



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

TRATAMENTO DE VINHAÇA EM REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO

Paulo Eduardo Cabello¹; Felipe Petrassi Scognamiglio²; Francisco J. C. Terán³

RESUMO

A utilização agrícola da vinhaça produzida pela agroindústria canavieira passou por várias mudanças ao longo dos anos. Aliada à preocupação com a maior eficiência agrônômica e otimização no gerenciamento do uso desse resíduo, pode-se destacar a maior consciência ecológica mundial, desenvolvida após dos anos 90. O presente trabalho tem como objetivo a construção e operação de um reator anaeróbio de leito fluidificado (RALF), em escala piloto, para verificar a diminuição da carga de DQO da vinhaça, sob condições mesofílicas. A vinhaça foi proveniente de uma usina de processamento de cana-de-açúcar, localizada na cidade de Regente Feijó, Estado de São Paulo. O inóculo usado foi lodo anaeróbio de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de uma fábrica de refrigerante. As concentrações de DQO da vinhaça a ser tratada variaram de 17.239 mg L⁻¹ até 28.174 mg L⁻¹. O pH do efluente manteve-se entre 6,4 e 8,6 durante a pesquisa. A produção de gás no reator não alcançou os índices esperados, chegando a apenas 46 mL dia⁻¹. A eficiência máxima na operação foi de 57,1%, correspondendo a um tempo de operação de 14 dias, uma carga orgânica da vinhaça de 19,5 kg DQO m⁻³ dia⁻¹ e um tempo de detenção hidráulica de um dia.

Palavras-chave: vinhaça, processo anaeróbio, mesofílica, RALF, biogás.

VINASSES TREATMENT IN ANAEROBIC FLUIDIZED BED REACTOR.

ABSTRACT

The agricultural use of vinasse produced by the sugar industry has gone through many changes over the years. Coupled with concern over the increased agronomic efficiency and optimizing the management of the use of such waste, you can highlight the major global ecological awareness, developed after 90s. This study aims at the construction and operation of a reactor anaerobic cracker (RALF) on pilot scale to verify the burden of chemical demand of oxygen (DQO) of vinasse, under mesophilic. The stillage used for feeding the reactor was from a sugar cane processing plant, located in the city of Regente Feijó, São Paulo State. The inoculum was anaerobic sludge from a reactor and upward flow anaerobic sludge blanket (UASB) treating wastewater from a factory of soda. The concentrations of vinasse to be treated ranged 17,239 mg DQO L⁻¹ up to 28,174 mg DQO L⁻¹. The effluent pH was maintained between 6.4 and 8.6 during the research. The productivity of biogas in the reactor has not achieved the expected rates, reaching only 46 mL day⁻¹. Maximum efficiency attained during operation was 51.1 %, corresponding to a 14-day operation time, vinasses organic loading of 19.5 kg DQO m⁻³ dia⁻¹ and to an hydraulic detention time of one day.

Keywords: vinasse, anaerobic process, mesophilic, RALF, biogas.

Trabalho recebido em 28/02/2009 e aceito para publicação em 19/03/2009.

¹ Aluno do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Presidente Prudente SP. paulinho.cabello@yahoo.com.br;

² Aluno do curso de Engenharia Ambiental da Unesp em Presidente Prudente SP felipe_petrassi@msn.com;

³ Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor da Unesp em Presidente Prudente SP fteran@fct.unesp.br Endereço para correspondência: Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900, Presidente Prudente SP.

1. INTRODUÇÃO

A disposição final inadequada de resíduos líquidos, principalmente os efluentes dos processos industriais e o esgoto doméstico, tem causado sérios problemas ambientais, especialmente nas grandes cidades. Cerca de 70.000 compostos químicos estão disponíveis no mercado e 500 a 1000 compostos são produzidos anualmente, os quais, de alguma forma, são descartados como efluentes domésticos ou industriais, sendo responsáveis pela contaminação dos corpos hídricos (EPA, 2008).

A vinhaça, resíduo final da fabricação do álcool etílico por via fermentativa, é conhecida também por vinhoto, restilo, caldo ou garapão, dependendo da região. É caracterizada como um efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. Sua força poluente, cerca de cem vezes a do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica além de possuir três importantes componentes: o nitrogênio, o fósforo e o potássio. A poluição dos cursos d'água é caracterizada pela introdução em sua massa líquida de qualquer elemento que lhe seja estranho. Mesmo que esse elemento se constitua de alguma riqueza, a água que o transporta estará poluída. Por muito tempo a vinhaça foi simplesmente jogada nos rios, poluindo-os sobremaneira.

Contudo, recentemente ela passou a ser utilizada como fertilizante para adubação do solo de maneira cada vez mais intensa. Sua utilização in natura, através da fertirrigação em quantidades racionais, apresenta efeitos altamente positivos sobre a produtividade agrícola (elevação da produtividade por hectare e prolongamento do ciclo da cana) além de reduzir a poluição dos rios e mananciais. Assim, esse destino dado a vinhaça contribui positivamente na atividade produtiva e evita-se o despejo do resíduo em cursos d'água.

Devido a suas características de baixo pH e elevada demanda química de oxigênio (DQO), a vinhaça se encontra entre os rejeitos industriais de maior potencial poluidor (DAMIANO, 2005). Sendo assim, há a necessidade de um tratamento prévio antes do seu descarte ao solo. Não obstante, em se tratando de uma "indústria de produto energético", a possibilidade de se converter a matéria orgânica do vinhoto em metano não deve ser desprezada, pois tal prática, além de minimizar os eventuais riscos de acidentes durante manuseio desse resíduo, facilita sua aplicação na lavoura na medida em que neutraliza o pH do efluente, segundo Viana (2006).

A viabilidade técnica e econômica dos tratamentos disponíveis é de grande

importância, levando em conta o volume gerado pelas usinas. Vale ressaltar que o tratamento biológico ou físico-químico desta água residuária no Brasil ainda é incipiente. Pelos dados da Coopcana (2004/2005), uma usina de álcool produz, em média, 800 m³ de álcool por dia que resultam por volta de 10.000 m³ de vinhaça, uma vez que para cada litro de álcool produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça.

Segundo WEBER (2006) o emprego de processos biológicos anaeróbios oferece várias vantagens em comparação aos aeróbios, podendo ser salientado o menor consumo de energia, a menor produção de lodo, a necessidade de menor área para a implantação do sistema e a potencialidade de uso do biogás como combustível. O reator anaeróbio de leito fluidificado (RALF) vem sendo objeto de intensa pesquisa, mostrando-se tecnicamente adequado. Ele foi utilizado com sucesso em vários trabalhos de tratamento de águas residuárias, como Damiano (2005), Weber (2006), Sader (2005).

O reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) tem atraído grande interesse e vem sendo objeto de intensa pesquisa, principalmente a partir do final da década de 70. Este tipo de reator mostrou-se tecnicamente adequado e foi aplicado com sucesso no tratamento de: águas residuárias

municipais, efluentes industriais e águas residuárias contendo compostos tóxicos/recalcitrantes, como os fenóis e cloro fenóis (COOPER; ATKINSON, 1981). Os reatores de leito fluidizado com biomassa aderida ao suporte apresentam vantagens suplementares como a de evitar a colmatção do leito, comum nos processos de leito fixo. Estes reatores também promovem rápida difusão do substrato pela biomassa. Estas características fazem do reator anaeróbio de leito fluidizado uma boa opção para o tratamento de águas residuárias (SREEKRISHNAN et al., 1991).

Segundo MELIDIS; GEORGIU; AIVASIDIS (2003), a imobilização microbiana é especialmente útil para produtores anaeróbios de metano limitados pelo crescimento lento e necessidade de muita energia. Por esse fato, os reatores com células imobilizadas são largamente utilizados em situações em que a capacidade do reator é limitada pela concentração da biomassa e tempo de detenção hidráulica.

A biomassa nos reatores anaeróbios de leito fluidizado é definida como uma estrutura complexa de células e produtos celulares, os quais formam grânulos grandes e densos que crescem fixos à superfície dos sólidos fixos ou em suportes

suspensos (NICOLELLA; van LOOSDRECHT; HEIJEN, 2005).

De acordo com Siqueira (2008), o melhor material suporte a ser utilizado para imobilização microbiana será aquele que obter as melhores eficiências de remoção de substrato para a mesma carga orgânica aplicada, mesmo tipo de substrato e nas mesmas condições de operação. Outras características desejáveis para os materiais suportes são: possuírem grande área específica, possibilitarem a colonização acelerada dos microorganismos, serem estruturalmente resistentes, além de biológicos e quimicamente inertes e com preços reduzidos.

A utilização de material suporte com características adequadas torna possível o aumento do tempo de permanência da biomassa ativa no reator e do contato entre o microorganismo e o líquido a ser degradado (SWITZENBAUM e JEWELL, 1980). Entre os materiais de suporte mais utilizados em reatores anaeróbios podemos citar a areia (BRAGA, 1989; HAMADA, 1992 e TERÁN, 1995), carvão ativado granular (COSTA, 1994; PEREIRA e CAMPOS, 1999), poliestireno (DAMIANO, 2005) e os tijolos cortados (ANDRADE NETO, PEREIRA e MELO, 2000).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um

RALF, construído em escala piloto para tratamento de vinhaça sob condição mesofílica, quando submetido ao aumento gradual da taxa de carregamento orgânico e a variação da eficiência de remoção de matéria orgânica presente na vinhaça.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A vinhaça foi dividida em 4 lotes, de acordo com a coleta na usina, sendo essas em: julho, agosto, setembro e outubro de 2008. Para se atingir as concentrações desejadas, a vinhaça foi diluída com água de abastecimento e para correção de pH foi utilizado NaOH 50%. A água residuária utilizada na alimentação do reator foi armazenada em um reservatório com volume útil de 80 litros. Esse preparo era feito a cada 4 dias na Fase I e a cada 2 dias nas Fases II e III.

Partículas de carvão ativado de formato granulado foram utilizadas como suporte de imobilização da biomassa.

O sistema foi construído e operado no Laboratório de Tratamento de Efluentes da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente. Na Figura 1 é apresentada uma imagem fotográfica do sistema de tratamento montado. Já a Figura 2 mostra a representação esquemática do sistema de tratamento do efluente.



Figura 1. Fotografia do sistema de tratamento.

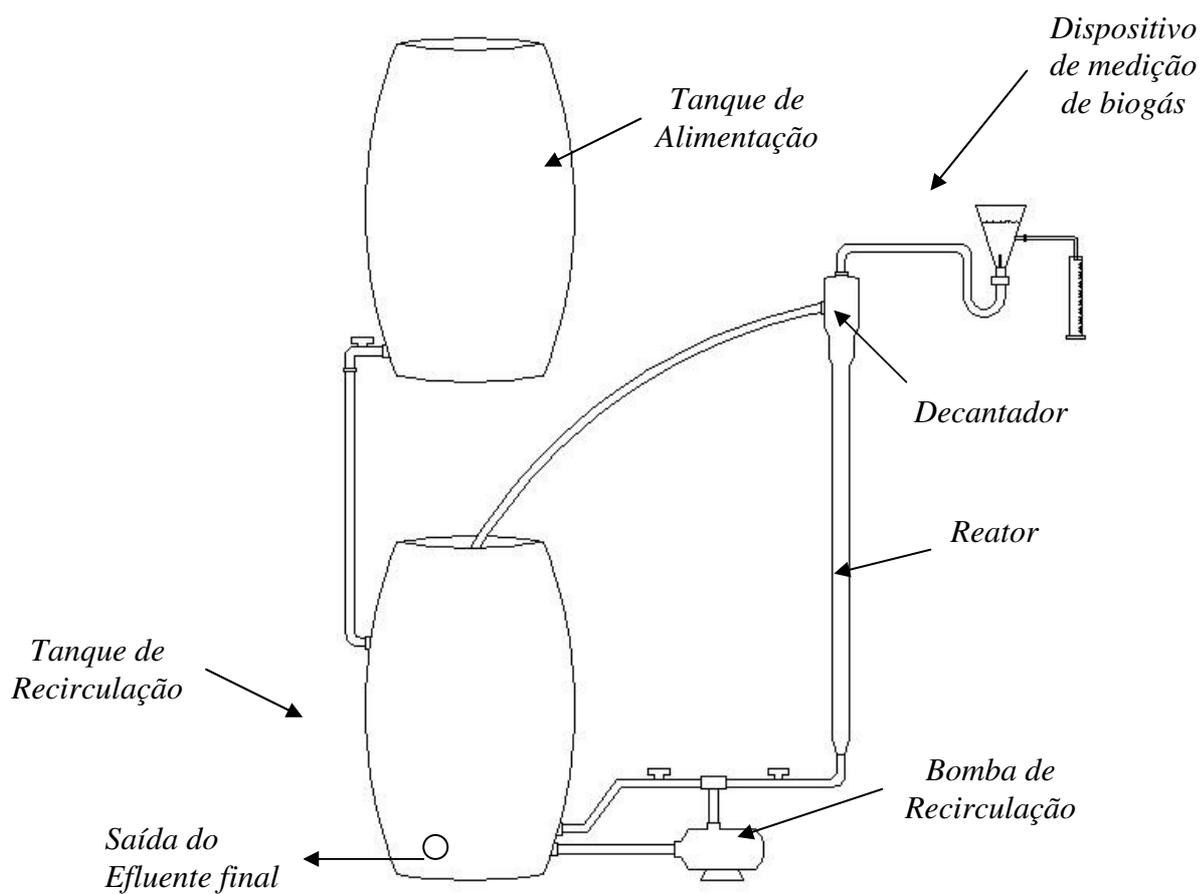


Figura 2. Representação esquemática do sistema.

O reator utilizado nesta pesquisa era constituído por um tubo de vidro com diâmetro de 5,0 cm e comprimento de 90,0 cm. A base do reator possuía o formato cônico, proporcionando uma distribuição do fluxo e minimizando a formação de canais preferenciais.

Na parte superior, foram colocadas duas reduções em PVC, de maneira a constituir a unidade de decantação de sólidos suspensos. Esse decantador possuía altura de 17 cm e tinha formato cônico com inclinação de 45° para facilitar a deposição dos sólidos. O diâmetro inferior da primeira redução era de 5,0 cm e o diâmetro superior da segunda de 8,0 cm.

Na tampa foi instalado um funil, na forma de tronco de pirâmide invertido e imerso no decantador. O funil foi conectado, por uma mangueira de silicone, a um dispositivo externo, que quantificava o biogás produzido por deslocamento de líquido e este coletado por um recipiente graduado.

O reator, com volume útil de aproximadamente 2,5 L, foi alimentado no sentido ascendente utilizando-se uma bomba centrífuga.

O sistema possuía um tanque de recirculação com volume útil de 25L que, além de ter como objetivo principal manter as condições de fluidização do leito, também possuía um termostato de 50W

para que a água residuária pudesse ser aquecida a temperatura de operação (35 ° C para processo mesofílico).

A saída do efluente foi feita por meio de uma bomba de aquário submersa da marca Sarlo Better e a vazão da mesma controlada por uma pequena torneira.

O reator foi inoculado com lodo biológico proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), utilizado para tratamento das águas residuárias de uma fábrica de refrigerantes localizada na cidade de Presidente Prudente/ SP. Para efeito de partida do sistema, o mesmo funcionou com tempo de detenção hidráulica de 7 dias.

Para efetuar o monitoramento do desempenho do sistema foram avaliados os seguintes parâmetros: DQO, pH e temperatura.

As análises de DOQ foram realizadas com frequência média de duas vezes por semana. O pH foi monitorado sempre que realizadas as análises de DQO.

Para a obtenção dos valores dos parâmetros monitorados foram seguidos os métodos propostos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, APHA, WEF, 1998).

O sistema de medida de biogás produzido era composto de um kitassato,

preenchido com a água para equilibrar a pressão do sistema e conectado por uma mangueira de silicone ao funil invertido colocado no topo do reator. O kitassato era fixado de forma invertida e na sua saída lateral era conectada outra mangueira de silicone, e esta direcionada para superfície de uma proveta. Assim, o biogás produzido é transferido do topo do reator para o interior do kitassato, ocupando o lugar do líquido. Logo, por deslocamento de líquido, a água do kitassato se transfere para a proveta. O volume de água contido nesta, era a quantidade de biogás produzido pelo sistema. Essa metodologia é semelhante à utilizada por Rizzo (2004).

De forma a verificar a eficiência do sistema de medição de gás produzido

foram empregados dois métodos. Um se baseia na composição de 60 a 70 % de metano em volume de biogás de acordo com Silva (1998) e o outro, segundo Metcalf e Eddy (2003) que tem como base a relação teórica $0,35 \text{ m}^3\text{CH}_4 (\text{kg.DQO}_{\text{removida}})^{-1}$.

O sistema de tratamento anaeróbio mesofílico da vinhaça, foi operado durante 132 dias. Essa operação foi dividida em diferentes fases, caracterizadas por mudanças na carga orgânica aplicada e nos tempos de detenção hidráulica impostos ao sistema. A Tabela 1 mostra a separação das fases no tratamento da vinhaça relacionando concentrações, tempo de detenção hidráulica (TDH), e dias de operação do sistema em cada fase.

Tabela 1. Fases de operação do sistema de tratamento da vinhaça.

Fase	Tempo de operação do sistema ----- dias -----	Tempo de detenção hidráulica	Resíduo afluente	DQO média afluente mg L ⁻¹
I	67	2,55	Vinhaça diluída	10.396,34
II	36	1	Vinhaça diluída	12.577,31
III	14	1	Vinhaça in natura	22.487,80

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização dos lotes de vinhaça utilizados

Durante todo o processo, foram utilizados quatro lotes de vinhaça, sendo o primeiro coletado em julho de 2008, o segundo em agosto de 2008, o terceiro em

setembro de 2008 e o último em outubro deste mesmo ano. Devido às diferenças sazonais nos lotes, houve instabilidades do sistema, acarretadas por diversidade na composição da vinhaça.

A composição também pode variar de acordo com o solo, método de colheita,

variedades de cana-de-açúcar, processo de produção utilizado, entre outros. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros característicos dos lotes coletados.

Após a inoculação do reator, com lodo anaeróbio, seguiu-se a fase de adaptação da biomassa anaeróbia à vinhaça, com uma concentração de 5.000 mg.L⁻¹ e TDH de 2,14 dias, durante 14 dias. Uma estratégia de adaptação semelhante a essa foi utilizada por Siqueira (2008).

A adaptação é um processo lento e o contato do inóculo com a biomassa deve ocorrer, inicialmente, em baixas concentrações de substrato com aumento gradativo devido à presença de substâncias tóxicas ao sistema. Outra característica importante da fase de adaptação é a aderência da comunidade microbiana ao meio suporte. A Tabela 3 apresenta os resultados das análises de DQO e pH, as quais foram efetuadas a partir do efluente tratado, durante a fase de adaptação das culturas anaeróbias.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos quatro lotes de vinhaça coletados em 2008.

Parâmetro	Unidade	Lote			
		1	2	3	4
pH		3,8	4,1	3,7	4,4
DBO	mg L ⁻¹	5.200	5.000	5.000	5.400
DQO	mg L ⁻¹	22.771	17.239	20.112	28.174
SDT	mg L ⁻¹	11.352	10.956	11.876	12.434
K	mg L ⁻¹	1.123	1.027	1.188	1.491
Ca	mg L ⁻¹	352	298	308	362
Mg	mg L ⁻¹	16	13	13	18
Na	mg L ⁻¹	113	106	105	120

Fonte: Usina Santa Fany

Tabela 3. Concentrações de DQO e valores do pH durante a fase de adaptação.

Tempo (dias)	DQO	pH
	mg L ⁻¹	
1	5.156,70	6,9
3	4.509,77	7,2
7	3.883,02	7,5
11	3.119,34	8,3
14	2.712, 28	7,8

A Figura 3 apresenta a variação da DQO da vinhaça durante a adaptação do inóculo à água residuária. Nessa figura é observado que a degradação da matéria orgânica nos três primeiros dias foi de 12,5%, ou seja, quando a concentração da vinhaça variou de 5.156,7 mg L⁻¹ a 4.509,8 mg L⁻¹. Do terceiro ao sétimo dia, notou-se uma ligeira queda na taxa degradação de matéria orgânica, com uma redução de 13,89%, levando-se em consideração que foi degradado aproximadamente 3,47% a cada dia, enquanto que nos três primeiros dias a degradação foi de 6,27% por dia. Do sétimo ao décimo quarto dia, a redução de matéria orgânica foi gradual, onde se obteve uma degradação diária de 4,91%, do dia 7 ao dia 11, e de 4,35%, do dia 11 ao dia 14, assim, optando-se pelo término da fase de adaptação e pelo início da primeira fase de operação do sistema.

Na Figura 4 pode-se observar o monitoramento do pH na fase de adaptação. Verificou-se que nos sete primeiros dias, o pH sofreu um aumento constante, variando de 6,9 a 7,5. Já do oitavo ao décimo primeiro dia, os valores do pH subiram numa proporção ainda maior, atingindo 8,3, sendo o maior valor observado durante esta fase inicial. Logo em seguida, nota-se uma queda nestes valores, não muito significativa, onde o pH, no último dia dessa etapa inicial, chegou a 7,8.

Após a adaptação, o RALF continuou a ser alimentado e monitorado continuamente, porém com aumentos gradativos na carga orgânica e com diminuição do tempo de detenção hidráulica. A Tabela 4 apresenta os valores médios da DQO afluyente e efluente, bem como suas eficiências para cada fase de operação do RALF.

Pode-se observar que, para cada fase do sistema, foram obtidos os valores médios de concentração para a DQO, tanto do afluyente quanto do efluente, uma vez que as mudanças de fase ocorreram sempre que era alcançada a eficiência desejada, proposta em outros trabalhos. Podem-se visualizar melhor, pela Figura 5, as variações da DQO afluyente e efluente e da eficiência de redução da matéria orgânica durante as três fases do sistema.

Na Figura 5 podem ser observados os impactos negativos decorrentes de problemas operacionais, durante as três fases do sistema, e da escala reduzida do reator. O primeiro problema ocorreu durante a Fase I, onde, no 24º dia, apareceram pequenos vazamentos, tanto no tanque de recirculação como nas tubulações ligadas ao mesmo, tendo que ser fechado o sistema de alimentação do reator até o final da tarde do mesmo dia, quando o problema foi solucionado.

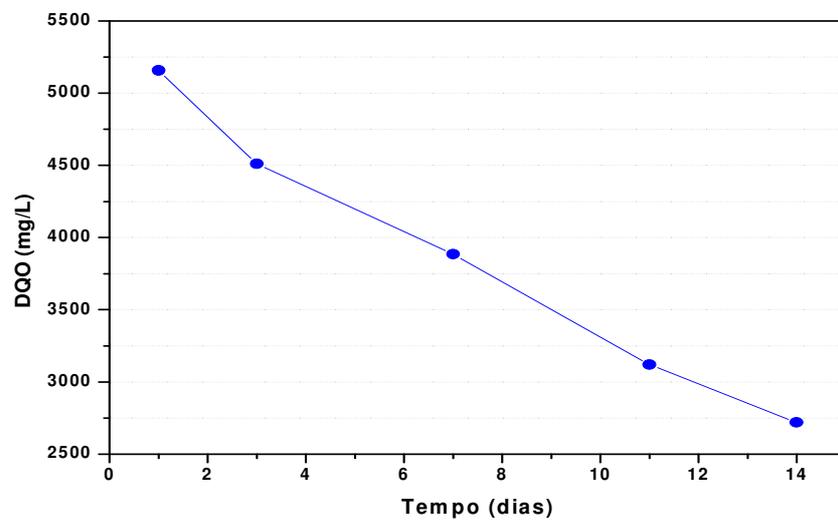


Figura 3. Evolução do consumo de matéria orgânica na forma de DQO na fase de adaptação.

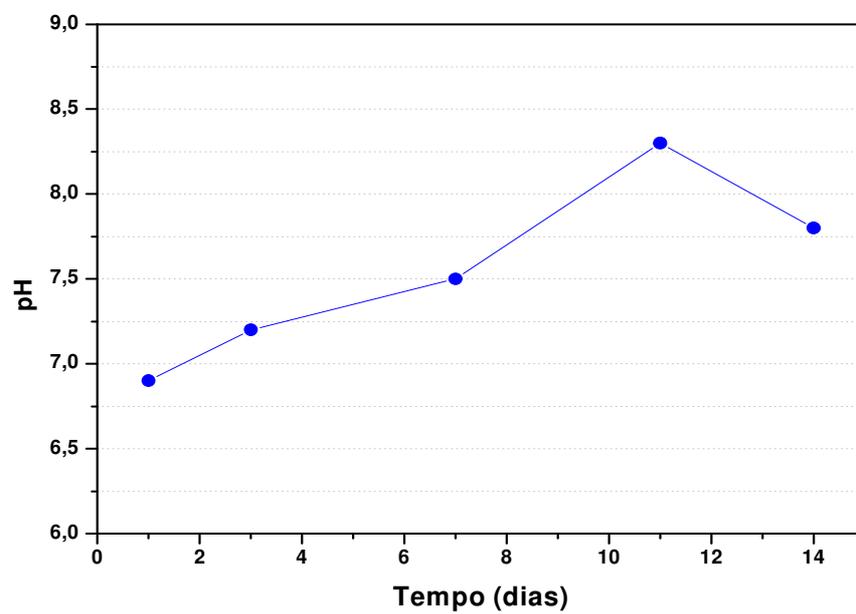


Figura 4. Valores do pH durante a fase de adaptação.

Tabela 4. Valores médios da DQO (afluente e efluente) e as respectivas eficiências para cada fase do sistema.

Fases	DQO afluente	DQO efluente	Eficiência
	----- mg L ⁻¹ -----		%
I	10.396,34	5.003,35	54,22
II	12.577,31	5.371,50	57,06
III	22.487,97	10.746,74	52,99

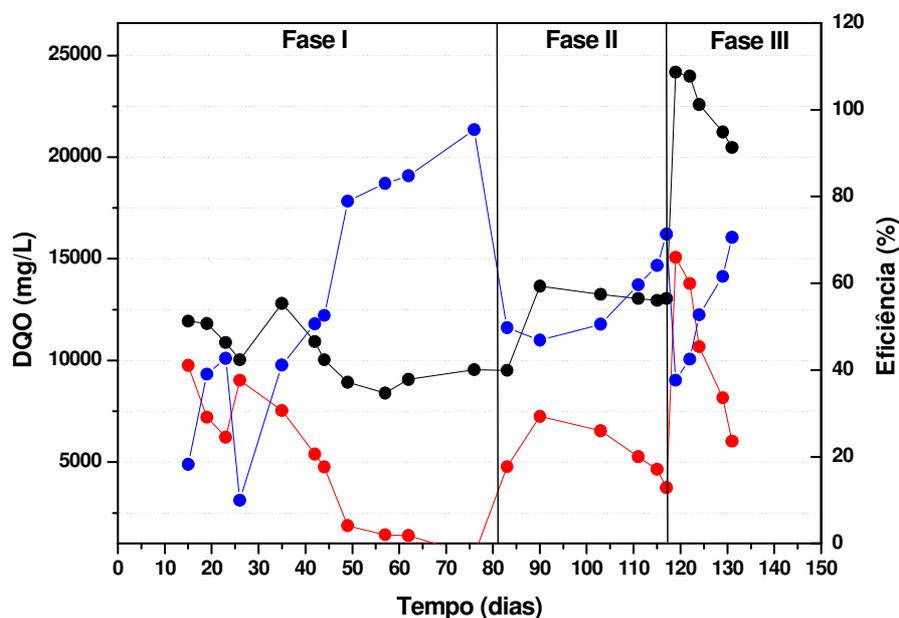


Figura 5. Variação da DQO afluente (●), efluente (●) e eficiência de remoção da DQO (●) nas três fases de operação.

No 25º dia, o reator foi deixado em recirculação durante 24 horas para aumentar o tempo de retenção celular e recuperar sua eficiência, procedimento esse semelhante ao utilizado por Siqueira (2008). O aumento da eficiência ocorreu, de fato, de forma rápida, obtendo no final da fase uma remoção média de 54,22%.

O segundo e último problema foi observado no início da Fase II, entre o 83º e 90º dias, onde a eficiência teve uma pequena queda e o cheiro da vinhaça se tornou mais forte, levando à conclusão de que existia decomposição da mesma no tanque de alimentação em decorrência da não lavagem deste na substituição dos lotes. Logo o problema foi resolvido, fato

este notado com a análise realizada no 103º dia de operação, onde a eficiência chegou a 50,57% de remoção.

Uma queda acentuada das eficiências foi também ocasionada pela diminuição do tempo de detenção hidráulica (transição da Fase I para a Fase II) e pela utilização da vinhaça in natura no sistema (transição da Fase II para a Fase III), ambas demonstradas na Tabela 1 deste trabalho.

Por sua vez, Ribas (2006) apud. Siqueira (2008) atingiu eficiências de redução de DQO superiores (75% a 85%) durante todas as fases de operação do ASBBR, no tratamento mesofílico da vinhaça de cana. Isto provavelmente ocorreu devido ao enriquecimento do reator com biomassa metanogênica alimentada com substrato composto por

etanol (aproximadamente, 2,5 g DQO L⁻¹) e sais minerais.

Segundo Beltra; Garcia-Araya; Alvarez (1999), vários fatores ambientais afetam a atividade das populações microbianas e a taxa de reações bioquímicas, mas devido a natureza ácida da vinhaça, o pH é um dos fatores que mais afetam a atividade microbiológica. Portanto, um controle de pH neutro deve favorecer o processo de degradação anaeróbia.

Devido a esse fato, o pH do sistema foi monitorado periodicamente e, quando necessário, corrigido por meio da aplicação de uma solução de NaOH ao 50%. O monitoramento do pH é apresentado na Figura 6.

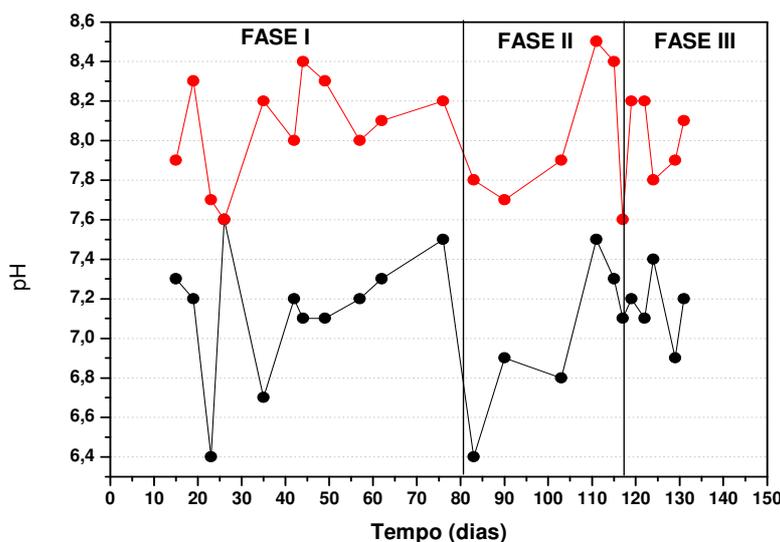


Figura 6. Variação do pH afluente (●) e efluente (●) com o tempo.

O pH do efluente foi verificado variando entre 7,6 e 8,5, apresentando-se superior ao do afluente, que variava entre 6,4 e 7,6, para todas as fases de operação. Porém, além das oscilações observadas nas mudanças de fase, fato este ocasionado pela troca da vinhaça no sistema, em alguns momentos da Fase I, o valor do pH afluente sofreu uma rápida diminuição, provavelmente devido às mudanças na quantidade de alcalinizante adicionada, às vezes insuficiente para que se alcançasse o pH neutro. Nota-se que, mesmo com a correção de pH afluente para próximo de 7,0, em alguns momentos este reduziu-se rapidamente.

Os valores de pH encontrados nesta pesquisa (6,4 a 8,5) foram semelhantes aos obtidos no tratamento mesofílico por Siqueira (2008), 6,2 a 8,6, Damiano (2005), 7,2 a 8,5 e Ribas (2006), 6,7 a 8,5, indicando que em todas as pesquisas citadas, esse parâmetro esteve dentro da faixa considerada adequada para digestão anaeróbia. Segundo Tripathi; Allen (1999) existe uma tendência de aumento de pH em 1,5 unidades para amostras retiradas de reatores nas condições mesofílicas.

O pH efluente manteve-se praticamente constante durante todas as fases de operação, indicando a não interferência do aumento da concentração de vinhaça nas mudanças de fases.

Na Figura 7 pode ser observado que os valores da carga orgânica da vinhaça (COV) durante as fases de operação do sistema sofreram aumentos acentuados quando houveram quedas, também acentuadas, na eficiência de remoção do sistema; e diminuíram, de forma progressiva, quando a eficiência aumentava ligeiramente. Isso se deve à mudança das fases do sistema, onde o tempo de detenção hidráulica era decrescido de 2,55 dias para 1 dia (Fase I para a Fase II) e a vinhaça deixava de ser diluída e passava a ser in natura (Fase II para a Fase III).

3.2. Produção de gás

Durante toda a operação do reator, observou-se a ocorrência da expansão do leito, tanto pelo acúmulo de biomassa que, conseqüentemente, aumenta o volume da partícula, quanto pela produção de biogás, fato observado também em alguns trabalhos como, por exemplo, o de Siqueira (2008).

A quantificação da produção de biogás foi realizada semanalmente desde o início da Fase I, ou seja, desde que se encerrou a fase de adaptação. A Figura 8 mostra a quantidade de biogás produzido ao longo do tempo em que o sistema operou.

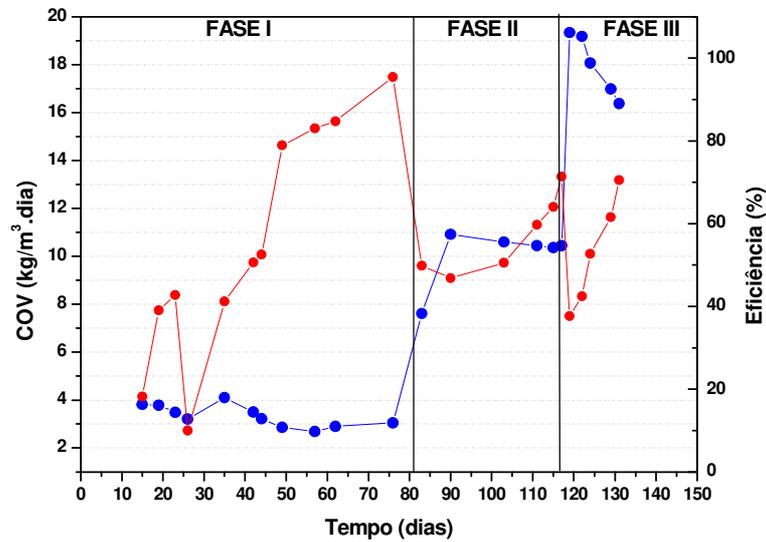


Figura 7. Variação do carregamento Orgânico Volumétrico (●) e da eficiência de remoção (●) ao longo do tempo.

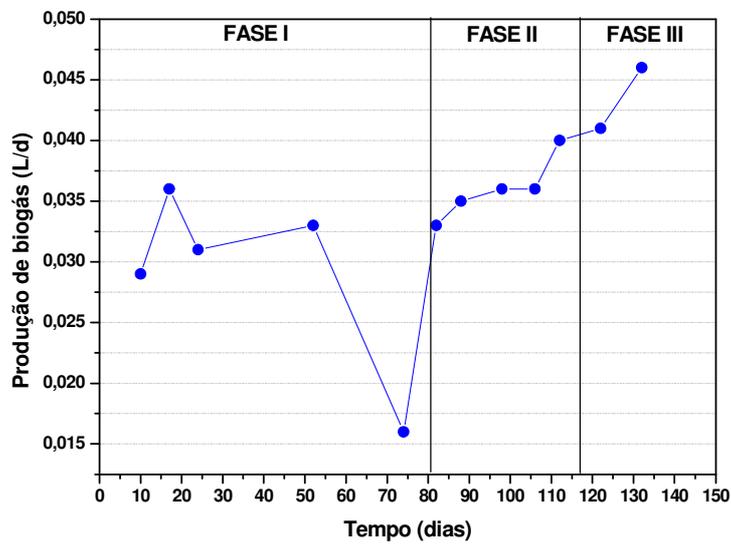


Figura 8. Produção de biogás ao longo do período do ensaio.

Foi observado que a produção do biogás na Fase I sofreu fortes oscilações, ocasionadas pelos vários problemas encontrados no sistema de medição que foi utilizado neste trabalho. Entre esses problemas tem-se a grande dificuldade em vedar a parte superior do reator, local no qual era feita a captação de biogás e submetido constantemente a limpezas, pela quantidade de lodo que se produzia. Tal quantidade, apesar de não ser significativa, era suficiente para interferir tanto na passagem do gás para o dispositivo de medição quanto para a recirculação da vinhaça no sistema. Outro problema encontrado nesta Fase I correspondeu a interferências externas, onde muitas vezes o dispositivo foi encontrado fora do lugar, dificultando a quantificação do biogás.

O aumento gradativo na produção de biogás foi notado ao longo das Fases II e III, uma vez que o sistema operava com estabilidade, refletindo diretamente na produção de biogás. A Fase II variou de 0,033 L dia⁻¹ a 0,041 L dia⁻¹, com uma ligeira queda provocada provavelmente em uma das limpezas realizadas no dispositivo. Na Fase III, notou-se um aumento na produtividade de biogás, onde, em um período de 14 dias, a produção variou de 0,041 L dia⁻¹ a 0,046 L dia⁻¹, ocasionado pelo aumento da carga orgânica aplicada ao sistema.

Ao medir a concentração de metano do biogás produzido com a degradação anaeróbia da vinhaça, na fase operacional do sistema, verificou-se pouca variação na Fase II e um aumento na Fase III, uma vez que a produção de metano está diretamente relacionada com a produção de biogás e, conseqüentemente, com a adição de vinhaça com maiores concentrações de matéria orgânica, como mostrado na Figura 9.

A quantificação do metano foi realizada de acordo com duas metodologias, ambas com estimativas teóricas, já citadas anteriormente, onde se observou que em uma delas, o biogás produzido possui de 60 a 70% de metano na sua composição, e em outra, tem como base a relação teórica de 0,35 m³ CH₄ (kg.DQO_{removida})⁻¹.

4. CONCLUSÃO

Com base em todos os resultados obtidos, pode-se afirmar que, nas condições experimentais avaliadas, o reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) sob temperatura mesofílica e contendo biomassa imobilizada, mostrou-se eficiente no tratamento de vinhaça proveniente da usina de açúcar e álcool. Outras conclusões mais específicas podem ser destacadas:

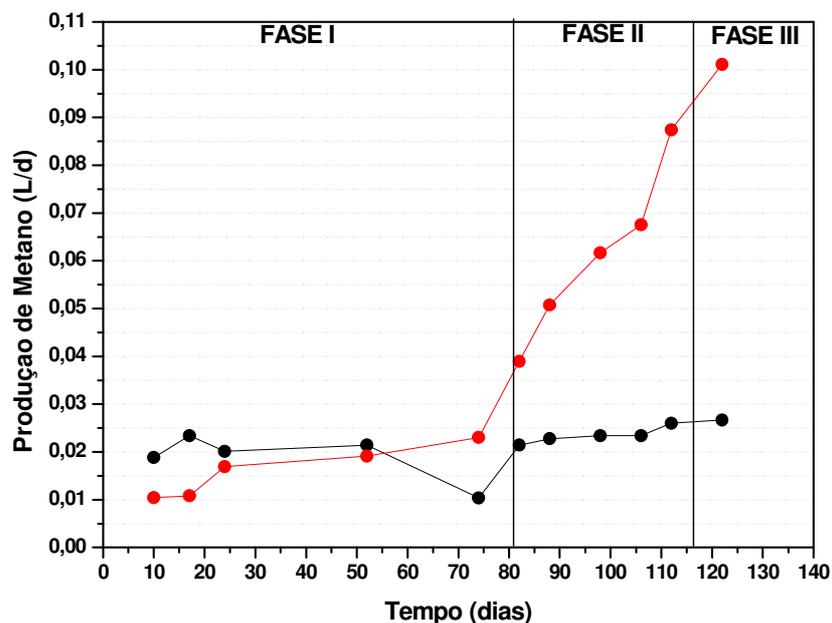


Figura 9. Quantidade de metano segundo Silva (1998) (●) e Metcalf & Eddy (2003) (●) ao longo do tempo.

O pH do efluente manteve-se praticamente estável na faixa de operação dos sistemas anaeróbios, 7,6 a 8,5.

A produtividade de biogás e o rendimento médio de metano no RALF aumentaram de acordo com o aumento da carga orgânica aplicada no sistema, porém, os valores encontrados são bem menores em relação à teoria, indicando que este tipo de dispositivo para medição de biogás é impróprio para o processo anaeróbio, uma vez que este é um excelente potencial energético em um RALF.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, C. O; PEREIRA. M. G; MELO. N.S. Materiais alternativos para enchimento de filtros anaeróbios: conduíte cortado e tijolo cerâmico. In: Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia, 6, 2000. **Anais...** Pernambuco- Br.Vol. 1. p.28-35. 2000.
- AWWA, APHA, WEF. **Standard Methods for Water and Wastewater Analysis**, 20 Ed. 1998.
- BRAGA, M.C.B. **Estudo da eficiência dos processos bioquímicos em um reator anaeróbio de leito fluidizado automatizado.** Curitiba- PR, 1989. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. 76 p. 1989.

- COOPER, P.F; ATKINSON, B. **Biological fluidized bed treatment of water and wastewater**. Chichester, Ellis Horwood Limited, p.75-106. 1981.
- COSTA, R. H. R, et al. **Pós-Tratamento de Efluente Anaeróbio Utilizando Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campus Universitário – Universidade Federal de Santa Catarina. 256 p. 1994.
- DAMIANO, E. S. G. **Tratamento da vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidificado**. Dissertação (Mestrado). EESC-USP, São Carlos. 98 p. 2005.
- EPA (Agência Americana de Proteção Ambiental). Disponível em: <<http://www.epa.gov>> Acesso em 20 de julho de 2008.
- MELIDIS, P.; GEORGIU, D.; AIVASIDIS, A. Scale-up and design optimization of anaerobic immobilized cell reactors for wastewater treatment. **Chemical Engineering and Processing**, v. 43, 897 – 908, 2003.
- METCALF; EDDY. **Waste water engineering: treatment, disposal and reuse**. 4. ed. rev. New York: McGraw-Hill. 1830 p. 2003.
- NICOLELLA, C; van LOOSDRECHT, M.C.M; HEIJEN, J.J. Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. **Journal of Biotechnology**, v. 80, 1-33. 2000.
- RIBAS, M.M.F. **Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio operado em batelada seqüencial contendo biomassa imobilizada sob condições termofílicas e mesofílicas**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 175 p. 2006.
- RIZZO, A.C.L. **Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes**. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 140 p. 2004.
- SADER, L. T. **Avaliação de partículas poliméricas como material suporte em reator anaeróbio de leito fluidizado no tratamento de fenol**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Carlos. 125 p. 2005.
- SILVA, F. M. Utilização do biogás como combustível. In: Energia, Automação e Instrumentação. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA. Anexo. p 97, 1998.
- SIQUEIRA, L. M.. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. 130 p. 2008.
- SREEKRISHNAN, T.R.; RAMACHANDRAN, K.B.; GHOSP, P. Effect of operating variables on biofilm formation and performance of an anaerobic fluidized-bed bioreactor. **Biotechnol. Bioeng**, v. 91 , p. 557-556. 1991.
- SWITZENBAUM, M. S.; JEWELL, W. J. Anaerobic Attached – Film expanded – Bed Reactor Treatment. **Journal WPCF**. Clarkson College of Technology, Potsdam, New York. Cornell University, Ithaca, New York. July, p. 1953 – 1965. 1980.

TRIPATHI, C. S.; ALLEN, D. G. Comparison of mesophilic and thermophilic aerobic biological treatment in sequencing batch reactors treating bleached kraft pulp mill effluent. **Water Research**, v.33, p. 836-846, 1999.

VIANA, A. B. **Tratamento anaeróbio da vinhaça em reator UASB operado em temperatura na faixa termofílica (55° C) e submetido ao aumento progressivo de carga orgânica.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 88 p. 2006.

WEBER, M. I. **Avaliação da eficiência de um reator anaeróbio de leito fluidizado para tratamento de resíduos líquidos da indústria de refrigerantes.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. 166 p. 2006.