



AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO E ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DO ETANOL

Emmely Oliveira da Trindade¹; José Soares²; Hebert Henrique de Souza Lima³; Rênio Felix de Senna⁴; José Luiz Francisco Alves⁵,

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Química – emmelyquimica@gmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – josesoares@ct.ufpb.br

³ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – hebert_itm@hotmail.com

⁴ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – rennio@ct.ufpb.br

⁵ Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – zeluiz_alves@hotmail.com

RESUMO

No processo produtivo do etanol a vinhaça surge como um efluente. Para cada litro de etanol produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça, que é rica em matéria orgânica, possui baixo pH, elevada corrosividade e altos valores de DQO. Atualmente a vinhaça é utilizada na fertirrigação da cana-de-açúcar, porém grandes quantidades de vinhaça podem ter impactos severos no solo, nas águas superficiais e subterrâneas. Com a alta quantidade de vinhaça produzida o solo pode não absorver completamente, em tempos chuvosos essa vinhaça pode ser arrastada para rios próximos, causando sérios problemas ambientais. Este trabalho teve por objetivo avaliar o Processo de Coagulação no tratamento da vinhaça, através do uso de coagulantes como FeCl_3 , $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ e CaO , com intuito de tratar preliminarmente a vinhaça, em seguida foi feita uma etapa de polimento com carvão ativado. Os carvões ativados utilizados foram sintetizados a partir do bagaço da cana-de-açúcar, se tornando uma alternativa para aproveitar este excedente da indústria sucroalcooleira, promovendo sustentabilidade do setor. A vinhaça *in natura* foi caracterizada e foi avaliada a eficiência em termos de remoção de DQO, DBO, sólidos totais, cor e turbidez. Os resultados experimentais mostraram que os processos de coagulação/floculação e a etapa de adsorção com carvão ativado completou satisfatoriamente a purificação da vinhaça, produzindo eficiência de remoção superior a 90% para a DQO e 99% para cor e turbidez. A utilização do bagaço de cana-de-açúcar como precursor na produção de carvão ativado se mostrou bastante eficiente, além do baixo custo de produção.

Palavras-chave: Tratamento da vinhaça, coagulação, carvão ativado.

1. INTRODUÇÃO

Os efluentes líquidos oriundos de processos agroindustriais são compostos, exclusivamente, por matéria orgânica. Esse material é parcialmente removido

através dos processos de coagulação e floculação no tratamento primário de efluentes, e grande parte destes sólidos segue para as estações de tratamento biológico ocasionando sobrecargas e longos tempos de detenção. Nestes



processos, a remoção média de matéria orgânica corresponde a 60-65% [Tritt e Schuschardt, 1992].

Porém, com o aumento da eficiência do tratamento primário, principalmente com a otimização do processo de coagulação/floculação, através da utilização de coagulantes e coadjuvantes de coagulação com maiores poderes de remoção, uma maior quantidade de sólidos pode ser removida do afluente. Isto melhora o sistema de tratamento global, e uma maior quantidade de biomassa gerada pode ser utilizada como combustível, reduzindo custos energéticos, além de custos com destinação final, que também ocasiona sérios problemas ambientais [de Sena, 2009].

A vinhaça é uma água residuária complexa, as concentrações residuais podem atingir valores acima de 100g/L de matéria orgânica em termos de DQO (Demanda Química de Oxigênio) que é em média 200 vezes mais concentrada que o esgoto doméstico. A vinhaça é constituída de diversos componentes químicos como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, zinco, cobre e manganês, entre outros. Porém a quantidade de cada um em sua composição varia em função da natureza da matéria prima e operação dos aparelhos de destilação. Quase a metade de toda DQO presente na vinhaça é constituída de matéria orgânica biodegradável. Isso indica o potencial poluidor deste resíduo e uma possibilidade de tratamento para remoção desta parcela de contaminante presente neste efluente.

Com o intuito de remover e/ou diminuir as concentrações dos contaminantes presentes na vinhaça, principalmente a carga orgânica, surge a necessidade de se estudar alguns coagulantes que possibilitem a remoção de poluentes a fim de proporcionar alternativas seguras e viáveis de reuso.

Uma concepção básica dos processos de coagulação é a capacidade de transformar as impurezas em estado coloidal em flocos e após a transformação, removê-los. Neste trabalho serão utilizados os seguintes coagulantes: FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e CaO .

O carvão ativado é o método mais empregado na remoção de cor por adsorção. A eficiência de remoção depende do tipo de carvão utilizado e das características da água residuária. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico da produção de carvão ativado, busca-se minimizar a razão custo/benefício dos materiais. Neste contexto, se vem priorizar a obtenção desses adsorventes a partir de matérias-primas de baixo custo, originadas, sobretudo, de resíduos agrícolas e/ou de rejeitos industriais. São exemplos: o bagaço de cana-de-açúcar, endocarpo do coco seco, rejeitos de madeira, entre outros materiais carbonáceos. Neste trabalho foi utilizado o carvão obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar, devido sua participação na cadeia produtiva da indústria sucroenergética.

2. METODOLOGIA

A vinhaça utilizada foi adquirida em uma usina de açúcar e álcool. Após a coleta foi encaminhado ao laboratório, onde foram realizados os procedimentos. A vinhaça foi armazenada e mantida sob refrigeração à -4°C . As amostras de vinhaça coletadas foram analisadas e os parâmetros físico-químicos foram determinados com o standard Methods for the examination of Water and Wastewater [APHA,1995].

2.1 Processo de Coagulação

Foram preparadas soluções de hidróxido de sódio e ácido sulfúrico com concentração 1M e água destilada. Estas soluções foram usadas para ajustar o pH



das amostras de vinhaça. Os coagulantes utilizados foram FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e CaO .

Os ensaios foram realizados com a adição do coagulante em concentrações diferentes (5,10,15 g/l) até que fosse observado visualmente a formação de flocos. Como o objetivo é avaliar o processo de coagulação/floculação optou-se em trabalhar no pH ótimo de coagulação para cada tipo de coagulante.

2.2 Produção de carvão ativado

A matéria prima, no caso o bagaço de cana-de-açúcar (cedido pela usina JAPUNGU AGROINDUSTRIAL), foi inicialmente exposto ao sol, para eliminação da umidade. Logo após houve o peneiramento para retiradas das fibras menores. Em seguida o bagaço passou pelo tratamento ácido e logo após a impregnação utilizando como agente ativante o ácido fosfórico, H_3PO_4 , em uma chapa aquecida a 80°C , durante 40 minutos, sob agitação. A ativação física foi feita no forno elétrico rotativo sob diferentes temperaturas, com fluxo constante de vapor d'água e N_2 . Combinaram-se os dois métodos de ativação química e física para melhorar as características do carvão ativado. Em seguida foi feita a lavagem do carvão até pH 7 e baixa condutividade. Logo após o carvão é pulverizado, peneirado e levado para estufa e analisado através de porosímetro ASAP 2020. Foram feitas análises em relação aos parâmetros físicos- químicos (rendimento, análise térmica, área superficial, tamanho e volume dos poros).

2.3 Adsorção com carvão ativado

A vinhaça, após a coagulação/floculação e decantação, foi tratada com carvão ativado feito a partir do bagaço da cana de açúcar. Os carvões passaram algum tempo no dessecador, em seguida foram pesados 2g de carvão em cada erlermeyer e foram colocadas 100ml da

vinhaça após a coagulação/floculação e decantação. Logo após foram deixados no banho-maria com agitação e temperatura constante de 30°C . Em seguida foram analisados novamente os parâmetros: pH, sólidos suspensos totais (SST), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT) e turbidez.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da Vinhaça

Os parâmetros físico-químicos foram determinados de acordo com o STANDARD METHODS (APHA,1995). Os parâmetros utilizados foram: pH, SST, DQO, DBO, COT e turbidez. Os valores estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1-Parâmetros da vinhaça in natura.

Parâmetros	Vinhaça Bruta	
	Coleta 1	Coleta 2
pH	4,34	4,40
Sólidos totais (mg.L^{-1})	23.260	25.579
Turbidez (NTU)	>3000	>5000
DQO (mg/l)	46.752	48.698
COT (mg.L^{-1})	24.218	31.000
DBO(mg.L^{-1})	>21.000	>24.000

Observando os resultados apresentados na tabela acima pode-se perceber o alto teor de matéria orgânica presente neste efluente, o que evidencia a importância de um tratamento que seja eficaz para a remoção da matéria orgânica, com o intuito de fazer o reuso na indústria.

3.2 Características físico-químicas do carvão ativado obtido da cana de açúcar

A Figura 1 apresenta a análise termogravimétrica do carvão produzido. Nesta figura pode-se observar a presença



de dois estágios de perda de massa. O primeiro, que ocorre a temperaturas inferiores a 100°C, o que está relacionado com a perda de umidade do carvão. O segundo que se encontra a temperatura entre 200°C e 400°C, com temperatura máxima em cerca de 335°C, apresentou uma perda de massa de 66%. Isto foi atribuído à decomposição dos componentes orgânicos (celulose, lignina e hemicelulose). Sabe-se que a lignina e a hemicelulose começam a decompor em temperaturas mais baixas do que a celulose. É oportuno dizer que a decomposição da lignina apresenta uma escala de temperatura longa.

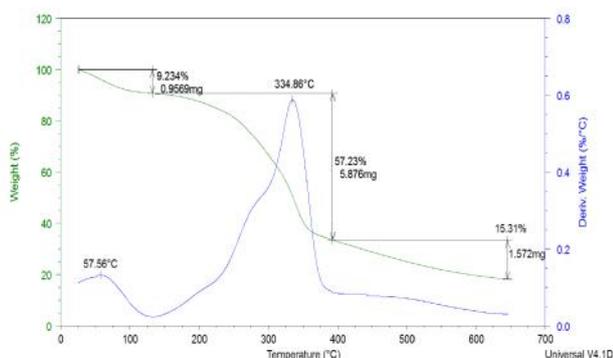


Figura 1- Análise termogravimétrica do bagaço da cana-de-açúcar.

Na Tabela 2 temos o resultado da análise do porosímetro ASAP 2020. A partir desta análise pode-se observar o valor da área superficial e o volume dos poros do carvão ativado.

Tabela 2 - Parâmetros morfológicos dos carvões ativados.

CARVÃO ATIVADO	CAB 01	CAB 02	BQF	
Programação (°C)	400	500	800	
Rendimento (%)	19,1	28	19,1	
Área de Superfície Específica	BET (m ² g ⁻¹)	458	117	605
	Langmuir (m ² g ⁻¹)	604	155	797
Área de Microporo (m ² g ⁻¹)	375	40	521	
Volume de Microporo (cm ³ g ⁻¹)	0,17	0,03	0,24	
Diâmetro de Poro (Å)	20.3	20,8	19,1	

3.3 Análises das amostras após processo de coagulação e adsorção com carvão ativado.

Os coagulantes utilizados foram FeCl₃, Al₂(SO₄)₃ e CaO. Os ensaios foram realizados com a adição do coagulante em concentrações diferentes (5,10,15 g/l) até que fosse observado visualmente a formação de flocos. A vinhaça após a coagulação/floculação e decantação foi tratada com carvão ativado feito a partir do bagaço da cana de açúcar. Em seguida foram analisados os parâmetros: DQO, DBO, pH, turbidez e cor. Na Tabela 3 encontram-se os valores das análises de DQO, turbidez, cor e pH do coagulante CaO durante as fases de tratamento, in natura, após o processo de coagulação no Jar-test e após a adsorção em carvão ativado realizadas com as amostras com concentração de 10g/L de coagulante. Nas Tabelas 4 e 5 encontra-se os valores para os coagulantes Al₂(SO₄)₃ e FeCl₃, respectivamente.

Tabela 3- Análise da vinhaça - coagulante CaO.

Etapas do Tratamento	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor (mgPt/L)
In natura	4,40	>3000	46.752	>30.000
Após Jar-test	12,19	25,0	8.750	700
Após carvão ativo	12,00	1,5	360	50

Tabela 4- Análise da vinhaça - coagulante Al₂(SO₄)₃.

Etapas do Tratamento	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor (mgPt/L)
In natura	4,40	>3000	46.752	>30.000
Após Jar-test	9,8	18,47	5.551	700
Após carvão ativo	9,0	6,5	239	30



Tabela 5- Análise da vinhaça - coagulante $AlCl_3$.

Etapas do Tratamento	pH	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Cor (mgPt/L)
In natura	4,40	>3000	46.75 2	>30.000
Após Jar-test	6,3	25,37	8.345	200
Após carvão ativo	6,0	1,4	339	30

A vinhaça *in natura* apresenta um aspecto bastante turvo. Porém, com o tratamento físico-químico, foi observada uma melhoria no aspecto visual e analítico. Após o processo de coagulação e depois de ocorrer a adsorção com carvão ativado em cada condição estudada, foram observados resultados com uma diferença significativa do inicial, o que evidencia a grande remoção de material em suspensão presente na vinhaça. O parâmetro cor também merece destaque, após o processo de adsorção em carvão ativado houve praticamente total remoção de cor deste efluente.

Na Figura 2 é possível observar a vinhaça *in natura*, em seguida a vinhaça clarificada após uso do coagulante CaO , nas concentrações 5g/L, 10g/L e 15g/L respectivamente. Na Figura 3 observa-se as amostras clarificadas após a adsorção com o carvão ativado.



Figura 2 -Vinhaça *in natura*, vinhaça clarificada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de CaO .



Figura 3 - Vinhaça clarificada tratada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de CaO , após adsorção com carvão ativado.

Na Figura 4 temos a vinhaça *in natura* e as amostras após o processo de coagulação com 5g/L, 10g/L e 15g/L de $Al_2(SO_4)_3$, respectivamente. A Figura 5 apresenta as mesmas amostras após a adsorção com o carvão ativado.



Figura 4 - Vinhaça *in natura*, vinhaça clarificada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de $Al_2(SO_4)_3$.



Figura 5- Vinhaça clarificada tratada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de $Al_2(SO_4)_3$, após adsorção com carvão ativado.

A figura 6 observa-se a vinhaça *in natura* e as amostras após o processo de coagulação com 5g/L, 10g/L e 15g/L de $FeCl_3$, a figura 7 observa-se as mesmas amostras após a adsorção com o carvão ativado.



Figura 6 - Vinhaça in natura, vinhaça clarificada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de FeCl_3 .



Figura 7 - Vinhaça clarificada tratada com 5g/L, 10g/L e 15g/L de FeCl_3 , após adsorção com carvão ativado.

Comparando os resultados apresentados nas tabelas acima, observa-se que os parâmetros, cor, turbidez e DQO, das amostras após o processo de coagulação sofreram uma redução em todos os parâmetros em torno de 80%. Com a adsorção em carvão ativado os parâmetros são reduzidos ainda mais, atingindo uma porcentagem maior que 90% em remoção de contaminantes orgânicos presente no efluente, o que chega a eliminar completamente, o odor característico da vinhaça. Os parâmetros de cor e turbidez chegaram em torno de 99% de remoção.

4. CONCLUSÕES

O uso de processos de coagulação aliado ao processo de adsorção com carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar no tratamento da vinhaça apresentou uma grande eficiência na remoção de matéria orgânica presente neste efluente. No processo de coagulação foi observada uma remoção

de 80% das inconveniências do resíduo líquido, e após a adsorção uma remoção maior que 90%.

Chegou-se à conclusão que a utilização do bagaço de cana-de-açúcar como precursor na produção de carvão ativado se mostrou eficiente. Além de se tornar uma alternativa para aproveitar este excedente da indústria sucroalcooleira. Outro fator importante é o baixo custo de produção a partir desta matéria prima. Pelos dados obtidos nos ensaios, ficou evidente que a adsorção em carvão ativado produzido a partir do bagaço de cana apresentou os melhores resultados em todos os parâmetros analisados, destacando-se os valores obtidos em relação à cor e o odor, que são de fundamental importância para a viabilização da reutilização do efluente.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Carvão Ativado-LCA/UFPB, UFPB e CNPq.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TRITT, W.P.; SCHUCHARDT, F. Materials flow and possibilities of treating liquids and solids wastes from slaughterhouses in Germany. A Review. *Bioresource Technology*, 41 p. 235-245, 1992.

DE SENA, R. F. *et al* Determination of inorganic and organic priority pollutants in biosolids from meat processing industry. *Waste Management (Elmsford)*, v. 29, p. 2574-2581, 2009.

APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edition, Publication of the American Public Health Association, Washington APHA, AWWA, WEF, 1995.

MIRANDA, T. L.; Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. *Dissertação*



de Mestrado, UFPE, 2009.

CAMARGO, C. A. (Coord.) Conservação de energia na indústria do açúcar e álcool: manual de recomendações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. Publicação IPT n.º. 1.817.

SUTUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, SB. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. São Paulo: Fundação Cargil. v. 2, cap. 7, p.761-804, 2006.