

6/03

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR / BAHIA / BRASIL

26 a 29 de agosto de 1986

TRATAMENTO DE VINHOTO POR OSMOSE INVERSA
ACOPLADA A FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

A.M.F. XAVIER¹, G.L. SANT'ANNA JR.² e A.C. HABERT²

(1) Universidade Federal de Uberlândia

(2) COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR / BAHIA / BRASIL

26 a 29 de agosto de 1986

TRATAMENTO DE VINHOTO POR OSMOSE INVERSA
ACOPLADA A FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

A.M.F. XAVIER¹, G.L. SANT'ANNA JR.² e A.C. HABERT²

- TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS -

(1) Universidade Federal de Uberlândia

(2) COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro

Universidade Federal de Uberlândia, C.P.593, CEP 38.400
Uberlândia - MG - Brasil

COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, C.P.68502
CEP 21.944 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR / BAHIA / BRASIL
26 a 29 de agosto de 1986

TRATAMENTO DE VINHOTO POR OSMOSE INVERSA
ACOPLADA A FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

RESUMO

Como contribuição à análise técnico-econômica das várias soluções propostas para o problema do vinhoto, este trabalho considerou a sua concentração por osmose inversa, utilizando-se módulos tubulares de membranas celulósicas com subsequente degradação do permeado em reator anaeróbio de fluxo ascendente. Os processos combinados revelaram uma remoção global da carga poluente original de 98% com teor de metano no biogás gerado de 65%, para o caso de uma concentração (em peso) de cinco vezes.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os esforços que o país realiza para reduzir, de alguma forma, a sua dependência de insumos energéticos, o Programa Nacional do Alcool - PROÁLCOOL, é o de maior porte e o único que traz a curto prazo, impacto sobre a oferta de energia no país.

O resíduo líquido do processo industrial de fabricação de álcool que mais tem preocupado é o vinhoto, pois se apresenta altamente poluidor dispensando atenção especial face aos grandes volumes produzidos, o que tem levado pesquisadores a procurar sua utilização econômica, tendo em vista a proteção do meio ambiente.

Várias soluções estão sendo propostas para se encontrar uma aplicação prática e/ou um tratamento adequado que minimize os efeitos deletérios produzidos pelo despejo do vinhoto "in natura" nos cursos d'água (1, 2, 3). A maioria das alternativas necessita de uma pré-concentração do vinhoto, sendo fundamental que esta etapa seja a mais econômica possível, principalmente do ponto de vista energético.

Neste estudo investigou-se a concentração de vinhoto misto pelo processo de osmose inversa utilizando uma unidade piloto de módulos tubulares de membranas de acetato de celulose em combinação com o tratamento anaeróbio do permeado em reator anaeróbio de fluxo ascendente (4).

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O vinhoto misto (2% de melaço) utilizado, proveniente de uma destilaria de cana-de-açúcar, foi conservado à temperatura de 5°C, durante toda a fase experimental. As características do vinhoto "in natura" estão indicadas no Quadro 1.

Demanda Química de Oxigênio	(g/l)	:	13,0 - 20,0
Sólidos Totais em Suspensão	(g/l)	:	0,6 - 1,3
Sólidos Voláteis em Suspensão	(g/l)	:	0,4 - 0,9
Densidade a 30°C	(g/cm ³)	:	1,0032
Acidez (como ácido acético)	(g/l)	:	1,7 - 2,4
pH		:	3,2 - 3,6

Quadro 1. Caracterização do Vinhoto "in natura"

Os testes de concentração foram conduzidos em uma unidade piloto, esquematizada na Fig. 1, utilizando-se módulos tubulares de membranas celulósicas comerciais (área total de 0,36 m²). As experiências foram desenvolvidas com a unidade operando em regime batelada a 30 ± 1°C e 4100 kPa, com recirculação contínua do concentrado.

Os módulos de membranas eram sempre compactados durante 30 horas com água filtrada e em seguida caracterizados quanto ao fluxo de água permeada e rejeição salina, antes do início dos testes de concentração com vinhoto. O fluxo médio de permeado foi determinado por gravimetria e a rejeição foi avaliada em termos de remoção da Demanda Química de Oxigênio (R_{DQO}) e condutividade (R_Y), pela equação:

$$R(\%) = \frac{C_{\text{carga}} - C_{\text{permeado}}}{C_{\text{carga}}} \times 100$$

O sistema de fermentação anaeróbia apresentado na Fig.2 era constituído de três reatores anaeróbios de fluxo ascendente, de

LEGENDA

- 1 - TANQUE DE ALIMENTAÇÃO
- 2 - TROCADOR DE CALOR
- 3 - COLETA DE PERMEADO
- 4 - FUNIL GRADUADO
- 5,6 - MANÔMETRO
- 7,11 - VÁLVULAS AGULHA
- 8 - ROTAMETRO
- 9 - BALANÇA
- 10 - VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO
- 12 - BOMBA
- 13 - MOTOR ELÉTRICO
- 14 - INTERRUPTOR
- 15 - MÓDULOS DE MEMBRANAS TUBULARES

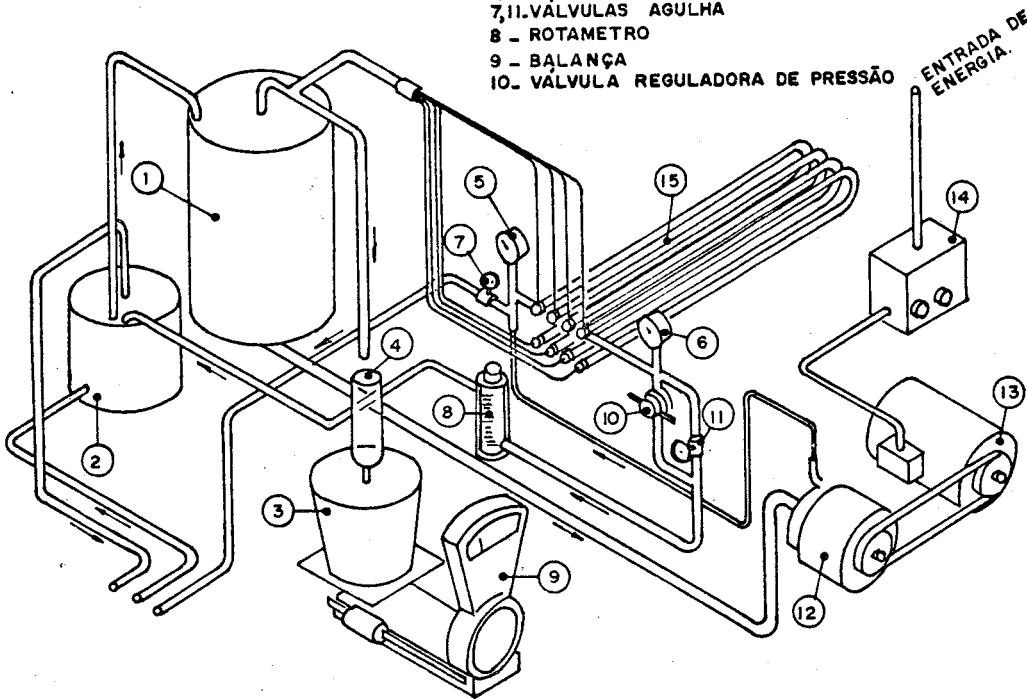


FIGURA 1 - UNIDADE DE OSMOSE INVERSA

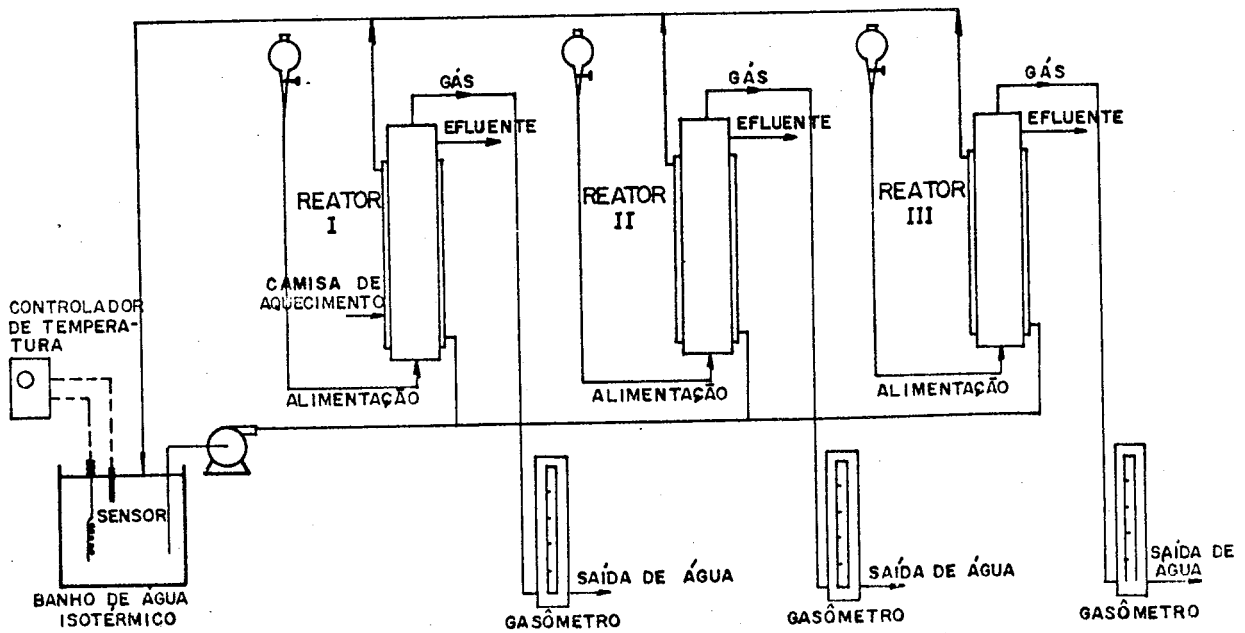


FIGURA 2 - SISTEMA DE FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

volume útil de 0,6 litros, com 6,0 cm de diâmetro por 35,0 cm de altura, operando em paralelo com alimentações distintas e simultâneas. Dois reatores foram operados com permeados de membranas de seletividades diferentes e um terceiro com vinhoto "in natura" para posterior comparação. Os dados do Quadro 2 indicam as características dos afluentes dos biodigestores.

	REATOR I	REATOR II	REATOR III
	Vinhoto "in natura"	Permeado RO-88	Permeado RO-95
pH	3,2 - 3,6	2,8 - 3,2	2,8 - 3,3
DQO (g/l)	13,0 - 20,0	1,5 - 3,0	3,5 - 5,5
Sólidos Totais(g/l)	0,6 - 1,3	0	0
Sólidos Voláteis(g/l)	0,4 - 0,9	0	0
Acidez (g ác.acético/l)	1,7 - 2,4	0,4 - 0,8	0,5 - 0,9

Quadro 2 - Características dos afluentes dos biodigestores.

Detalhes construtivos do reator biológico são mostrados na Figura 3. Os reatores foram operados de modo intermitente, devido às baixas vazões de trabalho, e a temperatura durante toda a fase experimental foi mantida a $35 \pm 1^\circ\text{C}$.

As principais variáveis operacionais estudadas foram a carga orgânica de poluentes aplicada ao reator e o tempo de retenção hidráulico, como pode ser observado no Quadro 3.

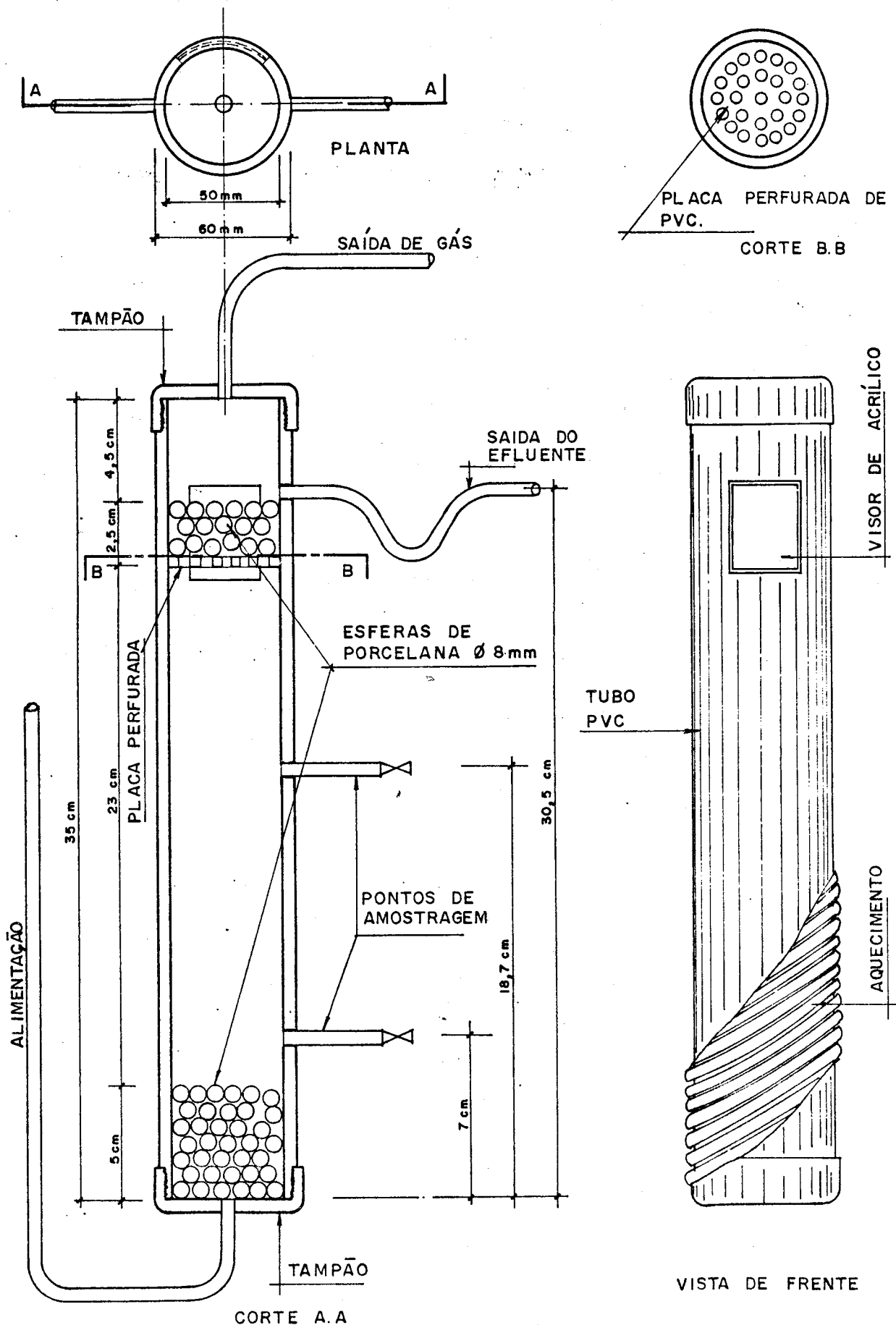


FIGURA 3 - REATOR ANAERÓBIO

REATOR	REGIME	CARGA ORGÂNICA (kgDQO/m ³ dia)	$\bar{\tau}$ (dias)	TEMPO DE OPERAÇÃO (dias)
I	1	1,85	10	22
II		0,25		
III		0,50		
I	2	3,25	6,0	35
II		0,40		
III		0,75		
I	3	5,00	3,5	45
II		0,55		
III		0,95		
I	4	6,40	2,5	55
II		1,10	2,0	
III		1,63	2,0	

Quadro 3. Condições de Operação dos Reatores.

O lodo biológico utilizado neste trabalho foi obtido de um digestor anaeróbio de uma estação de tratamento de esgotos e foi aclimatado a um rejeito composto de vinhoto e água em um reator anaeróbio batelada alimentado. Optou-se em trabalhar com um processo de aclimação lento (6 meses), para se obter um lodo de alta atividade. Terminado este período o lodo biológico foi transferido para os reatores. O pH dos afluentes foi ajustado para valores na faixa de 5,5 - 6,5, de acordo com o regime de operação, utilizando-se bicarbonato de sódio.

O desempenho dos reatores foi avaliado através da eficiência de remoção da carga poluente (DQO), produção e composição do biogás gerado.

A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada pelo método convencional ASTM-D1252, o teor de ácidos voláteis por

titulação direta, segundo o método de DILALLO e ALBERTSON (5), sólidos totais e voláteis por gravimetria. O volume de gás produzido foi medido, em gasômetro, por deslocamento de líquido, e sua composição foi analisada por cromatografia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Concentração do Vinhoto por Osmose Inversa

No estudo da concentração do vinhoto por osmose inversa foram testadas tres membranas denominadas RO-88, RO-95 e RO-96 de acordo com suas rejeições de cloreto de sódio, empregando-se solução de NaCl - 0,1% a 4100 kPa, a 30°C.

A influência da pressão no processo de concentração foi avaliada, mediante análise de tres condições diferentes. Os dados indicados no Quadro 4, mostram que a pressão de 4100 kPa é a mais conveniente (fluxos e rejeições de DQO maiores). Todos os valores registrados foram medidos em regime permanente e se referem a amostragens instantâneas, com o sistema operando com recirculação total do permeado e concentrado.

Alimentação	Pressão Operação (kPa)	Fluxo (ℓ/hm^2)	DQO (g/ ℓ)	γ ($\mu\text{mhos} \times 10^{-2}$)	R_{DQO} (%)	R_{γ} (%)
Vinhoto "in natura" DQO=15g/ ℓ $\gamma = 4200 \mu\text{mhos}$	2100	18,6	2,6	6,6	82,7	84,3
	3100	29,2	1,7	4,7	88,7	88,8
	4100	38,0	1,4	4,0	90,7	90,5
Vinhoto concentrado (5x) DQO = 55,6 g/ ℓ $\gamma = 10.200 \mu\text{mhos}$	2100	7,6	5,5	21,5	90,1	78,9
	3100	15,0	3,4	15,0	93,9	85,3
	4100	24,0	3,0	11,0	94,6	89,2

Quadro 4 - Efeito da Pressão de Operação no Desempenho da Membrana RO-88 ($T = 30 \pm 1^\circ\text{C}$).

A grande diferença observada entre o fluxo de permeado do vinho to "in natura" e concentrado (5x) para uma mesma pressão , demonstra a influência da pressão osmótica.

O resultado da osmose inversa do vinhoto pode ser examinado nas Fig. 5 e 6, onde a qualidade (em termos de DQO) e o fluxo volumétrico médio dos permeados obtidos são apresentados em função do grau de concentração (redução de peso). Das membranas testadas, a mais eficiente resultou a R0-88 (aparentemente a menos seletiva), conjugando a melhor combinação , fluxo de permeado e remoção de DQO.

O grau de concentração igual a cinco pareceu ser o mais indicado, em função da DQO do permeado obtido, já que uma concentração superior do vinhoto não parece ser muito recomendado devido ao decréscimo do fluxo de permeado. Selecionou-se então os permeados das membranas R0-88 e R0-95 , obtidos no referido grau de concentração (cinco) para o estudo da fermentação anaeróbia.

3.2. Digestão Anaeróbia

O principal objetivo do estudo da fermentação anaeróbia foi avaliar o desempenho do reator anaeróbio de fluxo ascendente (em termos de remoção de DQO), para o tratamento dos rejeitos considerados (permeados do processo de osmose inversa e vinhoto "in natura").

Os resultados finais estão sumarizados no Quadro 5 . Nos tres primeiros regimes, não se observou redução na eficiência de remoção com a carga orgânica, que se manteve em torno de 87%. Entretanto, no quarto regime ocorreu uma redução na eficiência ,

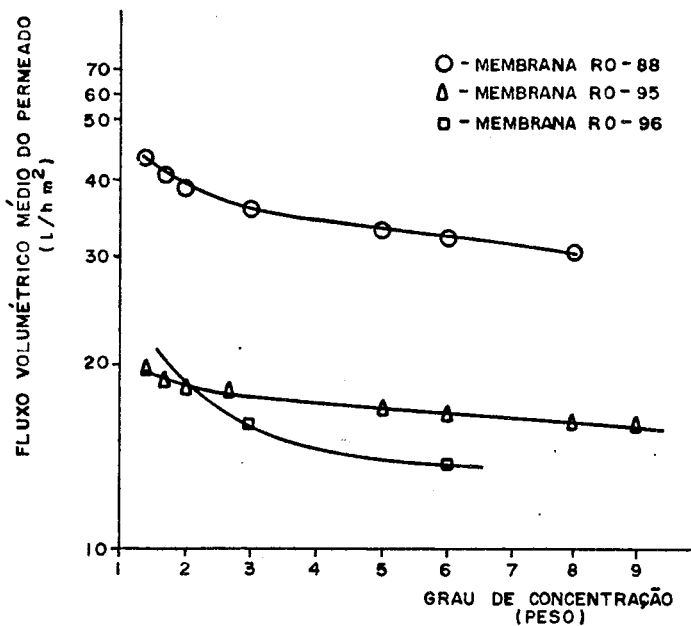


FIGURA 4 - INFLUÊNCIA DO GRAU DE CONCENTRAÇÃO DO VINHOTO NO FLUXO VOLUMÉTRICO MÉDIO DO PERMEADO
 P=4100 KP_a T=30°C

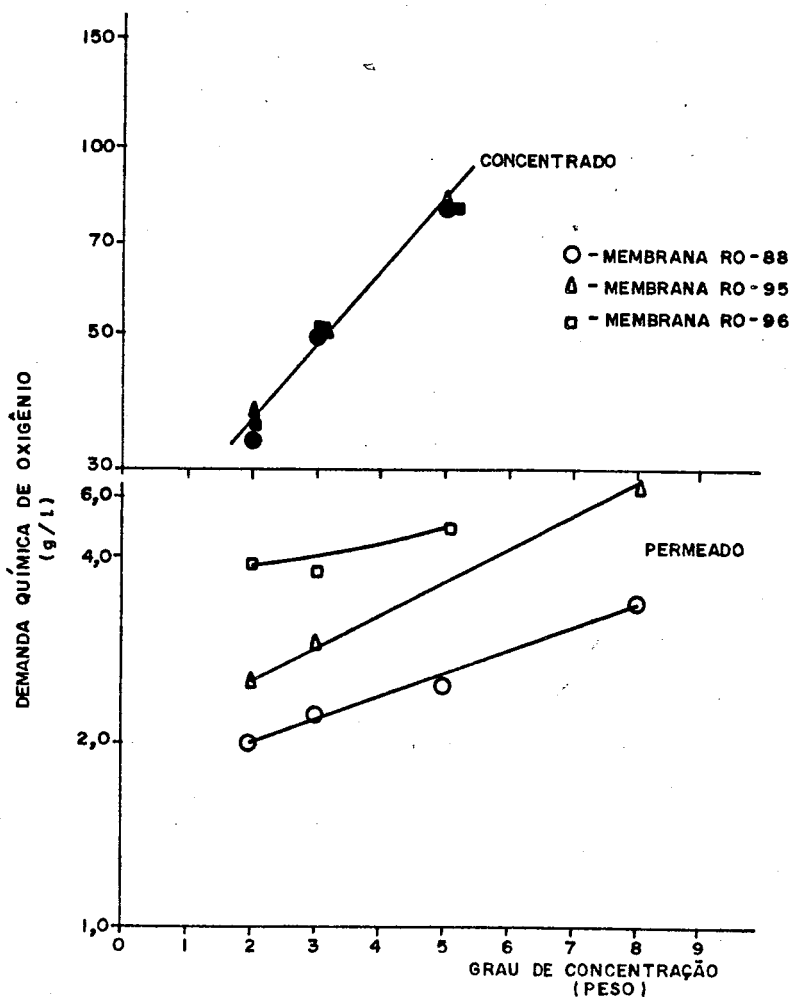


FIGURA 5 - INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO NA OSMOSE INVERSA DO VINHOTO. P=4100 KP_a E 30°C

REATOR	TEMPO DE RETENÇÃO HIDRAULICA (DIAS)	CARGA ORGÂNICA (Kg DQO/m ³ dia)	VAZÃO (l / DIA)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO DO AFLUENTE (g/l)	EFICIÊN- CIA DE REMOÇÃO DA DQO (%)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGÊNIO DO EFLUENTE (g/l)	PRODUÇÃO DE GÁS (l/DIA)	METANO NO GAS (%)	l GÁS PRODUZIDO gDQO REMOVIDA	l CH ₄ PRODUZIDO gDQO REMOVIDA
I	10	1,85	0,06	18,5	85	2,78	0,78	52	0,83	0,43
II		0,25	0,06	2,5	84	0,40	0,13	70	1,03	0,72
III		0,50	0,06	5,0	84	0,80	0,19	71	0,75	0,54
I	6	3,25	0,10	19,5	87	2,54	1,02	54	0,60	0,33
II		0,40	0,10	2,5	88	0,30	0,17	69	0,77	0,53
III		0,75	0,10	4,55	92	0,36	0,31	67	0,74	0,50
I	3,5	5,00	0,171	17,5	87	2,30	1,4	53	0,54	0,29
II		0,55	0,171	1,8	87	0,25	0,20	68	0,74	0,51
III		0,95	0,171	3,5	86	0,49	0,34	67	0,66	0,44
I	2,5	6,40	0,24	16,0	79	3,36	1,7	52	0,56	0,29
II	2,0	1,10	0,30	2,15	83	0,37	0,27	65	0,51	0,33
III	2,0	1,63	0,30	3,22	70	0,97	0,33	63	0,48	0,30

QUADRO 5 - RESULTADOS DO TRATAMENTO ANAERÓBIO

particularmente nos reatores I e III. Para contornar esta situação, optou-se por interromper a alimentação por quatro dias e ajustou-se o pH do afluente para 6,5. As eficiências alcançadas neste regime foram relativamente menores.

O teor de metano no biogás gerado nos reatores II e III foi sempre superior ao obtido no reator I, e isto provavelmente , pode ser atribuído à ausência de substâncias (removidas na Osmose Inversa) que atuam como inibidoras da fase metanogênica. Os gases produzidos eram compostos essencialmente de metano e CO_2 , sendo que traços de H_2S foram detectados apenas no reator I , que operava com vinhoto.

O tratamento anaeróbio em reator de fluxo ascendente se mostrou pouco sensível às oscilações da vazão de alimentação. Contornou-se as instabilidades no reator causadas por variações da carga orgânica, adotando-se dois procedimentos:

1. Aumento gradativo da vazão de alimentação, nos períodos de transição de regime;
2. Interrupção temporária da alimentação (curto período), sempre que se notava indícios de desequilíbrio no reator.

A interrupção do processo por alguns dias, não apresentou efeitos prejudiciais na eficiência do mesmo. Ao contrário , tinha o efeito de recuperação do digestor, já que favorecia o consumo de matéria orgânica e dos ácidos voláteis residuais.

3.3. Os Processos Combinados

Os resultados gerais obtidos para os processos combinados e a fermentação anaeróbia no tratamento de vinhoto, estão suma-

rizados no Quadro 6.

PARÂMETROS		VINHOTO "IN NATURA"	PERMEADO		EFLUENTE DO REATOR ANAERÓBIO		
			RO-88	RO-95	REATOR I	REATOR II	REATOR III
TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA(dias)		—	—	—	3,5	2,0	3,5
D Q O (g/l)		17,5	2,15	3,5	2,3	0,37	0,49
η* (%)	OSMOSE INVERSA	—	88,0	80,5	—	—	—
	TRATAMENTO ANAERÓBIO	—	—	—	86,8	83,0	86,0
	GLOBAL	—	—	—	86,8	98,0	97,2

(*) Eficiência de Remoção.

Quadro 6. Resultados Gerais

Pode ser observado que a combinação dos processos de osmose inversa e fermentação anaeróbia do vinhoto mostrou-se mais eficiente na remoção da carga poluente (98%), do que a obtida apenas com a biodigestão direta (87%). É importante ressaltar, que se todo o metano (CH_4) produzido na biodigestão for convertido em energia elétrica, a combinação dos dois processos resulta ser auto suficiente do ponto de vista energético (4).

4. CONCLUSÕES

A concentração de vinhoto por osmose inversa se mostrou eficiente tanto na depuração do mesmo, tendo em vista a proteção meio ambiente, quanto ao seu eventual aproveitamento (por ex.:

ração animal ou fertilizante) através do concentrado produzido.

O reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) apresentou resultados satisfatórios com eficiência média de remoção de 85 % (DQO). Por outro lado, estima-se que esse valor deve aumentar , se o reator for operado de modo contínuo.

A remoção global de 98% (DQO) obtida na combinação dos processos demonstra ser uma alternativa interessante, e indica que pode ser aplicada para outros efluentes aquosos.

5. AGRADECIMENTOS

A Rubens Espósito pela ajuda indispensável e ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia , pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HABERT, A.C. & NÓBREGA, R., Concentração de vinhoto por osmo se inversa; Parte I. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, vol. I, p. 710 , Belo Horizonte, 1980.
2. HABERT, A.C. & ÜLLER, A.C., Tratamento de vinhoto por eletrodiálise e osmose inversa. *Revista Brasileira de Engenharia Química*, 7:33-38 , 1983.
3. GUADALUPE, M.F., Tratamento sequencial de vinhoto em reatores de leito submerso anaeróbio e aeróbio. *Tese de Mestrado*, COPPE/UFRJ , Rio de Janeiro , 1985.
4. XAVIER, A.M.F., Tratamento de vinhoto por osmose inversa acoplada a fermentação anaeróbia. *Tese de Mestrado*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1985.
5. DiLALLO, R. & ALBERTSON, O.E., Volatile acid by direct tritiation. *J. of Water Pollution Control Federation*, 33 (4) : 346-365, 1961.