



**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CÂMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

**CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO E CARBONO DA  
BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS ADUBADOS COM  
RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

**Wagner Wiezel Siqueira**

JABOTICABAL-SP  
1º. Semestre/2023

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CÂMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

**CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO E CARBONO DA  
BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS ADUBADOS COM  
RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

**Wagner Wiezel Siqueira**

**Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz**

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de  
Jaboticabal, para graduação em  
ENGENHARIA AGRÔNOMICA.

JABOTICABAL-SP  
1º. Semestre/2023

S618c Siqueira, Wagner Wiezel  
Carbono orgânico dissolvido e carbono da biomassa  
microbiana de solos adubados com resíduos da indústria  
sucroenergética / Wagner  
Wiezel Siqueira. -- Jaboticabal,  
2023 32 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia  
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de

Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. Resíduos. 2. Matéria orgânica no solo. 3. Fertilidade do solo.  
I.

Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias  
e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**TÍTULO:** Carbono orgânico dissolvido e carbono da biomassa microbiana de solos adubados com resíduos da indústria sucroenergética

**ACADÊMICO:** Wagner Wiczel Siqueira

**CURSO:** Engenharia Agrônômica

**ORIENTADOR (ES):** Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

### BANCA EXAMINADOR

(Nomes)

**Presidente** Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

**Membro** Dra. Samira Furtado de Queiroz

**Membro** Dra. Roberta Souto Carlos

Documento assinado digitalmente  
**MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ**  
Data: 31/05/2023 06:32:09-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**SAMIRA FURTADO DE QUEIROZ**  
Data: 30/05/2023 18:33:29-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**ROBERTA SOUTO CARLOS**  
Data: 30/05/2023 18:25:42-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal 29 / 05 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 31 / 05 / 2023 \*Ad referendum\*

\_\_\_\_\_  
Chefe do Departamento

Documento assinado digitalmente  
**LEONARDO BANCO DE CARVALHO**  
Data: 31/05/2023 21:06:59-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

*“Eu plantei, Apolo regou; mas o crescimento veio de Deus”.*

*(1 Coríntios 3:6)*

*Dedico este trabalho aos meus pais Solange, Jair (in memoriam),*

*À minha avó Maria de Lourdes (in memoriam),*

*Ao meu avô Oswaldo (in memoriam),*

*Ao meu irmão William e à minha namorada Larissa, que  
foram minha base durante todo esse tempo.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me guiado e fortalecido em todos os dias da minha vida.

À minha mãe, pai, irmão e avós, pela base, ensinamentos que sempre me deram, pelo amor e união principalmente em tempos difíceis e pela inspiração que deixaram para mim.

À minha namorada, que todo esse tempo foi minha grande companheira, em momentos bons e ruins.

Aos meus amigos e parentes de minha terra natal, que me ajudaram com trabalhos, apoio, e momentos bons.

Ao amigo que morei durante esse tempo e meus amigos da república Abatedouro, de todos momentos que vivenciamos, e pelo apoio em tudo que me deram nesse tempo.

Aos amigos da faculdade mais próximos, com os quais vivi momentos bons, e pelo apoio e companhia durante todo esse tempo.

À toda equipe do Laboratório de Fertilidade do Solo, em especial à Professora Mara Cristina Pessôa da Cruz, por desde o início ter me dado oportunidades, pela confiança, pelos conselhos, pelo conhecimento e pelos bons momentos que tivemos durante esse trabalho.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da Reitoria da Universidade Estadual Paulista, que disponibilizou o auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa – 04/2021.

À assistente social da FCAV e ao programa de permanência estudantil, que foram fundamentais para que eu concluísse o curso.

À comunidade da igreja de minha cidade natal e à comunidade da IPB de Jaboticabal – SP, que me deram muito apoio.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp/FCAV.

Gratidão a todos!

## RESUMO

### CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO E CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA DE SOLOS ADUBADOS COM RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA

A biomassa microbiana é a variável que primeiro responde às alterações de manejo do solo, como a adubação orgânica. Ela afeta o carbono orgânico dissolvido do solo, é afetada por ele, e ambos regulam os processos de reciclagem de nutrientes e a formação da matéria orgânica do solo. O objetivo com o presente trabalho foi avaliar o carbono orgânico dissolvido e o carbono da biomassa microbiana em solo adubado com torta de filtro e vinhaça. Foram conduzidos dois experimentos em laboratório, sendo um com vinhaça e outro com torta de filtro, nos quais foi utilizado um solo argiloso coletado na camada de 0 a 20 cm. Nos experimentos, em esquema fatorial, combinaram-se duas doses de adubo orgânico (0 e 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, base seca, e 0 e 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça), e cinco tempos de avaliação (7, 14, 21, 28 e 42 dias). O delineamento foi inteiramente ao acaso com quatro repetições, totalizando 40 parcelas em cada experimento. Quantidades de solo equivalentes a 0,4 dm<sup>3</sup> foram incubadas com os adubos e, ao final de cada tempo de incubação, foram determinados o C solúvel e o C da biomassa microbiana. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A aplicação de torta de filtro causou aumento de 22% no carbono orgânico dissolvido na média das avaliações feitas até 42 dias após a aplicação. Com a aplicação de vinhaça também houve aumento no carbono orgânico dissolvido do solo, mas apenas aos 7 dias após a aplicação. O carbono da biomassa microbiana não variou em função da aplicação de vinhaça e torta de filtro.

**Palavras-chave:** adubação orgânica, biomassa microbiana, carbono orgânico dissolvido, torta de filtro, vinhaça.

## SUMMARY

### **DISSOLVED ORGANIC CARBON AND CARBON FROM MICROBIAL BIOMASS FROM SOILS FERTILIZED WITH SUGAR AND ALCOHOL INDUSTRY RESIDUES**

Microbial biomass is the variable that first responds to changes in soil management, such as organic fertilization. It affects the soil dissolved organic carbon, at the same time is affected by it, and both regulate nutrient recycling processes and the formation of soil organic matter. The objective with this work was to evaluate the soil dissolved organic carbon and the carbon of the microbial biomass in soil fertilized with filter cake and vinasse. Two experiments were carried out in the laboratory, one with vinasse and the other with filter cake, using a clayey soil collected in the 0 to 20 cm layer. It was used a factorial scheme, combining two doses of organic fertilizer and five evaluation times. The design adopted was completely randomized with four replicates, totaling 40 plots in each experiment. Amounts of soil equivalent to  $0.4 \text{ dm}^3$  were incubated with doses equivalent to 0 and  $10 \text{ t ha}^{-1}$  of filter cake (dry basis) and 0 and  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of vinasse. At 7, 14, 21, 28 and 42 days of incubation of the soil with the residues, the determination of the soluble C and the C of the microbial biomass was made. The data obtained were evaluated using analysis of variance (F test) and, in case of significance, means were compared using Tukey's test at 5% probability. The application of filter cake caused a 22% increase in dissolved organic carbon in the average of the evaluations made up to 42 days after application. With vinasse application, there was also an increase in dissolved organic carbon, but only at 7 days after application. The carbon in the microbial biomass does not vary depending on the application of vinasse and filter cake.

Keywords: organic fertilization, microbial biomass, dissolved organic carbon, filter cake, vinasse.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	pág vii
SUMMARY .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 O setor sucroenergético no Brasil .....	3
2.2 Processamento da cana-de-açúcar .....	4
2.3 Aproveitamento de resíduos .....	4
2.3.1 Vinhaça .....	6
2.3.2 Torta de filtro .....	8
2.4 Matéria orgânica do solo .....	10
2.4.1 Carbono orgânico dissolvido.....	12
2.4.2 Biomassa microbiana do solo .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
5. CONCLUSÕES .....	27
6. LITERATURA CITADA .....	28

## **1. INTRODUÇÃO**

Durante o processamento da cana-de-açúcar são gerados resíduos que, com o passar do tempo, passaram a ser completamente reaproveitados nas áreas de produção, com as finalidades de fornecer nutrientes e melhorar os atributos químicos e físicos do solo. Do processo de fabricação de etanol, butanol e aguardente resulta a vinhaça, na proporção de 1 litro de etanol para 10 a 15 litros de vinhaça (MACHADO; ABREU, 2007). Atualmente, praticamente todo volume gerado nas unidades de produção é usado na adubação por fertirrigação do solo, seguindo a norma técnica P 4.231 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006), na qual foram estabelecidos critérios para o armazenamento, transporte e uso da vinhaça no solo.

O outro resíduo da indústria sucroalcooleira que pode ser usado como fertilizante é a torta de filtro, que resulta da fabricação do açúcar. Para cada tonelada de cana moída são produzidos de 25 a 35 kg de torta, com aproximadamente 70% de umidade (VITTI et al., 2006).

Ao serem aplicadas nas áreas de produção de cana, vinhaça e torta de filtro resultam em ganho de qualidade do solo: aumento nos valores de pH, na disponibilidade de nutrientes, no teor de matéria orgânica e na CTC. Por trás desses efeitos está a atividade microbiana dos microrganismos decompositores de resíduos. Esses microrganismos são integrantes da biomassa microbiana e atuam nos ciclos do carbono e de quase todos os nutrientes, além de exercerem outras funções benéficas, como a produção de hormônios de crescimento para as plantas e a inibição da ação de agentes causadores de doenças.

A biomassa microbiana responde mais rapidamente às mudanças ambientais do que outras variáveis usadas para medir a qualidade do solo (KASCHUK et al., 2009), como a estrutura e o teor de matéria orgânica e, desse modo, pode ser indicada para avaliar os reflexos do uso de resíduos como a vinhaça e a torta de filtro.

O processo de decomposição microbiana depende das doses aplicadas, da composição bioquímica dos resíduos, e dos fatores edafoclimáticos. Do ponto de vista bioquímico, a vinhaça contém maiores concentrações de carbono solúvel, de degradação rápida no solo, enquanto na torta de filtro predominam formas de carbono mais complexas e de degradação mais lenta. Desse modo, cada resíduo deve seguir uma via de transformação no solo, mas resíduos mais solúveis devem provocar alterações na biomassa microbiana em menor intervalo de tempo e com menor duração que os resíduos sólidos mais complexos.

A hipótese testada nesse trabalho é que vinhaça e torta de filtro, em função da composição bioquímica, seguirão rotas de decomposição distintas, com aumento maior de biomassa, em menor intervalo de tempo, a partir da aplicação da vinhaça, uma vez que na sua composição predominam biomoléculas mais fáceis de serem decompostas.

O objetivo com o presente trabalho foi avaliar o carbono da biomassa microbiana em solo adubado com vinhaça e com torta de filtro.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O setor sucroenergético no Brasil**

O setor sucroenergético é muito importante para a economia brasileira (PEREIRA et al., 2019). Este ramo compõe um braço da agroindústria que atua no processamento e na transformação de produtos e subprodutos da cana-de-açúcar (GARCIA et al., 2015). Dentre os derivados mais comuns da cana-de-açúcar destacam-se o açúcar, o etanol, a aguardente e xaropes (CASTILHO, 2013).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e um dos países com melhor tecnologia de produção (PEREIRA et al., 2019). Na safra 2021/22 a produção total atingiu quase 580 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Desse total, houve direcionamento, principalmente, para a produção de açúcar, que alcançou cerca de 35 milhões de toneladas, e de etanol, que ultrapassou 26 bilhões de litros (CONAB, 2022). O Estado de São Paulo apresenta a maior produção nacional e a maior área de cultivo, respondendo por mais de 50% do total de cana-de-açúcar produzido no Brasil (CONAB, 2022).

Em 2020, o setor sucroenergético contribuiu com quase 10% das exportações brasileiras, sendo o produto com a quarta maior representatividade em exportações do País (NACHILUK, 2021).

## **2.2. Processamento da cana-de-açúcar**

O setor privado é o principal agente gerenciador da produção e processamento de cana no Brasil e trabalha buscando alcançar os menores custos de produção, tanto para o processamento e beneficiamento de açúcar, quanto para a produção de álcool (GONÇALVES, 2005). O processamento da cana apresenta alta demanda de mão de obra, bem como elevados custos, uma vez que envolve diversas operações (SILVA; GARCIA, 2009). Uma forma de minimizar os custos é o reaproveitamento dos resíduos gerados no processamento que, em sua grande maioria, podem ser reaproveitados em diferentes meios produtivos.

O Brasil é referência em tecnologia para a produção e processamento da cana-de-açúcar e grande parte dos resíduos da cultura são aproveitados, principalmente, como fertilizantes orgânicos (ABREU JUNIOR et al., 2008).

## **2.3. Aproveitamento de resíduos**

A indústria sucroalcooleira tem atuado no aperfeiçoamento das técnicas produtivas, para torná-las mais sustentáveis, tanto ambientalmente, quanto no âmbito econômico. O reaproveitamento de subprodutos que antes eram considerados como resíduos sem utilidade, tem transformado a realidade do setor (CAVALCANTI, 2019).

O termo resíduo geralmente é associado a subprodutos sem valor comercial ou industrial (SILVA et al., 2011). No entanto, em se tratando de resíduos da biomassa da cana, são encontrados vários subprodutos que possuem valor econômico agregado e que podem ser reaproveitados, sendo inclusive, utilizados como matéria prima para outros processos industriais (SILVA et al., 2011; CAVALCANTI, 2019). No Brasil, uma das razões para o

reaproveitamento dos resíduos produzidos no setor agropecuário está no potencial de suprimento de nutrientes. Estima-se que estes resíduos sejam suficientes para atender metade da demanda de macronutrientes, resultando em economia estimada de mais de 1 bilhão de dólares por ano (CRUZ et al., 2017).

Dentre os principais resíduos do setor sucroalcooleiro destacam-se a torta de filtro, a vinhaça, o bagaço, o melaço e o óleo fúsel (CANISARES, 2016).

A finalidade desses resíduos varia muito. A torta de filtro é utilizada no solo, especificamente no sulco de plantio da cana, como fonte de nutrientes. Além da função fertilizante, a torta apresenta alta capacidade de retenção de água e mantém a umidade no solo por mais tempo à disposição das mudas (MENDES et al., 2018), melhorando o ambiente de crescimento da planta.

A vinhaça é utilizada na fertirrigação da cana, repondo no solo os nutrientes que as plantas necessitam (ANDRADE, 2009). Pode ser utilizada também como produto concentrado e biodigerido (SANTA CRUZ et al., 2013; SOUZA et al., 2018).

O bagaço da cana, por sua vez, serve como matéria prima para a produção de álcool etílico, mais conhecido como etanol 2G. O etanol é produzido por meio de um processo denominado hidrólise enzimática, em que as frações de celulose e hemicelulose são quebradas, dando origem a pentoses e hexoses (VIEIRA et al., 2014). Além disso, pode ser utilizado na queima para a geração de energia elétrica, oferecendo ganhos econômicos e autossuficiência elétrica para as usinas (ERNESTO, 2009; PEREIRA, 2020).

O melaço é usado como substrato para produção de biomassa proteica e lipídica por leveduras e bactérias (CAZETTA et al., 2005). Quando associado a vinhaça, pode ser empregado para o desenvolvimento de produtos biotecnológicos de interesse industrial (ALTAF et al., 2006). Além disso, pode ser usado para favorecer o desenvolvimento de algas e fungos benéficos (ARNOLD et al., 2000; ANUPAMA; RAVINDRA, 2000).

O óleo fúsel apresenta alto valor de mercado para indústrias químicas, especialmente as de lubrificantes, herbicidas, perfumes e cosméticos em geral, que o utilizam como matéria-prima em seus processos produtivos (SILVA et al., 2011; SILVA, 2019).

### **2.3.1. Vinhaça**

Um dos subprodutos gerados em maior quantidade durante o processamento da cana é a vinhaça. Este resíduo deriva da produção de álcool, após os processos de fermentação e destilação do mosto (FERREIRA, 2009). A vinhaça apresenta cor marrom escura, caráter ácido e é facilmente biodegradável (FREIRE; CORTEZ, 2000; SATYAWALI; BALAKRISHANAN, 2008). Seu principal componente é a água, cerca de 97%, embora, dependendo de alguns fatores, a sua composição possa mudar. Desse modo, a variedade de cana-de-açúcar, a maturação, o tempo de processamento e a fertilidade do solo são fatores determinantes da composição deste resíduo (ROSSETTO et al., 2008).

Bioquimicamente, a vinhaça é composta por açúcares, particularmente sacarose, álcoois, principalmente etanol, ácidos orgânicos como láctico, fórmico e acético (DOWD et al., 1994), celulose, hemicelulose e aminoácidos (BENKE et al., 1998). Em relação aos nutrientes de plantas, há maior concentração de potássio e enxofre, e menor de nitrogênio, cobre, cálcio, manganês e zinco, bem como alta concentração de matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável (MOHANA et al., 2009). Outras características desse resíduo são alta Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), alta Demanda Química de Oxigênio (DQO), temperatura de 85°C e pH de aproximadamente 4,5 (PINTO, 1999). Por mais que esse material apresente acidez alta, em estudos realizados com aplicação de vinhaça em longo prazo, em solos arenosos e argilosos, foi constatado que em áreas de cultivo de cana-de-açúcar esta prática pode ser considerada um manejo sustentável, porque aumenta os teores de carbono orgânico e dos macronutrientes, e não causa acidificação do solo, favorecendo a melhoria da fertilidade (CARDOSO, 2021).

O uso da vinhaça na fertirrigação tem se tornado cada vez mais frequente nas regiões canavieiras, uma vez que tem gerado ganhos produtivos (GLÓRIA, 1997; CANELLAS et al., 2003), mas as aplicações devem seguir critérios bem definidos para evitar efeitos indesejáveis. Em pesquisas feitas com vinhaça tem sido demonstrado que seus efeitos negativos, como o aumento do teor de sais, ocorrem, principalmente, na qualidade das águas subterrâneas. Todavia, estes efeitos podem estar muitas vezes ligados às condições fisiográficas da área, juntamente com a composição do fluido (PEREIRA, 2003).

A vinhaça já foi descartada em cursos d'água ou em lugares em que poderia causar contaminação ambiental. Os impactos negativos no ambiente levaram à necessidade de dar destinação adequada ao subproduto e, atualmente, praticamente todo volume gerado nas unidades de produção é usado na adubação por fertirrigação do solo. Mesmo para aplicação no solo há necessidade de controle do uso desse resíduo, e assim, foi criada a norma técnica P4-231 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2015), estabelecendo critérios para o armazenamento, transporte e uso da vinhaça no solo.

O nutriente presente em maior concentração na vinhaça é o potássio e as concentrações relatadas variam, de modo geral, entre  $0,95 \text{ g L}^{-1}$  (SILVA et al., 2012) e  $1,56 \text{ g L}^{-1}$  (SILVA et al., 2020). Por isso, a norma técnica P4-231 (CETESB, 2015) limita a dose de vinhaça àquela que eleva a saturação por  $\text{K}^+$  na CTC em 5% na camada de 0 a 0,8 m de profundidade, somada a  $185 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , que é a quantidade média removida na colheita dos colmos.

Quando aplicada ao solo, a vinhaça causa alterações temporárias na população microbiana, que resultam em efeitos nos processos químicos e biológicos como a decomposição da matéria orgânica, a nitrificação, a desnitrificação e o aumento no valor de pH (CHRISTOFOLETTI et al., 2013). Santos et al. (2009) relataram que a adição de vinhaça resultou em aumento da população de fungos a partir dos 30 dias de incubação e aumento da população

de bactérias a partir de 120 dias, e que a população dos actinomicetos diminuiu na fase inicial das avaliações, particularmente com adição de dose equivalente a  $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Com aplicação de  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  os autores relataram aumento na população de microrganismos celulolíticos, mas em doses maiores as populações diminuíram. Os autores também citaram resultados de Camargo (1954), um dos primeiros a avaliar a resposta dos microrganismos do solo à aplicação de vinhaça, nos quais foi relatado aumento notável da atividade microbiana pela aplicação do resíduo, com predominância dos fungos *Neurospora ssp*, *Aspergillus ssp*, *Penicillium ssp*, *Mucor ssp* e *Streptomyces ssp*.

Como os efeitos da aplicação da vinhaça na população microbiana do solo pode ter consequências para a qualidade do solo e a produtividade das culturas, e considerando que eles dependem do tipo de solo, da cultura, das condições climáticas, do tipo de vinhaça, da sua composição e, ainda, do modo de aplicação, há necessidade de estudos que avaliem as respostas da microbiota do solo à aplicação, em diferentes condições.

### **2.3.2. Torta de filtro**

A torta de filtro é um composto originário da mistura do bagaço da cana moído com o lodo de decantação, resultante do processo de tratamento e clarificação do caldo (CORTEZ et al., 1992; ALVARENGA; QUEIROZ, 2008). Este subproduto, quando não reaproveitado, se acumula em alto volume, onerando a usina e ocupando espaços indevidos. De acordo com Korndörfer (2003), uma tonelada de cana moída é capaz de produzir cerca de 40 kg de torta de filtro (base úmida).

O teor de P da torta varia de 4 a  $12 \text{ g kg}^{-1}$  em base seca, de acordo com a matéria-prima e com o processo industrial do qual ela é originada (SANTOS et al., 2011). A torta é usada integralmente como fertilizante, pois em sua composição, além do fósforo, têm-se alta concentração de carbono orgânico e, ainda, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, mais uma quantidade significativa de micronutrientes como, ferro, manganês, cobre e zinco (NUNES

JUNIOR, 2008). Todavia, a quantidade desses nutrientes varia dependendo das condições do meio, como tipo de solo, o manejo realizado no cultivo da cana-de-açúcar, a variedade, o processo de maturação e as etapas da clarificação do caldo (MEUNCHANG et al., 2005; LIMA et al., 2009; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011; CHACÓN et al., 2011; PRADO et al., 2013), sendo, portanto, fatores decisivos para determinar o uso desse subproduto.

O uso da torta de filtro como fertilizante para o canavial pode aumentar o teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, melhorar a estrutura do solo e aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC). As três características estão diretamente associadas com a qualidade do solo (PENATTI; DONZELLI, 1991), que é refletida no aumento da reserva e da disponibilidade de nutrientes e no aumento da capacidade de retenção de água no solo (CIOTTA et al., 2003). Em solos adubados com torta de filtro ocorre diminuição nas falhas de brotação em colmos de cana-de-açúcar (VASQUEZ et al., 2015) e há ganho de produtividade de colmos.

A fração orgânica da torta de filtro recém obtida é constituída principalmente por bagaço de cana fresco, com composição média aproximada de 11% de lignina, 34% de hemicelulose e 38% de celulose. Além do bagaço, na composição da torta entram coloides orgânicos precipitados do caldo quando é feita a elevação do pH para purificação do caldo obtido na moenda. O predomínio do bagaço na composição sugere que a relação C/N da torta é alta, mas como há inclusão de compostos nitrogenados floculados do caldo, a relação C/N diminui, em média, para 26 (FIRME, 2005).

Não somente o Brasil passou a utilizar a torta de filtro como fertilizante. Países como Índia, Cuba, Paquistão e Austrália, também têm adotado essa prática na substituição parcial dos fertilizantes industriais (SANTOS et al., 2010; DOTANIYA et al., 2016; LIU et al., 2018). A torta de filtro associada a fertilizantes fosfatados tem apresentado resultados promissores, reduzindo, inclusive a adubação mineral solúvel em função da dose de fósforo recomendada (SANTOS et al., 2010; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

Para a aplicação ao solo a torta de filtro passa, muitas vezes, por um processo de compostagem. O composto ou a torta pura são depositados nos sulcos durante a operação de plantio e, na aplicação, o produto aplicado deve estar com relação C/N em torno de 17/1 (CONDE et al., 2005). As doses recomendadas são definidas com base na qualidade do produto, nas características do solo e nas necessidades da cultura. Nos casos de aplicações em área total em pré-plantio utilizam-se 80 a 100 Mg ha<sup>-1</sup>. Em sulcos de plantio recomendam-se entre 20 e 35 Mg ha<sup>-1</sup>, o que muitas vezes ultrapassa a oferta desse produto.

#### **2.4. Matéria orgânica do solo**

Matéria orgânica inclui todo composto do solo que apresenta carbono orgânico em sua composição. Ela é considerada o maior reservatório de carbono da superfície terrestre (STEVEYSON, 1994; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), e é indispensável para o aumento da fertilidade do solo, participando na reciclagem de nutrientes e de carbono (PRIMO et al., 2011), na complexação de elementos tóxicos e na agregação das partículas (CONCEIÇÃO et al., 2005). Quase a totalidade da matéria orgânica encontrada no solo tem como origem o material vegetal (CUNHA et al., 2015).

Um grande número de substâncias atua como formadoras da matéria orgânica no solo. Microrganismos vivos e mortos, restos de animais e vegetais nos mais variados estágios de decomposição, bem como a biomassa microbiana e o húmus, são os principais exemplos (BERG; LASKOWSKI, 2006). Os organismos vivos presentes na matéria orgânica constituem cerca de 4% da sua composição. Por outro lado, os componentes sem vida agregam resíduos de plantas em decomposição e substâncias húmicas e não humificadas (PRIMO et al., 2011).

Quimicamente, a matéria orgânica é constituída por aproximadamente 58% de carbono, 6% de hidrogênio, 33% de oxigênio e cerca de 3% de nitrogênio, enxofre e fósforo, respectivamente (SANTOS et al., 2002). Esta

composição torna este material de grande importância, uma vez que oferece nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas e promove a dinâmica da microbiota no solo. Desse modo, a matéria orgânica desempenha importante papel no solo, como um dos principais componentes da sua estrutura, e atua diretamente nos processos biológicos e químicos.

O teor de matéria orgânica varia de acordo com o tipo de solo. No entanto, na maioria dos casos predominam teores oscilando entre 5,0 e 50,0 g kg<sup>-1</sup> (STEVENSON, 1994; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Em solos com pH baixo e fertilidade natural limitada, o emprego da adubação orgânica viabiliza o aumento da CTC, o que aumenta o efeito tampão no solo, e a correção da acidez de forma rápida, com estabilização do pH em valores próximos da neutralidade (BAYER; MIELNICZUK, 1999). Além disso, deve-se ressaltar que, no solo, a matéria orgânica atua como importante fonte de nutrientes para as plantas, promovendo condições para o incremento das reações químicas e biológicas (CHIODINI et al., 2013).

No processo de decomposição da matéria orgânica no solo ocorre a ação de enzimas e microrganismos metabolizando a fração solúvel em água e as proteínas (CUNHA et al., 2015). Os materiais mais difíceis de decompor permanecem no solo, não desaparecendo totalmente, como é o caso da celulose, da hemicelulose (CANELLAS; SANTOS, 2005) e da lignina.

Strosser (2010) classificou a matéria orgânica do solo em fração lábil, estável e inerte. A fração lábil é composta por microrganismos, plantas, resíduos de fauna do solo sob diferentes níveis de decomposição, substâncias orgânicas não-húmicas facilmente decomponíveis como carboidratos, polissacarídeos, proteínas, ácidos orgânicos, aminoácidos, ceras e ácidos graxos. Essa fração fornece energia e nutrientes para os microrganismos e, a partir do processo de decomposição (mineralização), há liberação de nutrientes para as plantas. A fração estável é a fração menos decomponível e responsável pela CTC. A fração inerte, de maneira geral, não é reativa e está associada à agregação e estrutura do solo.

A matéria orgânica lábil pode ser avaliada por meio das medidas de carbono orgânico dissolvido e do carbono da biomassa microbiana, entre outras, e essas medidas são associadas, frequentemente, com qualidade do solo.

#### **2.4.1 Carbono orgânico dissolvido**

O carbono orgânico dissolvido é a fração do carbono orgânico total do solo prontamente disponível para decomposição. Está associado com a disponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos, e interfere no transporte e biodisponibilidade de poluentes metálicos e orgânicos (SILVEIRA, 2005).

As principais fontes de carbono dissolvido no solo são a serapilheira, o húmus, os exsudatos radiculares e a biomassa microbiana. É composto por substâncias orgânicas menores que 0,45  $\mu\text{m}$  (KALBITZ et al., 2000).

Mesmo constituindo a menor proporção da matéria orgânica do solo, o carbono dissolvido afeta os processos físicos, químicos e biológicos do solo, e é fonte primária de N, P e S mineralizáveis para as plantas e microrganismos (HAYNES, 2000). De acordo com Kalbitz et al. (2000), de 10 a 40% do carbono dissolvido podem ser facilmente decompostos por microrganismos em dias ou meses, mas é muito difícil avaliar a degradação microbiana devido às reações de adsorção às quais as moléculas orgânicas que o compõem estão sujeitas.

A adição de resíduos orgânicos ao solo interfere em todas as frações da matéria orgânica, e as frações mais solúveis dos resíduos são as que desencadeiam os processos de decomposição microbiana (BRADY; WEIL, 2013). Provavelmente as primeiras frações da matéria orgânica a serem alteradas nessas condições são o carbono solúvel e a biomassa microbiana.

#### **2.4.2 Biomassa microbiana do solo**

A biomassa microbiana é definida como um componente ativo da matéria orgânica do solo, vulnerável a influências do manejo, podendo ser avaliada por

meio da quantificação de carbono, nitrogênio, fósforo ou enxofre, mas geralmente o carbono e o nitrogênio são os mais utilizados (BAQUERO et al., 2008).

Os organismos que compõem a microbiota do solo possuem o relevante papel de atuar nos processos bioquímicos responsáveis por transformar os elementos químicos e transferir a energia no sistema solo-planta-atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A ciclagem de nutrientes, bem como a degradação dos restos vegetais depositados no solo (BENINTENDE et al., 2008; GAMA-RODRIGUES et al., 2008) são processos altamente dependentes da composição das populações de microrganismos ali encontrados. Estas comunidades dão origem a atividade microbiana no solo, sendo de vital importância para sua fertilidade.

Os fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e protozoários são os principais componentes da massa microbiana e participam ativamente dos processos de formação e transformação dos solos (REIS JUNIOR; MENDES, 2007). As funções desses organismos são bem diversas, e envolvem desde o processo de intemperização das rochas durante a formação dos solos, passando pela decomposição de resíduos orgânicos (MÜLLER et al., 2014), a ciclagem de nutrientes e a biorremediação de áreas contaminadas por agentes poluentes (REIS JUNIOR; MENDES, 2007).

O destino do C em transformação no solo é caracterizado pela biomassa que, juntamente com uma série de fatores, podem afetar a densidade e a atividade dos organismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Sua composição pode variar de acordo com o tipo de solo, embora presente, em média, entre 2% e 5% de C orgânico (JENKINSON; LADD, 1981) e 1% a 5% do nitrogênio total do solo (SMITH; PAUL, 1990).

Por meio da biomassa microbiana ocorre o controle da decomposição e do acúmulo de matéria orgânica, bem como suas transformações (SINGH et al., 1989). Durante os processos de mineralização, as formas orgânicas de

nitrogênio, fósforo e enxofre na serapilheira são disponibilizadas para as plantas pela ação dos microrganismos do solo, que liberam formas inorgânicas desses elementos. No entanto, devido às necessidades nutricionais dos microrganismos, parte de alguns elementos como N, P e S são retidos (SAGGAR et al., 1982; WARING; SCHLESINGER, 1985). A biomassa microbiana também é considerada um reservatório de nutrientes de ciclagem rápida, apresentando associação com a fertilidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005). Dentre os atributos relacionados com a matéria orgânica do solo, o carbono da biomassa microbiana do solo, embora represente uma pequena fração (< 5 %), também é considerado um indicador sensível da qualidade do solo (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

A caracterização e a quantificação da biomassa no solo em um espaço de tempo podem ser associadas a quantidade de carbono recebido. Solos protegidos com vegetação, argilosos, ou cultivados sob sistema de plantio direto, geralmente apresentam maiores teores de carbono, aumentando, portanto, a quantidade de biomassa (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Solos florestais, ou com presença de gramíneas nativas, apresentam cerca de duas vezes mais carbono na biomassa microbiana do que aqueles situados nas adjacências ou sob intensa pressão de cultivo (BASU; BEHERA, 1993). Por outro lado, há redução da biomassa microbiana em solos com intenso cultivo a limpo, altos teores de areia, degradados por processos erosivos e contaminados por substâncias tóxicas ou metais pesados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Desse modo, o cultivo mínimo é uma importante ferramenta para o aumento e manutenção da biomassa microbiana no solo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (HUNGRIA et al., 1997). Além dos sistemas de manejo conservacionistas, em que a produção de restos culturais é abundante e diversificada, a adubação orgânica, em situações em que os adubos estejam disponíveis, também deve representar uma estratégia benéfica para o aumento da biomassa microbiana, com ganho de qualidade para o solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fertilidade do Solo, Departamento de Ciências da Produção Agrícola, da Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal-SP. O clima da região está classificado como Aw (Sistema de Köppen), com precipitação média entre 1.100 mm e 1.700 mm anuais e temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio, respectivamente iguais a 22°C e 18°C.

Foram conduzidos dois experimentos, um com vinhaça e outro com torta de filtro, empregando amostra de Latossolo Vermelho argiloso, coletado na camada de 0 a 20 cm. Após a coleta, o solo foi seco à sombra, passado em peneira de 4 mm, homogeneizado e amostrado para caracterização química (RAIJ et al., 2001) e granulométrica (CAMARGO et al., 2009). Os resultados obtidos foram: MO = 28 g dm<sup>-3</sup>, P = 107 mg dm<sup>-3</sup>; pH CaCl<sub>2</sub> = 5,0; K<sup>+</sup> = 3,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 28 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 12 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 40 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 44 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC= 84 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V% = 52%; argila = 540 g kg<sup>-1</sup>; silte = 230 g kg<sup>-1</sup> e areia = 230 g kg<sup>-1</sup>.

A capacidade de retenção de água do solo foi determinada e os experimentos foram conduzidos na condição de 50% de poros cheios de água, por meio de pesagem, usando água desionizada.

Os resíduos, vinhaça e torta de filtro, foram coletados em usina de açúcar e álcool. A vinhaça foi conservada em geladeira (4°C) e, do volume total, foi coletada amostra para caracterização química.

No experimento foi usada torta *in natura*, não compostada, a qual foi seca ao ar, passada em peneira de 4 mm, homogeneizada e amostrada para caracterização (Figura 1).



Figura 1: Torta de filtro *in natura* seca, passada em peneira de 4 mm.

Nas amostras dos adubos foram determinados os valores de pH, os teores de C orgânico, N, P, K, Ca, Mg e S (ALCARDE, 2009) além de celulose, hemicelulose e lignina (VAN SOEST, 1994). Os resultados obtidos estão na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da torta de filtro e da vinhaça usadas no experimento.

Adubo	pH	C	N	C/N	K	P	Ca	Mg	S	hemicelulose	celulose	lignina
		-- g kg <sup>-1</sup> --				----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Torta <sup>1</sup>	6,5	342	15	23	1,4	8	25	4	2	162	102	92
		-- g L <sup>-1</sup> --				g L <sup>-1</sup>	----- mg L <sup>-1</sup> -----			----- g kg <sup>-1</sup> -----		
Vinhaça	4,1	4,5	0,3	15	1,5	32	0,7	0,3	4,1	18	15	4

<sup>1</sup> Torta de filtro não compostada

Quantidades de solo equivalentes a 0,4 dm<sup>3</sup> foram pesadas e transferidas para recipientes de plástico com capacidade para 0,5 dm<sup>3</sup>.

A aplicação da vinhaça foi feita diluindo o produto em volume de água suficiente para atingir 50% de poros cheios de água (Figura 2) e, em seguida, os recipientes foram pesados. A mistura da torta de filtro com o solo foi feita em sacos de plástico, a seco, por agitação manual. Em seguida, o solo adubado foi transferido para os recipientes de plástico, umedecido a 50% da capacidade de retenção de água e pesado.



Figura 2. Procedimento de diluição da vinhaça *in natura* para aplicação de dose equivalente a 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Foram 40 recipientes em cada experimento, resultantes da combinação, em esquema fatorial, de duas doses dos resíduos em estudo, cinco tempos de

avaliação e quatro repetições. As doses avaliadas foram 0 e 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça e 0 e 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro (base seca). Nos cálculos foi considerada a aplicação dos resíduos no volume de solo correspondente à camada de 0-20 cm de um hectare. Os tempos de avaliação foram 7, 14, 21, 28 e 42 dias após a aplicação dos resíduos. No laboratório, os experimentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente ao acaso (Figura 3).



Figura 3. Recipientes usados nos tratamentos do experimento.

Durante os períodos de incubação as amostras foram mantidas a 50% da capacidade de retenção de água. A reposição da água perdida foi feita três vezes por semana, com base na perda de massa.

Nas datas de avaliação previstas, as amostras foram secas, passadas em peneira de 2 mm, homogêneas e usadas na determinação do carbono da biomassa microbiana empregando o método da irradiação em forno micro-ondas, seguindo o método proposto por Ferreira et al. (1999), descrito a seguir.

Para tubos de vidro com capacidade para 150 mL foram transferidos 20 g de solo, em duplicata (Figura 4).



Figura 4: Pesagem de 20 g de solo das amostras em tubos de vidro.

Uma amostra foi irradiada (teste) e a outra não (controle). As amostras teste foram irradiadas em forno de micro-ondas durante 2 minutos. A extração de C em ambas as amostras (teste e controle) foi feita com 50 mL de solução  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (TATE et al., 1988). A suspensão foi agitada, em agitador circular horizontal, por 30 min, a 240 rpm (Figura 5).



Figura 5. Agitação das amostras em um agitador horizontal.

Após agitação, as amostras permaneceram em repouso por duas horas e, em seguida, foram filtradas em papel de filtro qualitativo (Figura 6).



Figura 6. Filtragem das amostras.

De ambos os extratos (teste e controle), foram pipetados 8 mL para quantificação do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), usando oxidação por via úmida, com mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, conforme procedimento descrito em Silva et al. (2007). Aos 8 mL do extrato transferidos para erlenmeyers de 250 mL foram adicionados 2 mL de solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado.

As amostras foram aquecidas em banho-maria a  $90^\circ\text{C}$  durante 1 hora (Figura 7).



Figura 7. Aquecimento das amostras em banho-maria.

Após resfriamento foram adicionados 75 mL de água deionizada, 5 mL de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  concentrado e 3 gotas de solução de difenilamina  $10 \text{ g L}^{-1}$ . Em seguida, o extrato foi titulado com solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$  até viragem da cor azul púrpura para verde.

O carbono determinado nas amostras não irradiadas representa o C solúvel do solo e o C-BMS foi determinado por diferença entre C determinado nas amostras irradiadas e as não irradiadas.

Os dados obtidos de C-solúvel e C-BMS foram submetidos à análise de variância (teste F) para avaliação dos efeitos dos tratamentos (doses x tempos) e da interação e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono da biomassa microbiana (C-BMS) das amostras adubadas com torta de filtro, em cada tempo de avaliação.

Tabela 2. Carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono da biomassa microbiana (C-BMS) em amostras de Latossolo Vermelho argiloso adubado com torta de filtro em avaliações feitas no intervalo de 7 a 42 dias após a aplicação.

Torta de filtro	Tempos de incubação (dias)					Média <sup>1</sup>
	7	14	21	28	42	
t ha <sup>-1</sup>	COD (mg kg <sup>-1</sup> )					
0	64,3	54,8	39,7	39,2	55,5	50,7a
10	70,0	59,0	48,7	48,1	82,6	61,7b
Média	67,1a	56,9ab	44,2b	43,6b	69,0a	56,2
Teste F <sup>2</sup> Doses (D)	8,18**					
Tempos (T)	7,96**					
DxT	1,16ns					
	C-BMS (mg kg <sup>-1</sup> )					
0	76,8	74,2	86,7	93,4	107,9	87,8a
10	70,8	110,1	69,5	126,3	88,9	93,1a
Média	73,8a	92,2a	78,1a	109,9a	98,4a	90,4
Teste F						
Doses (D)	0,23ns					
Tempos (T)	1,45ns					
DxT	1,21ns					

<sup>1</sup> médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>2</sup>

\*\* e ns: significativo ao nível de 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Houve efeito significativo da aplicação da torta de filtro no COD, e diferenças nos tempos de avaliação, mas não houve interação entre os fatores. O COD foi maior aos 42 dias, sem diferir dos valores obtidos aos 7 dias, e menor aos 21 e 28 dias. Aos 42 dias, o COD no tratamento com torta foi 48% maior do que no tratamento sem torta. O COD foi obtido a partir da extração do carbono das amostras de solo não irradiadas, usando solução de  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Ele é composto por substâncias de baixo peso molecular como ácidos orgânicos, açúcares e aminoácidos e é uma fonte de energia e de formas orgânicas de nutrientes, como N e P, facilmente acessíveis para a microbiota do solo (GMACH et al., 2020). Quando se faz a aplicação de um resíduo orgânico ao solo tem-se a entrada dessas substâncias de forma direta, em maior ou menor quantidade em função da composição do resíduo, e elas são as primeiras a serem decompostas numa escala que começa pelos compostos mais simples e chega às moléculas de alto peso molecular como a lignina e os polifenóis (BRADY; WEIL, 2013). Contudo, à medida que o processo de transformação microbiana do resíduo aplicado acontece, compostos de baixo peso molecular podem ser gerados a partir de substâncias complexas e também a partir das células microbianas mortas, e assim realimentar a solução, como ocorreu no presente caso. À medida que os microrganismos utilizam essas formas de carbono, parte volta para a atmosfera na forma de  $CO_2$  e parte é incorporada ao protoplasma, ou seja, muda de reservatório e passa a constituir o C-BMS. Desse modo, o COD é uma medida complementar importante, que pode explicar, pelo menos em parte, as variações no C-BMS.

Na Tabela 2 observa-se alternância de aumentos e diminuições do CBMS no solo adubado com torta, que é mais facilmente observado na Figura 8. A partir dos dados da Tabela 2 e da Figura 8 observa-se que as variações não resultaram em efeito significativo no C-BMS. A alternância de valores maiores e menores de C-BMS no tratamento adubado com torta pode estar relacionada a um pequeno aumento inicial da população microbiana, estimulada pela presença de compostos orgânicos ricos em C, e de mineralização fácil, presentes na torta. O aumento é pequeno porque a torta tem como característica concentração alta de

materiais ligno-celulósicos (Tabela 1) e concentração baixa de formas de carbono solúveis. Com o esgotamento dos nutrientes de fácil mineralização no material em decomposição, os microrganismos morrem, aumentando a oferta de material facilmente degradável. Isso estimula novo aumento de população microbiana, que consome as fontes de carbono mais solúveis e morre, dando início a um novo ciclo de mineralização do conteúdo celular, seguida de reimobilização, o que permite novo aumento do C-BMS, e assim sucessivamente (AZEEZ; VAN AVERBEKE, 2010).

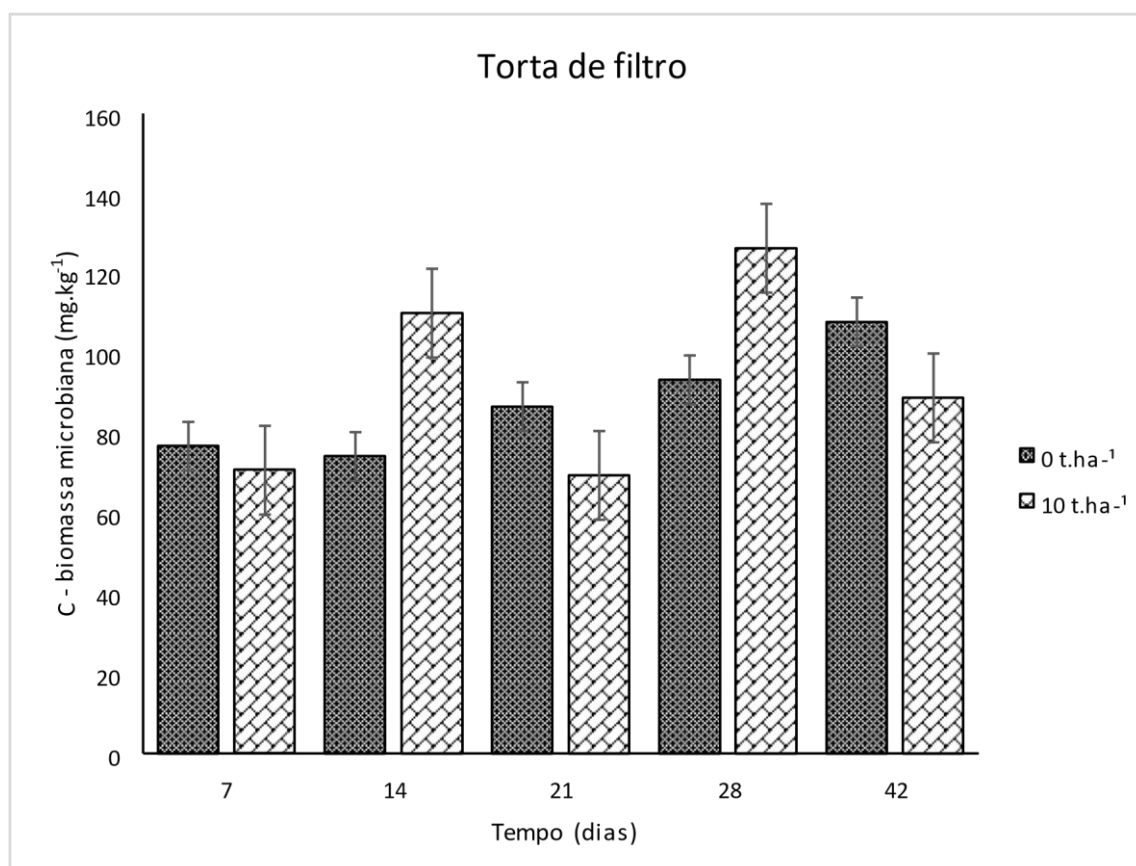


Figura 8. Carbono da biomassa microbiana em amostras de Latossolo Vermelho argiloso adubadas com o equivalente a 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro em função do tempo de incubação.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de COD e C-BMS das amostras adubadas com vinhaça em cada tempo de avaliação. Nesse caso houve efeito do tempo de incubação e efeito de interação doses x tempos.

Tabela 3. Carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono da biomassa microbiana (C-BMS) em amostras de Latossolo Vermelho argiloso adubado com vinhaça em avaliações feitas no intervalo de 7 a 42 dias após a aplicação.

Vinhaça	Tempos de incubação (dias)				
	7	14	21	28	42
m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	COD (mg kg <sup>-1</sup> )				
0	59,3Bb	87,2Aa	17,3Ad	47,5Abc	28,9Acd
100	89,7Aa	77,1Aa	12,5Ac	49,7Ab	18,9Ac
Teste F <sup>2</sup> Doses (D)	0,19ns				
Tempos (T)	60,09**				
DxT	4,85**				
	C-BMS (mg kg <sup>-1</sup> )				
0	94,0	58,8	170,5	59,3	139,7
100	80,4	44,0	176,6	78,0	137,5
Média	87,2b	51,4b	173,6a	68,6b	138,6a
Teste F					
Doses (D)	0,01ns				
Tempos (T)	17,63**				
DxT	0,34ns				

<sup>1</sup> médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> \*\* e ns: significativo ao nível de 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O COD foi maior no tratamento com vinhaça apenas aos 7 dias de avaliação, o que está associado ao fato de ser um resíduo líquido, rico em açúcares (DOWD et al., 1994), mas como tem alta degradabilidade, foi rapidamente consumido. Em relação aos tempos, houve diminuição acentuada no COD aos 21 dias, que se repetiu aos 42 dias.

No C-BMS houve efeito apenas dos tempos de avaliação, com maiores valores aos 21 e 42 dias, coincidindo com os tempos em que houve menor COD, indicando consumo do COD e imobilização no protoplasma microbiano (Tabela 3, Figura 9).

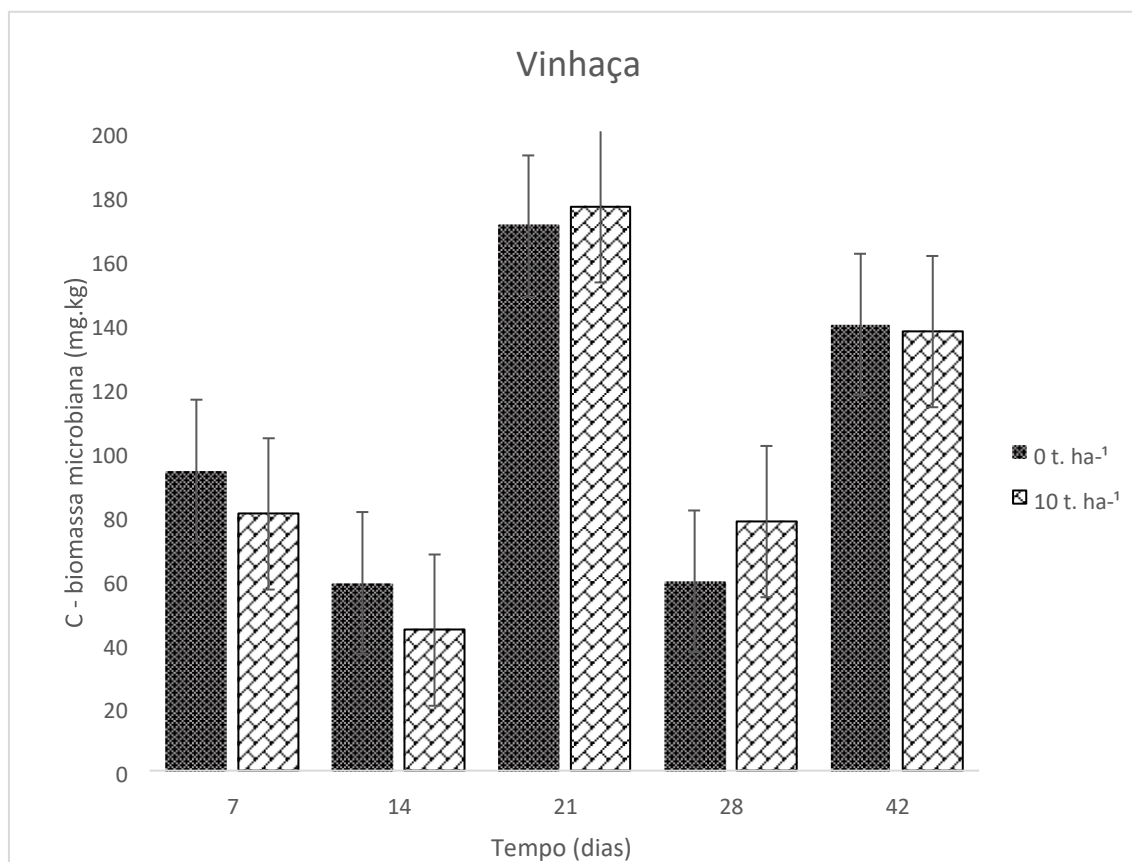


Figura 9. Carbono da biomassa microbiana em amostras de Latossolo Vermelho argiloso adubadas com o equivalente a  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça em função do tempo de incubação.

A mesma alternância de valores maiores e menores no C-BMS observada com a aplicação de torta se repetiu no caso da aplicação da vinhaça, mas com picos maiores, provavelmente em função da maior disponibilidade de carbono solúvel da vinhaça em relação a torta de filtro. Senatore et al. (2023) avaliaram a população microbiana em solo adubado com  $125$  e  $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça por seis anos, em amostragens antes e aos 14, 33, 117 e 180 dias após a aplicação da vinhaça. Os autores, como no presente caso, observaram que não houve efeito da aplicação da vinhaça na microbiota do solo como um todo, e que os efeitos foram isolados sobre algumas populações, como as de actinobactérias, que aumentaram, mas aos seis meses após a aplicação.

## **5. CONCLUSÕES**

A aplicação de torta de filtro causou aumento de 22% no carbono orgânico dissolvido na média das avaliações feitas até 42 dias após a aplicação. Com a aplicação de vinhaça também houve aumento no carbono orgânico dissolvido do solo, mas apenas aos 7 dias após a aplicação. O carbono da biomassa microbiana não variou em função da aplicação de vinhaça e torta de filtro.

## 6. LITERATURA CITADA

ABREU JUNIOR, C. H.; NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, F. C.; PIRES, A. M. M.; FRANCO, A. Aproveitamento agrícola de resíduos no canavial. 2008.

ALCARDE, J.C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259p.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. et al. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1004-1013, 2011.

ALTAF, M. D.; NAVEENA, B. J.; VENKATESHWAR, M.; KUMAR, E. V.; REDDY, G. Single step fermentation of starch to L(+) lactic acid by *Lactobacillus amylophilus* GV6 in SSF using inexpensive nitrogen sources to replace peptone and yeast extract – optimization by RSM. **Process Biochemistry**, London, v.41, n.2, p.465-472, 2006.

ANUPAMA, M.; RAVINDRA, P. Value-added food: single cell protein. **Biotechnology Advances**, New York, v.18, n.6, p.459-479, 2000.

ARNOLD, J. L.; KNAPP, J. S.; JOHNSON, C. L. The use of yeast to reduce the polluting potential of silage effluent. **Water Research**, New York, v.34, n.15, p. 3699-3708, 2000.

AZEEZ, J. O.; VAN AVERBEKE, W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. **Bioresource technology**, v. 101, p. 5645-5651, 2010.

BASU, S.; BEHERA, N. The effects of tropical soil conversion on soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soil**, v.16, n.4, p.302-304, 1993.

BENINTENDE, S. M.; BENINTENDE, M. C.; STERREN, M. A.; BATTISTA, J. J. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 5, p. 704-708, 2008.

BERG, B.; LASKOWSKI, R. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. **Advances in Ecological Research**, v.38, p.1-19, 2006.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p.

CASTILLO, R. A expansão do setor sucroenergético no Brasil. BERNARDES, JA; SILVA, CA; ARRUZZO, RC (Org.). **Espaço e energia**: mudanças no paradigma sucroenergético. Rio de Janeiro: Lamparina, p. 75-84, 2013.

CAZETTA, M.L.; CELLIGOI, M. A. P. C. Aproveitamento do melaço e vinhaça de cana-de-açúcar como substrato para produção de biomassa protéica e lipídica por leveduras e bactéria. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 26, n. 2, p. 105-112, 2005.

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 1, p. 181-190, 2013.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [CONAB]. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília, DF, v.9, n.2, dezembro 2022. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

CHRISTOFOLETTI, C. A., ESCHER, J. P., CORREIA, J. E., MARINHO, J. F. U., & FONTANETTI, C. S. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste management*, 33(12), 2752-2761, 2013.

CUNHA, T. J.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria Orgânica do Solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (org.) *Recurso solo: propriedades e usos*. 1. Ed. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 273-293. Disponível em: <http://www.iqsc.usp.br/iqsc/sites/recursosolo/LIVRO/livroRECURSOSOLO.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ERNESTO, V. A. ;TEIXEIRA, R. Caracterização térmica do bagaço de canadeaçúcar visando aproveitamento energético. 2009.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 991-996, 1999.

FIRME, L.P. **Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2005. 74p. (Dissertação de Mestrado).

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1521-1530, 2008.

GARCIA, J. R.; L., D. A. L. L.; VIEIRA, A. C. P. A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 19, p. 162-185, 2015.

GONÇALVES, D.B. Dilemas do desenvolvimento sustentável na produção canavieira paulista 2005. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. Disponível em: <[http://200.136.241.56/htdocs/tedeSimplificado/tde\\_busca/processaPesquisa.php?pesqExecutada=1&id=833](http://200.136.241.56/htdocs/tedeSimplificado/tde_busca/processaPesquisa.php?pesqExecutada=1&id=833)>. Acesso em: 28 fev. 2023.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. D. S.; BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A. **Importância do sistema de semeadura direta na população microbiana do solo**. EMBRAPA: Londrina, 1997. 9p. (Comunicado técnico, 56)

Kalbitz K, Solinger S, Park JH Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. **Soil Science** 165:277-304, 2000.

MENDES, D. M. A. et al. Análise do reaproveitamento da torta de filtro gerada nos processos produtivos de uma empresa do setor sucroenergético. In: XI Jornada Científica. 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 1. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

MOREIRA, F.M.S. SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MÜLLER, D. H.; CAMILI, E.C.; GUIMARÃES, S.C.; CAMPO, D.T.S.; MARTINS, M.E.; BARROS, K.C. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Internacional de Ciências**, v.4 - n.2 p. 71-82, 2014.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>. Acesso em: 4 Jan. 2023.

PEREIRA, I. Z.; SANTOS, I. F. S.; CASTRO, H. L.; BARROS, S. R. M. Uma breve revisão sobre a indústria sucroalcooleira no Brasil com enfoque no potencial de geração de energia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 25, 2, 2019.

PERES, C. B. **Captura de CO<sub>2</sub> em carvões ativados derivados da biomassa de bagaço de cana de açúcar**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 121p. 2020.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da **fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico. 2001.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Biomassa microbiana do solo. Embrapa Cerrados: Planaltina, DF, 2007, 40 p. (Documentos, Embrapa Cerrados, 205)

SANTA CRUZ, L. F. L. et al. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 29, p. 111-127, 2013.

SANTOS, A. A. do E.; LIMA, J.S.; CARVALHO, G.C. de. Técnicas de aplicação de composto orgânico, proveniente de resíduos urbanos domésticos, no desenvolvimento vegetal. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2002.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SENATORE, D., QUEIROLO, A., MONZA, J., & BAJSA, N. Using sugar cane vinasse as a biofertilizer: effects on soil microbial community due to periodical application. *Environmental Sustainability*, 1-10, 2023.

SILVA, F. I. C.; GARCIA, A. Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: Histórico e análise. **Nucleus**, p. 233-248, 2009. DOI: 10.3738/1982.2278.149

SILVA, P. F.; SILVA, R. A. M.; ASSIS, W. M.; TAVARES, P. H. C. P.; SILVA, V. C. N. Reaproveitamento do óleo fúsel obtido no beneficiamento da canadeaçúcar. *PARAMÉTRICA*, v. 2 p.3, 2011. Recuperado de <https://www.periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/193>

SILVA, R. S. Avaliação técnica da utilização do óleo fúsel, subproduto da produção de etanol da cana-de-açúcar: revisão. Trabalho de Conclusão de Curso, UFPB, João Pessoa, 42 f. 2019.

SILVEIRA MLA Dissolved organic carbon and bioavailability of N and P as indicators of soil quality. *Scientia Agricola* 62:502-508, 2005.

SOUZA, C. J. G. et al. Reaproveitamento da vinhaça na fertirrigação da cana orgânica. *Anais Jornada Jurídica da Faculdade Evangélica de Goianésia*, v. 1, n. 1, 2018.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2 ed. New York: John Willey, 1994, 496p.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 20, p. 329-335, 1988.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sup>2</sup> e N mineral em um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.35-42, 2000.

VASQUEZ, G. H.; BORTOLIN, R.; VANZELA, L. S.; BONINI, C. dos S. B.; BONINI NETO, A. Uso de fertilizante organofosfatado e torta de filtro em canaplanta. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 9, n.1, p. 53-64, 2015.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994.