

Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em biodigestor tubular utilizado no tratamento de efluente de amidonaria

JUSSARA SILVA BERGER^{1*}; ELIANE HERMES²; DILCEMARA CRISTINA ZENATTI³;
MANOEL PENACHIO GONÇALVES⁴; MARCOS ARAÚJO LINS⁵; VANESSA DOS
SANTOS WULF⁶

¹Tecnóloga em Biotecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, Rua Pioneiro 2153, CEP 85950-000, Palotina/PR. E-mail: jussaraberger@gmail.com. *Autor para correspondência

²Professora Assistente I, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UNIOESTE), *Campus* Cascavel. E-mail: eliane.hermes@ufpr.br

³Professora Assistente I, Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina. Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UNIOESTE), *Campus* Cascavel. E-mail: dilzenatti@gmail.com

⁴Graduando em Agronomia. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, Rua Pioneiro 2153, Jardim Dallas, 85950-000, Palotina/PR. E-mail: manoel.penachio@gmail.com

⁵Graduando em Tecnologia em Biocombustíveis. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. E-mail: marbiocomb@gmail.com

⁶Graduanda em Tecnologia em Biotecnologia. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. E-mail: vanessa_wulf@hotmail.com

RESUMO

Este estudo teve por objetivo principal avaliar as relações lineares existentes entre a série de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e respectivas condutividades elétricas (CE) do afluente e do efluente em um biodigestor utilizado no tratamento de efluentes de amidonaria. Foram realizadas 20 coletas de amostras da entrada e saída de um biodigestor instalado em uma amidonaria na região Oeste do Paraná. As coletas foram realizadas a cada dois dias, tendo como parâmetros analisados: condutividade elétrica, sólidos totais, fixos e voláteis. A melhor relação linear obtida foi entre CE e SF para os dois pontos de coleta, que apresentou equação com r^2 igual a 0,921 para a entrada e 0,694 para a saída. Pelo teste de correlação de Pearson, verificou-se uma interdependência muito forte entre os parâmetros CE e SF, na entrada e saída com coeficiente de 0,96 e 0,83, respectivamente.

Palavras-chave: coeficiente, correlação de Pearson, relação linear.

ABSTRACT

Relationship between solids and electrical conductivity in tubular biodigester used in the cassava effluent treatment

This study aims to evaluate the linear relationships between total solids (ST), fixed solids (SF), volatile solids (SV) and their electrical conductivity (CE) of influent and effluent in a biodigester used in the cassava effluent treatment. Were collected 20 samples from the input and output of a digester installed on an agribusiness in western of Paraná State. Samples were collected every two days and analyzed as parameters: electrical conductivity, total solids, volatile and fixed. The best linear relationship was obtained between CE and SF for the two collection points, which presented equation with r^2 equal to 0.921 for the input and 0.694 to the output. By Pearson correlation test, there was a very strong interdependence between the CE and SF parameters for input and output with coefficient of 0.96 and 0.83, respectively.

Keywords: coefficient, Pearson correlation, linear relationship.

INTRODUÇÃO

O maior estado produtor de amido de mandioca no ano de 2012 foi o Paraná, com produção de 374,3 mil toneladas, representando 72% do total nacional. A região Extremo-Oeste Paranaense foi a segunda maior produtora neste período, com uma produção de 95,1 mil toneladas, atrás somente do Noroeste Paranaense, responsável pela produção de 219,5 toneladas (CEPEA, 2013).

Na fabricação de amido de mandioca, há geração de elevado montante de efluente líquido. Este efluente líquido resultante do processamento da mandioca é constituído por: (1) água de lavagem das raízes que é originária dos lavadores/descascadores; (2) manipueira ou água vegetal que corresponde à água de constituição da raiz, extraída durante a prensagem da massa ralada, na fabricação da farinha e (3) água de extração de fécula que corresponde à água de constituição da raiz, diluída com a água de extração (CEREDA, 2001).

De acordo com Fioretto (2001), a composição química do efluente de fecularia é variável, dependendo da variedade de mandioca processada, que por sua vez está correlacionada com as condições edafoclimáticas do local onde é cultivada.

Quando o processamento ocorre em grande escala, os subprodutos podem desencadear sérios problemas ambientais, pois mesmo as pequenas unidades fabris, como as casas de farinha, podem gerar quantidades significativas de resíduos, uma vez que normalmente se agrupam em um determinado local ou município (CEREDA, 2001).

Os processos biológicos são alternativas para o tratamento de águas residuárias de fecularias, pois representam baixos custos de implantação e operação quando comparados com outras tecnologias (FERNANDES JUNIOR & TAKAHASHI, 1994).

A biodigestão anaeróbia consiste em um processo biológico no qual, na ausência de oxigênio, bactérias facultativas ou estritamente anaeróbias degradam compostos orgânicos complexos, os quais sofrem uma série de processos oxidativos sequenciais, e são finalmente convertidos em metano (60% a 70%), dióxido de carbono (40% a 30%), e outros subprodutos mineralizados (BASSIN & DEZOTTI, 2008).

Atualmente, com relação ao modelo de biodigestor, o modelo tubular ou canadense, com cobertura de lona de PVC, em substituição às campânulas metálica ou de fibra de vidro, vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e maior facilidade de implantação. A vantagem deste processo está na produção constante de biogás que é relacionada com a carga diária de sólidos voláteis (KUCZMAN, 2007).

De acordo com o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (2006), a condutividade elétrica da água representa sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, principalmente inorgânicas, que se dissociam em cátions e ânions. Simplificadamente, a condutividade elétrica representa a concentração de íons, estando, portanto, associada à concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e à salinidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações lineares existentes entre a série de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e respectivas condutividades elétricas (CE) do afluente e efluente em um biodigestor utilizado no tratamento de efluente de amidonaria.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido a partir de amostras obtidas de um biodigestor anaeróbio, de processo contínuo, modelo tubular, com volume aproximado de 19.000 m³ e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10,5 dias, localizado em uma amidonaria na Região Oeste do Paraná.

A determinação de sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) e da condutividade elétrica (CE) foram realizadas no Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Setor Palotina.

As coletas ocorreram durante os meses de maio e junho de 2013, em dias alternados, em dois pontos (Figura 1) situados na entrada (afluente) e saída (efluente) do biodigestor, perfazendo um total de 20 amostras para cada ponto de coleta.



FIGURA 1 - Biodigestor (A), entrada do biodigestor (B), e saída do biodigestor (C).

As amostras foram obtidas preferencialmente durante um horário fixo durante o período de funcionamento da amidonaria, por amostragem simples, utilizando frascos de polietileno (200 mL) identificados. As amostras foram armazenadas e conduzidas até o laboratório para a realização das análises.

Imediatamente à chegada ao laboratório, foram determinados os valores de condutividade elétrica (CE). Para a determinação de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), as amostras foram mantidas refrigeradas a 4 °C, durante o período máximo de 7 dias. As metodologias e equipamentos utilizados estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Metodologias e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Metodologia	Equipamento
Condutividade Elétrica	Condutimetria	Medidor de condutividade NT-CVM
Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	Gravimetria	Estufa com circulação e renovação de ar SL-102 da SOLAB; Balança analítica SHIMADZU modelo AY220; Mufla GP Científica – Calibração NBR ISO/IEC 17025 CAL 0183

Empregou-se a análise descritiva, através de médias, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo para todas as variáveis analisadas.

Para a determinação da relação entre CE e a série de sólidos (ST, SF e SV) realizou-se uma regressão linear para obter a equação correspondente à relação entre os dois parâmetros, além da aplicação do coeficiente de correlação de Pearson.

Para classificação da correlação, foram adotados valores propostos por Callegari-Jacques (2003), que avalia qualitativamente da seguinte forma: se $0,00 < |\rho| < 0,30$, existe fraca correlação linear; se $0,30 \leq |\rho| < 0,60$, existe moderada correlação linear; se $0,60 \leq |\rho| < 0,90$, existe forte correlação linear; se $0,90 \leq |\rho| < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 2 a análise descritiva dos dados: média, desvio padrão, coeficiente de variação e valores de mínimo e máximo referentes à condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) dos pontos de coleta.

TABELA 2. Análise descritiva dos dados de condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) dos pontos de coleta do biodigestor.

Parâmetro	N	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo
Entrada						
CE	20	2211,60	1427,08	64,53	6,43	4580
ST	20	8616,00	3131,08	36,34	684	12030
SF	20	1640,70	780,58	47,58	142	2856
SV	20	6969,10	2584,58	37,09	468	9958
Saída						
CE	20	2411,05	731,99	30,36	1442	3710
ST	20	3284,20	453,63	13,81	2108	3958
SF	20	1444,80	278,40	19,27	1046	1892
SV	20	1839,40	385,39	20,95	696	2266

CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); ST, SF, SV ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Através da análise descritiva dos dados, verifica-se que houve maior amplitude nos dados da entrada. Além disso, observa-se que os parâmetros referentes à entrada obtiveram coeficientes de variação superiores a 30%, indicando dados não homogêneos. Já os coeficientes de variação obtidos na saída com exceção da CE e SV são classificados como médios (PIMENTEL GOMES, 2009).

Isso se deve ao fato de que as características de um efluente podem variar de acordo com mudanças de operação dos processos, do produto a ser processado, na matéria-prima, das atividades de limpeza e ainda devido aos descartes ocasionais (DEZOTTI, 2008). Ainda, de acordo com Fioretto (2001), a composição química do efluente de fecularia é variável, dependendo da variedade de mandioca processada, que por sua vez está correlacionada com as condições edafoclimáticas do local onde é cultivada.

Neste caso, cerca de 80,89% dos sólidos totais da entrada são constituídos por sólidos voláteis. Na saída, este valor situa-se por volta de 56,01%. O tratamento, neste período, teve a eficiência média de remoção sólidos totais e voláteis de 61,88% e 73,61%, respectivamente.

As Figuras 2 e 3 apresentam as regressões lineares obtidas entre ST, SF, SV e CE da entrada e saída do biodigestor, respectivamente.

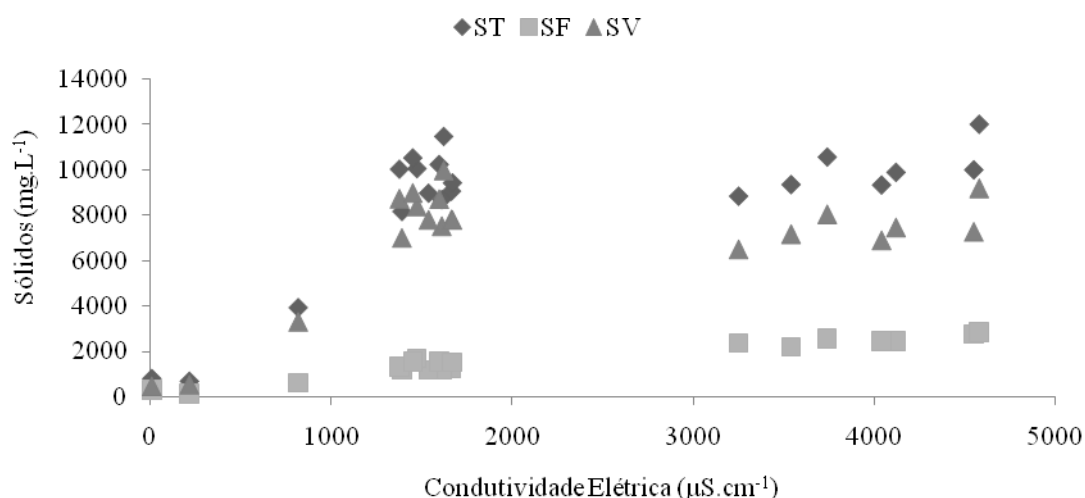


FIGURA 2 - Relações entre sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e condutividade elétrica (CE) da entrada do biodigestor.

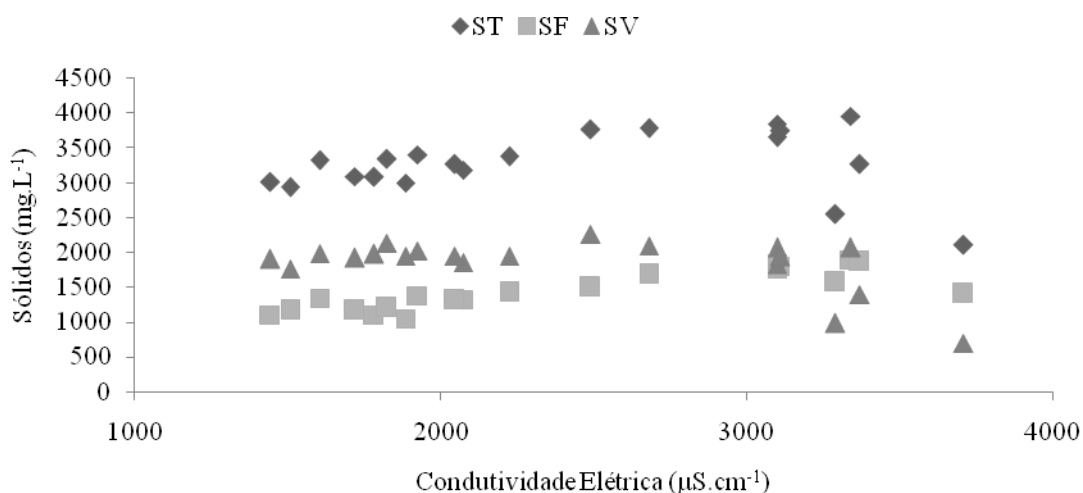


FIGURA 3 - Relações entre sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e condutividade elétrica (CE) da saída do biodigestor.

Na Tabela 3 estão expressas as equações lineares obtidas a partir das séries de sólidos (ST, SF, SV) e CE.

TABELA 3. Relações obtidas entre a série de sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) e a condutividade elétrica (CE).

Entrada do Biodigestor	Saída do Biodigestor
ST = 1,342 CE + 5647 ($r^2 = 0,374$)	ST = 0,045 CE + 3175 ($r^2 = 0,005$)
SF = 0,524 CE + 479,7 ($r^2 = 0,921$)	SF = 0,316 CE + 680,8 ($r^2 = 0,694$)
SV = 0,818 CE + 5158 ($r^2 = 0,204$)	SV = -0,271 CE + 2494 ($r^2 = 0,266$)

CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); ST, SF, SV ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

A melhor relação obtida foi entre CE e SF para os dois pontos de coleta, que apresentou equação com r^2 igual a 0,921 para a entrada e 0,694 para a saída.

Sampaio et al. (2007) avaliaram a relação linear entre condutividade elétrica e sólidos de águas residuárias de suinocultura, laticínio, doméstico e industrial. Os resultados mostraram que houve uma relação linear para a condutividade em função dos sólidos totais e dissolvidos em sua maioria, em todas as águas residuárias, exceto para a água residuária proveniente do meio urbano (doméstico). Entre a condutividade e sólidos fixos houve uma relação linear somente para a água residuária de laticínio, sendo que nos demais sólidos não observou-se uma relação com a condutividade elétrica em nenhuma das águas residuárias estudadas. Encontrou-se baixas relações lineares entre os SV com a CE, pois as substâncias orgânicas se volatilizam.

A correlação entre os parâmetros foi verificada a partir do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (ρ), conforme Callegari-Jacques (2003), bem como sua respectiva classificação (Tabela 4).

TABELA 4. Correlação de Pearson (ρ) entre a condutividade elétrica (CE) e sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV).

Variáveis	CE	Classificação
Entrada		
ST	0,61	Forte
SF	0,96	Muito forte
SV	0,45	Moderada
Saída		
ST	0,07	Fraca
SF	0,83	Forte
SV	-0,52	Moderada

Aplicando-se o teste de correlação de Pearson, verificou-se uma interdependência muito forte entre os parâmetros CE e SF, principalmente para a entrada com coeficiente (ρ) de 0,96. Na saída, entre as mesmas variáveis, o coeficiente encontrado é de 0,83, o que também é considerada uma correlação forte, reafirmando os resultados obtidos através da regressão linear.

Todos os coeficientes encontrados, exceto entre CE e SV da saída, apresentaram correlação positiva.

Para Sampaio et al. (2007), na obtenção de uma equação matemática é possível estimar resultados a cerca da presença de sólidos com certa confiabilidade, lembrando que a determinação da CE é mais rápida e requer menos recursos técnicos que para a determinação dos sólidos.

CONCLUSÕES

Devido ao fato de que o efluente do processamento de mandioca para obtenção de amido pode variar de acordo com diversos fatores, os dados da entrada demonstraram maior amplitude, bem como maiores coeficientes de variação.

A melhor relação linear obtida foi entre CE e SF para os dois pontos de coleta, que apresentou equação com r^2 igual a 0,921 para a entrada e 0,694 para a saída.

Pelo teste de correlação de Pearson, verifica-se que existe uma interdependência muito forte entre os parâmetros CE e SF, na entrada e saída com coeficiente (ρ) de 0,96 e 0,83, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSIN, J.P.; DEZOTTI, M. Tratamento primário, secundário e terciário de efluentes. In: DEZOTTI, M. (Coord.) **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360p.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Produção de fécula fica estagnada e margem diminui em 2012**. Piracicaba, 2013.

CEREDA, M.P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M. P. (Coord.) **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. v. 4. São Paulo: Fundação Cargill, 2001, p.13-37.

DEZOTTI, M. Parâmetros para caracterização de efluentes - qualidade das águas de despejo. In: DEZOTTI, M. (Coord.) **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360p.

FERNANDES JUNIOR, A.; TAKAHASHI, M. Tratamento da manipueira por processos biológicos – aeróbio e anaeróbio. In: CEREDA, M.P. et al., **Industrialização da mandioca**. São Paulo: Ed. Paulicéia, 1994. 174p.

FIORETTO, R.A. Tratamentos Físicos e Biológicos da Manipueira. In: CEREDA, M.P. (Coord.) **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. v. 4. São Paulo: Fundação Cargill, 2001, p.138-160.

KUCZMAN, O. **Tratamento anaeróbio de efluentes de fecularia em reator horizontal de uma fase**. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive o desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006. 427p.

SAMPAIO, S.C.; SILVESTRO, M.G.; FRIGO, E.P., BORGES, C.M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.4, 2007, p.557-562.