação temporal do pH no ensaio com FCCV inoculada com lodo anaeróbio proveniente de UASB.

O conteúdo de fósforo total foi medido no afluente e efluente, 38,58 e 33,03 mg/l, respectivamente, e não foi observada redução satisfatória deste nutriente pelo sistema (Tabela 1). Porém, estas concentrações de fósforo são muito baixas e não interferem, de modo significativo, na qualidade final do efluente gerado pelo sistema.

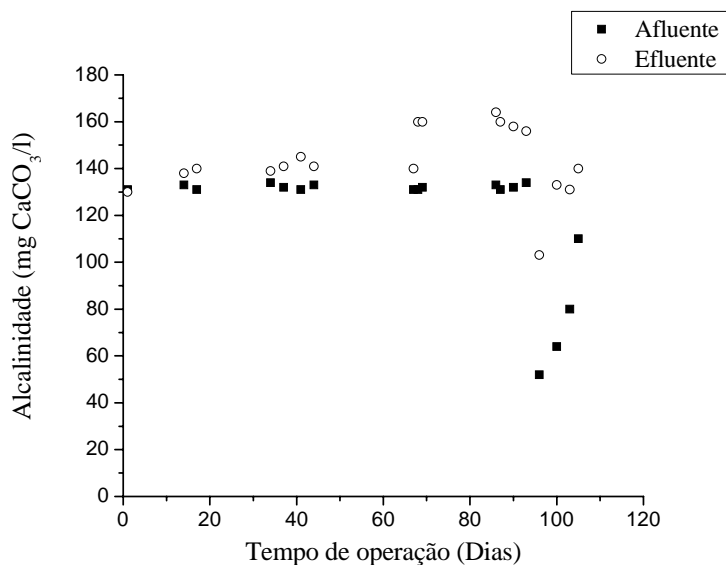


Figura 8. Variação temporal da alcalinidade no ensaio com FCCV inoculada com lodo anaeróbio proveniente de UASB.

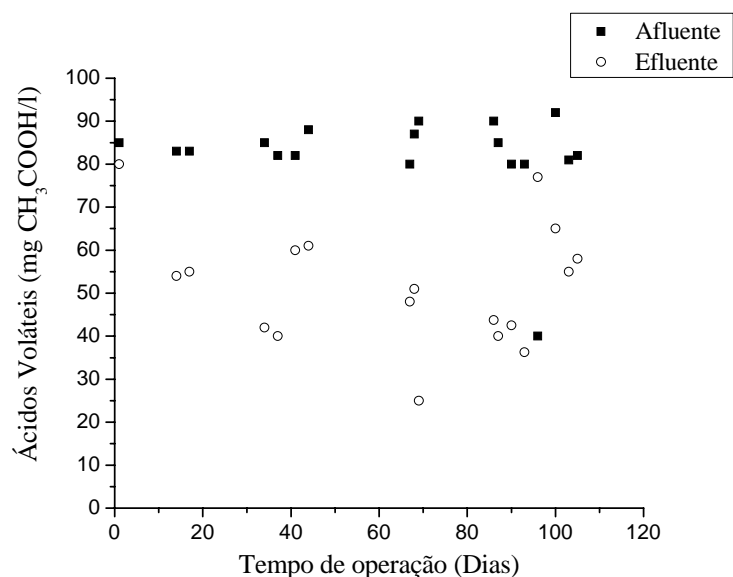


Figura 9. Variação temporal dos ácidos voláteis no ensaio com FCCV inoculada com lodo anaeróbio proveniente de UASB.

Também foram analisados os conteúdos de nitrito e nitrato (Tabela 1), porém as concentrações encontradas foram muito baixas e consideradas irrelevantes ao processo de tratamento.

Outro dado interessante é a diferença nos valores da turbidez da água residuária afluente e efluente ao sistema, 431 e 2, respectivamente (Tabela 1). Esta variação está relacionada com a remoção de sólidos suspensos voláteis do afluente, tornando o efluente clarificado.

A Figura 10 mostra a variação espacial de sulfato, matéria orgânica (expressa em DQO) e pH ao longo do leito do reator. Pode-se observar que o metabolismo do sistema se concentra nos primeiros centímetros do leito (C/D 1 e 2), onde praticamente toda a fonte de carbono e sulfato são consumidos, e onde, também, ocorre o acúmulo de alcalinidade, o que reflete no aumento do pH. No restante do leito do reator as concentrações residuais de DQO e sulfato, bem como o pH, não sofrem alterações significativas.

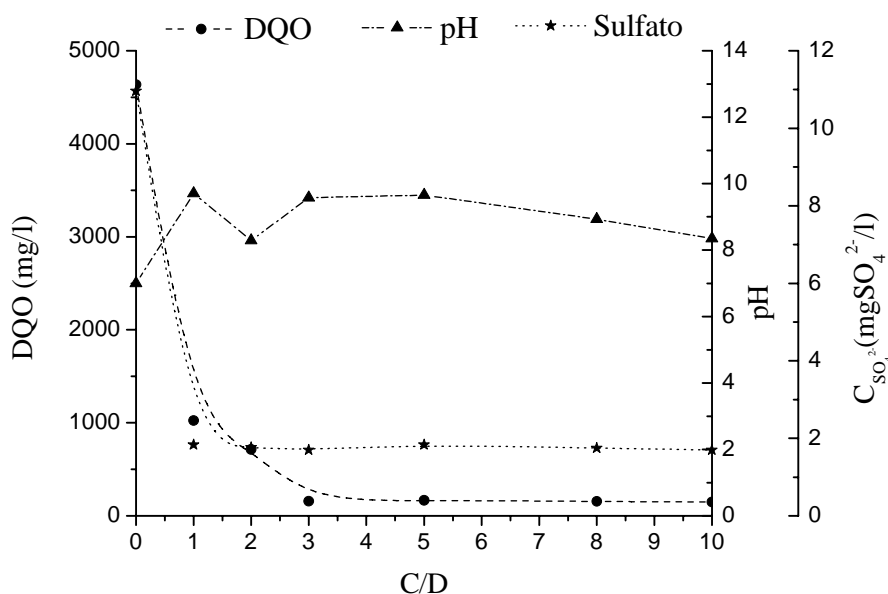


Figura 10. Variação espacial de sulfato, matéria orgânica (expressa em DQO) e pH, no ensaio do RAHLF com FCCV inoculada com lodo anaeróbio proveniente de UASB.

6. CONCLUSÕES

Finalmente, pode-se concluir que o sistema apresentado e operado com as condições acima descritas, apresentou desempenho satisfatório no tratamento da água residuária, quando submetido a diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH). Portanto o sistema RAHLF, recheado com matrizes de fibra da casca de coco verde, constitui uma alternativa com viabilidade técnica para o tratamento da vinhaça.

O período de adaptação do lodo anaeróbio dentro do reator, usado como inóculo no sistema foi satisfatório.

O uso de matrizes de fibra da casca de coco verde (FCCV) como opção, “ecologicamente correta”, de material suporte, alternativo e de baixo custo, para o crescimento da biomassa microbiana durante o tratamento da vinhaça foi satisfatório no sistema adotado. Uma vez que a biomassa obteve um nível alto de adaptação nesse material suporte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEFIELD, C.D.; RANDALL, C.W. Biological process design for wastewater treatment. Prentice Hall Englewood Cliffs. 526p., (1980).

BOLAÑOS, R.M.L. Tratamento de fenol em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) sob condições mesofílicas. São Carlos. 118p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (2001).

DAMIANOVIC, M.H.R.Z. Degradação de pentaclorofenol (PCP) em reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF). São Carlos. 176p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (1997).

DILALLO, R. & ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. Journal of Water Pollution C. Fed., 33: 356-365, (1961).

EMBRAPA . Disponível em : http://www.embrapa.br/noticias/banco_de_noticias/2005/. (Acesso em 12/05/2005).

GUSMÃO, V.R. “Característica Microbiológica de Cultura Desnitrificante de Reator Anaeróbico Horizontal de Leito Fixo Utilizado na Remoção de BTEX. Pg. 17 – 19. Título de Doutorado em Hidráulica e Saneamento. São Carlos (2005).

LEITE, J.A.C; BARBOZA, M.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Produção de Ácidos Graxos Voláteis por Fermentação Acidogênica em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo com Argila Expandida como Suporte da Biomassa. Anais do XIV Simpósio Nacional de Fermentações (SINAFERM), Florianópolis, SC (2003).

LIMA, C.A.A. Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) – escala piloto. São Carlos. 165p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (2001).

OLIVEIRA, S.V.W.B. Avaliação da degradação e toxicidade de formaldeído em reator anaeróbio horizontal de leito fixo. São Carlos. 95p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (2001).

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal of Water Pollution C. Fed.* 58 (5): 406-465, (1986).

SARTI, A.; VIEIRA L.G.T.; FORESTI E., ZAIAT, M. Influence of the Liquid-Phase Mass Transfer on the Performance of a Packed-Bed Bioreactor for Wastewater Treatment. *Bioresource Technology*, 78 (3): 231-238, 2001.

VIEIRA, L.G.T.; ZAIAT, M.; FORESTI, E.; HOKKA, C.O. Estimation of intrinsic Kinetic parameters in immobilized cell systems for anaerobic wastewater treatment. *Biotechnology Techniques* 10: 635-638, USP (1996).

ZAIAT, M.; VIEIRA, L.G.T.; CABRAL, A.K.A.; DE NARDI, I.R.; VELA, F.J.; FORESTI, E. Rational basis for designing horizontal-flow anaerobic immobilized sludge (HAIS) reactor for wastewater treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 14(1): 01-08, (1997).

ZAIAT, M.; PASSIG, F.H.; FORESTI, E. A mathematical model and criteria for designing horizontal-flow anaerobic immobilized biomass reactors for wastewater treatment. *Bioresource Technology* 71: 235-243, USP (2000).