

II-217 – CONJUGAÇÃO DE COAGULAÇÃO / FLOCULAÇÃO MICROFILTRAÇÃO E NANOFILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO DO VINHOTO

Tatiane de Paula Basílio Furtado ⁽¹⁾

Bióloga pelo Centro Universitário Izabela Hendrix (IZH- MG).

Paula Rocha da Costa ⁽¹⁾

Técnica em Química formada pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET- MG).
Graduanda em Biomedicina pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Hebert Vinicius Pereira ⁽¹⁾

Bacharel em química tecnológica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. (CEFET- MG).
Mestrando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Miriam Cristina Santos Amaral ⁽¹⁾

Engenheira química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutora em Meio Ambiente pelo
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Professora adjunta do
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG.

Wadson Luciano Pires ⁽¹⁾

Técnico em Química Industrial pela Fundação de Ensino de Contagem (FUNEC). Estudante de Bacharel em
Química Tecnológica pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 - Escola de Engenharia - Bloco 1 - Sala 4540 - Belo Horizonte - MG -
CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: +55 (31) 34093645 - Fax: +55 (31) 34091879 -. e-mail:
tatianepaulaa@yahoo.com.br

RESUMO

O vinhoto é um efluente de destilaria que apresenta um grande problema ambiental devido a suas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes. Uma alternativa de destino final para esse resíduo seria utilizá-lo em processos de fertirrigação do próprio canavial, aproveitando assim todos os seus nutrientes. O uso da tecnologia de membranas conjugados com processos de Coagulação/ Floculação apresenta uma boa alternativa para concentrar o vinhoto com auxílio de coagulantes naturais como exemplo o Tanino sendo assim possível reutilizar a água na indústria da cana e utilizar o concentrado como fertilizante nas lavouras. Entretanto o fenômeno da incrustação da membrana ainda é uma limitação, pois é preciso aumentar a pressão para manter a produtividade, e com isso há um o maior custo operacional. Neste sentido o objetivo do trabalho foi analisar duas rotas de tratamento do vinhoto empregando processos de separação por membranas, enfoco a qualidade dos permeados gerados e potenciais de reutilização dos mesmos. Os parâmetros de DQO, COT e Cor foram analisados com o objetivo de avaliar a remoção dos poluentes. Os resultados mostraram que a remoção dos parâmetros analisados foi semelhantes para as duas rotas atingindo valores praticamente de 100% na remoção de cor e acima de 95% na remoção de DQO e COT.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento, Vinhoto, Microfiltração/ Nanofiltração, Coagulação / Floculação, Tanino.

INTRODUÇÃO

A vinhaça subproduto do processo de fermentação do caldo de cana-de-açúcar para fabricação de álcool é caracterizada como um efluente de destilarias com alto poder poluente por suas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, baixo pH e elevada cor. (Cabello et al., 2009). Além da elevada concentração de contaminantes, destaca-se também o elevado volume de vinhaça que é gerado para produção de 1 litro de álcool gera de 8 a 15 litros de vinhaça a eliminação desse resíduo é um grande problema ambiental. (Mohana et al. 2008),

Uma forma de destino final desse material que vem sendo empregado no Brasil é na fertilização do próprio canavial aproveitando os nutrientes contidos nesse resíduo ou infiltração do mesmo em uma área de 5% da aérea 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 canavial 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). O uso de processo de separação por membranas apresenta-se como uma alternativa para concentração do vinhoto.

O uso da tecnologia de membranas para o tratamento de águas residuárias vem tornando-se cada vez mais atrativo principalmente com o aumento da demanda pelo reuso, tendo como principal vantagem a concentração e/ou separação de soluções, sem alterar o estado físico ou a necessidade de utilização de produtos químicos. Dentre os processos de separação de membranas, empregados no tratamento de águas residuárias, estão: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI) e eletro diálise (ED). A microfiltração e a ultrafiltração são processos que apresentam potencial para concentração do vinhoto, gerando uma corrente de concentrado, com potencial de uso na fertirrigação, e de permeado que pode ser tratado, como por exemplo, por nanofiltração para geração de água de reuso. Entretanto 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.

Uma alternativa para minimizar a incrustação das membranas é a associação de processos, como por exemplo, coagulação/floculação e membranas. O processo de coagulação/floculação baseia-se na desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas carregadas negativamente pela adição de um agente coagulante promovendo a formação de flocos.

O aumento do tamanho dos colóides presentes no efluente aumenta a porosidade da torta formada na superfície da membrana, reduzindo a resistência da mesma. Esse processo é muito utilizado no tratamento de água para consumo, (Özacar Sengil, 2003 e Bhuptawat *et al.*, 2006), mas também é usado no tratamento de efluentes. Coagulantes naturais como o tanino e moringa, estão sendo utilizados no tratamento de água residuárias. Estes coagulantes naturais têm um baixo custo já que utilizam reagentes que podem ser extraídos de plantas com um custo mínimo, formando lodos biodegradáveis, eliminando assim o risco de contaminação ambiental. (Özacar e Sengil, 2003).

Desta forma o objetivo do trabalho foi analisar duas rotas de tratamento de vinhoto empregando processos de separação por membranas, enfoco na qualidade dos permeados gerados e potenciais de reutilização dos mesmos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o vinhoto utilizado neste experimento foi concedido pela Usina Irmãos Malosso (Itápolis – SP). Com objetivo de analisar o efeito do pré-tratamento por coagulação/floculação anteriormente a microfiltração para tratamento do vinhoto, realizaram-se duas rotas diferentes afim de comparação. Na rota 1, o efluente bruto é direcionado para a microfiltração sem pré-tratamento e o permeado da microfiltração alimenta a nanofiltração, conforme mostra a figura 1.

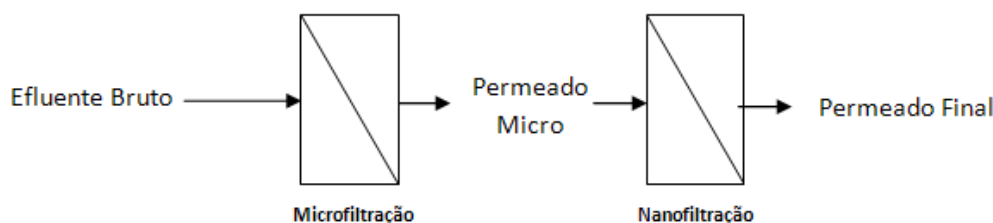


Figura 1 – Tratamento do Vinhoto – Rota 1

Na rota 2, o efluente é pré-tratado através da coagulação/floculação com tanino, e posteriormente é direcionado a microfiltração. O permeado da microfiltração é tratado por Nanofiltração conforme representado pela figura 2.

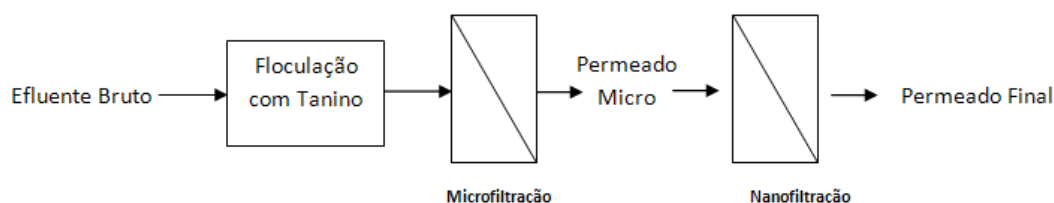


Figura 2- Tratamento do Vinhoto – Rota 1

O efluente bruto foi inicialmente caracterizado pelos parâmetros de pH, COT, DQO, Cor.

Para a etapa de microfiltração, foi utilizada membrana de PVDF de fibra oca. O módulo utilizado apresentava área de 0,04m². A pressão aplicada ao sistema era de -0,2 bar. O volume inicial de efluente foi de 4 litros. Após a coleta de 3,2 L de permeado, correspondente a uma taxa de recuperação de 80%, a microfiltração foi interrompida. O permeado da microfiltração e concentrado foi caracterizado quanto a pH, COT, DQO, Cor.

A nanofiltração foi realizada a partir do permeado da microfiltração. O volume de alimentação inicial foi de 2L. A área da membrana de nanofiltração foi de 0,0075m². A pressão aplicada ao sistema foi de 10 bar e a vazão de alimentação 2,4L/min. O permeado da nanofiltração (P-NF1) também foi caracterizado quanto a pH, COT, DQO, Cor. Abaixo fotografias das membranas e unidades de microfiltração e Nanofiltração utilizadas nos testes.

Na tabela 1 são apresentadas as características das membranas de Microfiltração e Nanofiltração

Tabela 1 – Características das Membranas de MF e NF utilizadas

Características	MF	NF	Unidade
Área de Membrana	0,04	0,00064	m ²
Densidade de empacotamento	500	300	m ² /m ³
Diâmetro do modulo/célula de nanofiltração	5,5	9,8	Cm
Número de fibras	177	—	—
Comprimento útil da fibra	7,2	—	cm
Diâmetro da fibra	0,1	—	cm

Foi realizado um ensaio preliminar para determinar a concentração ótima de tanino para o processo de coagulação/floculação do vinhoto. Para tanto foram testadas as concentrações de 0,5, 1, 2, 4, 6 e 8 mg/L de tanino. O processo de floculação foi realizado utilizando um Jar Test com agitação de 100rpm. Adicionou-se a quantidade correspondente de floculante após 2 minutos a rotação foi reduzida a 40rpm por mais 10 minutos, e posteriormente á 10rpm por mais 10 minutos. Após esse processo, foram retiradas alíquotas de cada condição para análise de granulometria e cor.

Após determinada a melhor concentração de floculante, foi realizada a rota 2 de tratamento do vinhoto. Foi recolhida uma alíquota do sobrenadante (P/CF2) para caracterização do efluente. Posteriormente a etapa de floculação, iniciou-se a permeação com modulo de microfiltração, seguida de nanofiltração, seguindo a mesma metodologia descrita para a rota 1.

1. RESULTADOS

1.1. Caracterização físico-química do vinhoto

Como observado na tabela 2. O vinhoto de um modo geral na sua composição apresenta vários nutrientes, em específico o potássio principal nutriente mineral como fonte de fertilizante sendo assim a aplicação de vinhoto em doses apropriadas pode oferecer uma série de benefícios, como: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, facilitando a absorção do nitrogênio e melhorando as condições totais de produção do solo. (Cabello *et al.*, 2009). No entanto, a adição de doses elevadas de vinhaça ao solo pode ocasionar um enriquecimento excessivo de sais, o que pode acarretar lixiviação de íons para águas subterrâneas (Glória & Orlando Filho, 1984).

Segundo Medeiros *et al* (2003), o vinhoto bruto apresenta alto teor de nutrientes como N, P e K, o que acorda uma grande importância para seu aproveitamento como fertilizante, quando aplicado adequadamente cerca de 150 m³/há, a vinhaça equivale a uma adubação de 61 kg/ha de nitrogênio, 40 kg/ha de fósforo, 343 kg/ha de Potássio, 108 kg/há de Cálcio e 80 kg/ha de enxofre, assim podendo ser aproveitado na fertirrigação, ou seja, o fertilizante adicionado na água de irrigação, fornecendo nutrientes ao solo, elevando a acidez, evitando erosões, pois aumenta o porcentual de infiltração, elevando a capacidade do solo de reter água e formar agregados (Paulino *et al.*, 2011).

Tabela 2 - Caracterização física- química do Vinhoto

Parâmetros	Unidade	Vinhoto Bruto
DQO	mg/L	39.755
Cor	uC	18.407
pH	-	4
Condutividade	µS/cm	3.733
SST	mg/L	13.678
SVT	mg/L	11.156
SFT	mg/L	2.522
Nitrogênio	mg/L	81
Fosfato	mg/L	158
Potássio	mg/L	1.665
Cloreto	mg/L	394
Cálcio	mg/L	315

Segundo Medeiros *et al* (2003), o vinhoto bruto apresenta alto teor de nutrientes como N, P e K, o que acorda uma grande importância para seu aproveitamento como fertilizante, quando aplicado adequadamente cerca de 150 m³/há, a vinhaça equivale a uma adubação de 61 kg/ha de nitrogênio, 40 kg/ha de fósforo, 343 kg/ha de Potássio, 108 kg/há de Cálcio e 80 kg/ha de enxofre, assim podendo ser aproveitado na fertirrigação, ou seja, o fertilizante adicionado na água de irrigação, fornecendo nutrientes ao solo, elevando a acidez, evitando erosões, pois aumenta o percentual de infiltração, elevando a capacidade do solo de reter água e formar agregados (Paulino *et al.*, 2011).

1.2. Determinação da concentração ótima de tanino

A seguir a tabela 3 mostra os resultados obtidos dos testes preliminares para determinação da concentração ótima de tanino.

Tabela 3 – Resultados dos testes preliminares para determinação da concentração ótima de tanino.

Concentração de Flocculante	Tamanho Médio de Partícula (µm)	DQO (mg/L)
<i>Amostra Bruta</i>	7,14	29510
0,5 mg/L	11,05	13054,2
1.0 mg/L	14,8	12637,5
2.0 mg/L	10,91	11804,2
4.0 mg/L	13,43	11387,5
6.0 mg/L	20,31	12637,5
8.0 mg/L	24,36	10970,8

Concentração de Floculante	Tamanho Médio de Partícula (µm)	Cor (mg/L)	DQO (mg/L)
<i>Amostra Bruta</i>	7,14	465,7	29510,4
0,5g/L	11,05	250,0	16804,2
1.g/L	14,8	77,81	16804,2
2,g/L	10,91	5972	15970,8
4.g/L	13,43	15070	32637,5
6.g/L	20,31	5820	18470,8
8.g/L	24,36	12663	17637,5

De acordo com os resultados apresentados, a concentração de 8g/L de tanino apresentou a melhor condição uma vez que teve um aumento no tamanho dos flocos. Além disso, essa concentração apresentou a maior redução de DQO.

1.3. Comparação das Rotas 1 e 2

Os resultados das análises de pH, COT, DQO e Cor do vinhoto bruto, permeado da microfiltração da rota 1 e 2 (C-MF1 e CM-F2), permeado da microfiltração da rota 1e 2 (P-MF1e P-MF2), concentrado da nanofiltração da rota 1e 2 (C-NF1e C-NF2) permeado da nanofiltração da rota 1 e 2 (P-NF1 e P-NF2), e sobrenadante do efluente após a floculação (P/CF2), estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização físico-química do vinhoto bruto, permeado e concentrado da MF e NF.

Parâmetros		pH	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	Cor (H)
Vinhoto Bruto		4,2	4181	29510	46577
Rota 1	P-MF1	4,2	3713	12637	2340
	C-MFI	4,2	8461	37843	-
	P-NF1	4,5	104	168	0,6
	C-NF1	3,9	-	11804	-
	Remoção MF (%)	-	11,1	57,1	99,9
	Remoção NF (%)	-	97,1	98,6	99,9
	Remoção global (%)	-	97,5	99,4	99,9
Rota 2	P-C/F2	4	3070	17637	12663
	P-MF2	4	2895	9304	166
	C-MF2	4	1308	39927	-
	P-NF2	3,8	130	137	4
	C-NF2	3	-	10970,8	-
	Remoção MF (%)	-	30,7	68,4	99,6
	Remoção NF (%)	-	95,5	98,5	97,6
	Remoção global (%)	-	96,8	99,5	99,9

Na rota 1 nota-se que a microfiltração empregada na rota 1 apresentou remoção de matéria orgânica para COT de 11,1%, DQO 57,1 % e para o parâmetro de cor 99,9 %. Já a nanofiltração na rota 1 apresentou remoção de matéria orgânica para COT de 97,1%, DQO 98,6 % e para Cor 99,9%. Tendo assim uma remoção global em termos de COT de 97,5%, DQO 99,4 e uma eficiência de cor de 99,9%.

Observa-se que na rota 2 o permeado da microfiltração pós- coagulação com tanino alcançou uma remoção de matéria orgânica para COT de 30,7%, DQO 68,4% e para o parâmetro de Cor 99,6%. Já a NF apresentou remoção de matéria orgânica para COT de 95,5%, DQO 98,5% e para o parâmetro de Cor 97,6 %. A remoção global da rota 2 microfiltração/ Nanofiltração com tanino apresentou uma eficiência em (termos de COT e DQO) de 96% e uma eficiência também de quase 100%. Desta forma observa-se maior desempenho da rota 2 em comparação com a rota 1.

A seguir fotografia do efluente Bruto, concentrado final pré-tratado com o coagulante/ floculante tanino 8 g/L e permeado final da Microfiltração e Nanofiltração rota 2.



Fotografia 2- Vinhoto Bruto, Concentrado final pós- microfiltração 8g/L tanino, Permeado final Microfiltração rota 2, Permeado final Nanofiltração rota 2.

2.4 Incrustação da membrana

A tabela 4 apresenta os valores de permeabilidade hidráulica das membranas de MF e NF e os valores de fluxo de água e efluente das membranas de MF e NF.

Tabela 1 – Permeabilidade e fluxo das membranas de MF e NF¹

	Processo	$L_{p_a} (L/m^2 \cdot h \cdot bar)^2$	$J_a (L/m^2 \cdot h)^3$	$J_{ei} (L/m^2 \cdot h)^4$	$J_{e5} (L/m^2 \cdot h)$	J_{ef}/J_a	J_{ef}/J_{ei}
Rota 1	MF	343	94	25	7,6	0,26	0,30
	NF	5,3	65	25	24	0,38	0,96
Rota 2	MF	243	66	30	10	0,45	0,33
	NF	5,3	65	27	26,4	0,42	0,98

¹ Pressão de operação da MF = 0,2 bar; pressão de operação da NF = 10 bar; Vazão de recirculação na NF = 2,4 L/min.

² Permeabilidade hidráulica da membrana

³ Fluxo de permeado medido com água antes da permeação do efluente

⁴Fluxo de permeado medido com efluente no início do teste

⁵Fluxo de permeado medido com efluente com taxa de recuperação de 80% e 15% para microfiltração e nanofiltração respectivamente.

Os baixos valores observados para a relação Jei/Ja se devem à elevada concentração de sólidos suspensos e dissolvidos presente na amostra. Observa-se o elevado potencial de incrustação do vinhoto na microfiltração evidenciado pelos baixos valores da relação Jef/Jei. Os maiores valores observados para a relação Jef/Jei para nanofiltração se deve a contribuição do processo de microfiltração como pré-tratamento, que auxilia na minimização da incrustação na membrana de nanofiltração. Observa-se também a contribuição do coagulante tanino na redução da incrustação tanto para a membrana de microfiltração quanto para a membrana de nanofiltração.

2. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos constatar-se, que teve uma redução significativa de matéria orgânica de cor para ambas as rotas o que indica que o sistema de membranas é uma alternativa para proporcionar o reuso do vinhoto que é um efluente produzido em grande quantidade. O vinhoto é fonte de potássio e traz benefícios para o solo, porém quando é eliminado em doses inadequadas pode impactar os solos por conter elevadas concentrações de matérias orgânicas. Com a rota proposta o concentrado da microfiltração e nanofiltração pode ser utilizado como fertilizante e o permeado pode ser reutilizado no processo como água industrial. O uso do floculante como pré-tratamento do vinhoto contribuiu para redução da incrustação das membranas de microfiltração e nanofiltração, o que impacta diretamente no custo do processo, uma vez que com a incrustação da membrana é preciso aumentar a pressão para manter a produtividade, e com isso há um maior custo operacional. Nesse contexto, o uso do tanino como agente floculante para pré-tratamento do vinhoto no processo de separação por membrana deve ser mais bem estudado uma vez que, se é otimizado, pode tornar o processo mais eficiente e econômico.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARROS, Raphael T. V. *et al.* **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Escola de Engenharia da UFMG. 221P. 1995
2. BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S., 2007. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringaoleifera* seeds coagulants. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 142, No. 1-2, 477-482p.
3. CABELLO, Paulo Eduardo; SCOGNAMIGLIO, Felipe Petrassi; TERÁN, Francisco J. C.. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbico de leito fluidizado. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 6, p.321-338, Não é um mês válido! 2009. Quadrimestral. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewartic.php?Id=209>>. Acesso em: 21 abr. 2011.
4. GLÓRIA, N.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Álcool e Açúcar**, v.16, p.32- 39, 1984.
5. MEDEIROS, Sheila C. L. de **Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente**. III Fórum de Estudos Contábeis 2003.
6. MOHANA, S.; ACHARYA, B.; MADAMWAR, D.2008. Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 163, No. 1, 12-25p.
7. ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. Piracicaba. IAA\PLANALSUCAR, 1983.
8. ÖZACAR, M. and SENGIL, I. A., 2001. The use of tannin from Turkish acorns (*Valonia*) in water treatment as a coagulant and coagulant aid, *Turkish j. Eng.* Vol. 26, 255-263p.
9. ÖZACAR, M. and SENGIL, I. A., 2003. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal parts, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 229, No. 1-3, 85-96p.
10. PAULINO, J; ZOLIN, C. A; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II Características da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.3, p.244-249, 2011.