

## II-417 - DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DA VINHAÇA ANTERIOR À FERTIRRIGAÇÃO

**Valéria Del Nery<sup>(1)</sup>**

Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

**Rodrigo R. Longo<sup>(2)</sup>**

Mestrando do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

**Inaê Alves<sup>(3)</sup>**

Mestranda do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

**Marcia H. R. Zamariolli Damianovic<sup>(4)</sup>**

Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

**Eduardo Cleto Pires<sup>(5)</sup>**

Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Trabalhador São-carlense, 400 - CP 359 - São Carlos – SP – CEP: 13566-590 – Brasil - Tel: (16) 3373-9571 – e-mail: [vdelnery@terra.com.br](mailto:vdelnery@terra.com.br)

### RESUMO

Com o propósito de demonstrar a potencialidade da degradação anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar e proporcionar características qualitativas adequadas ao efluente previamente à sua disposição no solo pelo método da fertirrigação, foi utilizado um reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) em escala piloto, equipado de separador gás-sólido-líquido modificado e sem recirculação de efluente. A unidade foi inoculada com lodo granular e utilizou-se substrato de alta concentração (DQO de 20 g/L) para sua alimentação. A operação do reator foi baseada em um procedimento de partida para reatores anaeróbios, com aumento de carga por escalonamento da vazão de alimentação. O reator UASB apresentou valor médio de eficiência de remoção de DQO de  $92 \pm 4,4\%$ , para cargas orgânicas volumétricas (COV) aplicadas entre 0,7 e 4,8 KgDQO/m<sup>3</sup>.d. Foi observada baixa variabilidade do pH efluente ao longo da operação (7,2 a 8,8), independente dos valores do pH afluente (4 a 7,8). A condição de estabilidade foi atribuída à capacidade de produção de alcalinidade a bicarbonato pelo sistema anaeróbio. Os valores médios de concentração efluente ao reator para sulfato, cloreto, sódio e cálcio foram respectivamente:  $180 \pm 78$ ,  $693 \pm 665$ ,  $1081 \pm 1068$  e  $60 \pm 66$  mg/L. Da comparação entre a caracterização das amostras de efluente final e afluente de alimentação ao longo do período operacional, notou-se que ocorreu remoção de matéria orgânica e aumento do pH, sem que o potencial da vinhaça como fertilizante fosse comprometido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Degradação anaeróbia, Fertirrigação, Reator UASB modificado, Remoção de matéria orgânica, Vinhaça de cana-de-açúcar.

### INTRODUÇÃO

A área cultivada com cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira no Brasil na safra 2013/14 foi estimada em 8,8 milhões de hectares. Neste período a produção de etanol total fechou em 23,64 bilhões de litros e é estimada em 27,17 bilhões de litros para 2013/14, um incremento de 3,53 bilhões de litros (14,94%) (CONAB, 2013).

O potencial de crescimento do setor sucroalcooleiro gera grande preocupação no que diz respeito à produção de resíduos. Para cada litro de etanol, aproximadamente 15 litros de vinhaça são produzidos (Van Haandel, 2005).

A vinhaça é caracterizada por baixo pH, elevada temperatura, elevada concentração de matéria orgânica (DQO e DBO de 60 a 100 vezes superior ao de esgoto doméstico), elevada concentração de potássio, concentrações relativamente baixas de nitrogênio e de fósforo e em menores concentrações são encontrados cálcio, magnésio e enxofre. Em relação aos micronutrientes, o ferro aparece em maior concentração, seguido de manganês, cobre e zinco em pequenas concentrações (Silva e Orlando Filho, 1981; Rossetto, 1987).

Após a proibição do lançamento de vinhaça em cursos d'água, a solução encontrada pela agroindústria canavieira foi a aplicação em áreas de sacrifício, método que gerava problemas no solo e contaminação de águas subterrâneas devido às altas doses de resíduo.

O uso como fertilizante na fertirrigação tornou-se comum nas refinarias de cana-de-açúcar inicialmente nos anos 1980 (Corazza, 1996). Fertirrigação consiste na infiltração de vinhaça bruta no solo pela irrigação das culturas de cana-de-açúcar. Quando aplicada "in natura" no solo, em adição à irrigação, fertiliza a plantação, diminuindo os custos com fertilizantes químicos. Por outro lado, alguns parâmetros ambientais necessitam ser avaliados na fertirrigação, como: tipo de solo, distância de cursos d'água, capacidade de infiltração e porcentagem de sais no solo (Laime et al., 2011).

A aplicação de vinhaça em taxas adequadas tem resultado em aumento da produção de cana-de-açúcar. Entretanto, em longo prazo, a aplicação intensiva de vinhaça pode aumentar a salinidade do solo (Corazza, 1999), afetando a qualidade do plantio e contaminando águas subterrâneas.

Enquanto a vinhaça é em maioria disposta nas plantações, é incorporado o risco de poluição aquática. A elevação da umidade e do pH da vinhaça resulta no acréscimo da produtividade agrícola (Cambuim, 1983). O potencial de poluição de água superficial existe principalmente devido ao alto conteúdo de matéria orgânica na vinhaça. Matéria orgânica causa depleção de oxigênio por biodegradação heterotrófica quando atinge a superfície da água. (GUNKEL et al., 2006).

Atualmente, devido à perspectiva do aumento da produção de álcool, está em discussão a sustentabilidade desta prática que em maiores escalas pode causar efeitos deletérios ao solo, às águas subterrâneas e à atmosfera. Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar, mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (Lyra et al., 2003).

Uma alternativa para reduzir o conteúdo orgânico e elevar a alcalinidade é submeter a vinhaça à digestão anaeróbia anteriormente à fertirrigação. A digestão anaeróbia reduz a carga poluidora da vinhaça sem perda do potencial de fertilização e gera biogás, combustível de conteúdo energético elevado.

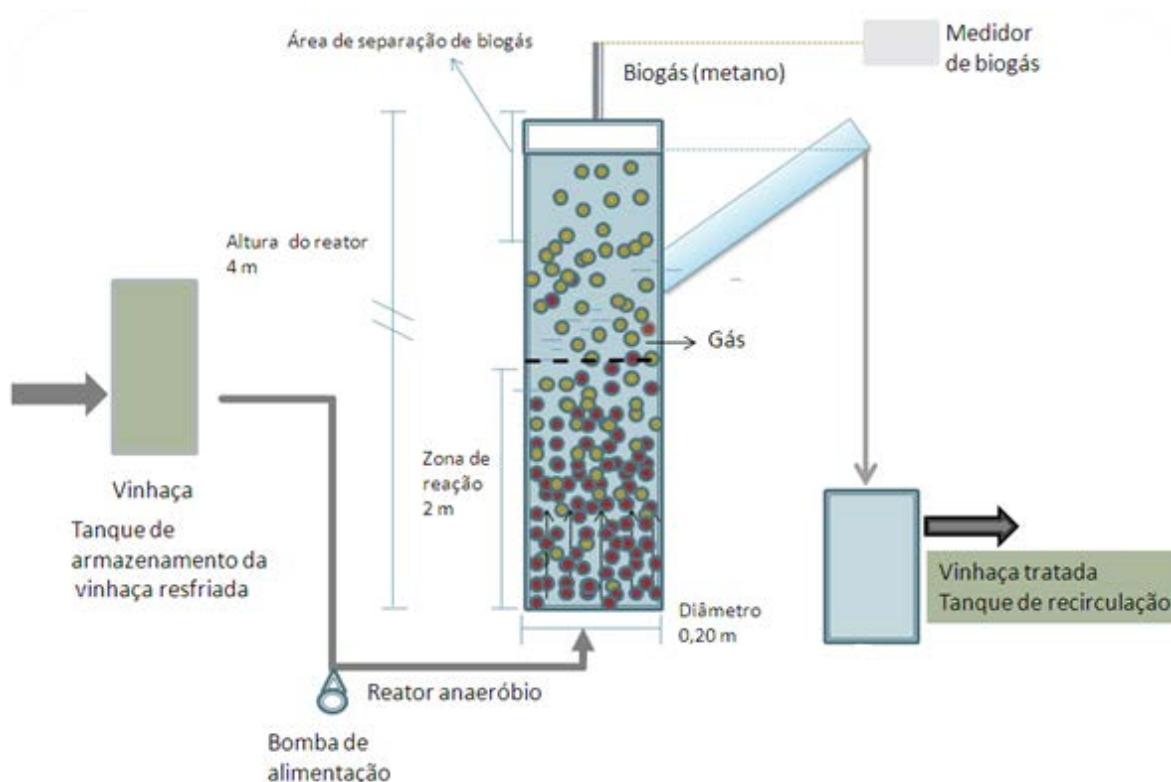
A potencialidade da digestão anaeróbia da vinhaça tem sido demonstrada em reatores UASB, entretanto, parâmetros que contribuam para o desenvolvimento de reatores em escala real ainda não estão apresentados. Juntamente a isso, existe uma ausência na literatura científica relacionada a trabalhos que enfoquem a remoção de matéria orgânica da vinhaça anterior ao lançamento desta no solo.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da degradação anaeróbia da vinhaça visando proporcionar características qualitativas adequadas ao efluente previamente à sua disposição no solo pelo método da fertirrigação. Diferentes cargas orgânicas foram aplicadas ao reator UASB, a fim de determinar parâmetros de operação que resultem em equilíbrio da digestão anaeróbia, com alta eficiência de remoção de compostos orgânicos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento foi composto por um reator UASB construído em tubos de PVC, com volume útil de 130L e 4m de altura, sendo 60L (altura de 2m) destinados à zona de reação. Este possui um dispositivo separador gás-sólido-líquido modificado, que compõe a área de separação do reator, como descrito por (Cavalcanti, 2003; Leitão, 2004).

A unidade contou com bomba dosadora para alimentação, tanque de armazenamento de vinhaça resfriada para alimentação, medidor de gás para monitoramento da produção de biogás e 18 pontos para coleta de amostra da mistura ao longo da altura do reator. A Figura 1 mostra o desenho esquemático, juntamente ao fluxograma de processo da unidade experimental.



**Figura 1: Desenho esquemático da unidade experimental.**

O reator foi inoculado com lodo granular até metade de sua altura. O lodo era proveniente de um reator UASB de 1260 m<sup>3</sup>, instalado em um abatedouro de frango.

A vinhaça utilizada nos ensaios experimentais foi coletada em usinas de açúcar e álcool localizada no interior paulista. A concentração da vinhaça para alimentação do reator UASB foi ajustada em 20gDQO/L. A escolha da utilização de concentração fixa em 20g/L para a vinhaça afluenta ao reator se baseou nos menores valores produzidos em destilarias (produção de álcool pela fermentação de caldo de cana-de-açúcar de forma direta), mantendo assim a presente pesquisa condizente com condições reais de operação de reatores anaeróbios.

Adotou-se a dosagem de 1g NaHCO<sub>3</sub>/g DQO<sub>Afluenta</sub> para a manutenção do pH efluente próximo a 8 no início da operação do sistema. O valor utilizado decresceu paulatinamente até o 68º dia de operação, sendo posteriormente mantida dosagem fixa de 0,125g NaHCO<sub>3</sub>/g DQO<sub>Afluenta</sub>.

A operação do reator UASB em escala piloto foi baseada em um procedimento de partida para reatores anaeróbios, com escalonamento da vazão de alimentação para disponibilizar tempo de adaptação à biomassa ao acréscimo de carga orgânica. O aumento da vazão e de cargas orgânicas aplicadas ocorreu quando o reator se encontrava em estado estacionário dinâmico. A COV variou de 0,45 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia a 7 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 72 dias a 4,7 dias em 43 semanas de operação.

O acompanhamento do desempenho do reator UASB foi realizado por meio das análises, feitas duas vezes por semana, em amostras afluentes e efluentes. Análises de DQO, pH e íons foram realizadas de acordo com APHA (2005).

## RESULTADOS

O monitoramento da concentração orgânica da vinhaça DQO, afluente e efluente ao reator, assim como a variação da eficiência de remoção do sistema em função da COV aplicada, estão presentes no gráfico da Figura 2.

A partir do aumento da COV durante o período operacional, pode-se inferir sobre sua influência na eficiência de remoção de DQO do sistema, tendo este apresentado  $83,3 \pm 13,6\%$  durante os 300 dias de operação. Inicialmente, nota-se, do 9<sup>o</sup> ao 183<sup>o</sup> dia de operação (COV 0,7-4,8 kgDQO/m<sup>3</sup>.d), que o reator apresentou remoção média de  $92 \pm 4,4\%$ , concentração de DQO afluente média de  $20,6 \pm 4,3$  g/L e efluente de  $1,6 \pm 0,8$  g/L.

Entre o 185<sup>o</sup> e o 239<sup>o</sup> dia de operação (COV 5-7 kgDQO/m<sup>3</sup>.d), obteve-se valor médio de eficiência de  $65,8 \pm 12,6\%$ , com concentração efluente de  $6,4 \pm 2,4$  g/L. Por fim, no último período operacional, do 241<sup>o</sup> ao 297<sup>o</sup> dia de operação (COV 2,3-3,4 kgDQO/m<sup>3</sup>.d) o sistema e apresentou eficiência média de  $75,4 \pm 10,8\%$  (concentração efluente de  $4,7 \pm 2,1$  g/L).

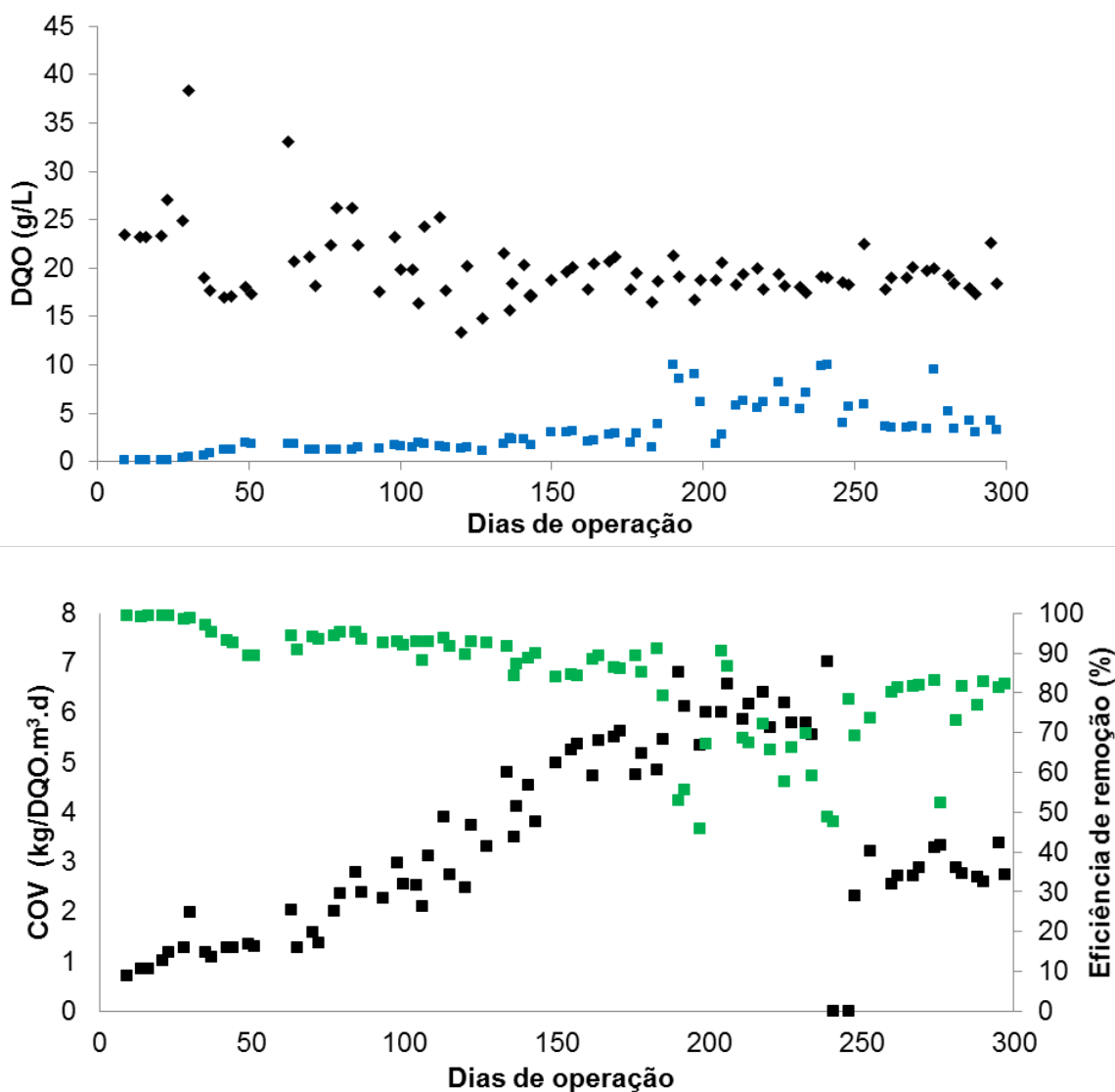


Figura 1: Variação temporal da DQO afluente, efluente, COV e eficiência de remoção de DQO. (◆) Concentração de vinhaça; (■) Concentração efluente reator; (■) COV; (■) Eficiência de remoção.

Durante os 300 dias de operação, independentemente do valor afluyente do pH, os valores do efluente variaram entre 7,2 e 8,8 (3).

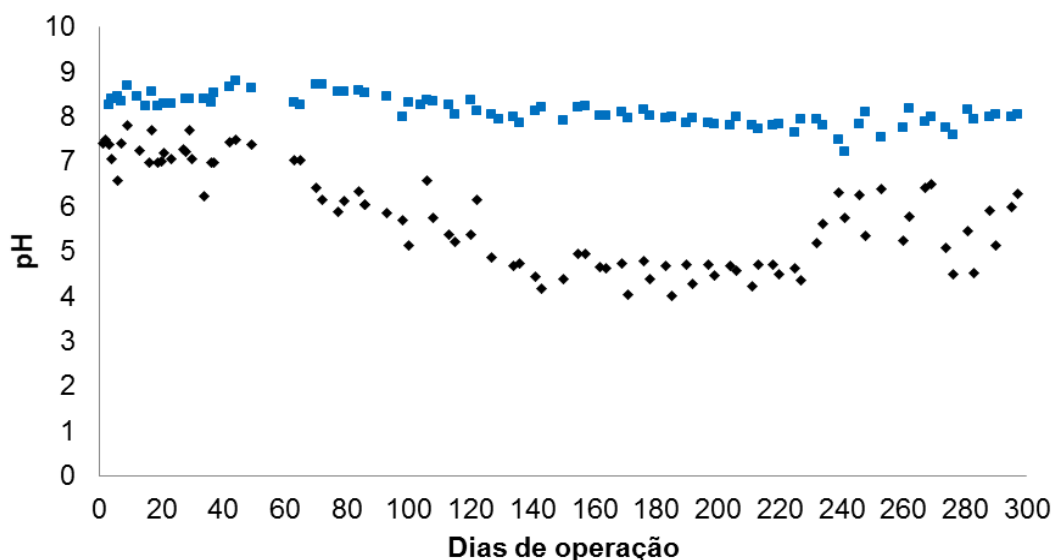


Figura 3. Variação temporal dos valores de pH afluyente (♦) e efluente (■).

A variação do valor de pH afluyente (entre 4 e 7,8), decorreu do decréscimo da adição de álcali. No entanto, devido ao processo anaeróbio, que gera alcalinidade a bicarbonato, o pH efluente ao reator manteve-se no intervalo descrito, com valor médio e desvio padrão indicados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Estatística básica: pH.

Análise estatística	pH	
	Afluyente	Efluente
Valores mínimos	4	7,2
Valores máximos	7,8	8,8
Média	5,81	8,14
Desvio padrão	1,09	0,31

Pela aplicação do teste de t-Student pode-se inferir que os valores de pH afluyente, devido à redução na dosagem de álcali, diferem de 7,2, média do pH dos primeiros 33 dias de operação. No período descrito anteriormente foi utilizado 1g NaHCO<sub>3</sub>/g DQO<sub>Afluyente</sub>, dosagem máxima de bicarbonato de sódio aplicada ao reator no trabalho.

A análise dos dados do pH efluente conduziu ao resultado inverso, uma vez que não houve diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) entre a média de todo período operacional (8,1) e os valores de pH efluente. A baixa variabilidade do pH efluente ao longo da operação, independente da variação do pH afluyente, está associada à capacidade de produção de alcalinidade a bicarbonato pelo sistema anaeróbio. Este mecanismo de auto regulação manteve-se eficiente mesmo com a diminuição da dosagem afluyente de álcali, como consequência da adaptação da biomassa ao substrato.

Na Tabela 2 está apresentada a síntese dos resultados obtidos durante os primeiros 200 dias do período operacional, com valores médios afluyente e efluente da concentração dos íons analisados. A utilização de vinhaças de diferentes fontes possivelmente justifica o elevado desvio padrão dos resultados obtidos no presente trabalho.

**Tabela 2. Concentração de íons afluente e efluente ao reator (mg/L).**

	Sulfato	Cloreto	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio
<b>Afluente</b>	784±234	801±291	2364±2259	48±58	1308±874	173±196	351±373
<b>Efluente</b>	180±78	693±665	1081±1068	81±46	573±504	116±235	60±66

Nota-se que com exceção do sulfato, removido biologicamente no sistema, os íons cloreto, magnésio, cálcio, potássio e, sobretudo sódio, também sofreram diminuição, provavelmente devido a fatores físicos como adsorção pela biomassa e sedimentação. Da comparação entre a caracterização das amostras de efluente e vinhaça afluente, ao longo do período operacional, notou-se que mesmo com elevada remoção de matéria orgânica não houve perda do potencial da vinhaça para fertirrigação.

De acordo com Pinto (1999) verificou-se que o lançamento da vinhaça tratada na lavoura é favorável, devido à superioridade, como fertilizante, em relação à vinhaça “in natura”: nitrogênio na forma mais disponível, pH na faixa de 6,5 a 7,0, e redução da matéria orgânica em 80%.

## CONCLUSÕES

O reator UASB apresentou desempenho estável, com valor médio de eficiência de remoção de DQO de 92±4,4%, para cargas aplicadas entre 0,7 e 4,85 KgDQO/m<sup>3</sup>.d. Independente dos valores de COV a variação do pH ocorreu apenas pela redução da introdução do bicarbonato de sódio no afluente.

Pode-se concluir que cargas aplicadas abaixo de 5 kgDQO/m<sup>3</sup>.d geraram as maiores eficiências de remoção de DQO durante o período operacional, o que indicou equilíbrio no processo anaeróbio de conversão da matéria orgânica.

Independente da condição submetida ao reator no trabalho, a degradação anaeróbia da vinhaça contribuiu para redução da matéria orgânica, assim como manutenção do pH próximo à neutralidade e redução da concentração de íons efluente. Tais fatores indicam modificação das características da vinhaça com potencial de diminuição do passivo gerado pela disposição in natura no solo e manutenção de sua capacidade como fertilizante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMBUIM, F.A. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. Recife: UFRPE, 1983, 133p. Dissertação Mestrado.
2. CAVALCANTI, P. F. F. (2003). Integrated Application of the UASB Reactor and Ponds for Domestic Sewage Treatment in Tropical Regions. PhD. Thesis. Wageningen, Wageningen University. 139.
3. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2013.
4. CORAZZA, R.I. (1996). Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas ‘mais limpas’ numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre disposição da vinhaça. 163f. Tese de Doutorado.
5. CORAZZA, R. I. (1999), Reflexões sobre o papel das políticas ambientais de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas ‘mais limpas’ numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça. Paper presented at III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Recife.
6. GUNKEL, G. et al. Sugar Cane Industry as a Source of Water Pollution – Case Study on the Situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. Water, Air, and Soil Pollution, v. 180, n. 1-4, p. 261–269.
7. LAIME, E.M.O., Fernandes, P.D., Oliveira, D.C.S., Freire, E.A., 2011. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. R. Trop. Ci. Agr. Biol. 5, 16–29.
8. LEITÃO, R. C. (2004). Robustness of UASB reactors treating sewage under tropical conditions. Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen University, the Netherlands.



9. LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposeqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.525-532, 2003.
10. PINTO, Cláudio Plaza. *Tecnologia da Digestão Anaeróbia da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 145p. Dissertação (Mestrado).
11. ROSSETO, A.J. (1987). Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. Campinas:Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.
12. SILVA, G.M.A., ORLANDO Filho, J. (1981). Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba, 3 (8), 5-22.
13. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 2005, 21th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA.