

II-269 – CUSTOS COM TRANSPORTE PARA DISPOSIÇÃO DA VINHAÇA VIA FERTIRRIGAÇÃO COMPARATIVAMENTE AO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL FORMULADO A PARTIR DE TECNOLOGIAS POR MEMBRANAS

Thais Girardi Carpanezi⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Victor Rezende Moreira

Engenheiro Químico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

Miriam Cristina Santos Amaral

Professora adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, CEP: 31270-901- Brasil - e-mail: tgcarpanezi@gmail.com

RESUMO

A vinhaça, considerada o principal resíduo gerado pelo setor sucroalcooleiro, justamente por sua elevada geração e alto potencial poluidor, apresenta como problemática a sua destinação. Entretanto, também é característico deste resíduo sua composição rica em nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, que são indispensáveis para o desenvolvimento das plantas. Visando a solução desta problemática, uma alternativa ambientalmente correta para a destinação deste resíduo é a formulação de fertilizantes organominerais (FOMs) a partir da vinhaça tratada por tecnologia de separação por membranas. A utilização destes fertilizantes pode ser considerada uma solução tecnológica interessante, tanto ambiental quanto agrônômica, uma vez que existe a possibilidade de redução de custos de armazenamento e otimização dos recursos naturais, além de facilitar o transporte, manuseio e aplicação. Dessa forma, este estudo objetivou avaliar os custos com transporte para aplicação de fertilizante organomineral produzido a partir do concentrado da vinhaça tratada por tecnologias de separação por membranas comparativamente com a prática de fertirrigação. Foram analisadas a vinhaça bruta e seu concentrado obtido pelo tratamento por sistemas de ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR), sendo o volume a ser transportado até as áreas de aplicação determinado pela taxa de aplicação (VAR) nos solos. Observou-se que a taxa de aplicação influenciou diretamente nos custos com transporte, sendo quanto maior a VAR, maior o custo da destinação até às áreas de aplicação. Dessa forma, as vantagens do menor custo de transporte dos fertilizantes organominerais quando comparados ao transporte da disposição da vinhaça via fertirrigação, representou uma alternativa de fertilização mais interessante em termos econômicos.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante Organomineral; Tecnologias de Tratamento por Membranas; Vinhaça; Análise Econômica.

INTRODUÇÃO

A vinhaça, principal água residuária gerada pelas usinas sucroalcooleiras, é caracterizada como o principal ônus do setor, justamente por sua elevada geração, uma vez que para cada litro de etanol produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça e por seu elevado potencial poluidor, já que sua composição é rica em nutrientes como potássio, nitrogênio e fósforo (SILVA et al., 2020). Dessa forma, a sua destinação normalmente é realizada via fertirrigação com reaproveitamento na própria usina. Entretanto, o uso desta prática sem os devidos cuidados e de forma excessiva, pode causar impactos negativos ao solo com a lixiviação de nutrientes, risco de salinização pela concentração de sais no perfil do solo, além do impacto severo nas águas ocasionada por altos valores de demanda química e bioquímica de oxigênio. Além disso, outros fatores limitantes ao uso da fertirrigação como as grandes distâncias a serem percorridas atrelado à elevada quantidade de água presente em sua composição, fazem com que o conceito de raio econômico prevaleça em relação às vantagens oferecidas pela sua disposição via fertirrigação.

Uma alternativa mais econômica e capaz de solucionar essa problemática é a formulação de fertilizantes organominerais (FOMs) a partir da vinhaça tratada por tecnologia de separação por membranas. Esses fertilizantes são apontados como uma oportunidade futura para a produção agrícola devido à redução do risco ambiental, ao menor custo de produção e da menor dependência exclusiva de fontes minerais, além de serem uma alternativa para o descarte racional dos nutrientes contidos nos resíduos orgânicos (FUESS et al., 2020; ULSENHEIMER et al., 2016). Sua utilização pode ser uma solução tecnológica interessante, tanto ambiental quanto agrônômica, uma vez que existe a possibilidade de redução de custos de armazenamento; otimização dos recursos naturais; e, facilidade de transporte, manuseio e aplicação.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar os custos com transporte para aplicação de fertilizante organomineral (FOM) produzido a partir do concentrado da vinhaça tratada por tecnologias de separação por membranas comparativamente com a prática de fertirrigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a viabilidade de transporte dos fertilizantes organominerais líquidos comparativamente com a fertirrigação, foram analisadas a vinhaça bruta e seu concentrado obtido pelo tratamento por sistemas de ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR). A formulação do FOM se deu de acordo com IN 61/2020 (MAPA, 2020), com composição final correspondente à 3% de carbono orgânico e percentual mínimo de macronutrientes primários de 1%. Quando necessário, os concentrados obtidos pela UF, NF e OR, tiveram suas concentrações ajustadas por suplementação com ureia, cloreto de potássio, superfosfato simples e sulfato de magnésio, para atender ao disposto na instrução normativa.

O volume a ser transportado até as áreas de aplicação é determinado pela taxa de aplicação (VAR) nos solos. Para o FOM, esta taxa foi calculada com base na concentração de potássio em cada efluente tratado e considerando que a concentração máxima desse nutriente no solo não pode ultrapassar 6% do potencial de CEC, conforme determinado pelo COPAM (COPAM, 2011). O potencial de CEC considerado foi de 15 cmol/dm³, comum em solos tropicais. Já a determinação da taxa de aplicação dos concentrados no solo via fertirrigação foi realizada a partir da recomendação proposta pela CETESB, (2016), conforme apresentado na Equação 1.

$$VAR = (0,05 * CEC - [K]_{SOLO}) * 3744 + 185 / [K]_{VINHOTO} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde VAR é a taxa de aplicação de vinhaça (m³/ha), CEC é a capacidade de troca catiônica do solo (cmolc/dm³), [K]_{solo} é a concentração de potássio no solo em uma profundidade de até 0,8 m (cmolc/dm³) e [K]_{vinhaça} é a concentração de potássio na vinhaça de cana-de-açúcar (kg K₂O/m). O valor constante 3744 é um fator de correção usado para converter a concentração de potássio de cmolc/dm³ para kg por volume de 8.000 m³ (1 ha x 0,8 m). O valor constante 185 corresponde à massa de K₂O extraída pela cultura por hectare durante a colheita. As características do solo consideradas no cálculo do VAR foram 19,6 mg/dm³ (0,05 cmolc/dm³) em relação ao teor de K e 3,23 cmolc/dm³ de CEC (ZOLIN et al., 2011).

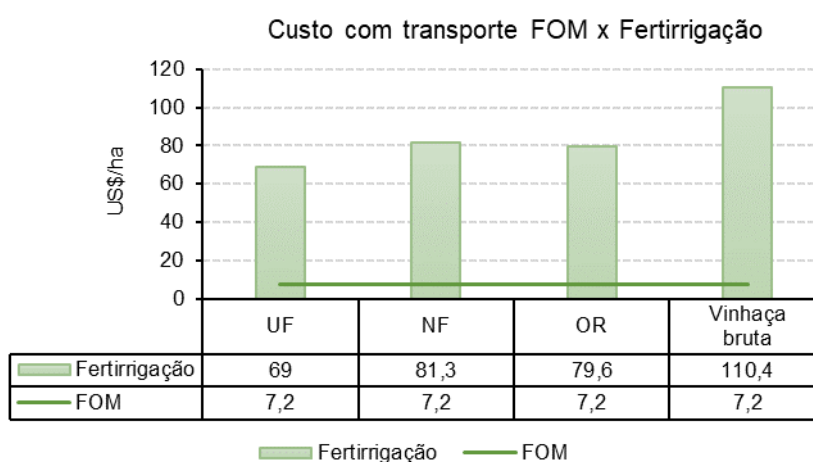
A estimativa dos custos com o transporte da vinhaça bruta e tratada via fertirrigação comparativamente com a aplicação pelo FOM líquido foi realizado considerando sua disposição via caminhões-tanque, em uma distância de 22 km, pelo preço de US\$/m³ 0,6 (CRUZ, 2011).

RESULTADOS

A formulação do FOM, seja pela vinhaça bruta ou pelos concentrados obtidos nos tratamentos, resultou em menores taxas de aplicação (12 m³/ha) quando comparadas às encontradas pela fertirrigação, sendo estimado para a vinhaça bruta uma VAR de 184 m³/ha e, para os concentrados da UF, NF e RO, uma taxa de 115 m³/ha, 133 m³/ha e 136 m³/ha.

Os custos estimados com o transporte por caminhão tanque para os fertilizantes organominerais líquidos e para a disposição fertirrigação estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Custos com transporte por caminhão tanque para os fertilizantes organominerais líquidos (FOM) e para a disposição fertirrigação



ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstram que a taxa de aplicação influi diretamente nos custos com transporte, sendo quanto maior a VAR, maior o custo da destinação até às áreas de aplicação. Assim, a menor taxa de aplicação proporcionada pelos fertilizantes organominerais, a qual se justifica pela complementação nutricional necessária à adequação do FOM à legislação, impactou positivamente nos custos de transporte, sendo consideravelmente mais econômico quando comparados com a disposição via fertirrigação.

Os gastos com a complementação nutricional dos FOMs para adequação à composição exigida pela IN 61/2020 não foram considerados neste estudo. Entretanto, mesmo com os custos da aquisição dos fertilizantes químicos para esta complementação, estudos comprovam que, devido à economia proporcionada pelos consideráveis preços de transporte do FOM, seu uso permanece viável (CARPANEZ et al., 2022b). Além disso, a produção de fertilizantes organominerais a partir do concentrado da vinhaça pode dar à este subproduto um viés econômico, através da comercialização do excedente que não for utilizado pelas usinas, uma vez que sua formulação estará em conformidade com as exigências da IN 61/2020 (MAPA, 2020).

Em análise ao cenário de transporte realizado somente por fertirrigação, observa-se que os concentrados apresentaram menor custo quando comparados com a fertirrigação da vinhaça bruta, sendo até 38% mais econômico, o que demonstrou a efetividade dos processos de separação por membrana, não só na obtenção de um efluente de melhor qualidade, mas também, na diminuição dos custos com a sua disposição. Além disso, a utilização destas tecnologias pode proporcionar, através do permeado obtido, água com qualidades excelentes para reuso industrial, que pode reduzir de 9 a 13% o volume de água captado de fontes primárias (MAGALHÃES et al., 2020).

Para além dos aspectos econômicos já discutidos, a transformação da vinhaça em FOM está profundamente atrelada ao conceito da economia circular, ou seja, a necessidade de um desenvolvimento econômico com um

melhor uso dos recursos naturais através da otimização dos processos de fabricação, com uma menor dependência de matérias-primas virgens e com prioridade à insumos recicláveis e renováveis (CARPANEZ et al., 2022a). Destaca-se ainda, que a formulação proposta é capaz de diminuir a grande dependência brasileira na importação de fertilizantes e a consequente vulnerabilidade da disponibilidade e dos preços destes itens (PINHEIRO; KONDA; BONINI, 2022).

CONCLUSÕES

Os resultados confirmaram as vantagens do menor custo de transporte dos fertilizantes organominerais quando comparados ao transporte da disposição da vinhaça via fertirrigação, representando uma alternativa de fertilização mais interessante em termos econômicos. Ademais, a utilização dos processos de separação por membranas se mostra viável e atrativa economicamente para o tratamento da vinhaça uma vez que possibilita a redução significativa de preços da disposição quando comparado com a vinhaça bruta.

Além disso, a formulação dos FOMs a partir do concentrado da vinhaça pode ser considerada uma alternativa interessante para a utilização dos nutrientes presentes nesse resíduo e uma oportunidade de as usinas darem maior aplicabilidade ao conceito de economia circular além de diminuir a dependência brasileira do mercado externo para a compra de fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARPANEZ, T. G.; MOREIRA, V. R.; ASSIS, I. R.; AMARAL, M. C. S. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 832, n. March, p. 154998, 2022. a. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154998>.
2. CARPANEZ, T. G.; MOREIRA, V. R.; MAGALHÃES, N. C.; ASSIS, I. R.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Integrated membrane-based processes to obtain organo-mineral fertilizer, water, and energy from sugarcane vinasse. *Separation and Purification Technology*, [S. l.], v. 302, n. May, p. 122180, 2022. b. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122180. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652622040203>.
3. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016. . 2016, 219, p. 4.
4. COPAM, Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM no 164 de 30/03/2011. . 2011.
5. CRUZ, Luiz Felipe Lomanto Santa. Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o Setor Sucroenergético do Estado de São Paul. 2011. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos - SP, [S. l.], 2011.
6. FUESS, Lucas Tadeu; DOS SANTOS, Graciete Mary; DELFORNO, Tiago Palladino; DE SOUZA MORAES, Bruna; DA SILVA, Ariovaldo José. Biochemical butyrate production via dark fermentation as an energetically efficient alternative management approach for vinasse in sugarcane biorefineries. *Renewable Energy*, [S. l.], v. 158, p. 3–12, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.063.
7. MAGALHÃES, Natalie C.; SILVA, Ana F. R.; CUNHA, Paulo V. M.; DREWES, Jörg E.; AMARAL, Míriam C. S. Role of nanofiltration or reverse osmosis integrated to ultrafiltration-anaerobic membrane bioreactor treating vinasse for the conservation of water and nutrients in the ethanol industry. *Journal of Water Process Engineering*, [S. l.], v. 36, n. May, p. 101338, 2020. DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101338. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101338>.
8. MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E. ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 61/2020. . 2020.
9. PINHEIRO, Yasmin Aparecida; KONDA, Sussumo Tatenauti; BONINI, Luci Mendes de Melo. Impactos Da Pandemia Covid-19 Na Importação De Fertilizantes Para O Agronegócio Brasileiro. In: *Implicações Socioeconômicas da COVID-19 no Brasil e no Mundo*. Guarujá-SP: Científica Digital, 2022. p. 148–156. DOI: 10.37885/211006353.
10. SILVA, A. F. R.; MAGALHÃES, N. C.; CUNHA, P. V. M.; AMARAL, M. C. .; KOCH, K. Influence of COD/SO₄²⁻ ratio on vinasse treatment performance by two-stage anaerobic membrane bioreactor. *J. Environ. Manag.*, [S. l.], 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110034>.
11. ULSENHEIMER, Aline Marion; SORDI, André; CERICATO, Alceu; LAJÚS, Cristiano. Formulação de fertilizantes organominerais e ensaio de produtividade. *Unoesc & Ciência*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 195–202, 2016.



12. ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. (Exploratory study of the stillage use along the time. I. Characteristics of the soil). Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, [S. l.], v. 15, n. 22–28, 2011.