

Alternativas sustentáveis ao uso da vinhaça: uma revisão

A vinhaça é um subproduto da produção do etanol que se descartada incorretamente pode causar sérios danos ambientais relacionados com o baixo pH, temperatura, alta DBO e várias substâncias, que se em grandes quantidades, podem ser tóxicas para vários organismos presentes na água e no solo. Fato esse que se torna preocupante, uma vez que a média de produção de vinhaça no território brasileiro no ano de 2019, foi em torno de 303,1 bilhões de toneladas do subproduto. Afim de propor uma alternativa para o descarte desse resíduo, o presente estudo objetivou analisar o uso da Vinhaça como um possível resíduo agroindustrial sustentável, que atende aos três requisitos do tripé da sustentabilidade. O trabalho foi realizado através de uma revisão bibliográfica nas bases do Web of Science e no Google acadêmico. Como resultados, foi verificado que a vinhaça possui um alto potencial poluidor e que o mesmo pode ser evitado se for reaproveitado nas práticas de fertirrigação e produção de biogás. Por tanto, essa prática pode agregar valor econômico através da venda dos produtos que podem ser gerados, valor ambiental pela não poluição dos solos e recursos hídricos e valor social através da melhora da qualidade de vida do cidadão.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais; Problemas ambientais; Sustentabilidade.

Sustainable alternatives to the use of vinasse: a review

Vinasse is a by-product of ethanol production that, if disposed of incorrectly, can cause serious environmental damage related to low pH, temperature, high BOD and various substances, which, if in large quantities, can be toxic to various organisms present in water and soil. This fact is worrying, since the average production of vinasse in Brazil in 2019 was around 303.1 billion tons of the by-product. In order to propose an alternative for the disposal of this residue, the present study aimed to analyze the use of Vinhaça as a possible sustainable agro-industrial residue, which meets the three requirements of the sustainability tripod. The work was carried out through a bibliographic review in the bases of Web of Science and Google academic. As a result, it was found that vinasse has a high polluting potential and that it can be avoided if it is reused in fertigation practices and biogas production. Therefore, this practice can add economic value through the sale of products that can be generated, environmental value by not polluting soil and water resources and social value through improving the quality of life of the citizen.

Keywords: Agro-industrial residues; Environmental problems; Sustainability.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/02/2022**

Approved: **23/02/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Rafaela Caldas de Paula 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6025899383165922>

<http://orcid.org/0000-0001-6631-8618>

raafacaldas@gmail.com

Fatima de Jesus Bassetti 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2503217084973311>

<http://orcid.org/0000-0002-6697-6503>

fibassetti@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0017

Referencing this:

PAULA, R. C.; BASSETTI, F. J.. Alternativas sustentáveis ao uso da vinhaça: uma revisão. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.2, p.186-197, 2022. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0017>

INTRODUÇÃO

O sistema de agronegócio tem extrema importância para o Brasil, visto que, ele atua diretamente no processo de crescimento e desenvolvimento do país. A cada ano esse setor demonstra um aumento da produtividade, exportação, tendo como consequência o ganho econômico, tornando-o indispensável para o Brasil (GASQUES et al., 2011). Essa importância é demonstrada através dos dados obtidos na Conferência das Nações Unidas para o Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) que indicam que em 2027 o Brasil será o maior país agrícola do mundo (NÓBILE et al., 2017).

Dentro do sistema do agronegócio uma planta que se destaca é a cana-de-açúcar, que é amplamente produzida e utilizada no Brasil devido a sua fácil adaptação aos climas do território nacional. Um exemplo dessa alta produção foi a safra de 2019/20, sendo estimada em 615.978,9 mil toneladas (CONAB, 2019). Ou seja, essa cultura é de extrema importância para o cenário econômico nacional. Sua importância é ressaltada, uma vez que o Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, que é obtido a partir do processamento da cana-de-açúcar (CONAB, 2018). Sendo que, o relatório da CONAB (2019), demonstrou que, somente em 2020, o país produziu de 30,31 bilhões de litros de etanol. Apesar da expressiva produção de etanol, um fato que merece atenção é de que a cada de litro de etanol que é produzido, é gerado em média de dez a treze litros de vinhaça (SILVA et al., 2007; FUESS et al., 2017).

A vinhaça, é um dos subprodutos da produção do etanol, também conhecida, regionalmente, como vinhoto e restilo. É reconhecida como um subproduto da destilação do vinho resultante da fermentação do melaço ou do caldo de cana (CETESB, 2006). Sua coloração é derivada do pigmento melanoidina, que confere a vinhaça uma cor castanho escuro. A vinhaça tem como composição básica 7% de sólidos em suspensão, representadas pelos os compostos minerais e orgânicos, e 93% de fase líquida. Além disso, é caracterizada pelo seu alto teor de nitrogênio, potássio, açúcares e compostos fenólicos e cálcio, magnésio, enxofre e fósforo em menores concentrações (CRISTOFOLETTI et al., 2013; SILVA, 2007). Com base nos dados fornecidos pela CONAB (2019) a média de produção de vinhaça no território brasileiro no ano de 2019, em torno de 303,1 bilhões de toneladas do subproduto.

A vinhaça possui um altíssimo potencial poluidor, cerca de cem vezes maior do que o do esgoto doméstico. Isso, pode ser dado por alguns fatores, como por exemplo: o baixo valor de pH (4,3), o alto índice de DBO (que varia de 20.000 a 35.000 mg L⁻¹) e o alto índice de DQO (23,801 mg L⁻¹) (SEIXAS et al., 2016). Outro fator, que causa grandes adversidades ao meio ambiente é a alta temperatura que a vinhaça sai dos aparelhos de destilação, ficando em torno dos 85 °C a 90 °C e pode apresentar grande nocividade a flora, fauna e aos microrganismos, se lançada em rios ou no solo (SILVA, 2014). A presença de melanoidina na composição da vinhaça, que é um biopolímeros, possui uma forte natureza recalcitrante e propriedades antioxidantes, sendo tóxicas para alguns microrganismos que estão tradicionalmente envolvidos nos processos de tratamento biológico de efluentes (SIRIANUNTAPIBOON et al., 2004).

Para evitar que os danos, mencionados anteriormente, aconteçam medidas sustentáveis podem ser empregadas. A sustentabilidade por sua vez poderá ser alcançada quando todos os pontos do seu tripé forem

atingidos, os quais estão relacionados com questões sociais, econômicas e ambientais (LIRA et al., 2013; CAVALCANTI et al., 2015). Além disso, a sustentabilidade possui o objetivo de promover um aumento expressivo na atividade econômica através do uso eficiente dos recursos com uma menor geração de emissões que apresentem nocividade para o ambiente (CAVALCANTI et al., 2015).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi propor, através de uma revisão da literatura, medidas sustentáveis para o uso da vinhaça. Que foi feita de tal forma que fossem sugeridas formas de como esse resíduo poderia incorporado positivamente nos setores econômicos e social sem causar qualquer malefício ao meio ambiente.

METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa de revisão bibliográfica, que visa uma busca elaborada no material já publicado para a análise do potencial poluidor da Vinhaça e formas de reutilizá-la de maneira sustentável. A metodologia foi feita de forma qualitativa seguindo a técnica proposta por Bardin (1977) adaptada. A pesquisa foi realizada através de uma busca dos artigos publicados nas bases do Google Acadêmico e do *Web of Science*.

Foi dada a preferência por trabalhos publicados a partir dos anos 2000, mas, uma pequena quantidade de artigos que possuíam datas inferiores a essas, foram utilizados caso apresentassem informações extremamente relevantes para o tema do trabalho. Os trabalhos escolhidos para compor a revisão foram selecionados a partir da leitura dos seus resumos. As palavras chaves utilizadas foram: Vinhaça + Sustentabilidade, Vinhaça + Uso, Vinhaça + Sustentabilidade, Vinhaça + Biogás, Vinhaça + Fertirrigação, *Vinasse + Sustainability*, *Vinasse + Use*, *Vinasse + Sustainability*, *Vinasse + Vinasse Biogas + Fertirrigation*. Nesse trabalho foram utilizados um total de 43 artigos.

DISCUSSÃO TEÓRICA

A vinhaça é um resíduo agroindustrial que pode causar a poluição dos corpos hídricos e dos solos, como é demonstrado no Quadro 1. Como citado anteriormente, seu potencial poluidor se dá pela grande quantidade de matéria orgânica presente nesse resíduo, além de algumas substâncias tóxicas e químicas como enxofre e alguns metais pesados que se em grandes quantidades podem causar sérios danos a flora, fauna e a saúde pública. Esse resíduo por muito tempo foi descartado sem nenhuma intervenção prévia, gerando vários danos ao meio. Por conta disso, surge a necessidade de encontrar medidas alternativas que visem a utilização desse resíduo, de tal forma que seu descarte não seja necessário (SEIXAS et al., 2016; TOSELLO et al., 2021).

Quadro 1: Impactos gerados pela vinhaça ao longo dos anos, quando descartadas incorretamente.

Título do Artigo	Autor	Dano
Avaliação da viabilidade do uso de vinhaça como adubo.	CHITOLINA et al. (2021)	Lixiviação de metais do solo, contaminação de fluxos subterrâneos d'água, elevação da densidade do solo, desequilíbrio ambiental de rios, inviabilizando a vida e o consumo da água.
Alterações físicas e biológicas pela	MIRANDA et	Aumento da umidade e porosidade do solo, reduzindo as

aplicação da vinhaça em solo cultivado com cana-de-açúcar após colheita.	al. (2012)	densidades de Dorylaimida (ordem de diversos nematoides) e especialmente Meloidogyne (nematoides de galha, endoparasitas de plantas).
Solos fertirrigados com vinhaça de cana-de-açúcar ao longo dos anos apresentam toxicidade em bioindicadores de solo.	CORREIA et al. (2018)	Altas concentrações de potássio e outros metais nos solos, possível salinização, acúmulo de substâncias tóxicas nos solos, águas subterrâneas e corpos hídricos que podem comprometer as condições de sobrevivência da fauna, flora e microbiota local.
Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água freática.	ROLIM et al. (2013)	Alteração dos valores de CE, DBO, DQO e as concentrações de SDT, Cl ⁻ , K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺ da água do lençol freático.
Identificação do potencial de contaminação por vinhaça em aquíferos na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil.	JUNQUEIRA et al. (2009)	Alto potencial de contaminação dos aquíferos livres.
Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás pela contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar.	SILVA et al. (2010)	Cerca de 57% das terras fertirrigadas apresentaram uma vulnerabilidade “alta” ou muito alta”.

Nogueira (2014) discorreu em seu trabalho quanto as concentrações utilizadas na fertirrigação, uma vez que altas quantidades podem causar grandes malefícios, como a contaminação e salinização de aquíferos subterrâneos. Outro problema citado pelo autor e que pode ser atrelado ao uso descontrolado da vinhaça é a formação de compostos poluidores na água, como o nitrato de potássio, gerado pelas altas concentrações de potássio desse resíduo. Para evitar que esses problemas aconteçam devem ser seguidos as recomendações estabelecidas pela CETESB (2015), que descreve as condições nas quais a vinhaça pode ser utilizada. Algumas das pautas dessa normativa são: não é permitido a fertirrigação da vinhaça em áreas de proteção permanente; não pode ser realizada em áreas que contenham poços; a fertirrigação só pode ser realizada em áreas que estejam a no mínimo 1000 metros dos núcleos populacionais urbanos; a profundidade do nível de água do aquífero livre, no momento da fertirrigação, quando em solos não arenosos, deve ser de 1,50 m; e que a concentração máxima de potássio não pode exceder 5% da CTC.

Além das questões ambientais, a vinhaça pode demonstrar um grande valor comercial e social. Sendo que, para atingir esses setores existem diversos estudos e trabalhos relevantes que expõem diferentes formas/possibilidades de agregar valor a esse resíduo, como os trabalhos de Araújo (2021) e Andrade (2012). Na figura 1 está representado um esquema feito através de uma busca no *Web of Science* com as áreas acadêmicas que mais promovem publicações sobre a vinhaça e a sua utilização.

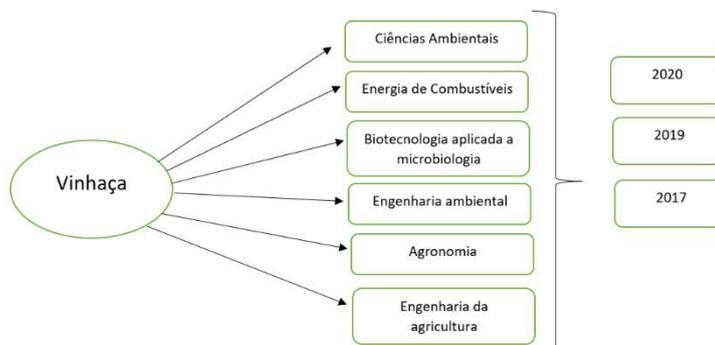


Figura 1: Busca no *Web of Science* com as áreas e os anos que possuem os maiores números de trabalhos relativos ao uso da vinhaça.

Algumas utilizações estabelecidas por esses trabalhos e que se mostraram amplamente vantajosas foram: A utilização da vinhaça como meio de cultura alternativo para a produção de goma de xantana (LEITE et al., 2013); como adubo (CHITOLINA et al., 2021); como meio alternativo para cultivo de microalgas para a geração de energia (MARQUES, 2013); meio alternativo para cultivo de *Candida Utilis* (REIS et al., 2020); dentre outros. Porém, a maioria dos trabalhos encontrados foram relativos ao uso da vinhaça como agente para a fertirrigação e para a produção do biogás, que serão abordados separadamente na sequência.

Vinhaça na fertirrigação

A vinhaça possui um grande potencial para a fertirrigação quando aplicada em determinadas proporções. Em concentrações ideais, as plantas podem utilizá-la como fonte de fósforo e potássio, fazendo com que a produtividade agrícola seja consideravelmente aumentada. Além de proporcionar um aumento na taxa de respiração microbiana e no potencial de retenção da água (ARAÚJO, 2021). Uma pauta importantíssima é de que quando a fertirrigação é feita corretamente, essa pode ser uma substituta valiosa à adubação convencional, uma vez que, essa apresenta resultados semelhantes com um custo bem menor de aplicação e processamento. A economia gerada pela substituição do adubo pela fertirrigação pode promover uma economia de até U\$ 75 por hectare fertirrigado (ROSSETTO, 2004). No Quadro 2 são apresentadas culturas que são beneficiadas se forem fertirrigadas com a vinhaça.

Quadro 2: Culturas fertirrigadas com vinhaça nos últimos 10 anos e melhorias obtidas através do implemento da fertirrigação.

Título do artigo	Autor	Melhorias
Reaproveitamento da vinhaça na fertirrigação da cana orgânica.	SOUZA et al. (2018)	A vinhaça atua como fonte de nutrientes (K e N) que proporciona benefícios na fertirrigação da cana orgânica. Além de não existir a necessidade de usar adubos químicos, agrotóxicos e prolongar a produtividade de cana.
Fertirrigação da <i>Crotalaria retusa</i> com vinhaça de cachaça.	FERREIRA et al. (2021)	A vinhaça proporcionou melhorias na composição final do solo relacionados com o pH e perfil mineral quando o Feijão do Diabo foi fertirrigados a desejáveis a partir da diluição com 25,0% até o máximo de 50,0% de vinhaça.
Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo (<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>) fertirrigada com vinhaça.	FANAYA JÚNIOR (2017)	Culturas jovens de Palma de óleo tiveram seu crescimento beneficiado quando foram fertirrigados com 75% de vinhaça.
Fertirrigação com vinhaça concentrada no desenvolvimento da alface.	DALRI et al. (2014)	A utilização da vinhaça como biofertilizante proporcionou um aumento significativo nas características morfológicas da alface, gerando plantas maiores, com mais folhas e maior massa fresca.
Produtividade do manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i>) fertirrigado utilizando vinhaça concentrada.	PALARETTI et al. (2015)	O potássio contido na vinhaça proporcionou um aumento nas características biométricas, altura da planta e diâmetro do caule, do Manjeriço.
Fertirrigação do abacaxi cultivar vitória com vinhaça: efeitos no solo e na planta.	FRANCISCO (2013)	O aumento das doses da vinhaça gerou melhores condições biométricas relacionadas com a altura da planta, comprimento e largura das folhas e número de folhas do Abacaxi
Avaliação da fertirrigação do solo com vinhaça no município de Morrinhos-Goiás.	VILELA et al. (2017).	Aumento dos macronutrientes, redução do o alumínio e aumento da fertilidade do solo.
Influência da aplicação de vinhaça sobre as características biológicas e químicas de amostras de argissolo.	BENTO et al. (2017)	Influência positiva na microbiota do solo e incremento nos teores de fósforo e potássio na solução do solo.
Impacto da aplicação da vinhaça na	PAVEGLIO et al.	O uso da vinhaça estimulou a população de fungos do solo

população de fungos e bactérias do solo.	(2018)	independentemente do tempo de uso do resíduo.
Setor sucroenergético e estratégias microbiológicas para mitigação dos impactos ambientais da aplicação da vinhaça.	GASPAROTTO et al. (2019)	Melhora no desenvolvimento e crescimento de microrganismos e microalgas na vinhaça.
Características tecnológicas da cana-de-açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférrico.	PRADO et al. (2017)	Aumento na produtividade da cana-de-açúcar.

A fertirrigação com a vinhaça pode ser aplicada em uma diversidade de culturas, sendo que a cana-de-açúcar é a cultura que possui maiores números de trabalhos que discutem a respeito da sua fertirrigação (SOUZA et al., 2018; WATANABE et al., 2019; SANCHES, 2021). Além disso, culturas como a do feijão-do-diabo (FERREIRA et al., 2021), palma de óleo (FANAYA JÚNIOR, 2017), alface (DALRI et al., 2014), manjeriço (PALARETTI et al., 2015) e abacaxi (FRANCISCO, 2013) demonstraram um aumento das medidas biométricas, em especial em relação ao tamanho da planta, demonstrando o alto potencial da vinhaça como agente fertirrigador.

Quando os requisitos da CETESB (2015) são atendidos, a vinhaça se demonstra uma excelente candidata a fertirrigação. Uma vez que esse processo tem como objetivo a fertilização das culturas através da água. A junção da água com os nutrientes é extremamente benéfica para as plantas gerando maiores rendimentos de produção. Além disso, a vinhaça possui uma grande estabilidade biológica, o que permite que ela seja armazenada por longos períodos de tempo até que sua aplicação seja necessária (IAC, 2011). Um exemplo da soma desses fatores e seus satisfatórios resultados são os artigos publicados nos últimos 10 anos, que estão apresentados no Quadro 2.

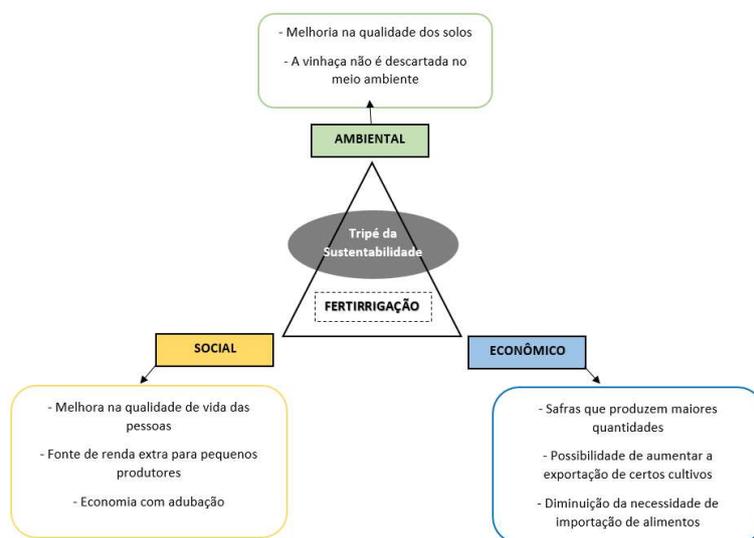


Figura 2: Principais benefícios sustentáveis gerados a partir do uso da vinhaça como agente fertirrigador.

Foi observado na literatura que alguns trabalhos propõem formas e maneiras mais eficientes para a utilização da vinhaça. Carvalho et al. (2017) demonstrou que a vinhaça previamente tratada em biodigestores anaeróbios promove resultados melhores do que se utilizar somente a vinhaça in natura. Segundo essa linha Buller et al. (2021) reforçou os benefícios no uso da vinhaça biodigestada para a fertirrigação. Já Medina et al. (2020) sugere o reuso da vinhaça como uma fonte geradora de um altíssimo potencial agrônomo gerando uma grande produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Mattos (2018) demonstrou a

utilização da vinhaça proveniente da cachaça do alambique como uma candidata promissora para a fertirrigação, uma vez que essa, apresentou melhores resultados, em relação a sua composição rica em macro e micronutrientes. A eficiência do uso desse resíduo está relacionada com as doses de vinhaça que devem ser utilizadas (RIBEIRO et al., 2018; PRADO et al., 2017; SANTOS et al., 2019).

Sendo assim, relacionando esses fatores com a sustentabilidade os três pilares, que compõem esse conceito, podem ser atendidos através do uso da vinhaça como agente fertirrigador. As principais atividades que se enquadrariam no tripé da sustentabilidade são apresentadas na Figura 2.

Vinhaça na produção do biogás

A biodigestão é a degradação anaeróbia da carga orgânica, cujo produto final pode ser biogás (CH₄ e CO₂) (PENTEADO et al., 2017). A produção de metano é um processo vantajoso devido ao seu potencial de geração de energia, com isso o seu custo de tratamento é reduzido, também pela capacidade de suporte de grandes quantidades de DBO e o mais importante, gera uma considerável redução da carga orgânica da vinhaça (CRUZ, 2011).

O biogás tem um extenso potencial para a geração de energia, pois sua produção gera uma quantidade elevada de metano. O biogás tem como poder calorífico em média 5000 a 7000 kcal.m⁻³, valor esse que pode ser elevado para 12.000 kcal.m⁻³ se o CO₂ for retirado da mistura. Sendo assim, utilizar o biogás como fonte de energia pode ser uma solução inovadora que acarretaria na diminuição de utilização de recursos não renováveis, além de diminuir a quantidade de gases emitidos na atmosfera, o que o torna uma alternativa sustentável (SZYMANSKI et al., 2010).

A produção de biogás a partir da vinhaça é extremamente viável, uma vez que a composição desse resíduo possui grande parte da matéria orgânica solubilizada o que gera uma facilidade para que ocorra o processo de biodigestão anaeróbia. A eficiência desse processo é demonstrada a partir de trabalhos como o de Silva (2015), onde 1 m³ de vinhaça produziu 12 m³ de biogás, evidenciando, mais uma vez, o grande potencial energético desse resíduo. Além desse trabalho, muitos outros abordaram satisfatoriamente o potencial da vinhaça para a produção de energia, esses serão apresentados no Quadro 4.

Sousa (2017), propôs modelos computacionais que auxiliam na implementação dessa fonte de energia, e que além disso, realizam uma análise do potencial de produção do biogás a partir da vinhaça. Essa ferramenta computacional torna-se muito útil, uma vez que através de uma simples simulação se tem dados relacionados com as melhores formas de instalação, geração de energia e viabilidade econômica da produção, que é gerada a partir do uso desse resíduo em questão.

Quadro 3: Trabalhos publicados recentemente que abordam o potencial de produção de biogás a partir da vinhaça.

Artigo	Autor	Resultados
Biodigestão anaeróbia da vinhaça para a produção de biogás.	BOSCHIERO et al. (2017)	Grandes concentrações de vinhaça favorecem a produção de biogás. A vinhaça in natura apresenta grande vantagem tecnológica, e operacional para a produção de energia.
Aproveitamento da vinhaça residual da produção do etanol para a geração de biogás.	SILVA et al. (2019)	O aproveitamento da vinhaça apresenta uma grande viabilidade técnica econômica para geração de biogás. E proporciona uma redução das emissões de metano (CH ₄) e óxido nitroso (N ₂ O).
Estimativa do potencial de produção	SOUZA et al.	Os resultados demonstram uma produção estimada de biogás

de biogás a partir da digestão anaeróbia de vinhaça no estado de São Paulo Safra.	(2019)	correspondente a 7,33% de todas as residências do estado de São Paulo. Além de uma redução considerável da DQO do resíduo.
Análise do potencial de geração de biogás em reatores anaeróbios submetidos ao tratamento da vinhaça: Influência da concentração de DQO e do pH.	OLIVEIRA (2019)	Concentrações de 10 g/L do resíduo e pH 7 favorecem a atuação de bactérias acidogênicas e metanogênicas, gerando uma otimização na produção do biogás.
Análise de viabilidade econômica financeira do uso de vinhaça para geração de eletricidade no Brasil.	ARAUJO et al. (2020)	O uso de vinhaça para geração de eletricidade está restrito a produtores de médio e grande porte.
A spatially explicit assessment of sugarcane vinasse as a sustainable by-product.	BULLER et al. (2021)	O uso de reatores UASB produziu 10 Nm ³ de biogás por m ³ de vinhaça, evidenciando o potencial de produção de biogás nesse reator, que apresentou quase 10 vezes mais rendimento do que as condições experimentais.
Kinetic study of biogas production from anaerobic digestion of vinasse waste.	USMANI et al. (2021)	Os melhores resultados foram encontrados usando 10 g de biocatalisador (Citadel BioCat+) a temperatura de 37 °C .
Potential impacts of vinasse biogas replacing fossil oil for power generation, natural gas, and increasing sugarcane energy in Brazil.	SILVA NETO et al. (2021)	O biogás da vinhaça pode trazer grandes benefícios, como redução de custos de US \$ 1 bilhão / ano na produção de energia. Além de evitar as emissões de 6,7 milhões de toneladas de CO ₂ / ano. Isso se dá, pelo alto potencial de produção do biogás a partir da vinhaça que pode substituir ou reduzir fontes de energia poluidoras e/ou não renováveis.

Sendo assim, quando relacionamos todos esses fatores com a sustentabilidade temos que os três pilares que compõem esse conceito podem ser atendidos através do uso da vinhaça como fonte para a produção do biogás. As principais atividades que se enquadrariam no tripé da sustentabilidade são apresentadas na Figura 3.

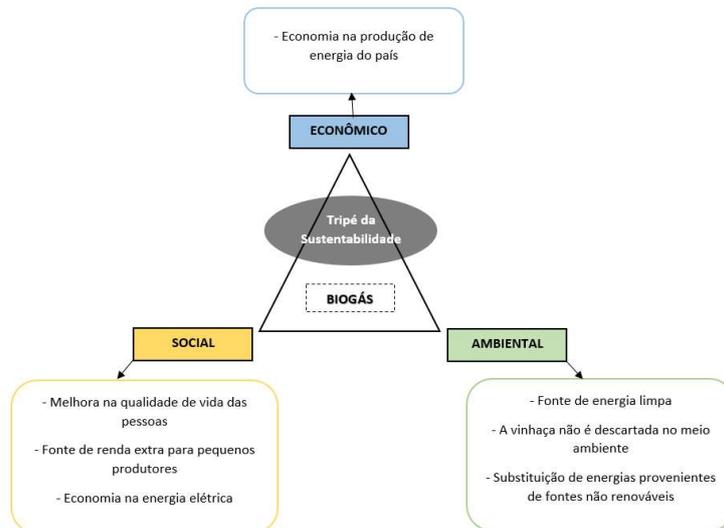


Figura 3: Principais benefícios sustentáveis gerados a partir do uso da vinhaça para a produção do biogás.

CONCLUSÕES

Como considerações finais têm-se que a vinhaça apresenta várias possibilidades de utilização. As mais expressivas certamente foram a sua utilização para produção de biogás e o uso na fertirrigação. Além disso, esse resíduo se mostrou extremamente sustentável, uma vez que sua utilização engloba práticas que podem agregar valor tanto para a população e a economia, quanto para o meio ambiente.

Tanto a fertirrigação quanto a produção de biogás podem ser utilizados por pequenos e médio

produtores como fonte de geração de renda extra. Além disso, para as outras utilizações, a vinhaça pode ser utilizada como fonte de economia, uma vez que esse produto pode ser utilizado para a suplementação de alguns animais, geração de biogás em biodigestores caseiros para produção de gás para o cozimento de comidas, adubação de hortas, entre outros vários exemplos. Outro fator importante é a melhora da qualidade de vida, uma vez que o acesso a um ambiente mais limpo e a possibilidade de novas fontes de renda possibilitam um aumento considerável na qualidade de vida social. Sendo assim, o uso da vinhaça com essas finalidades torna-se compatível com os dois primeiros pilares da sustentabilidade, englobando o fator econômico e social.

Já no quesito ambiental, tem-se que o uso desse resíduo na produção do biogás e na fertirrigação evita que ele seja descartado imediatamente e de forma incorreta no solo e na água. Isso se dá, pois, para que a vinhaça seja utilizada é exigido que ela passe pelos processos de tratamento e/ ou diluição. Esses processos fazem com que a carga inicial que antes era altamente poluidora e nociva ao meio seja anulada ou reduzida consideravelmente.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. P.. **Uso da vinhaça na fertirrigação**: revisão da literatura sobre a técnica e seus benefícios. Monografia (Bacharelado em Engenharia ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ARAUJO, G. J. F.; OLIVEIRA, S. V. W. B.. Análise de viabilidade econômica financeira do uso de vinhaça para geração de eletricidade no Brasil. **Cadernos EBAPE. BR**, Rio de Janeiro, v.18, p.936-955, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/1679-395120190069>

ARAÚJO, I. S.. **Cultivo de cana de açúcar fertirrigada com vinhaça**: uma revisão de literatura. Monografia (Bacharelado em engenharia agrônoma) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2021.

BARDIN, L.. **L'analyse de contenu**. France: Presses Universitaires, 1977.

BENTO, A.; RAMARI, T.; SCHMIDT FILHO, E.; GASPAROTTO, F.. Influência da aplicação de vinhaça sobre as características biológicas e químicas de amostras de argissolo. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v.14, n.25, p.806-820, 2017. DOI: http://doi.org/10.18677/EnciBio_2017A64

BOSCHIERO, M. V.; MARTINS, C. F.; ALVES, V. R. S.; ROSA, P. R. F.. Biodigestão anaeróbia da vinhaça para a produção do biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12. **Anais**. São Paulo: UFSCar, 2017.

BULLER, L. S.; ROMERO, C. W. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; FERREIRA, S. F.; BORTOLETO, A. P.; MUSSATTO, S. I.; CARNEIRO, T. F.. A spatially explicit assessment of sugarcane vinasse as a sustainable by-product. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v.765, p.142717, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142717>

CARVALHO, R. F.; VARESCHINI, D. T.; GIMENSES, M. L.; GUIMARÃES, S. C.; GONÇAVELZ, B. M.. Avaliação da

Fertirrigação com vinhaça tratada em biodigestores anaeróbios. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 29. **Anais**. São Paulo: ABES, 2017.

CAVALCANTI, F. A.; CARTAXO, G. A. A.. Práticas de produção Sustentável aplicadas no agronegócio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 35. **Anais**. Fortaleza: Enegep, 2015.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Vinhaça**: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola: Norma Técnica. São Paulo: Cetesb, 2006.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Vinhaça**: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola: Norma Técnica. São Paulo: Cetesb, 2015.

CHITOLINA, G. M.; HARDER, M. N. C.. Avaliação da viabilidade do uso de vinhaça como adubo. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Araçatuba, v.10, n.2, p.08-24, 2021.

CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIRA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S.. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste management**, London, v.33, n.12, p.2752-2761, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, V.6 - SAFRA 2019/20 N.2**: Segundo levantamento. Brasília: CONAB, 2019.

CONAB. **Acompanhamento de safra de Cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, 2018.

CORREIA, J. E. C.; SOUZA, C. M.; SOUZA, C. P. S.; SOUZA, R. B.; CHRISTOFOLETTI, C. A.; CHRISTOFOLETTI, C. S. F.. Solos fertirrigados com vinhaça de cana-de-açúcar ao longo dos anos apresentam toxicidade em bioindicador de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 15. **Anais**.

Sergipe, SBE, 2018.

CRUZ, L. F. L. S.. **Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o setor sucroenergético do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Hidráulica e saneamento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

DALRI, A. B.; CARVALHO NETO, O. F.; MAZZONETTO, F.; CORBANI, R. Z.. Fertilização com vinhaça concentrada no desenvolvimento da alface. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.6, n.2, p.93-100, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v6n22014559>

FANAYA JÚNIOR, E. D.. **Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) fertilizada com vinhaça**. Tese (Doutorado em Engenharia de sistemas agrícolas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

FERREIRA, I. C.; PINTO, R.; MATA, R. A.; PINTO, R.. Fertilização da *Crotalaria Retusa* com vinhaça de cachaça. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ACADÊMICAS, 12. **Anais**. Belo Horizonte: SINPAC, 2021.

FRANCISCO, J. P.. **Fertilização do abacaxi cultivar vitória com vinhaça**: efeitos no solo e na planta. Tese (Doutorado em Engenharia de sistemas agrícolas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FUESS, L. T.; ARAÚJO JÚNIOR, M. M.; GARCIA, M. L.; ZAIAT, M.. Designing full-scale biogas plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs?. **Chemical Engineering Research and Design**, London, v.119, p.209-220, 2017 DOI: <http://orcid.org/0000-0002-6002-3840>

GASPAROTTO, F.; WATANABE, A. Y. M.; MARTINS, G. M.; SILVA, C. N.; SCHIMIDT FILHO, E.. Setor sucroenergético e estratégias microbiológicas para mitigação dos impactos ambientais da aplicação da vinhaça. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v.10, n.1, p.241-251, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0020>

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M.. Produtividade e crescimento da agricultura brasileira. **AgronEgócios**, Brasília, v.21, n.3, p.72, 2011.

IAC. Instituto Agrônomo. **Fertilização em hortaliças**: Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC. Campinas: IAC, 2011.

JUNQUEIRA, C. Á. R.; JUNIOR, V. E. M.; LOSSARDO, L. F.; FELICIO, B. C.; MOREIRA JUNIOR, O.; FOSCHINI, R. C.; MENDES, R. M.; LORANDI, R.. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v.39, n.3, p.507-518, 2009.

LEITE, J. A. C.; POZZI, E.; ZAIAT, M.; PELIZER, L. H.; PASOTTO, M. B.. Estudo Preliminar da utilização da vinhaça para a produção de goma xantana. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 19. **Anais**. Foz do Iguaçu: SINAFERM, 2013.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A.. **Gestão sustentável dos recursos naturais**: uma abordagem participativa. Campina

Grande: Eduepb, 2013.

MARQUES, S. S. I.. **Microalgas como matéria-prima para geração de biocombustíveis**: uso da vinhaça como alternativa de redução de custos e contribuição à sustentabilidade. Dissertação (Mestrado acadêmico em Biotecnologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

MATTOS, D. S.; MARGARIDO, L. A. C.; ANTONINI, S. R. C.. Influence of sugarcane variety and management on the mineral composition of vinasse from alembic cachaça. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.40, p.e36581-e36581, 2018. DOI: <http://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.36581>

MEDINA, E. C.; FRANCO, E. S. E. S.; PACHECO, A. B.; NOGUERIA, K. B.. Reuso da vinhaça na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.14, n.4, p.4154-4161, 2020. DOI: <http://doi.org/10.7127/rbai.v14n401187>

MIRANDA, T.; PEDROSA, E. M.; SILVA, Ê. F. D. F.; ROLIM, M. M.. Alterações físicas e biológicas em solo cultivado com cana-de-açúcar após colheita e aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.1, p.150-158, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5039/agraria.v7i1a897>

NÓBILE, F. O.; ANDRADE, T. C. R.; BORGEA, S. F.; CANTIERI, J. A.; KAWANO, A. C. S.. Doses de resíduo da brassagem da cerveja na fertilidade do solo. **Nucleus**, Ituverava, v.14, n.1, p.335-340, 2017. DOI: <http://doi.org/10.3738/1982.2278.1647>

NOGUEIRA, A. C. C.. **Avaliação de um sistema anaeróbio-aeróbio para tratamento da vinhaça**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

OLIVEIRA, M. D.; MOURA, R. B.; LORENCETTI, M. C.; BOCHI, G. S.. Análise do potencial de geração de biogás em reatores anaeróbios submetidos ao tratamento da vinhaça: Influência da concentração de DQO e do pH, p.364-370. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CINÉTICA, 13. **Anais**. São Paulo: Blucher, 2019. DOI: <http://doi.org/10.5151/cobecic2019-EAT34>

PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; DANTAS, G. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, W. F.; SANTOS, M. G.. Produtividade do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) fertilizado utilizando vinhaça concentrada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Fortaleza, v.9, n.5, p.326-334, 2015. DOI: <http://doi.org/10.7127/rbai.v9n500326>

PAVEGLIO, S. S.; BETTIO, I.; BORGES, A. S.; LAZARETTI, G.; ROSA, M. M.. Impacto da aplicação da vinhaça na população de fungos e bactérias do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 11. **Anais**. Porto Alegre: PUCRS, 2018.

PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; DOURADO, D. C.; GUERI, V. D.. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v.3, n.1, p.26-33, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56013>

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; MAUAD, M.; ENSINAS, S.

- C.; PAIM, L. R.. Características tecnológicas da cana-de-açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.4, p.386-395, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5965/223811711642017386>
- REIS, M. L. F.; PIRES, J. R. M.; GRAZZIOTTI, P. H.; NELSON, D. L.; PINTO, N. A. V. D.; REIS, A. B.; CANUTO, M. H.; BORGES, C. L. B.; OLIVEIRA, D. C. S.. Potencial de crescimento da *Candida Utilis* em vinhaça de bioetanol enriquecida. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v.6, n.11, p.86489-86505, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv6n11-173>
- RIBEIRO, L. K. M.; COSTA, A. R.; PEREIRA, A. D.; TAVEIRA, J. H. S.; SILVA, P. C.; MELO, M. C. R.. Aplicação de vinhaça: efeito na matéria orgânica do solo cultivado com sorgo sacarino. **Brazilian Applied Science Review**, São José dos Pinhais, v.3, n.2, p.881-888, 2018. DOI: <http://doi.org/10.34115/basr.v3i2.922>
- ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS, R. F.; SILVA, Ê. F. F.; PEDROSA, E. M. R.. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água freática. **Revista Ambiente & Água**, Recife, v.8, p.155-171, 2013. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1014>
- ROSSETTO, R.. A cultura da cana, da degradação à conservação. **Visão Agrícola**, São Paulo, v.1, n.1, p.80-85, 2004.
- SANCHES, G. S.. **Avaliação do desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e *Bacillus subtilis***. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Unicesumar, Maringá, 2021.
- SANTOS, S.-C.; FERNANDES, P. D.; QUEIROZ, M. F.; ARRIEL, N. H. C.; RIBEIRO, V. H. A.; FERNANDES, J. D.. Physiology and production of sesame genotypes BRS-Seda and Preto under organomineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Recife, v.23, n.12, p.914-918, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p914-918>
- SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; MACHADO, N. R. C. F.. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v.39, p.172-179, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160013>
- SILVA NETO, J. V.; GALLO, W. L. R.. Potential impacts of vinasse biogas replacing fossil oil for power generation, natural gas, and increasing sugarcane energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v.135, p.110281, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110281>
- SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R.. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.38-43, 2014.
- SILVA, D. A.; LUCENA, G. A. R.; BARBOSA, A. T. R.; BRAGA, M. A. C.. Vinhaça: Resíduos das usinas de álcool, uma alternativa energética para um estado do centro-oeste. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 4. **Anais**. Rio de Janeiro: Sebra, 2015.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C.. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108-114, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100014>
- SILVA, M. G. B.; CAMPOS, A. B.. Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.30, n.1, p.155-170, 2010. DOI: <http://doi.org/10.5216/bgg.v30i1.11202>
- SILVA, M. M.; OLIVEIRA, L. S.; RUBIO, J. C. C.. Aproveitamento da vinhaça residual na produção de etanol para a geração de biogás. **RETEC-Revista de Tecnologias**, Ourinhos, v.12, n.2, p.17-25, 2019.
- SIRIANUNTAPIBOON, S.; PHOTHILANGKA, P.; OHMOMO, S.. Decolorization of molasses wastewater by a strain No. BP103 of acetogenic bacteria. **Bioresource Technology**, Nova York, v.92, n.1, p.31-39, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.010>
- SOUZA, E. A.; FERREIRA, D.; SILVA, M.. Produção de biogás a partir da vinhaça: simulação computacional para reator UASB. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.14, n.26, 2017, p.1406-1418. DOI: http://doi.org/10.18677/EnciBio_2017B118
- SOUZA, C. J. G.; SÁ, D. O.; FERREIRA, E. A.; SILVA, G. M.; COSTA, D. L.. Reaproveitamento da vinhaça na fertirrigação da cana orgânica. In: JORNADA JURÓDICA DA FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA. **Anais**. Goiânia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2018.
- SOUZA, R. O.; POLASTRI, P.; SIMÕES, A. L. G.; VARESCHINI, D. T.; PEREIRA, N. C.. Estimativa do potencial de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de vinhaça no estado de São Paulo, Safra. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 3. **Anais**. Rio Grande do Sul: ConReSol, 2019.
- SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N.. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono— estudo de caso. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.4, p.901-911, 2010.
- TOSELLO, M. E. C.; TAMASHIRO, J. R.; SILVA, L. H. P.; ANTUNES, P. A.; SIMÕES, R. D.. Influência de materiais recicláveis e vinhaça da cana de açúcar na resistência mecânica de tijolos ecológicos. **Research, Society and Development**, São Paulo, v.10, n.2, p.e56910212911-e56910212911, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12911>
- USMANI, A.; PANGKUMHANG, B.; WONGAREE, M.; WANTALA, K.; KHUNPHONOI, R.. Kinetic study of biogas production from anaerobic digestion of vinasse waste. **Water Practice and Technology**, London, v.16, n.3, p.886–894, 2021. DOI: <http://doi.org/10.2166/wpt.2021.029>
- VILELA, L. S.; SOUSA, A. T.. Avaliação da fertirrigação do solo com vinhaça no município de Morrinhos-Goiás. In: SIMPÓSIO INTERDISCIPLINAR EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1. **Anais**.

Goiânia: Universidade Estadual de Goiás, 2017.

WATANABE, A. Y. M.; WATANABE, J. C. T.; FIORILLO, G.; SCHMIDT FIHO, E.; GASPAROTTO, F.. Crescimento inicial de

mudas de cana-de-açúcar fertirrigadas com diferentes doses de vinhaça. In: EPCC ENCONTRO AINTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11. **Anais**. Maringá: Unicesumar, 2019.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157628481452900353>