

## TRATAMENTO SORTIVO DA VINHAÇA COM CINZA VEGETAL PARA APLICAÇÃO NA FERTIRRIGAÇÃO

Juliana Gilbert Pessoa<sup>1</sup>, Beatriz Octaviano Pedroso Cruz<sup>2</sup>, Lino Carlos Siteo<sup>2</sup>, Josiane de Lima Souza<sup>3</sup>, Roselena Faez<sup>4</sup>, Claudinei Fonseca Souza<sup>5</sup>

**RESUMO:** A produção sucroenergética, essencial ao agronegócio brasileiro, gera grandes volumes de resíduos, entre eles a vinhaça, efluente líquido rico em nutrientes e frequentemente aplicado como fertilizante. Outro resíduo relevante é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), que apresenta propriedades alcalinizantes e adsorventes. Este estudo avaliou o uso da CBCA como adsorvente no tratamento da vinhaça, buscando melhorar sua estabilidade química e seu aproveitamento na fertirrigação. O experimento foi realizado no Laboratório de Física de Solo, no Centro de Ciências Agrárias, da UFSCar, seguiu um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $2 \times 2$ , avaliando dois tipos de CBCA (lavada e não lavada) e duas doses (2,5 g e 5,0 g), com três repetições. A CBCA foi adicionada a 100 mL de vinhaça in natura e agitada por 72 horas. Medições de pH e condutividade elétrica (CE) foram feitas aos 24, 48 e 72 horas. Os resultados mostraram que a CBCA aumentou o pH e a CE, promovendo maior estabilidade química. Conclui-se que a CBCA é uma alternativa potencial, de baixo custo, para tratar a vinhaça e promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** adsorção, cana-de-açúcar, sustentabilidade agrícola

## SORPTION TREATMENT OF VINASSE WITH PLANT ASH FOR APPLICATION IN FERTIGATION

**ABSTRACT:** The sugar-energy production, essential to Brazilian agribusiness, generates large volumes of waste, including vinasse, a nutrient-rich liquid effluent often applied as fertilizer. Another significant by-product is sugarcane bagasse ash (SBA), which has alkaline and

<sup>1</sup> Mestre, Técnica, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Anhanguera Km 174, CEP 13600-970, Araras, SP, juliana@ufscar.br

<sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Agricultura e Ambiente, UFSCar, Araras, SP

<sup>3</sup> Pós Doutorado, Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação, UFSCar, Araras, SP

<sup>4</sup> Doutora, Profa. Titular, Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação, UFSCar, Araras, SP

<sup>5</sup> Doutor, Prof. Titular, Departamento de Recurso Naturais e Proteção Ambiental, UFSCar, Araras, SP

adsorptive properties. This study evaluated the use of SBA as an adsorbent in vinasse treatment, aiming to improve its chemical stability and potential for fertigation. The experiment was conducted at the Soil Physics Laboratory, of the Center for Agricultural Sciences, UFSCar, following a completely randomized design in a  $2 \times 2$  factorial scheme. Two types of SBA (washed and unwashed) and two doses (2.5 g and 5.0 g) were tested, with three replications. SBA was added to 100 mL of raw vinasse and stirred for 72 hours. pH and electrical conductivity (EC) were measured at 24, 48, and 72 hours. Results showed that SBA increased both pH and EC, promoting greater chemical stability. It is concluded that SBA is a potential low-cost alternative for treating vinasse and promoting more sustainable agricultural practices.

**KEYWORDS:** Adsorption, Sugarcane, Agricultural sustainability

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), com destaque para o Estado de São Paulo, que concentra a maior parte da produção nacional. A expansão dessa cultura foi acelerada na década de 1970, com a implementação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), o que fortaleceu o setor sucroenergético e aumentou significativamente a geração de subprodutos, como a vinhaça, um resíduo líquido resultante da destilação do etanol (Araújo & Araújo Sobrinho, 2024). Estima-se que, para cada litro de etanol produzido, sejam gerados entre 12 e 18 litros de vinhaça, que é rica em matéria orgânica e nutrientes.

A fertirrigação com vinhaça tem se destacado como uma prática sustentável e economicamente viável, uma vez que promove a reciclagem de nutrientes e reduz a dependência de fertilizantes minerais (Perin et al., 2019). A aplicação de  $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça pode fornecer ao solo cerca de  $61 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio,  $343 \text{ kg ha}^{-1}$  de potássio e  $108 \text{ kg ha}^{-1}$  de cálcio, o que contribui para o crescimento das plantas e para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo (Parsae et al., 2019). No entanto, o manejo inadequado da vinhaça pode causar sérios impactos ambientais, como a acidificação do solo, a contaminação do lençol freático e a eutrofização de corpos d'água (CARRILHO et al., 2016).

Torna-se, portanto, essencial desenvolver estratégias eficazes para o tratamento desse resíduo, visando mitigar seus efeitos nocivos. A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) surge como uma alternativa promissora, não apenas por sua elevada disponibilidade, mas também por suas propriedades químicas favoráveis. Rica em óxidos metálicos, como óxido de

cálcio (CaO), magnésio (MgO), potássio (K<sub>2</sub>O) e sílica (SiO<sub>2</sub>), a CBCA apresenta características alcalinizantes e adsorventes (SANTOS, 2020).

Em relação à sua produção, estima-se que, no Brasil, sejam geradas aproximadamente 5 milhões de toneladas de CBCA por ano, resultantes da queima de cerca de 200 milhões de toneladas de bagaço, subproduto fibroso obtido da moagem de aproximadamente 663 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra (UNICA, 2025; CONAB, 2025). Para cada tonelada de bagaço seco queimado, são gerados cerca de 25 kg de cinza, valor que pode variar conforme a eficiência da combustão e o teor de umidade do material (BAYAPUREDDY et al., 2024). Essa elevada disponibilidade da CBCA, aliada ao seu caráter residual, destaca o seu potencial para reaproveitamento em larga escala, principalmente em aplicações ambientais, como no pré-tratamento da vinhaça, correção da acidez do solo e recuperação de nutrientes (SANTOS, 2020).

Estudos demonstram que a aplicação da CBCA na vinhaça promove a correção da acidez, elevando o pH de valores geralmente inferiores a 4 para níveis próximos da neutralidade, reduzindo, assim, a toxicidade ao solo e ao meio ambiente (CHINGONO et al., 2018; SANTOS, 2020). Portanto, o uso da vinhaça tratada com CBCA apresenta-se como uma alternativa técnica e ambientalmente viável para o reaproveitamento desses resíduos agroindustriais, sendo ambos provenientes da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, favorecendo sua integração em estratégias de aproveitamento sustentável de resíduos (ANTONIO et al., 2024).

Com base nesse cenário, este trabalho avaliou a eficácia da CBCA no tratamento da vinhaça, visando seu uso sustentável na fertirrigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos - Campus Araras (CCA/UFSCar), no período de agosto de 2024 a janeiro de 2025. O delineamento experimental adotado foi fatorial 2×2, com três repetições por tratamento. Foram avaliados dois fatores principais: tipo de CBCA (lavada/seca e não tratada) e massa de CBCA (2,5 g e 5,0 g), com amostras de vinhaça in natura como adsorvato, sendo todos os materiais fornecidos por unidades produtoras locais.

As CBCAs foram inicialmente lavadas a vácuo com água destilada (Milli Q, Millipore), utilizando 1 L para aproximadamente 7,5 g de CBCA. Em seguida, foram secas em estufa com circulação e renovação de ar (modelo TE 394/1 - Tecnal) a 100 °C por 3 h, até atingir massa

constante, conforme metodologia descrita por Antônio (2024). A partir desse lote preparado, foram pesadas alíquotas de 2,5 g e 5,0 g de CBCA lavada/seca e, paralelamente, as mesmas massas de CBCA não tratada foram utilizadas nos testes comparativos.

Cada amostra (em triplicata) consistiu da mistura de 100 mL de vinhaça in natura com a quantidade designada de CBCA, colocadas em frascos e mantidos sob agitação recíproca (mesa agitadora Nova Técnica) a 150 rpm, durante 72 h. O processo compreendeu três ciclos de 24 h, com coletas de amostras após 24 h, 48 h e 72 h. Ao final de cada ciclo, a CBCA foi separada da vinhaça por centrifugação e filtragem, sendo a mesma vinhaça reutilizada para a batelada seguinte, porém com nova massa de CBCA.

As leituras de pH e condutividade elétrica (CE) foram realizadas antes do início do ensaio, ao final de cada ciclo de sorção e ao término das 72 h. Essas medidas permitiram acompanhar a evolução da neutralização da acidez e da mudança na ionização da solução ao longo do tempo. A eficácia do processo foi avaliada comparando-se os efeitos da massa de CBCA e do tempo de contato sobre o aumento do pH da vinhaça, com base em sua acidez inicial em cada ciclo. A figura 1 ilustra os principais passos do ensaio de sorção.



Fonte: Autoria própria (2025)

**Figura 1** – Ilustração das etapas do ensaio de sorção com CBCA: (A) pesagem da massa de CBCA; (B) vinhaça + adição de CBCA; (C) agitação recíproca.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das cinzas em interação com a vinhaça foi fundamental para compreender o processo sortivo, identificar desafios e propor melhorias para otimizar o desempenho. Os testes realizados com CBCA in natura e CBCA previamente lavada e seca permitiram estabelecer as

condições ideais, com base na comparação inicial da cinética utilizando 2,5 g de cinzas e, posteriormente, 5,0 g, de modo a analisarem os parâmetros de pH e CE das soluções.

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam a variação do pH antes, durante e após o contato sortivo entre a vinhaça e a cinza, tanto in natura quanto lavada, utilizando-se massas de 2,5 g e 5,0 g do material. Observa-se um aumento gradual do pH, indicando que as cinzas exercem efeito alcalinizante sobre a vinhaça. Esse incremento no pH reflete a liberação de compostos alcalinos presentes nas cinzas, os quais interagem com os íons da vinhaça, modificando suas propriedades químicas (ANTONIO, 2024).

**Tabela 1** - Variação do pH antes, durante e depois do contato sortivo com diferentes massas de cinza in natura e cinza lavada.

Tratamento/Tempo	pH			
	0	24 h	48 h	72 h
Cinza <i>in natura</i> (2,5 g)	4,70 Ac	5,20 Cb	5,30 Cb	5,83 Ba
Cinza <i>in natura</i> (5,0 g)	4,70 Ad	5,50 Bc	6,10 Bb	6,33 Aa
Cinza lavada (2,5 g)	4,70 Ac	5,47 Bb	5,50 Cb	6,23 Aa
Cinza lavada (5,0 g)	4,70 Ac	5,80 Ab	6,33 Aa	6,13 Aa

Teste de Tukey aplicado nas colunas (letras maiúsculas) e nas linhas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de significância de 5%.

No tratamento com cinza in natura (2,5 g), o pH aumentou de 4,70 para 5,83 após 72 h. Esse aumento gradual sugere que a interação entre a vinhaça e a cinza in natura ocorreu de maneira constante ao longo do tempo, resultando em uma modificação progressiva do pH. Em comparação com a cinza in natura (5,0 g), o pH inicial também era 4,70, mas o aumento foi mais expressivo, atingindo 6,33 após 72 h. Esse resultado indica que a maior quantidade de cinza (5,0 g) gerou uma alteração mais significativa no pH da vinhaça, promovendo uma alcalinização mais pronunciada em comparação com a dose menor (2,5 g). Bega (2014), avaliando a aplicação de CBCA em latossolo com cultivo de cana-de-açúcar, observou que a saturação por bases aumentou em decorrência das doses crescentes de cinzas, reflexo direto da redução da acidez potencial do solo. Assim, esse comportamento sugere que a quantidade de cinza aplicada tem uma relação direta com a intensidade da modificação do pH, sendo que doses mais altas de cinza podem promover uma alteração mais significativa na acidez da vinhaça.

Nos tratamentos com cinza lavada/seca, os aumentos no pH também foram evidentes, com um comportamento gradual. A cinza lavada (2,5 g) apresentou uma variação do pH de 4,70 para 6,23 após 72 h, com um aumento mais expressivo em comparação à cinza in natura, sugerindo que a lavagem das cinzas pode reduzir a quantidade de compostos solúveis, fato esse que contribuem para o aumento do pH. No caso da cinza lavada (5,0 g), o pH foi de 4,70 para

6,33 após 48 h, um aumento mais acentuado que o observado para os demais tratamentos, conforme comparações estatísticas. No entanto, após o ciclo sortivo de 72 h, ocorreu uma redução no valor de pH para 6,13, demonstrando um leve declínio no processo de neutralização. A redução do pH após 72 h, de 6,33 para 6,13, sugere o esgotamento dos cátions alcalinos solúveis inicialmente liberados pela cinza lavada, seguido da formação de compostos menos solúveis, o que promove a estabilização do sistema. Esse comportamento está de acordo com a dinâmica observada em cinzas de biomassa, cuja alcalinidade inicial tende a diminuir com o tempo devido à transformação dos cátions em formas menos disponíveis no meio reacional (Maj et al., 2025).

Inicialmente, todos os tratamentos apresentaram condições homogêneas, conforme indicado pelos valores de pH semelhantes entre as amostras. No decorrer do tempo, observou-se que o aumento do pH foi mais expressivo nas primeiras 48 h, exceto para o tratamento com 2,5 g de CBCA in natura. Chingono, Sanganyado, Bere e Yalala (2018), ao realizar um estudo cinético da interação entre CBCA e vinhaça para a remoção de DQO, observaram que o pH inicial de 3,5 elevou-se para 8,01 entre 4 e 6 h de contato, evidenciando que, além da massa do adsorvente, o tempo de contato também exerce influência direta na elevação do pH da vinhaça, Tabela 1.

Desse modo, os resultados indicam que o uso de cinzas, especialmente em maiores quantidades, exerce um impacto significativo na neutralização do pH da vinhaça, uma vez que a cinza in natura promoveu uma maior elevação, em comparação com a cinza lavada, no final do ciclo. Esses resultados são importantes para a aplicação da vinhaça tratada com cinzas em solos, pois a modificação do pH pode influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes e a saúde do solo, sendo necessário um controle rigoroso para garantir que o pH não se torne excessivamente alcalino, o que poderia prejudicar o crescimento das plantas (NEINA, 2019).

Em relação a análise da CE, Tabela 2, observou-se que em todos os tratamentos, ocorreu um aumento inicial após 24 h de contato, sugerindo uma interação significativa entre os compostos presentes na cinza e os íons da vinhaça. Esse aumento é esperado, uma vez que as cinzas, tanto sem tratamento prévio quanto lavadas/secas, possuem minerais e compostos solúveis que são liberados para o meio aquoso, contribuindo para a elevação da condutividade elétrica, um indicativo de troca iônica entre os materiais (Faria et al., 2012; Lima et al., 2019).

**Tabela 2** - Variação da condutividade elétrica, em dS m<sup>-1</sup>, antes, durante e depois do contato sortivo com diferentes massas de cinza in natura e cinza lavada.

Tratamento/Tempo	Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )			
	0	24 h	48 h	72 h
Cinza in natura (2,5 g)	8,59 Ad	9,90 Aa	9,45 Ac	9,67 Ab
Cinza in natura (5,0 g)	8,59 Ac	9,74 Aa	9,19 Bb	9,14 Cb
Cinza lavada (2,5 g)	8,59 Ac	9,79 Aa	9,45 Ab	9,36 BCb
Cinza lavada (5,0 g)	8,59 Ac	9,87 Aa	9,51 Ab	9,49 ABb

Teste de Tukey aplicado nas colunas (letras maiúsculas) e nas linhas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de significância de 5%.

Os resultados indicam que, a partir de 48 h de contato sortivo, houve diferença estatística entre os tratamentos com cinza in natura em função da massa aplicada. Observou-se que o tratamento com menor massa (2,5 g) apresentou valores de CE superiores ao longo do período experimental, atingindo os maiores níveis até 72 h. No entanto, o tratamento com 5,0 g demonstrou uma tendência de estabilização da CE a partir do mesmo ponto. Esse comportamento pode estar relacionado a processos de adsorção iônica nas superfícies das partículas, à saturação da solução ou à precipitação de compostos menos solúveis ao longo do tempo (Melo et al., 2020).

A partir de 48 h, as diferenças entre os tratamentos se tornaram mais evidentes, especialmente para a cinza lavada (5,0 g), que apresentou uma CE de 9,51 dS/m, superior à cinza in natura de mesma massa (9,19 dS/m), com diferença estatística significativa. Isso sugere que, apesar da lavagem para remoção de sais solúveis, a cinza lavada ainda mantém íons liberáveis, especialmente em maiores quantidades, contrariando a expectativa de menor liberação de solutos (Andrade et al., 2017). Além disso, os tratamentos com cinza lavada apresentaram um comportamento mais uniforme ao longo do tempo, com menor flutuação entre os intervalos avaliados. Esse padrão pode indicar que o pré-tratamento de lavagem estabiliza a liberação iônica, embora não reduza necessariamente a concentração final de íons em solução, especialmente quando maiores quantidades de material são aplicadas (Nascimento et al., 2017; Costa et al., 2019).

Os dados obtidos demonstram que a aplicação de cinzas como material sortivo modifica significativamente a composição iônica do meio, o que reforça a importância de se considerar tanto a dosagem quanto o pré-tratamento do material em aplicações voltadas ao controle da salinidade ou à remoção de íons em soluções aquosas (Souza et al., 2021; Nascimento et al., 2018). De acordo com Antonio (2024), a direção do fluxo de nutrientes depende do gradiente de concentração entre o meio e o material sortivo: quando a concentração de nutrientes na

solução é superior à presente nas cinzas, ocorre a sorção desses elementos; por outro lado, em concentrações mais baixas, há liberação de íons do material para o sistema. Nesse contexto, a interação entre a vinhaça e maiores quantidades de cinza pode resultar em um aumento mais expressivo da condutividade elétrica, indicando elevação na concentração de íons disponíveis, o que potencialmente altera as características químicas da vinhaça, incluindo o pH.

É notório que, os resultados apontam para a importância de controlar tanto o tipo quanto a quantidade de cinza utilizada, bem como o tempo de contato. O uso de cinzas in natura pode ser mais eficaz na modificação rápida das propriedades químicas da vinhaça, mas também apresenta uma maior variação no comportamento ao longo do tempo, o que pode exigir um monitoramento mais cuidadoso.

## CONCLUSÕES

A aplicação de CBCA in natura, especialmente na dosagem de 5,0 g durante 72 h, demonstrou elevado potencial para o tratamento da vinhaça, promovendo significativa elevação do pH e estabilização da condutividade elétrica após 24 h de contato. Conclui-se que a CBCA é uma alternativa eficiente para a neutralização da acidez e o controle da salinidade da vinhaça, favorecendo seu reaproveitamento agrônômico de forma ambientalmente segura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. A.; SOUZA, T. R.; CORRÊA, R. M. Lavagem de cinzas e seu efeito na disponibilidade de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 45, p. 23–32, 2017.

ANTONIO, M. M.; FAEZ, R. Desbloqueando recursos de agronutrientes: estratégias de sorção para resíduos da indústria sucroenergética. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 356, p. 120634, 2024.

ARAÚJO, D. F. C. de; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. O setor sucro energético brasileiro: a intervenção estatal como motor do desenvolvimento. **Revista Tocantinense de Geografia, Araguaína**, v. 13, n. 30, p. 173-200, 13 jul. 2024.

BAYAPUREDDY, Y; MUNIRAJ K.; MUTUKURA M.G.. Melhorando as propriedades materiais dos resíduos agroindustriais: cinzas do bagaço da cana-de-açúcar – caminho para o desenvolvimento sustentável. **Futuros Sustentáveis**, v. 7, p. 100154, jun. 2024

BEGA, R. M.; RIBEIRO, O.; MUNHOZ, G. F. L. G.; TOLFO, A. L. T.; CORÁ, J. E. Atributos químicos em decorrência do uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. In: **Congreso latinoamericano y congreso peruano de la ciencia del suelo**, 20.; 16., 2014, Cusco. Anais do Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 2014.

CARRILHO, E. N. V. M.; BUTO, G.; KAMOGAWA, M. Y. Destinação da vinhaça, um resíduo da indústria alcooleira: e prevenção da poluição. In: HOSSAIN, M. A. (org.). **Materiais e resíduos ambientais**. Cap. 2, p. 21-43, 2016.

CHINGONO, K. E.; SANGANYADO, E.; BERE, E.; YALALAA, B. Adsorption of sugarcane vinasse effluent on bagasse fly ash: a parametric and kinetic study. **Journal of Environmental Management**, v. 224, p. 182-190, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **1º Levantamento da Safra de Cana-de-Açúcar 2025/26**. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: Acesso em: 05 ago. 2025.

COSTA, M. S.; PEREIRA, R. S.; LIMA, F. A. Impacto do pré-tratamento de resíduos agrícolas na liberação de nutrientes e contaminantes em solos tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, n. 5, p. 505-514, 2019.

FARIA, A. B.; ANDRADE, C. A.; LIMA, J. M. Comportamento de íons em soluções com aplicação de cinza vegetal. **Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 575–583, 2012.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. D. B.; SILVA, J. G. B. Monitoramento da condutividade elétrica e pH da solução do solo sob diferentes doses de aplicação de vinhaça. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 6, p. 552–561, 2016.

LIMA, M. A.; MORAES, M. P.; SANTOS, L. C. Alterações na condutividade elétrica em solos tratados com resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 267–273, 2019.

MAJ, I.; NIESPOREK, K.; PŁAZA, P.; MAIER, J.; ŁÓJ, P. Cinzas de biomassa: uma revisão das composições químicas e tendências de gestão. **Sustentabilidade**, v. 17, n. 11, p. 4925, 2025.

MELO, G. W. B.; MARQUES, J. R.; SILVA, J. L. Adsorção de íons metálicos em cinzas: implicações ambientais. **Ambiente & Água**, v. 15, n. 6, p. 1–13, 2020.

NASCIMENTO, A. F.; PEREIRA, R. G.; ALMEIDA, J. L. Capacidade de troca iônica e condutividade elétrica em sistemas com cinza vegetal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 190–198, 2018.

NASCIMENTO, E. R.; SILVA, J. A.; SOUZA, D. P. Avaliação da liberação de íons em cinzas de biomassa para aplicação em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 123-134, 2017.

NEINA, D. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. **Hindawi - Applied and Environmental Soil Science**, v. 2019, 9 p., 2019.

PARSAEE, M.; KIANI DEH KIANI, M.; KARIMI, K. Uma revisão sobre a produção de biogás a partir da vinhaça da cana-de-açúcar. **Biomassa e Bioenergia**, v. 122, p. 117–125, 2019.

PERIN, V.; SENTELHAS, P. C.; DIAS, H. B.; SANTOS, E. A. Potencial de irrigação da cana-de-açúcar no Noroeste de São Paulo, Brasil, por meio da integração de ferramentas agrometeorológicas e de SIG. **Agricultural Water Management**, v. 220, p. 50–58, 2019.

SANTOS, I. W. S. **Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da vinhaça de usinas de álcool para a produção de energia**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

SILVA, T. R.; COSCIONE, A. R. Influência da aplicação de cinzas na salinidade de solos tratados. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 203–210, 2015.

SOUZA, R. A.; LIMA, S. F.; CARDOSO, D. P. Influência de resíduos orgânicos na acidez e salinidade de soluções e solos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 3, p. 122–132, 2021.

UNICA – UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E DE BIOENERGIA DO BRASIL. **Relatório de Safra 2024/2025**. São Paulo, 2025. Acesso em: 04 ago. 2025.