

II-251 - AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO VINHOTO UTILIZANDO O PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO

Luzia Sergina de França Neta⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestre e Doutora em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ. Profª do Departamento de Química - CEFET-MG.

Míriam Cristina Santos Amaral

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestre e Doutora em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da UFMG.

Gabriel Esteves Motta

Graduando em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Roberto Bentes de Carvalho

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Pará, Mestre e Doutor em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ. Diretor Comercial da PAM Membranas Seletivas Ltda.

Endereço⁽¹⁾: Av. Amazonas, 5253, Sala 401. Nova Suíça. Belo Horizonte. MG. 30.421-169. Brasil. Tel. + 55 (31) 3319-7151 - Fax: + 55 (31) 3319-7142 - e-mail: lsfranca@deii.cefetmg.br.

RESUMO

A indústria alcooleira no Brasil produz cerca de 13L de vinhoto para cada litro de álcool produzido. Por se apresentar como uma corrente altamente poluidora com elevados valores de DQO capazes de causar sérios danos ao meio ambiente, algumas pesquisas vem sendo realizadas com o intuito de avaliar novas rotas para o tratamento deste efluente. Este trabalho visa avaliar o uso de membranas de ultrafiltração para concentração do vinhoto, investigando tanto o comportamento operacional quanto as características analíticas do vinhoto concentrado.

PALAVRAS-CHAVE: Separação por membranas, módulos submersos, concentração de vinhoto.

INTRODUÇÃO

O vinhoto constitui-se como um dos grandes desafios para o crescimento das indústrias alcooleiras do Brasil. A geração desse resíduo atinge valores em torno 15 litros de vinhoto para um litro de etanol produzido (VAN HAANDEL, 2005). Além do grande volume de resíduo gerado, outro agravante está relacionado com o alto valor de DQO de aproximadamente 30.000 mg/L, sais e nutrientes. Entretanto, tanto a matéria orgânica quanto os sais minerais contidos no vinhoto podem ser recuperados, quer para uso direto, como fertilizante, por exemplo, ou sob forma de matéria-prima para outras aplicações como ração animal ou material para construção civil. Assim, seu aproveitamento racional, além de representar uma reciclagem de recursos naturais com valor agregado, permite atender com muito mais eficiência aos requisitos da legislação ambiental.

Uma forma de destino final desse material que vem sendo empregado no Brasil é na fertilização do próprio canal aproveitando os nutrientes contidos nesse resíduo ou infiltração do mesmo em uma área de 5% da área cultivada. Entretanto a simples disposição do vinhoto no solo e a utilização deste efluente na fertirrigação não satisfazem os critérios ambientais de conservação uma vez que pode ocorrer a acidificação e/ou desertificação do solo, contaminação do lenço freático, o aumento do processo de eutrofização de solos e das águas, a proliferação de insetos, dentre outros devido à elevada concentração de matéria orgânica, nutrientes e sais. Outro problema associado ao uso do vinhoto no solo é o seu transporte. O volume de vinhoto gerado é grande e a quantidade de água na composição do mesmo também é expressiva, o que dificulta o seu transporte para regiões mais distantes das usinas alcooleiras. Na literatura há diversos trabalhos demonstrando o alto valor do vinhoto como fertilizante, corretivo e condicionador do solo, porém persiste o problema de distribuir no canal um líquido quente, corrosivo e produzido em grandes quantidades durante a época de corte da cana (ORLANDO FILHO *et al.*, 1980).

Uma alternativa para viabilizar a aplicação do vinhoto no solo como fertilizante, condicionante ou corretivo é a concentração do mesmo. As vantagens da concentração do vinhoto visando sua aplicação ao solo estão relacionadas com a maior estabilidade do produto e a redução do volume a ser transportado, sendo este último fator responsável pela redução dos investimentos necessários ao transporte do produto, da destilaria à plantação (SIMÕES, 2004).

Diversos estudos vêm sendo realizados de forma a ter rotas de tratamento que permitam o aproveitamento de forma segura dos nutrientes e sais contidos no vinhoto. O uso de processo de separação por membranas de micro ou ultrafiltração apresenta-se como uma alternativa para concentração do vinhoto. Na micro ou ultrafiltração alia-se a concentração do vinhoto a recuperação da água que pode ser tratada e reutilizada na própria destilaria. Por se tratar de um setor com alta demanda de água, devido a sua utilização em quase todas as etapas do processo de produção, o reúso se apresenta como uma opção para garantir a sustentabilidade do setor.

Por se tratar de um processo que envolve a utilização de membranas em um processo de concentração, observa-se uma redução do fluxo permeado ao longo do tempo de filtração e essa redução deve-se ao aumento de concentração de material próximo a superfície da membrana. Esse fenômeno é inerente aos processos de separação por membranas e são caracterizados como polarização de concentração e formação de incrustações (BAKER, 2004)

O fenômeno da incrustação da membrana ainda é uma limitação ao crescimento do número de aplicações em larga escala destes sistemas, pois esta causa um significativo declínio do fluxo permeado, requer limpeza e substituição das membranas com frequência, acarretando em uma elevação do custo do processo de tratamento. Desta forma é necessária uma melhor compreensão do fenômeno de incrustação, bem como o desenvolvimento de configurações de módulos de permeação mais efetivos e o desenvolvimento de estratégias operacionais para se obter um maior controle operacional desses sistemas minimizando a ação do efeito da incrustação.

Os módulos de separação em sua configuração submersa apresentam-se como uma alternativa na melhoria do desempenho de filtração. Estes módulos possuem um sistema de aeração na sua base e as bolhas ascendentes apresentam uma ação cisalhante reduzindo a espessura da camada polarizada próximo à superfície da membrana. O desempenho do módulo submerso depende fundamentalmente da densidade de empacotamento do módulo, da configuração da aeração e do comprimento do módulo. A elevada densidade de empacotamento proporciona o acúmulo de material próximo à superfície da membrana elevando à resistência a filtração; a configuração inadequada da aeração poderá resultar em uma hidrodinâmica deficiente no interior proporcionando regiões de acúmulo de material que também resultará na resistência a filtração. O comprimento do módulo poderá contribuir para o aumento da bolha devido à coalescência das mesmas reduzindo o seu efeito cisalhante sobre a superfície da membrana.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso da ultrafiltração para a concentração do vinhoto, bem como investigar as condições operacionais para um novo módulo submerso, seguido da avaliação das características analíticas do permeado ao longo do processo de concentração. O permeado desse processo poderá ser encaminhado para um tratamento secundário apresentando uma menor carga.

METODOLOGIA

AMOSTRAGEM

O vinhoto tratado neste trabalho foi gentilmente cedido pela Usina Irmão Malosso localizada no município de Itápolis/SP. A usina Irmãos Malosso atualmente produz uma média de 42.000 m³ de álcool hidratado.

MEMBRANAS NA FORMA DE FIBRA OCA

Para a realização dos testes experimentais foram utilizadas membranas de ultrafiltração do tipo fibra ocas cedidas pela PAM Membranas Seletivas LTDA, localizada na cidade do Rio de Janeiro/RJ. As membranas de fibra oca eram compostas por poli (éter sulfona) e diâmetro de corte de 50KDa.

MÓDULO DE PERMEAÇÃO SUBMERSO

O módulo de permeação submerso foi confeccionado utilizando as membranas de ultrafiltração com retirada do permeado por sucção na parte superior do módulo e aeração na base do módulo. Na Tabela 1 são apresentadas as características do módulo de membrana submerso.

Tabela 1: Principais características dos módulos de membrana.

Características	Unidade	Descrição (Ultrafiltração)
Material	—	Poli (étersulfona)
Diâmetro da Fibra	mm	0,5-0,6
Diâmetro de Corte	kDa	50
Diâmetro Útil do Módulo	cm	9,78
Comprimento Útil do Módulo	cm	11
Área Efetiva de Filtração	m ²	0,2
Densidade de Empacotamento	m ² /m ³	500

SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO

Os testes de concentração do vinhoto foram realizados em um sistema (Figura 1) contendo uma bomba para sucção do permeado, um rotâmetro para determinação da vazão do permeado, manômetro para determinação da pressão de sucção do permeado e rotâmetro para controle da vazão de aeração.

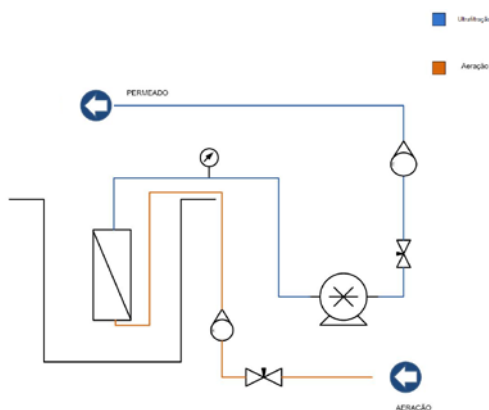


Figura 1: Sistema de ultrafiltração.

AValiação DOS PARÂMETROS PARA CONCENTRAÇÃO DO VINHOTO

Os parâmetros avaliados durante o processo de concentração do vinhoto foram: o fluxo permeado em função do tempo de concentração, a DQO em função do tempo de concentração, avaliação do concentrado e permeado em termos de DQO e sólidos totais, as análises foram realizadas de acordo com recomendação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RECUPERAÇÃO

O vinhoto foi submetido ao teste de concentração mediante as seguintes condições operacionais: pressão de sucção de 0,4 bar e vazão de aeração na base do módulo de 0,2 Nm³/h. O processo de concentração foi realizado em batelada alimentada com reposição de vinhoto equivalente ao volume de permeado retirado. Durante a concentração do vinhoto o fluxo de permeado e qualidade do permeado em termos de DQO foram monitorados.

RESULTADOS OBTIDOS

CARACTERIZAÇÃO DO VINHOTO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização físico-química do vinhoto. Verifica-se que o vinhoto apresenta elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO e elevada coloração. A baixa concentração de DBO em relação à concentração de DQO provavelmente se deve ao fato de que a análise de DBO foi realizada sem a adição de inóculo. Em relação à concentração de sólidos, observou-se que o vinhoto apresenta elevada concentração de sólidos totais, principalmente na forma de sólidos voláteis e a grande parte se encontra dissolvido, uma vez que a concentração de sólidos suspensos corresponde a apenas 29, 7 e 33% dos sólidos totais, totais fixos e totais voláteis respectivamente. Dessa forma, torna-se apropriado o tratamento do mesmo pelo sistema propostoultrafiltração para remoção do sólido em suspensão.

Tabela 2: Características físico-químicas do vinhoto.

Parâmetros	Unidade	Vinhoto Bruto
DQO	mg/L	27.138
DBO ₅	mg/L	6450
pH	-	3,8-4,1
Cor	uC	9968
SST	g/L	5,76
SSF	g/L	0,22
SSV	g/L	5,54
ST	g/L	20,15
STF	g/L	3,35
STV	g/L	16,79
Nitrogênio total	mg/L	114
Fósforo	mg/L	158
Condutividade	mS/cm	4,26

AValiação DA CONCENTRAÇÃO DO VINHOTO POR ULTRAFILTRAÇÃO

Para avaliar o real benefício da aeração entre as fibras, foi realizado um ensaio sem o emprego da mesma. A aeração neste caso foi realizada apenas no tanque de membrana empregando um difusor na forma de pente no fundo do tanque de membrana, conforme é empregado nos sistemas convencionais de módulos submersos. Na Figura 3 é apresentado o perfil de permeabilidade hidráulica operacional com e sem o emprego de aeração entre as fibras.

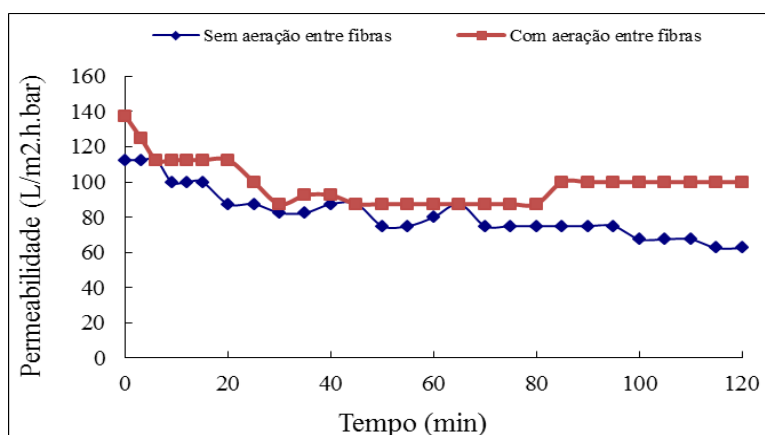


Figura 3: Perfil da permeabilidade hidráulica operacional com e sem o emprego da aeração entre as fibras ($p = -0,4$ bar, $T = 25^{\circ}\text{C}$ e área de membrana = $0,2\text{ m}^2$).

Observa-se a redução crescente da permeabilidade da membrana durante a operação sem aeração das fibras devido a maior incrustação da membrana durante a operação. Desta forma fica evidente o benefício do emprego da aeração entre as fibras. Vale ressaltar que não há gasto adicional de energia para a aeração entre as fibras, uma vez que a mesma vazão de ar empregada nos sistemas convencionais é deslocada para a aeração pontual

no módulo. Nas figuras 4 e 5 são apresentados os valores de DQO e sólidos respectivamente da alimentação, permeado e concentrado obtidos na ultrafiltração do efluente com e sem uso de aeração entre as fibras.

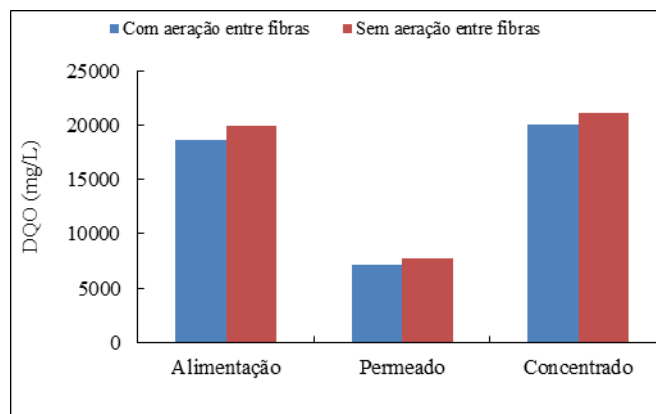


Figura 4: Valores da DQO da alimentação, permeado e concentrado obtidos na ultrafiltração com e sem emprego de aeração entre as fibras.

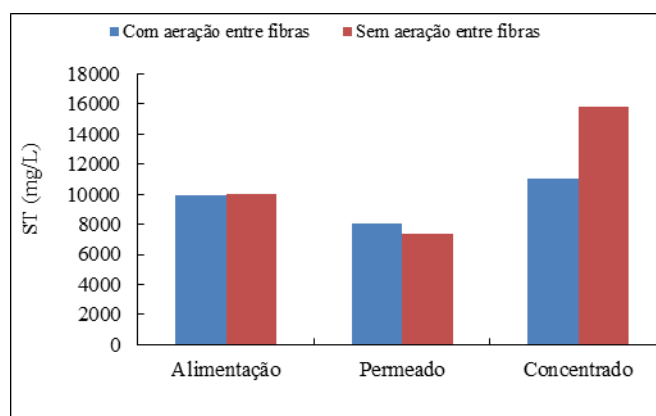


Figura 5: Valores da concentração de sólidos totais da alimentação, permeado e concentrado obtidos na ultrafiltração com e sem emprego de aeração entre as fibras.

Observa-se que não há diferença significativa nos valores de DQO da alimentação, permeado e concentrado obtidos na ultrafiltração do efluente com e sem uso de aeração entre as fibras. Em relação à concentração de sólidos, observa-se que o emprego de aeração entre as fibras resultou no aumento de sólidos totais e voláteis no concentrado e redução dos mesmos no permeado, provavelmente devido maior formação de torta na superfície da membrana (incrustação) resultando em uma maior retenção dos mesmos. Novamente, em termos de produção de permeado a operação com aeração entre as fibras apresentou melhor desempenho, entretanto em termos de qualidade das frações produzidas (permeado e concentrado) é necessário a identificação de seus possíveis constituintes para determinar em qual fração é de maior interesse de se ter estes constituintes. O resultado da caracterização do vinhoto bruto, concentrado e do permeado são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Características do vinhoto bruto, concentrado e do permeado da UF.

Parâmetros	Valores
DQO alimentação (mg/L)	39.755
DQO permeado (mg/L)	14.055
DQO do concentrado (mg/L)	69.781
ST alimentação (mg/L)	20
ST permeado (mg/L)	13,2
ST concentrado (mg/L)	49,9
STF alimentação (mg/L)	3,3
STF permeado (mg/L)	3,9
STF concentrado (mg/L)	4,5
STV alimentação (mg/L)	16,7
STV permeado (mg/L)	9,3
STV concentrado (mg/L)	45,5
Pressão de operação (bar)	0,4

Os resultados obtidos durante o processo de concentração do vinhoto utilizando o processo de ultrafiltração apresentaram-se extremamente promissores. Observa-se uma concentração de 175 e 250 % em termos de DQO e sólidos respectivamente. A redução acentuada da carga orgânica do permeado contribuirá para uma eficiência do processo que dará sequência ao tratamento do vinhoto, elevando dessa forma o grau de remoção possibilitando o reúso da água. Na continuação de estudo será avaliado o potencial do concentrado obtido como fertilizante.

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RECUPERAÇÃO

O processo de concentração se deu em batelada alimentada até a obtenção do volume final de concentrado de 2L, partindo de um volume de efluente de 26 L, apresentando dessa forma um grau de concentração de 93%. O vinhoto concentrado apresentou uma colocação amarelo claro e isento de sólidos como mostra a Figura 6. Na figura 7 é apresentado o perfil de fluxo de permeado durante a concentração do vinhoto.

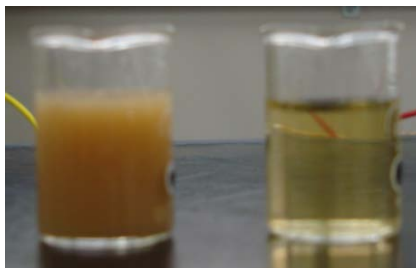


Figura 6: Vinhoto bruto e após ultrafiltração.

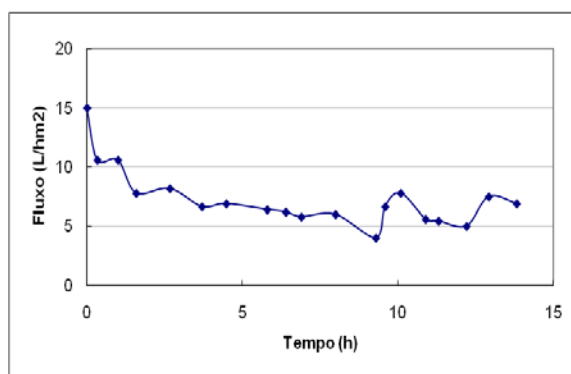


Figura 7: Comportamento do fluxo em função do tempo durante o processo de concentração do vinhoto.

O fluxo permeado apresentou uma redução de 53% quando comparado ao valor de fluxo inicial nos primeiros minutos de filtração, comportamento característico da polarização de concentração. O fluxo permeado ao longo do tempo de concentração apresentou valores estáveis em torno de 7 L/hm², evidenciando que o novo sistema de aeração apresentou-se de forma eficiente mantendo a espessura da camada de material constante na superfície da membrana mesmo com o aumento da concentração da alimentação. Durante o processo de concentração a permeabilidade média das membranas de ultrafiltração foi de 20 L/h.m².bar. Finalizado o processo de concentração as membranas foram submetidas a um processo de limpeza em peróxido de hidrogênio a 0,5% recuperando a permeabilidade inicial das membranas. A recuperação da permeabilidade inicial caracteriza que a incrustação sofrida pela membrana durante o processo de concentração é reversível e que as mesmas poderão ser reutilizadas após processo de limpeza.

Durante o processo de concentração do vinhoto alíquotas do permeado foram monitoradas com o objetivo de observar se ocorreriam mudanças na concentração dessa variável ao longo do processamento do vinhoto. A Figura 8 apresenta os valores de DQO obtido para o permeado ultrafiltrado ao longo de todo o processo de concentração.

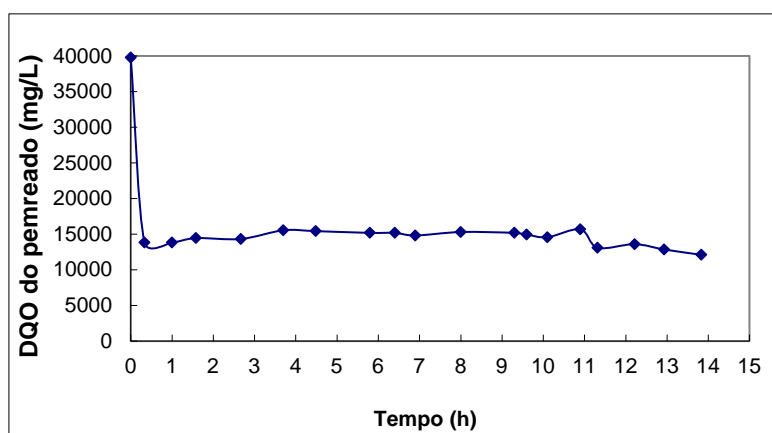


Figura 8: Perfil da concentração de DQO durante a concentração do vinhoto.

De acordo com o resultado obtido observa-se que a DQO do permeado permanece constante ao longo de todo o processo de concentração do vinhoto. Este fato pode estar relacionado ao novo sistema de aeração das fibras que favorece a formação de uma camada de material com espessura constante ao longo de todo o processo evitando que haja passagem de constituintes responsáveis pelo aumento da DQO do permeado de forma difusiva, apresentando uma remoção de DQO de aproximadamente de 60%. Este permeado poderá ser direcionado para um tratamento secundário visando o reúso deste efluente.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante o processo de concentração do vinhoto utilizando o processo de ultrafiltração apresentaram-se extremamente promissores não só em termos operacionais do sistema quanto em termos de remoção da DQO inicial quando comparado ao do permeado ultrafiltrado. Obteve-se uma concentração de 175 e 250 % em termos de DQO e sólidos respectivamente com um grau de recuperação de 91,3 %, viabilizando dessa forma o uso do processo de ultrafiltração para concentração do vinhoto. A redução acentuada da carga orgânica contribuirá para uma eficiência do processo que dará sequência ao tratamento do vinhoto, elevando dessa forma o grau de remoção, possibilitando o reúso da água.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela concessão de recursos e bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 APHA Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.
- 2 BAKER, R. W. Membrane Technology and Applications. Second Edition. John Wiley & Sons, 2004. ISBN: 0-470-85445-6.
- 3 ORLANDO FILHO, J.; SOUSA, I.C. & ZAMBELLO JR, E. (1980) - Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: economicidade do sistema caminhões-tanque, Boletim técnico PLANALSUCAR, Piracicaba, 2 (5).
- 4 SIMÕES, C.L.N.; SENA, M.E.R.; CAMPOS, R. Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Florianópolis, SC, Brasil, 2004.
- 5 VAN HAANDEL, A. C. Integrated energy production and reduction of the environmental impact at alcohol distillery plants. Water Science and Technology. v. 52(1-2), p. 49-57, 2005.