



**MATHEUS PEREIRA REZENDE**

**AVALIAÇÃO DE INOCULANTE NA COMPOSTAGEM DE  
CAMA DE SISTEMA *COMPOST BARN***

**LAVRAS – MG**

**2022**

**MATHEUS PEREIRA REZENDE**

**AVALIAÇÃO DE INOCULANTE NA COMPOSTAGEM DE CAMA DE SISTEMA  
*COMPOST BARN***

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Flávio Alves Damasceno

Orientador

Dr<sup>a</sup>. Rafaella Resende Andrade

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

**MATHEUS PEREIRA REZENDE**

**AVALIAÇÃO DE INOCULANTE NA COMPOSTAGEM DE CAMA DE SISTEMA  
COMPOST BARN**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA EM 20 de abril de 2022.

Prof. Dr. Frederico M. C. Vieira – UFTPR

M.Sc Carlos Eduardo Alves Oliveira – UFV

M.Sc Rafaella Andrade – UFLA

Prof. Dr. Ebersson Silva - UEMG

Prof. Dr. Flávio Alves Damasceno

Orientador

Dra. Rafaella Resende Andrade

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por sempre iluminar os meus passos e nunca me abandonar nessa caminhada.

A Nossa Senhora Aparecida, que sempre intercedeu por mim nos momentos mais difíceis.

A minha mãe Rosemeire, meu pai Eder, minha namorada Jovana, e minhas Avós por sempre me apoiarem em todos os momentos e por sempre lutar para que eu realizasse meus sonhos.

A todos meus familiares, que sempre me apoiaram, orientaram e me deram todo amor possível.

Ao meu orientador Flávio Damasceno, por todos os ensinamentos durante a minha graduação.

A equipe de colaboradores da Fazenda Angola.

Aos meus amigos Marlon, Marco, Marcos, Thiago, João Marcos, Fernando, Luís Henrique, Celso, Eric, Camila e Rafael e todos os outros que conheci durante a graduação por sempre estar me apoiando durante essa caminhada.

Aos companheiros de infância que estão juntos comigo na minha caminhada Lucas, Flávio e Paulo Henrique por toda amizade construída nesse tempo.

A Universidade Federal de Lavras, que se tornou minha segunda casa e que me deu a oportunidade de realizar esse sonho.

A todas as outras pessoas que de maneira geral estiveram comigo durante todo esse tempo.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

O composto orgânico produzido pela cama do sistema *Compost Barn* (CB) é rico em macro e micronutrientes exigidos pelas plantas, e pode ser empregado como biofertilizante na agricultura, apesar de seu potencial ser pouco explorado por ser empregado anteriormente à maturação. O uso de inoculantes com base em organismos emerge como uma possibilidade para a produção de um composto de elevada qualidade e em menor tempo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar as alterações na matéria orgânica do material de cama proveniente de uma instalação *Compost Barn* sob a influência da aplicação de inoculante microbiológico. O experimento foi implantado na Fazenda Angola, no município de Ingaí – MG. Para análise inicial da composição da cama, foram retiradas cinco amostras de 500 g em pontos aleatórios da instalação, sendo determinada a composição de macro e micronutrientes, pH, relação carbono-nitrogênio (C/N) e carbono orgânico (CO). Logo após, foram construídas dois tipos de leiras, ambas com material vegetal constituído por restos de silagem de milho, cascas de café, silagem de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) e, como complemento de parte do nitrogênio, material da cama e esterco bovino. Na montagem, estas foram umedecidas até a umidade de 60%. O experimento contou com quatro tratamentos para cada fonte de nitrogênio, sendo os seguintes tratamentos: Testemunha com água potável (sem aplicação de inoculante), tratamento com água potável e inoculante, tratamento com água residuária e tratamento com água residuária e o inoculante. A temperatura foi monitorada a partir da montagem da leira por meio de um sensor de temperatura do tipo espeto. As leiras foram reviradas quando atingiram temperaturas em seu interior próximas a 65 °C, com o auxílio de uma pá frontal acoplada em trator. Foram coletadas duas amostras em pontos distintos para as análises em cada leira. Foram avaliados os diferentes tratamentos. Com os resultados das análises, foi calculada a média semanal para cada tratamento. Com as médias, utilizando o software Microsoft Excel, foram plotados gráficos de barras, contendo o desvio padrão, visando observar o desempenho dos tratamentos para cada variável analisada. Além disso, foram plotados gráficos com valores médios e desvio-padrão, utilizando o software Microsoft Excel, para todas as variáveis analisadas. Estes gráficos foram plotados com o objetivo de permitir a observação do comportamento de cada tratamento em relação às variáveis analisadas durante as nove semanas experimentais. A principal diferença entre os tratamentos ocorreu na média de alguns macro e micronutrientes e teor de carbono orgânico em função da composição das leiras. No geral, os tratamentos compostos por 1 volume de material de cama do Compost Barn, 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado (TCB) proporcionou maiores níveis de alguns macro e micronutrientes e porcentagem de carbono orgânico. Concluiu-se que aplicação de inoculante não proporcionou aceleração e maior liberação de nutrientes na compostagem da cama de sistema de Compost Barn.

**Palavras-chave:** Composto orgânico; Instalação para gado leiteiro; Microorganismos eficientes.

## ABSTRACT

The organic compost produced by the litter of the Compost Barn (CB) system is rich in macro and micronutrients required by plants, and can be used as a biofertilizer in agriculture, although its potential is little explored because it is used before maturation. The use of inoculants based on organisms emerges as a possibility for the production of a high quality compost in a shorter time. In this sense, the objective of this work is to evaluate the changes in the organic matter of the bedding material from a Compost Barn installation under the influence of the application of microbiological inoculant. The experiment was implemented at Fazenda Angola, in the municipality of Ingaí - MG. For initial analysis of the composition of the litter, five samples of 500 g were taken at random points of the installation, being determined the composition of macro and micronutrients, pH, carbon-nitrogen ratio (C/N) and organic carbon (CO). Soon after, two types of windrows were built, both with plant material consisting of corn silage remains, coffee husks, Napier grass silage (*Pennisetum purpureum*) and, as a complement to part of the nitrogen, bedding material and cattle manure. On assembly, these were moistened to a humidity of 60%. The experiment had four treatments for each nitrogen source, the following treatments: Control with drinking water (without application of inoculant), treatment with drinking water and inoculant, treatment with wastewater and treatment with wastewater and the inoculant. The temperature was monitored from the windrow assembly by means of a skewer-type temperature sensor. The windrows were turned when they reached temperatures inside close to 65 °C, with the aid of a front shovel coupled to a tractor. Two samples were collected at different points for analysis in each windrow. the different treatments were evaluated. With the results of the analyses, the weekly average was calculated for each treatment. With the averages, using the Microsoft Excel software, bar graphs were plotted, containing the standard deviation, in order to observe the performance of the treatments for each analyzed variable. In addition, graphs with mean values and standard deviation were plotted, using Microsoft Excel software, for all analyzed variables. These graphs were plotted in order to allow the observation of the behavior of each treatment in relation to the variables analyzed during the nine experimental weeks. The main difference between treatments occurred in the average of some macro and micronutrients and organic carbon content as a function of the composition of the windrows. Overall, treatments composed of 1 volume of Compost Barn litter material, 1 volume of corn silage residues, 1 volume of coffee husks and 1 volume of chopped Napier grass (TCB) provided higher levels of some macro and micronutrients. and percentage of organic carbon. It was concluded that inoculant application did not provide acceleration and greater release of nutrients in the composting of the Compost Barn system litter.

**Keywords:** Organic compost; Installation for dairy cattle; Efficient microorganisms.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
2.1	<i>Compost Barn</i> .....	9
2.2	Processo de compostagem .....	11
2.3	Fatores que influenciam o processo de compostagem .....	14
2.4	Sistema de compostagem em leiras revolvidas .....	15
2.5	Utilização de inoculantes microbiológicos na compostagem.....	17
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
3.1	Local do experimento .....	20
3.2	Caracterização da instalação <i>Compost Barn</i> .....	20
3.3	Preparo do substrato .....	21
3.4	Manejo das leiras e coleta de dados experimentais .....	26
3.5	Análises .....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.	CONCLUSÃO .....	64
	REFERÊNCIAS .....	65

## 1. INTRODUÇÃO

O *Compost Barn* é um sistema de confinamento alternativo para vacas leiteiras, que tem chamado atenção dos produtores por, quando manejado adequadamente, possibilitar maior longevidade e um ambiente confortável e seco no decorrer do ano para os animais (MOTA; ANDRADE; LEITE, 2019), bem como produção de leite com melhor qualidade e maior valor de mercado (RADAVELLI et al., 2017), desde que corretamente manejado.

A cama, constituída pela mistura de uma fonte de carbono (maravalha, serragem de madeira etc.) e nitrogênio oriundo dos dejetos dos animais (fezes e urina); é revolvida periodicamente e, durante este processo, ocorrerá a decomposição da matéria orgânica, por meio do processo de semi-compostagem (SAKOGLOU; DRZEWINSKI; KAPP JUNIOR, 2020; DAMASCENO, 2020). O composto orgânico produzido é rico em macro e micronutrientes exigidos pelas plantas, e pode ser empregado como biofertilizante na agricultura (MAGALHÃES, 2018).

Apesar da potencialidade de uso do composto gerado, muitos produtores têm utilizado a cama do *Compost Barn* como adubo orgânico de modo errôneo e sem embasamento científico. Em grande parte dos casos, o composto gerado é aplicado sem estar humificado e/ou maturado, momento em que os macro e micronutrientes já estão estáveis para absorção pelas plantas, causando poluição ambiental e não aproveitando de forma adequada o potencial agrônômico do material de cama gerado.

Buscando acelerar o processo de compostagem, algumas empresas tem desenvolvido produtos inoculantes, visando a obtenção de um composto com qualidade igual ou superior aos convencionais em um período de tempo reduzido (PEREIRA, 2017). Desta forma, o emprego de tais inoculantes abre-se como uma possibilidade na compostagem do material da cama proveniente de sistemas *Compost Barn*. Ante o exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar se a aplicação de inoculantes microbiológicos provoca alterações químicas e físicas durante o processo de compostagem em leiras da matéria orgânica proveniente de uma instalação *Compost Barn*.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Compost Barn*

O *Compost Barn* (CB) é um sistema de confinamento alternativo para bovinos leiteiros, em que as vacas são mantidas em uma ampla área de descanso (cama), sem nenhuma divisória de contenção como as existentes em instalações do tipo *Free Stall* (FS) e *Tie Stall* (TS). Os produtores empregaram a tipologia do sistema com cama convencional e introduziram metodologias de compostagem, por meio da adição frequente de material rico em carbono e o revolvimento diário da cama, buscando assegurar a decomposição microbológica aeróbica da matéria orgânica (CALDATO, 2019).

Na literatura, relata-se que uma das principais vantagens alcançadas com o uso de sistemas CB é o incremento da produtividade dos animais alojados. Bewley e Taraba (2013) identificaram aumento de 1,4 a 2,1 kg de leite por animal por dia. Black et al.(2013) relataram aumento de 1,1 Kg de leite por dia após a mudança dos animais para o sistema, e de 1,4 kg de leite/vaca/dia, após a adaptação dos animais no novo sistema.

Além disso, também há relatos que neste sistema as taxas de detecção de cio e de prenhez apresentaram valores superiores de 25,9 e 34,5%, respectivamente, em comparação ao sistema FS. Tais valores relacionam-se com os menores índices de problemas de locomoção dos animais, que possibilitam que estes expressem o comportamento de monta (PILATTI, 2017).

Outro ponto que se relaciona ao bem-estar animal que o sistema CB permite que ocorra de modo mais natural é a posição de descanso. Vacas no sistema CB passam maiores períodos deitadas e, mesmo quando de pé, passam mais tempo em uma superfície mais macia que os pisos de concreto dos galpões FS (NUNES DA SILVA; SANCHES, 2020).

As primeiras menções ao sistema CB ocorreram nos anos de 1990, no estado da Virgínia, nos Estados Unidos. A primeira estrutura contava com baias livres, com chão batido recoberto por uma camada de serragem em que as vacas poderiam deitar-se. Este material orgânico era revolvido com os dejetos das vacas ocorria processo fermentativo, gerando calor pela decomposição da matéria orgânica (ANDRADE, 2021).

No ano de 2001, os irmãos Portner reproduziram essa nova estrutura no estado de Minnesota, seguido de muitos outros produtores no país. Em 2006 foi construída a primeira instalação do tipo CB em Israel, mas com pequenas diferenças: em razão do clima seco, não havia necessidade de utilização de outro tipo de material para incorporar a umidade dos dejetos e os animais se deitavam sobre seu próprio esterco (ANDRADE, 2021).

De acordo com Damasceno (2012), os materiais mais empregados para constituir a cama do *Compost Barn* no estado americano do Kentucky são aparas de madeira seca e serragem, a qual conta com menor tamanho de partícula e maior índice de umidade em relação às aparas de madeira. Entretanto, o crescimento da demanda por esses materiais gerou dificuldades de compra em certas regiões, o que levou produtores a procurarem por materiais alternativos, disponíveis regionalmente. Um estudo de Shane, Endres e Janni (2010) testou diferentes materiais alternativos para constituir a cama, dentre eles palha de trigo, palha de soja, semente de linhaça, casca de arroz, cascas de café, bagaço, papel e casca de amendoim, sendo que todos os materiais apresentaram resultados satisfatórios, quando manejados de acordo com as orientações técnicas.

No Brasil, a primeira instalação *CB* foi construída no ano de 2012, em São Paulo e, a partir de então, o sistema tornou-se foco de estudos científicos, visando o desenvolvimento de técnicas para adequá-lo as condições climáticas e de manejo do Brasil (RÖSLER, 2021).

A cama, mecanicamente incorporada à urina e esterco dos animais, passa pelo processo de compostagem com o decorrer dos meses. Como ponto diferenciador deste sistema, com relação ao sistema *Loose Housing (LH)*, o material empregado na área da cama deve possuir origem orgânica e contar com elevada relação carbono:nitrogênio (C:N), para permitir a degradação por microrganismos aeróbicos. O êxito desse processo é dependente da manutenção dos níveis corretos de temperatura, umidade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio e relação carbono:nitrogênio. O equilíbrio destes fatores deve assegurar condições adequadas para que os microrganismos decompositores tenham atividade acelerada e gerem calor suficiente para a redução da população de microrganismos patogênicos e secagem da superfície da cama (DALBERTO, 2018).

A cama é uma mistura de fonte de carbono que deve disponibilizar, simultaneamente, a porosidade necessária para a entrada de ar dentro da cama e as características de misturas favoráveis à degradação microbiana da matéria orgânica. Os altos índices de nitrogênio dessa matéria orgânica devem-se ao esterco e a urina dos animais, que é incorporada a cama via revolvimento, tendo como resultado o processo de compostagem (MUXFELDT, 2020).

As orientações gerais para manutenção da cama relacionam, além dos fatores supramencionados, o manejo de altura, revolvimento e reposição. Segundo Fávero (2015), a altura ideal é de 0,60 m, porém a cama nova pode ser iniciada na altura de 0,40 m. Ademais, muitas fazendas iniciam uma nova cama com uma camada de 0,10 a 0,15 m da cama compostada anterior, com o propósito de acelerar o início do novo processo de compostagem (JANNI et al., 2007).

A profundidade do revolvimento, executado diariamente nos momentos em que as vacas estão na ordenha, deve atingir as camadas de 0,18 a 0,24 m, visando permitir a entrada de níveis adequados de oxigênio. A reposição de camadas da cama é dependente do clima e dos níveis de umidade e temperatura da cama (DALBERTO, 2018).

A cama quando não passa pelo processo adequado de compostagem pode comprometer todo o sistema, causando o aumento da contagem de células somáticas (CCS) e mastite clínica. Ao contrário, quando está adequadamente decomposta, há aumento da qualidade do leite, com redução da CCS e mastite clínica (SOARES, 2018).

Apesar disso, quando o material da cama é utilizado antes de estar completamente decomposto, este não é adequado como fonte de N de curto prazo, em razão do baixo teor de N mineral e sua lenta taxa de mineralização. A disponibilidade de N pode ser incrementada por meio da compostagem contínua da cama após sua retirada do sistema, até que o processo de alcance a maturação. Além disso, quando o manejo do processo de compostagem não é realizado de modo adequado, pode se tornar uma fonte de contaminação para o meio ambiente, humanos e animais (DAMASCENO, 2020).

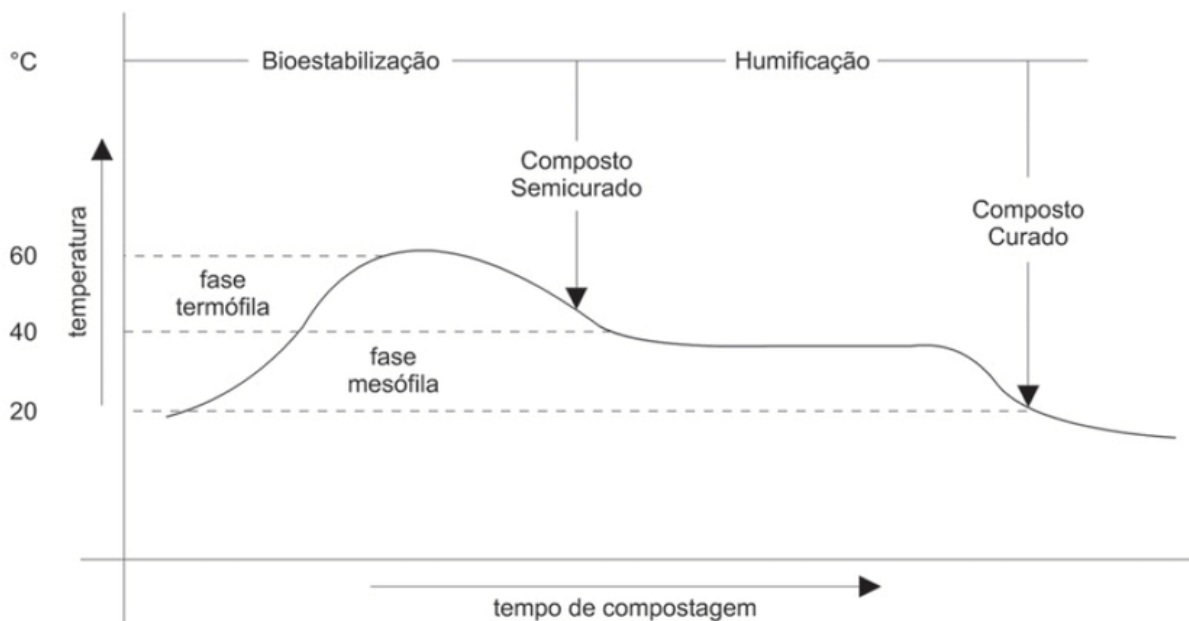
## **2.2 Processo de compostagem**

A pilha de compostagem conta com uma ecologia complexa, relacionando diversos grupos de microrganismos, em sucessão, que decompõem o substrato e são influenciados por características físicas e bioquímicas do processo. Ela se distingue da simples decomposição da matéria orgânica por ser realizada especialmente pela microbiota termófila, bem como alcançar temperaturas por volta de 60,0 °C durante o processo. Dois grupos de microrganismos atuam na decomposição: microrganismos mesófilos, que se desenvolvem em temperaturas de até 45,0 °C; e microrganismos termófilos, que atuam em temperaturas entre 45,0-75,0 °C (GUESINE, 2020).

A temperatura no processo de compostagem é, simultaneamente, consequência e decisiva para a atividade microbiana. Ela é originada com a respiração dos microrganismos, em seu gasto energético, para ocorrência das reações metabólicas para sua sobrevivência. A temperatura age como um elemento seletivo sobre a microbiota e exerce influência sobre o fluxo de ar e sobre a perda de umidade do material. Na compostagem, a temperatura e os microrganismos interferem entre si e suas diversas inter-relações são o que identificam as fases do processo (SILVA, 2019).

O processo de compostagem se dá em três etapas distintas. A primeira etapa (termófila) tem como produto o composto cru ou imaturo – etapa em que ocorre a liberação de calor, vapor d'água e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Na segunda etapa (mesófila), por sua vez, ocorre a chamada bioestabilização. E na terceira etapa (maturação) ocorre a humificação e, simultaneamente, a mineralização de certos componentes da matéria orgânica (DAMASCENO, 2020). O processo acima descrito está ilustrado na Figura 1.

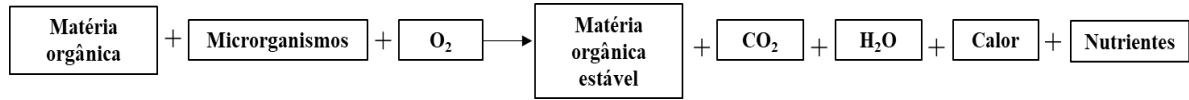
Figura 1 - Fases do processo de compostagem.



Fonte: Guesine (2020).

Na fase termófila (ou psicrófila), que dura entre 5 e 60 dias, ocorre a decomposição de compostos solúveis de fácil degradação (DAMASCENO, 2020), cujas reações de oxidação elevam a temperatura para a faixa de 40,0 a 65,0 °C. A fase seguinte, denominada maturação (mesófila), cuja temperatura está entre 35,0 e 45,0°C, perdura por volta de 60 a 90 dias, período em que se dá o processo de humificação do material orgânico e a mineralização do Carbono remanescente (MATOS, 2014). O processo de compostagem pode ser representado pelo esquema ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquematização do processo de compostagem.



Fonte: Guesine (2020).

Em razão do ambiente termofílico proporcionado pela atividade microbiológica aeróbia, a compostagem permite a sanitização dos resíduos, eliminando patógenos. A decomposição de tais dejetos tem como produto uma matéria orgânica estável, de alta carga disponível, com quantidades representativas de nutrientes para as plantas, e características físico-químicas que favorecem a conservação dos solos. Em decorrência da temperatura termofílica, oriunda da atividade microbiológica aeróbia, a compostagem promove sanitização dos resíduos, eliminando patógenos (PEREIRA, 2017).

Acerca do tipo de material a ser empregado como cama, é ideal que seja rico em carbono, com boa capacidade de absorção de água e que seja confortável para que as vacas se deitem. A escolha do material pode ser decisiva na qualidade da cama ou até mesmo sobre sua frequência de troca. Além disso, o tamanho de partícula e sua distribuição são pontos importantes em relação ao crescimento de microrganismos decompositores, bem como a manutenção de porosidade adequada para aeração, além de auxiliar na capacidade de absorção de umidade pela cama e na disponibilidade do carbono para a compostagem (SCHOGOR; DANIELI; SAVIO, 2018).

Segundo Pereira (2017), o composto originado da cama é uma excelente fonte de nutrientes para ser empregada na agricultura, visto que o maior teor de nitrogênio está na forma orgânica estável, em comparação ao esterco líquido ou fresco. Contudo, análises laboratoriais que estimem os níveis de carbono e nitrogênio, pH e umidade do composto são indispensáveis para direcionar seu uso pelo produtor.

O composto originado do *Compost Barn* conta com diversos benefícios ao solo, como melhoria da aeração, infiltração e retenção de água, estrutura e porosidade. Além disso, contribui também na melhoria das características químicas, tais como a capacidade de troca catiônica (CTC), e pode estimular o desenvolvimento de microrganismos benéficos para as plantas, em detrimento dos patogênicos. A compostagem de materiais orgânicos pode ainda suprir a crescente demanda por fertilizantes orgânicos, ampliando a sustentabilidade dos sistemas produtivos (PEREIRA, 2017).

Quando utilizado imediatamente após a retirada do sistema é necessário verificar se toda a cama está com o processo de compostagem finalizado. Ela estará ideal para ser utilizada na agricultura quando já não for possível distinguir partículas originais da cama e o composto adota forma semelhante a turfa. Caso a troca da cama seja necessária e o ponto ideal de compostagem não tenha sido alcançado ainda, deve-se retirar o composto e montar uma pilha alta, revirando semanalmente até que o material esteja totalmente maturado (BRITO, 2016).

### **2.3 Fatores que influenciam o processo de compostagem**

Um ponto relevante acerca do processo de compostagem é a amostragem, utilizada para acompanhar as condições do meio e a velocidade da decomposição do material, assim como estimar o teor nutricional e de contaminantes existentes no composto formado (CESTONARO; BARROS, 2019).

A temperatura é um fator que pode ser utilizado como referência do progresso e da qualidade do processo de compostagem, além de determinar a sucessão das populações microbianas e seu papel nas fases de degradação (mesófila e termófila). A eficiência da eliminação de microrganismos patogênicos é dependente do período de exposição do material enleirado a altas temperaturas e de sua uniformidade por toda a leira. O monitoramento cuidadoso durante o processo de compostagem é essencial para assegurar a qualidade do composto obtido (HECK et al., 2012).

De acordo com a Resolução nº 481 (CONAMA, 2017), em sistemas de compostagem as temperaturas devem permanecer iguais ou superiores 55,0 °C por no mínimo 14 dias, para que se assegure a eliminação e/ou redução das populações de organismos patogênicos. A temperatura pode ser monitorada por meio da inserção de uma barra de ferro na leira. Ao tocá-la, esta deve estar quente, mas não queimar as mãos. Pode ser monitorada também por meio de termômetros inseridos em diversos pontos da leira.

A umidade é um fator que deve ser precisamente monitorado, considerando que este é essencial para a manutenção da atividade microbiana. Em relação a umidade, esta é um fator decisivo para a compostagem da cama, devendo estar entre 40 e 60%. Uma cama com baixa umidade (30 a 35%) inibe a atividade microbiana, ao passo que o excesso (acima de 60 %) reduz a aeração, prejudicando a atividade dos microrganismos e, por consequência, o processo de compostagem (RÖSLER, 2021).

O controle do teor de água na leira é relativamente simples: caso esteja elevada é necessário adicionar materiais que absorvam seu excesso, como vegetais secos e lascas de

madeira. Caso esteja baixa, é necessário adicionar água ou outro material orgânico de umidade elevada, em proporção visando o balanço da umidade a ser alcançada (SOUZA; CARMO; SILVA, 2020). A umidade pode ser determinada *on-farm*, por meio da pesagem do material úmido, secagem e novamente a pesagem. O peso perdido corresponde ao teor de água do material. Além disso pode ser determinado por análises laboratoriais.

O potencial hidrogeniônico (pH) elucidada acerca do estágio de decomposição do material orgânico. O pH ao final do processo deve ser alcalino. Valores muito baixos ou elevados podem inibir a atividade microbiana, impedindo ou dificultando a decomposição. Durante o processo de compostagem, ácidos orgânicos de cadeia curta são produzidos e, associada a liberação de amônia durante a atividade microbiana, podem influenciar na variação de pH no decorrer do processo, entre 4,5 a 9,0. Valores inferiores frequentemente estão associados à liberação de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (DAZZI; BRINGHENTI; TEIXEIRA, 2018). A relevância de seu monitoramento relaciona-se ao controle indispensável à sobrevivência de fungos e bactérias presentes no material após a cura (SILVA, 2019).

O equilíbrio da relação C:N é essencial na compostagem, visto que possibilita as circunstâncias de fixação dos nutrientes. Quanto maior a diversidade nutricional, mais eficiente será a decomposição da matéria orgânica. O carbono (C) é empregado como fonte de energia e o nitrogênio (N) para a síntese de proteínas pelos microrganismos, assegurando o crescimento celular. O equilíbrio de tal relação é alcançado a partir da mistura entre os materiais ricos em N e a matéria seca, rica em C. Uma relação ideal é uma mistura que alcance relação C:N de 30:1 (MARCHI; GONÇALVES, 2020).

A decomposição também é influenciada pela carga orgânica do material, que se refere à quantidade de matéria orgânica a ser oxidada (FLECK, 2014). O processo de decomposição de materiais com baixa carga orgânica ocorre normalmente, embora bem mais lentamente em comparação aos de elevada carga, haja vista que a velocidade de crescimento dos microrganismos decompositores é mais lenta, em razão da menor disponibilidade de substrato (WAGNER, 2015).

#### **2.4 Sistema de compostagem em leiras revolvidas**

Diversas metodologias para compostagem são empregadas com o objetivo de ampliar a eficiência do processo. A menor utilização de mão de obra, menor custo e uma operacionalização mais simples são alguns dos fatores determinantes na escolha do tipo de

compostagem a ser executado (VILELA, 2019). Segundo Fernandes (2000), os sistemas de compostagem são agrupados em três categorias:

- a) Sistemas de leiras revolvidas (*Windrow*): A mistura de resíduos é distribuída em leiras, sendo estas aeradas pelo revolvimento dos materiais e pela convecção do ar na massa do composto;
- b) Sistema de leiras estáticas aeradas (*Static pile*): A mistura é distribuída sobre tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto. Neste caso não é realizado o revolvimento mecânico das leiras.
- c) Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*): Os materiais são depositados dentro de sistemas fechados, que possibilita o controle de todos os fatores determinantes ao processo de compostagem.

Cabe enfatizar que a decisão por um método de compostagem, conta com elevada importância econômica e logística, pois tem como consequência resultados produtivos e econômicos diferentes, em razão do grande número de fatores relacionados a escolha. Como principais fatores, podem ser citados área disponível para compostagem, localização e proximidade com áreas urbanas e residenciais, quantidade produzida e tipo de material a ser decomposto, disponibilidade de material estruturante, custos dos equipamentos e distância das culturas que receberão o fertilizante orgânico (VISENTIN, 2019).

O método *Windrow* é entendido como simples e de fácil manutenção, com os revolvimentos sendo realizados de 1 a 2 vezes na semana, proporcionando aeração, estímulo à multiplicação microbiana, controle da temperatura e umidade e aumento da porosidade, contribuindo também para a diminuição do período total de compostagem (NOGUEIRA, 2019; VASCONCELOS et al., 2021). Trata-se da metodologia mais empregada no Brasil em razão do baixo custo de implantação e operacionalização simples, apesar de exigir mais mão-de-obra e onerar os custos operacionais (VERAS, 2018).

Durante a montagem das pilhas, deve-se considerar uma área para revolvimento do composto, localizada ao lado da pilha, e com a mesma largura desta (por volta de 2 metros). Deve-se ainda construir canais para escoamento de águas pluviais ao redor das leiras. Sua construção deve ser executada distribuindo, de maneira uniforme, os materiais ricos em carbono intercalados aos materiais ricos em nitrogênio, até se alcançar uma altura de leira entre 1,5 e 1,8 m. Alturas menores que 1,5 m são desaconselhadas por não contarem com volume suficiente para manter a temperatura do material em níveis adequados. Da mesma forma,



alturas que superem 1,8 m não devem ser utilizadas, visto que acumulam peso, causando compactação e, conseqüentemente, promove a redução da aeração (JERÔNIMO, 2019).

Após os quinze dias iniciais, é realizado o monitoramento da umidade e temperatura da leira. Neste período, pode ser necessário umidificar a leira, em razão de temperaturas elevadas ou de umidade baixa, sendo estes fatores que influenciam diretamente a compostagem. O revolvimento das leiras, realizado de 1 a 2 vezes na semana é essencial ao processo, visto que pode promover a aeração do composto, aumentar sua porosidade, homogeneizar a mistura, controlar sua temperatura e uniformidade, e reduzir a granulometria e a umidade do composto. Tais fatores contribuem para a aceleração da compostagem, além de minimizar o mau cheiro e infestação por insetos (ANDERSEN et al., 2010).

Cabe ainda destacar que no método *Windrow*, o revolvimento pode ser executado de modo manual ou mecânico. No método mecânico, os equipamentos empregados comumente são retroescavadeiras, máquinas tracionadas por trator, ou até mesmo máquinas fabricadas especificamente para este fim, que se deslocam sobre as leiras (VERAS, 2018).

O processo final, quando o composto estará curado, isto é, pronto para a utilização, ocorrerá por volta de 90 a 120 dias do início do processo. O composto curado (humificado) conta com coloração escura, cheiro de bolor e consistência amanteigada, quando molhado e esfregado nas mãos. O produto final deverá contar com no máximo 25% de umidade, pH superior a 6,0 e a relação C:N em torno de 10:1 a 15:1 (JERÔNIMO, 2019).

Como forma de acelerar o processo de compostagem, tem se popularizado o uso de produtos microbiológicos a serem inoculados na massa do composto, assunto que será detalhado a seguir.

## **2.5 Utilização de inoculantes microbiológicos na compostagem**

Os inoculantes microbiológicos podem ser definidos como compostos que possuem a capacidade de propagar os microrganismos que realizam a degradação da matéria orgânica por toda a leira de compostagem, visando o adequado desenvolvimento do processo. No geral, os resíduos orgânicos são naturalmente colonizados com um elevado número de microrganismos, com capacidade de degradar diversos compostos orgânicos que se multiplicam naturalmente, desde que lhes sejam asseguradas as condições favoráveis (MÁXIMO, 2018).

Alguns inoculantes microbiológicos chamados Microrganismos Eficazes (EM) vem sendo mencionados em estudos de compostagem, de modo generalista, para designar grupos de microrganismos não identificados, capturados no solo e multiplicados em substratos diversos

Esses microrganismos podem ser utilizados em consórcio de microrganismos isolados e cultivados em laboratório ou ainda para o desenvolvimento de produtos comerciais conhecidos como “aceleradores de compostagem”(MÁXIMO, 2018).

A inoculação do composto com microrganismos eficientes pode reduzir o tempo de duração do processo de compostagem. Estes são constituídos por microrganismos anaeróbios, aeróbios e outros de distintas atuações, sendo os principais as bactérias produtoras de ácido láctico, as leveduras, as bactérias fotossintéticas, os fungos e os actinomicetos. Tais microrganismos degradam a matéria orgânica de forma equilibrada, empregando menor quantidade de energia e tempo, e estão presentes em matas fechadas e áreas que não sofreram ação antrópica (SOUZA; CARMO; SILVA, 2019).

A ciclagem de nutrientes no processo de compostagem exige a atuação de microrganismos específicos, dependentes das condições e qualidade dos materiais empregados, tal como do manejo empregado, que pode ocasionar uma baixa eficiência na ciclagem da matéria orgânica e liberação de nutrientes, em razão de uma reduzida atividade microbiológica (GOMES, 2019). Entretanto, estudos como de Xi et al. (2015); Wei et al. (2016); Wei et al. (2019) constataram que a inoculação com microrganismos podem incrementar a eficiência do processo de compostagem, sendo esses responsáveis pela degradação de resíduos orgânicos complexos em moléculas mais simples. Além disso, tais microrganismos são capazes de disponibilizar nutrientes para as plantas com base na decomposição de substratos orgânicos, equilibrar a microbiota do solo, suprimir patógenos, em razão da liberação de substâncias antagonicas, e liberar substâncias benéficas à germinação de sementes e crescimento vegetal (SANTOS; PEREIRA; LANA, 2019).

No Brasil a comercialização de inóculos para a compostagem teve início nos anos de 1970, quando foram lançados alguns produtos com o propósito de se obter um composto orgânico de melhor qualidade em um período mais curto. Estes são produtos biotecnológicos, em geral em forma líquida, por meio do qual sistemas biológicos são empregados para tratamento de potenciais poluentes mediante sua degradação (BOINA, 2018).

Comercialmente, podem ser encontrados diversos inoculantes que, no geral, são constituídos por microrganismos, nutrientes minerais, ou formas prontamente disponíveis de carbonos e enzimas, além de compostos que adequam o pH, proporcionando o incremento da atividade microbiana no instante em que o produto está em contato com os resíduos. Entretanto, a composição de cada produto é distinta entre fabricantes, sendo que apenas alguns revelam a constituição dos produtos (SOUZA, 2016).

Outro ponto relevante é que estão disponíveis no comércio inoculantes com uma ou várias espécies de microrganismos. Porém, a utilização de inoculantes com uma única espécie é desaconselhado, considerando que a compostagem é um processo em que os microrganismos interagem e competem intensamente no processo de seleção (SOUZA et al., 2020).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no período de fevereiro a março de 2022 na Fazenda Angola, localizada no município de Ingaí – MG, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 21° 24' 03" de latitude Sul e 44° 55' 01" de longitude Oeste. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima local é classificado como Cwb (Tropical de Altitude – temperatura média amena, entre 18°C e 26°C, e amplitude térmica anual entre 7°C e 9°C, precipitações médias de 1500 mm, concentradas no verão) (KOPPEN; GEIGER, 1928).

O experimento foi montado a 437 m do sistema *Compost Barn* em uma área de 11,57 m<sup>2</sup>, coberta com grama e cercada por arame, para evitar a entrada de animais (Figura 3).

Figura 3 – Imagem de satélite do local onde foi realizado o estudo, com destaque para a entrada da instalação e a área onde foram montadas as leiras de compostagem.



Área experimental.

Fonte: Google Earth (2022).

#### 3.2 Caracterização da instalação *Compost Barn*

A instalação *Compost Barn* onde foi coletado o material de cama utilizado neste estudo possui comprimento de 60,0 m e largura de 17,5 m, totalizando uma área de 1050,0 m<sup>2</sup> (Figura 4). A cama era composta por uma mistura de maravalha, serragem e casca de café, revolvida 2

vezes por dia, no início da manhã e final da tarde, quando os animais estavam na ordenha, por meio de trator John Deere modelo 5603, com auxílio de um implemento enxada rotativa.

Figura 4 – Detalhe da instalação *Compost Barn*.



Fonte: Do autor (2022).

Nesta instalação estavam alojadas 100 vacas com raças entre Holandesa, Jersolando e Girolando com produção média de  $27,0 \text{ kg de leite.vaca.dia}^{-1}$ , cuja alimentação era fornecido uma vez ao dia, utilizando um vagão forrageiro. A água era fornecida em bebedouros de concreto, localizados no corredor que fica na outra extremidade da cama. Na área de cama da instalação, os animais permaneceram divididos em três lotes, de acordo com sua média de produtividade e ordem de lactação. Cada lote recebia dieta específica baseada em silagem de milho e ração. Os animais eram ordenhados duas vezes ao dia, sendo que as ordenhas se iniciavam às 04h00min e às 14h00min, em uma ordenha do tipo espinha de peixe 2x6.

### 3.3 Preparo do substrato

Na primeira etapa do estudo, o material da cama, que estava no sistema a 1,5 anos, foi retirado da instalação utilizando um trator (John Deere<sup>®</sup>, modelo 5603, com potência de 75 cv) com uma pá frontal, transportado em carretas e amontoado em uma área cercada, há cerca de 300,0 m da instalação *CB* (Figura 5).

Figura 5 – Retirada da cama do sistema *Compost Barn*.



Fonte: Do autor (2022).

Para análise inicial da composição da cama, foram retiradas cinco amostras de 500 g em pontos aleatórios do amontoado de material da cama. As amostras foram coletadas com uma pá, colocadas em um balde, para posterior homogeneização. Desta mistura, foi retirada uma amostra de 500 g, que foi armazenada em uma embalagem plástica e enviado para um laboratório de análises de solo em Viçosa – MG, onde foi analisada a composição de macro (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu, B, Na), pH, relação carbono-nitrogênio (C/N) e carbono orgânico (CO). Também foi determinada a composição química de outros materiais orgânicos que foram utilizadas neste estudo, tais como casca de café, capim Napier (*Pennisetum purpureum*) e silagem de milho.

Na segunda etapa, foram montadas as leiras de compostagem, com base na análise química da cama e dos outros materiais (casca de café, capim Napier e silagem de milho) (Figura 6). A densidade do material foi determinada utilizando um balde e uma balança eletrônica digital com precisão de 1 grama, permitindo a estimativa da massa de cada leira.



Figura 6 – Diferentes materiais que foram utilizados na construção das leiras para compostagem



(a) silagem de capim Napier



(b) casca de café



(c) restos de silagem



(d) esterco bovino



(e) material da cama da instalação *Compost Barn*

Fonte: Do autor (2022).

A montagem das leiras foi realizada na mesma área onde havia sido depositado o monte com material de cama, e contou com o auxílio de um trator com uma pá frontal (Figura 7).

Figura 7 – Montagem das pilhas



Fonte: Do autor (2022).

Duas grandes leiras constituídas com diferentes materiais foram montadas nas proporções de 1:1:1:1: leira composta por 1 volume de material de cama do *Compost Barn*, 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado, o qual foi ensilado com uma forrageira acoplada a um trator denominada TCB (tratamento com material da cama de compost barn). A outra leira foi composta por 1 volume de esterco bovino (coletado da pista de trato dos animais com o auxílio do trator), 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado, o qual foi ensilado com uma forrageira acoplada a um trator denominado TEB (tratamento com esterco bovino).

Logo após misturar os materiais nas proporções indicadas em cada grande leira, foram montadas 4 leiras menores com os materiais presentes na primeira grande leira (TCB) e outras 4 leiras menores com materiais presentes na segunda grande leira (TEB), totalizando 8 pequenas leiras, com dimensões de 1,0 m de altura, 2,0 m de largura e 3,0 m de comprimento.

Cada leira foi considerada um tratamento, sendo constituída da seguinte forma:



Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Sigla	Descrição
TA	Material da leira TEB e adição de água potável (testemunha 1)
TB	Material da leira TEB e adição de água potável e inoculante
TC	Material da leira TEB e adição de água residuária
TD	Material da leira TEB e adição de água residuária e inoculante
TE	Material da leira TCB e adição de água potável (testemunha 2)
TF	Material da leira TCB e adição de água potável e inoculante
TG	Material da leira TCB e adição de água residuária
TH	Material da leira TCB e adição de água residuária e inoculante

Fonte: Do autor (2022).

Todas as leiras foram umedecidas até a umidade atingisse o valor próximo a 60,0%, sendo que nos tratamentos TA, TB, TE e TF foi utilizada água potável, e nos tratamentos TC, TD, TG e H foi adicionada água residuária.

No caso dos tratamentos com adição de inoculante (Bio AC da Global Saúde) (TB, TD, TF e TH), utilizou-se 4 litros de inoculante por tonelada de material, sendo que este volume foi diluído em água, com auxílio de um pulverizador costal e de um regador, para melhorar o espalhamento do produto sobre a leira (Figura 8). Para determinar quantas toneladas de material continha em cada leira, foi determinada a densidade do material, utilizando um recipiente de plástico. Com as dimensões de cada pequena leira, calculou-se o volume ( $7,8 \text{ m}^3$ ) e estimou-se a massa. Neste estudou, cada leira possuía aproximadamente 2,8 toneladas e, por este motivo, adicionou-se 12 litros de inoculante.

O inoculante foi aplicado na montagem da leira, de maneira homogênea, com auxílio de uma bomba costal e de um regador em toda a leira de maneira homogênea (Figura 7).

Figura 8 - Processo de inoculação com bomba costal



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2022).

A água residuária foi utilizada na dose de 50 litros por leira (Figura 9).

Figura 9 - Coleta da água residuária



Fonte: Do autor (2022).

### 3.4 Manejo das leiras e coleta de dados experimentais

Para monitoramento da temperatura interna da leira, foram utilizados sensores de temperatura do tipo espeto (PlayShop Eletrônicos<sup>®</sup>, modelo TP101, com 15cm de espeto, precisão de -50°C a 300°C) a 20 e 40 cm de profundidade (Figura 10A). A temperatura superficial das leiras também foi coletada por meio de um termômetro infravermelho do modelo FERM a 20 centímetros de distância das leiras. Durante o período experimental, as leiras eram reviradas quando se verificava que a temperatura das mesmas estava próxima de 65,0°C. A operação de revirada era realizada com o auxílio de uma pá frontal acoplada em trator (Figura 10 B).

Figura 10 – Medição da temperatura (a) e o processo de revirada da leira (b)



(a)

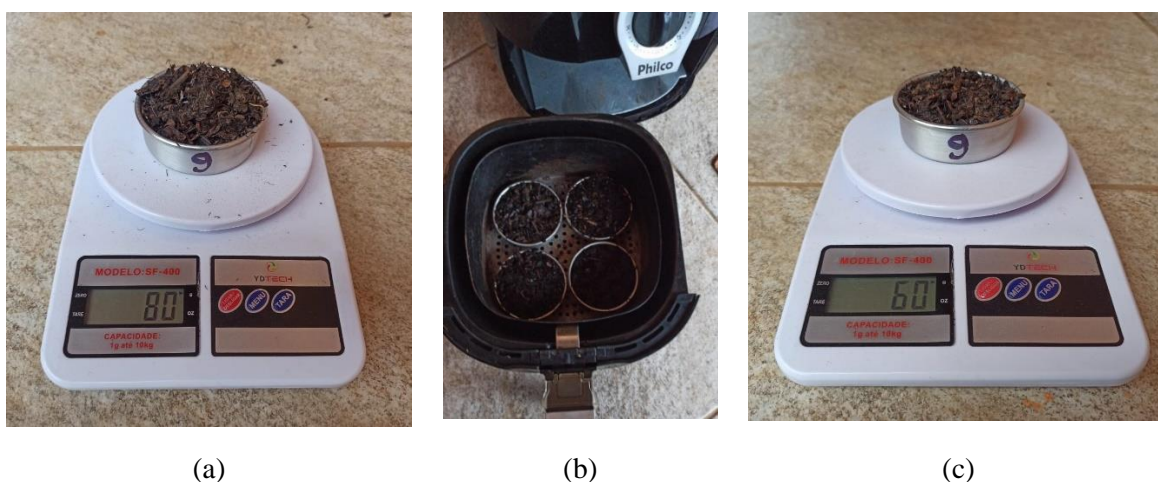
(b)

Fonte: Do autor (2022).

Diariamente, as temperaturas das leiras foram monitoradas para análises, e se a umidade atingisse valores abaixo de 40,0%, estas seriam umedecidas. Inicialmente o monitoramento da umidade foi realizado por meio da coleta de amostras de 80,0 g de material que, após coletadas, eram colocadas em um recipiente metálico, utilizado para determinação da umidade. As massas

do recipiente vazio e com material foram pesadas utilizando uma balança eletrônica digital da marca YDTECH com precisão de 1 grama. Logo após, as amostras eram colocadas dentro da uma panela elétrica do tipo Airfryer por um período de 30 minutos na temperatura de 120 °C, seguindo metodologia descrita pela empresa NUTRON (2018). As amostras eram então retiradas da panela e pesadas novamente, até que a massa a amostra apresentasse um valor estável (Figura 11).

Figura 11 - Pesagem da amostra da leira úmida (A), processo de secagem em Airfryer (B) e pesagem da amostra seca (C)



Fonte: Do autor (2022).

Para calcular a umidade do material, utilizou-se as equações 1 e 2:

$$MS(\%) = \frac{C-A}{B-A} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$U(\%) = 100 - MS \quad \text{Equação 2}$$

Onde: C é o peso da amostra seca; B é o peso da amostra fresca; e A é o peso do recipiente utilizado; MS é a massa seca da amostra, em porcentagem (%); U é o teor de umidade (%).

Durante o período experimental, a cada 5 dias foram retiradas amostras de material p de cada tratamento para análises, para acompanhamento da composição de macro e micronutrientes, potencial hidrogeniônico (pH), relação carbono-nitrogênio (C/N) e carbono orgânico (CO). As análises foram realizadas em um Laboratório de Análises de Solo, em Viçosa – MG. As avaliações de composição da cama foram realizadas durante 9 semanas (Figura 12).



Figura 12 - Realizando a coleta das amostras



Fonte: Do autor (2022).

### 3.5 Análises

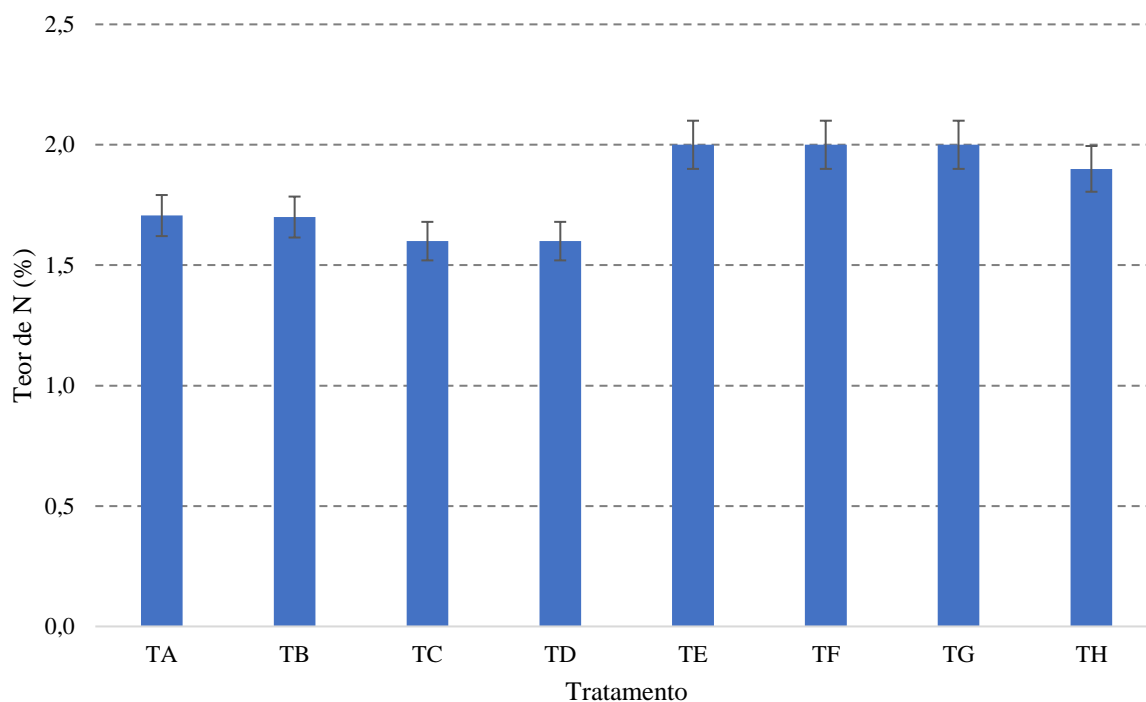
Neste estudo, foram coletadas duas amostras em pontos distintos para as análises em cada leira. foram avaliados os diferentes tratamentos durante 9 semanas (compostagem convencional, compostagem com inoculante, compostagem com água residuária e compostagem com inoculante e água residuária). Com os resultados das análises, foi calculada a média semanal para cada tratamento. Com as médias, utilizando o software Microsoft Excel, foram plotados gráficos de barras, contendo o desvio padrão, visando observar o desempenho dos tratamentos para cada variável analisada.

Além disso, foram plotados gráficos com valores médios e desvio-padrão, utilizando o software Microsoft Excel, para todas as variáveis analisadas. Estes gráficos foram plotados com o objetivo de permitir a observação do comportamento de cada tratamento em relação às variáveis analisadas durante as nove semanas experimentais.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 13 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de nitrogênio. Os tratamentos E, F e G, apresentaram os maiores teores, de 2%.

Figura 13 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de nitrogênio (N - %)

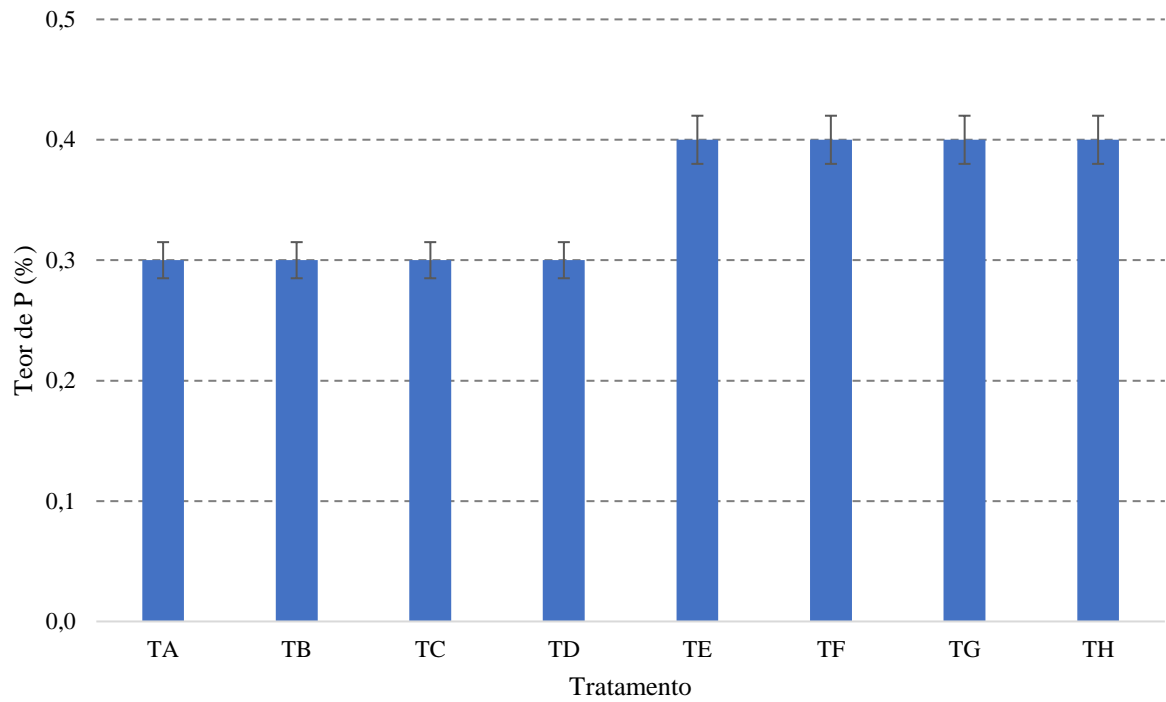


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 14 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de fósforo. Os tratamentos E, F, G e H apresentaram os maiores teores (0,4%).

Figura 14 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de fósforo (P - %)

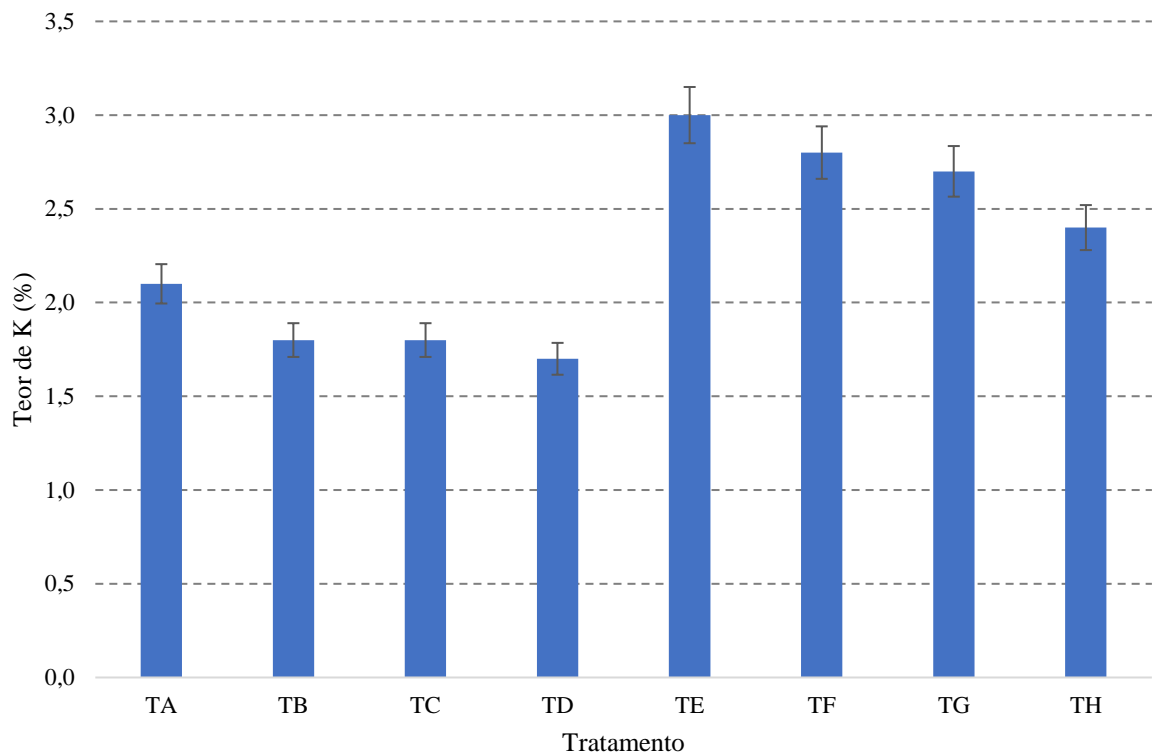


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 15 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de potássio. O tratamento E apresentou o maior teor (3%).

Figura 15 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de potássio (K - %)

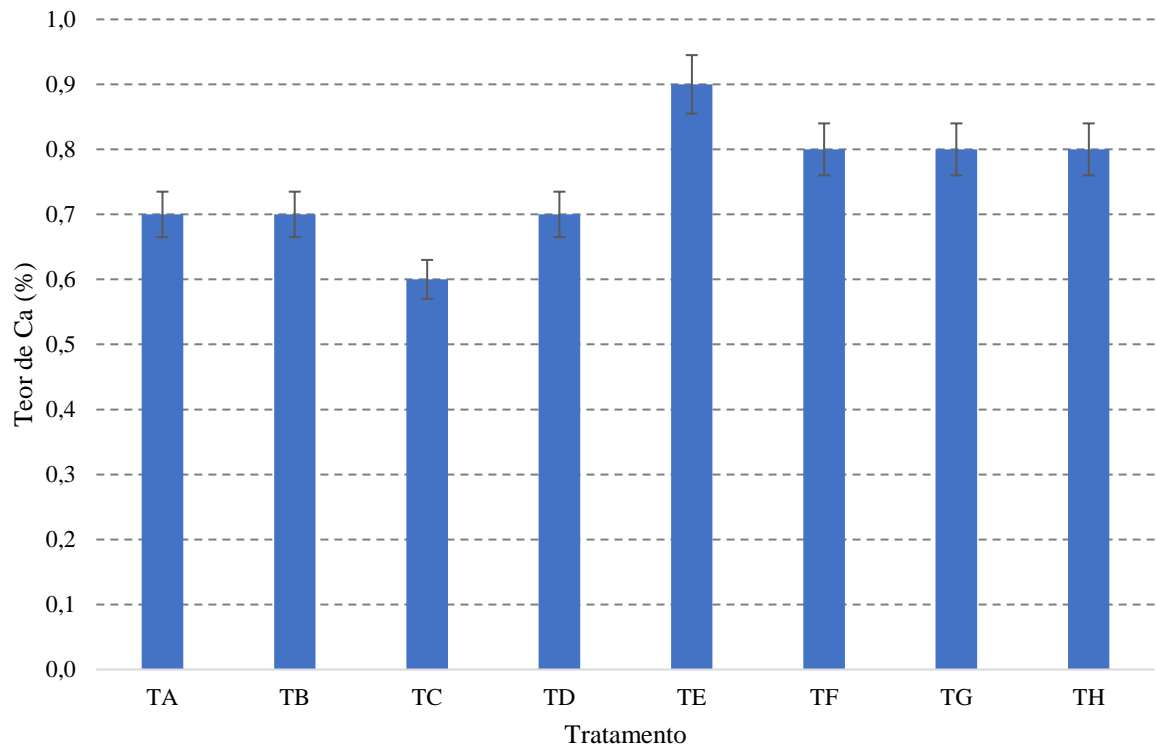


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 16 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de cálcio. O tratamento E apresentou o maior teor (0,9%).

Figura 16 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de cálcio (Ca - %)



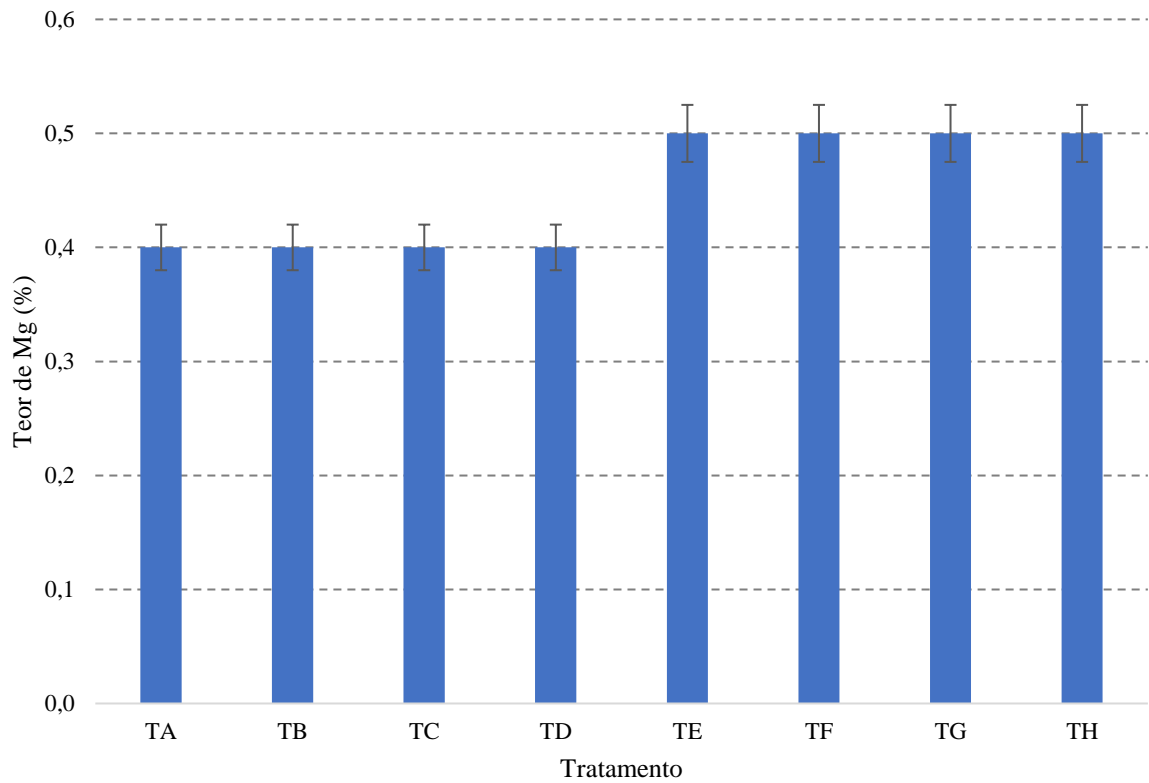
TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 17 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de magnésio. Os tratamentos E, F, G e H apresentaram os maiores teores (0,5%).



Figura 17 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de magnésio (Mg - %)

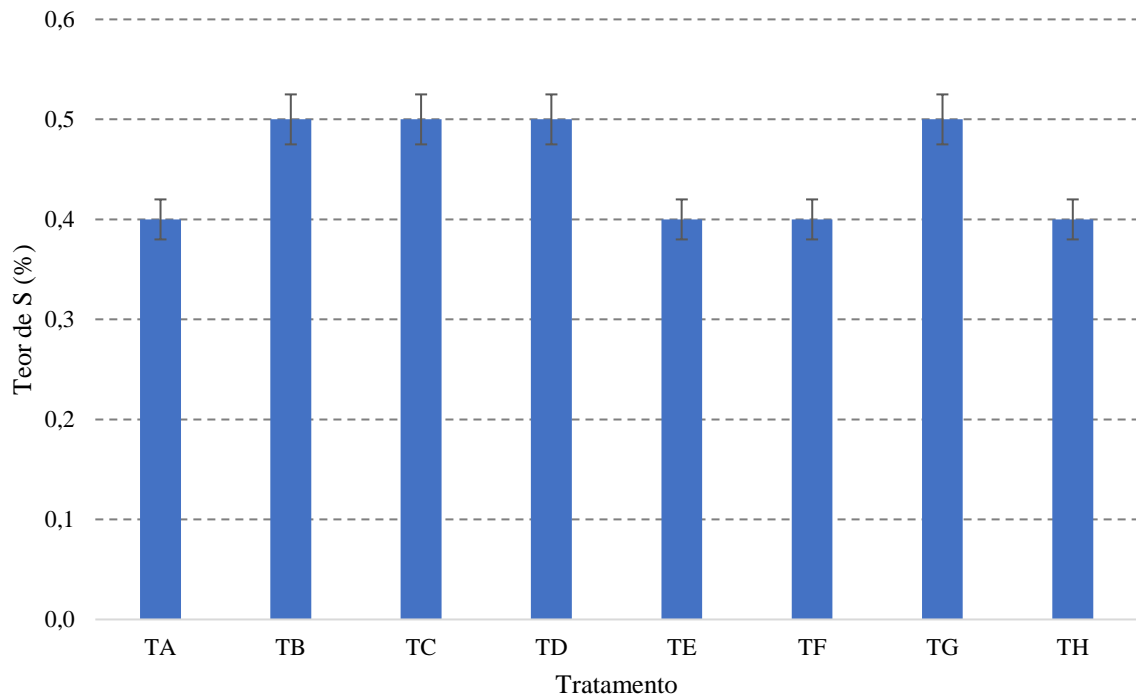


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 18 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de enxofre. Os tratamentos B, C, D e G apresentaram os maiores teores (0,5%).

Figura 18 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de enxofre (S - %)

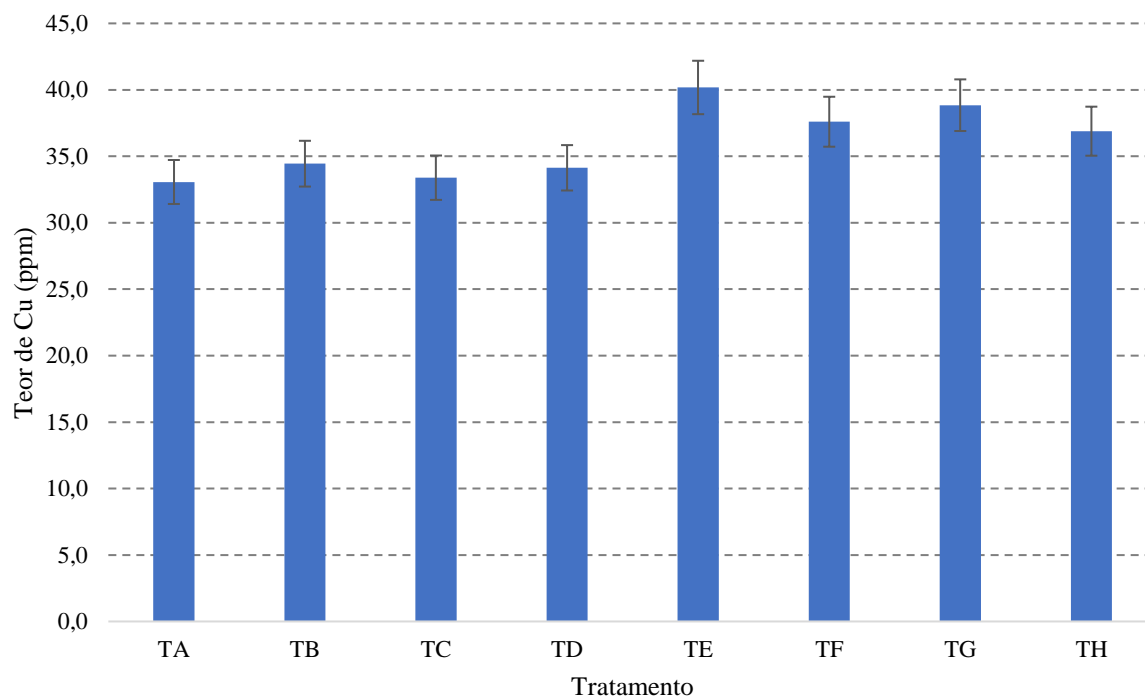


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 19 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de cobre. O tratamento E apresentou o maior teor (40,2 ppm).

Figura 19 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de cobre (Cu - ppm)

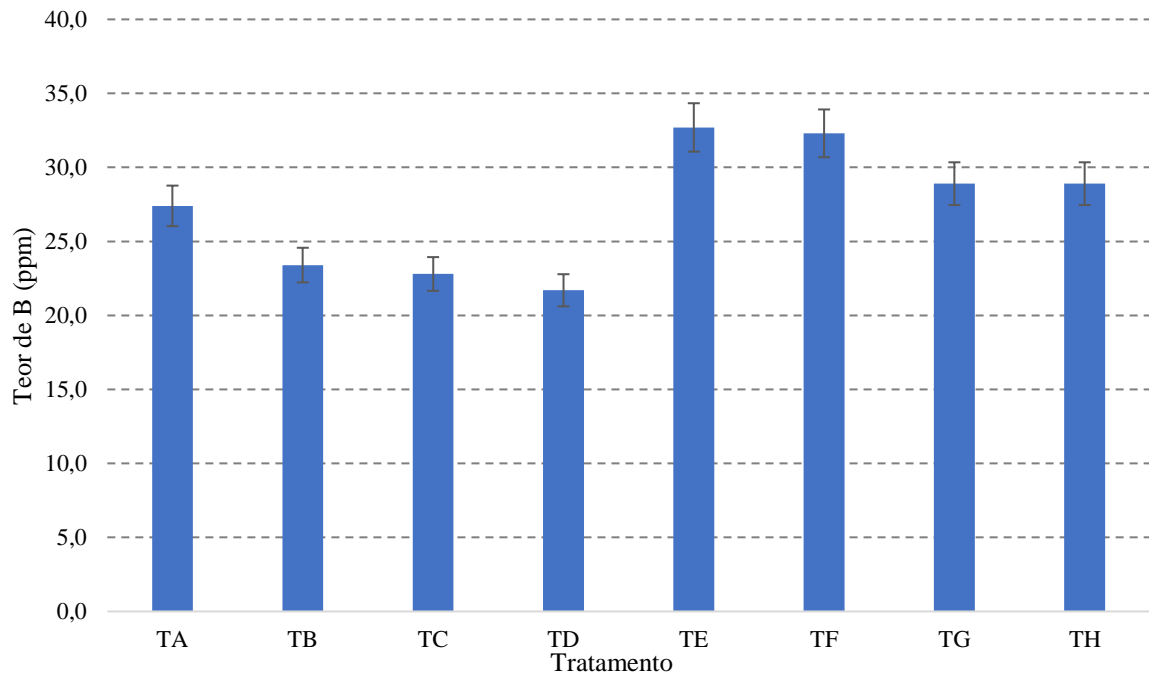


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 20 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de boro. O tratamento E apresentou o maior teor (32,7 ppm).

Figura 20 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de boro (B - ppm)

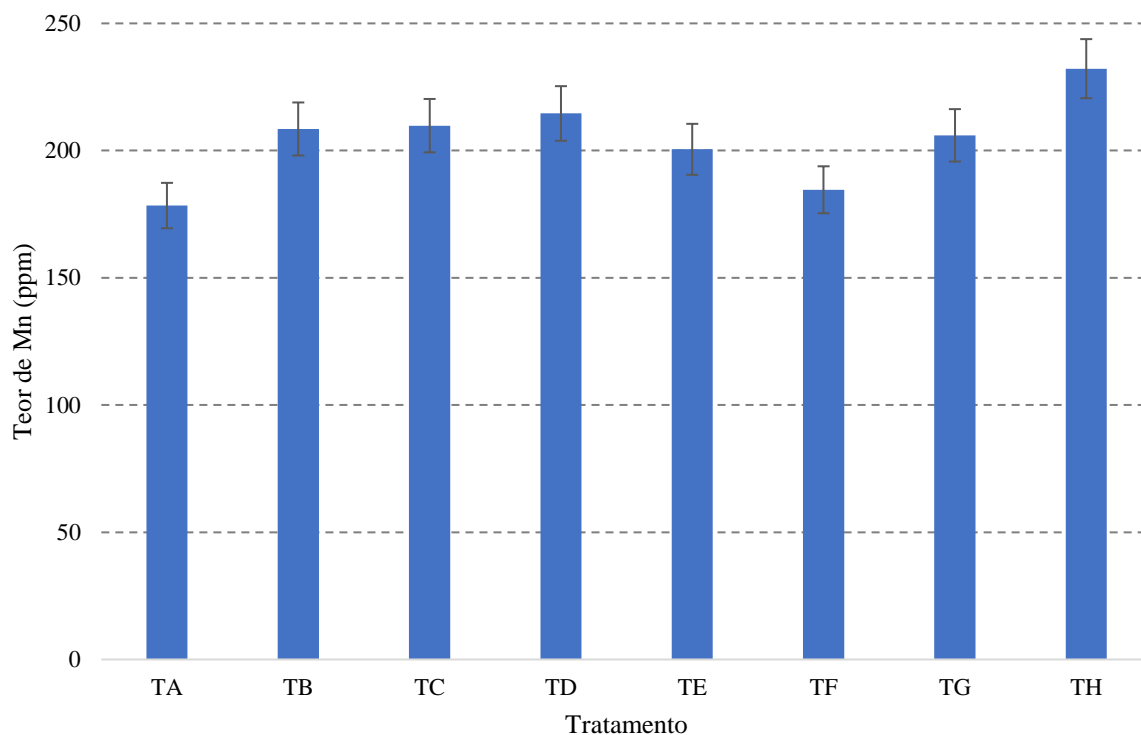


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 21 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de manganês. O tratamento H apresentou o maior teor (232,2 ppm).

Figura 21 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de manganês (Mn - ppm)

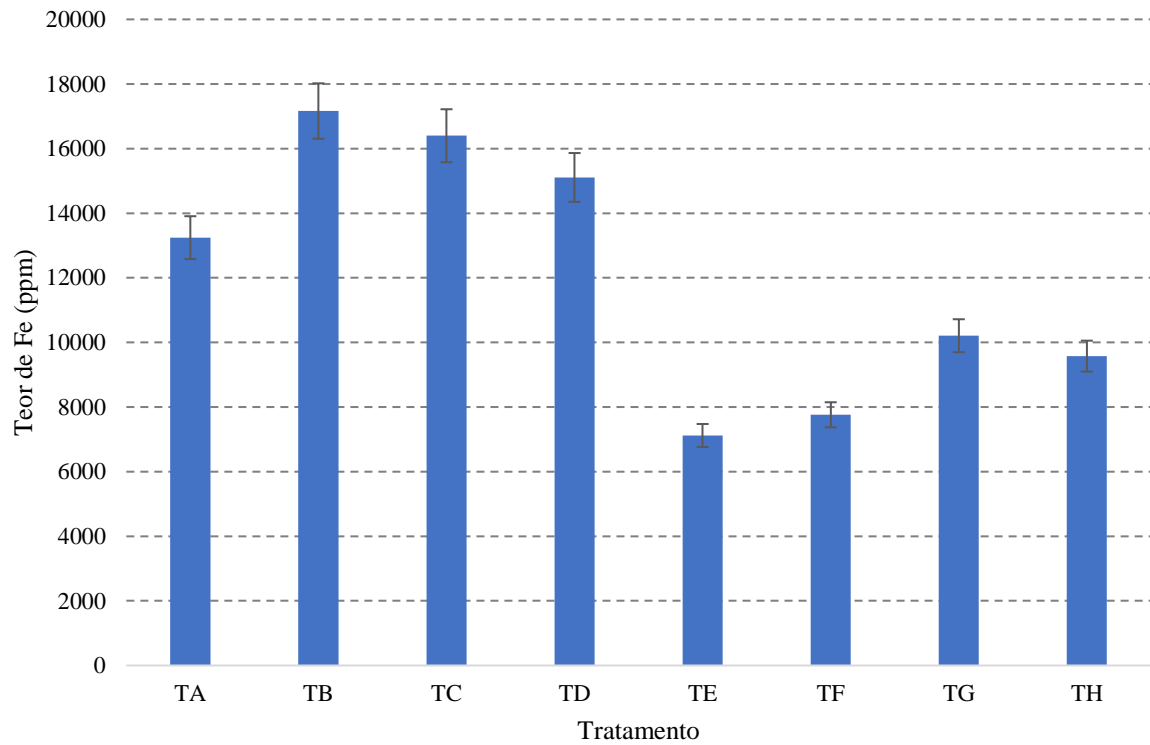


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 22 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de ferro. O tratamento B apresentou o maior teor (17162 ppm).

Figura 22 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de ferro (Fe - ppm)

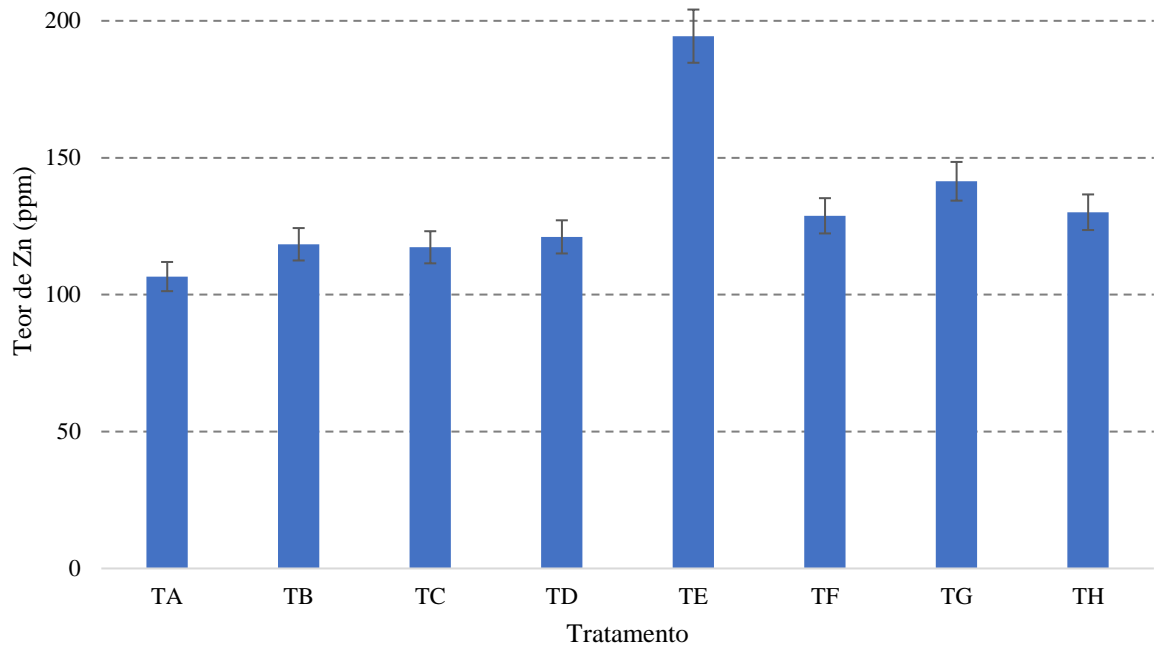


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 23 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de zinco. O tratamento E apresentou o maior teor (194,4 ppm).

Figura 23 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de zinco (Zn - ppm)

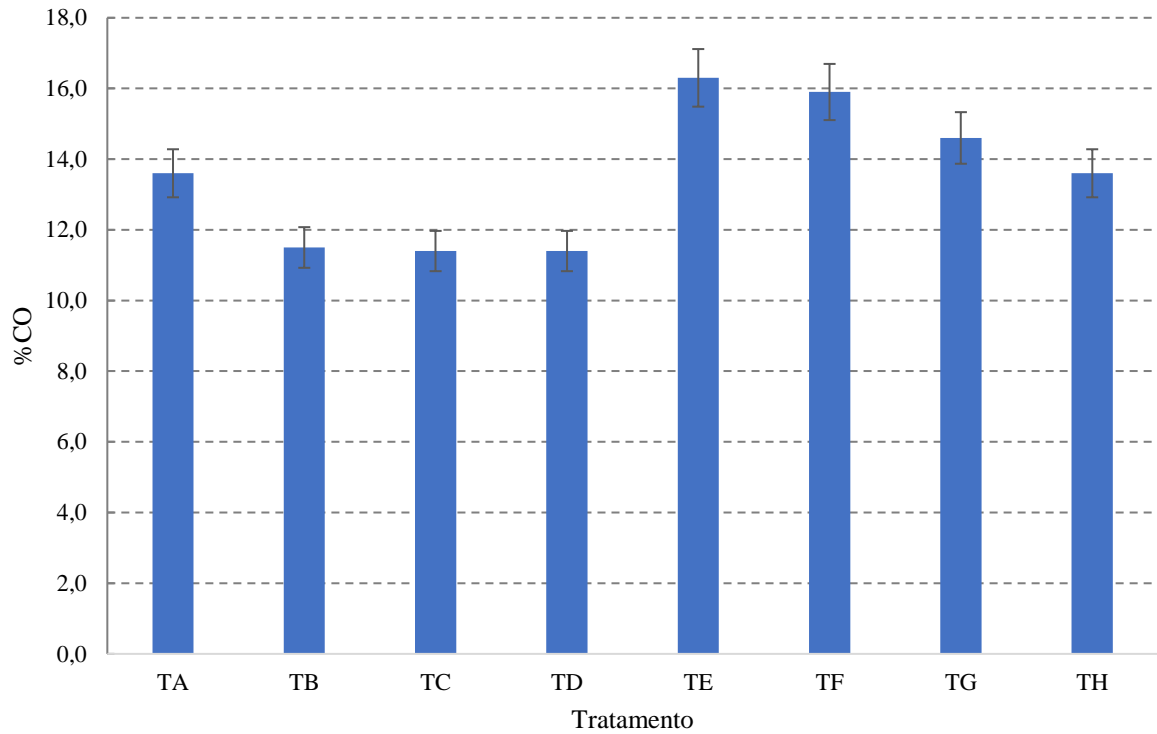


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 24 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de carbono orgânico. O tratamento E apresentou o maior teor (16,3%).

Figura 24 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor carbono de orgânico (CO -%)



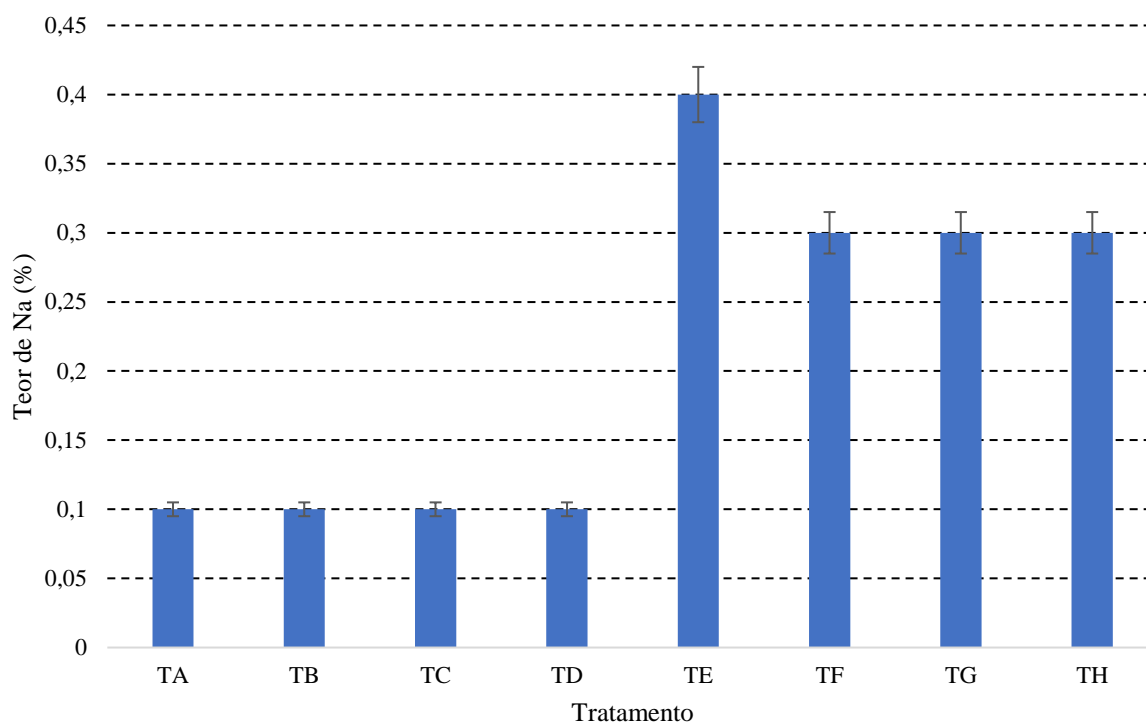
TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 25 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o teor de sódio. O tratamento E apresentou o maior teor (0,4%).



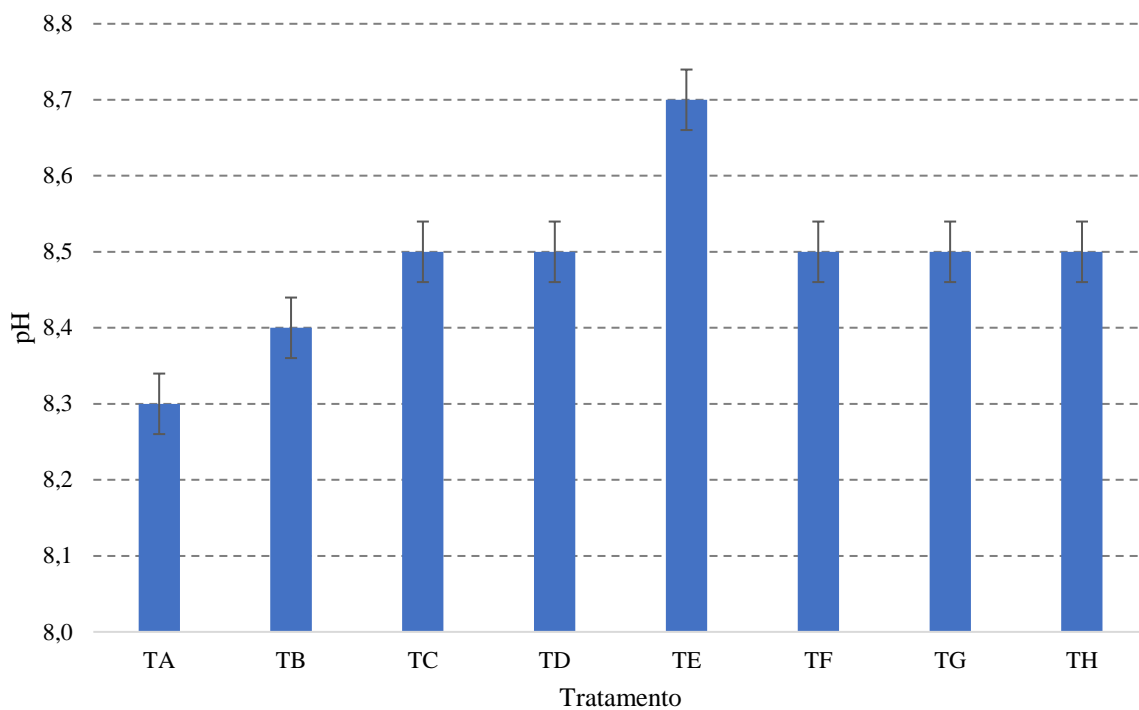
Figura 25 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de sódio (Na -%)



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 26 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para o pH. O tratamento E apresentou o maior valor (8,7%).

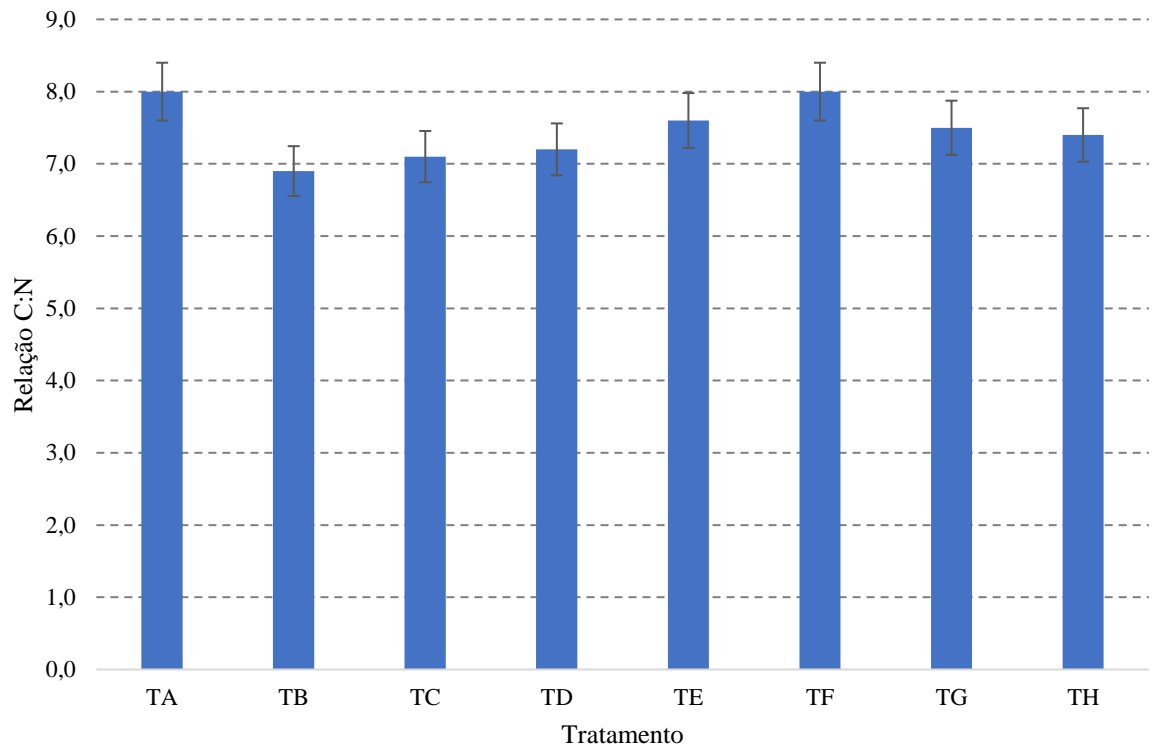
Figura 26 – Médias dos tratamentos avaliados para o pH (em H<sub>2</sub>O)

TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 27 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para a relação carbono:nitrogênio. Os tratamentos A e E apresentaram o maior valor (8,0).

Figura 27 – Médias dos tratamentos avaliados para a relação carbono:nitrogênio (C:N)

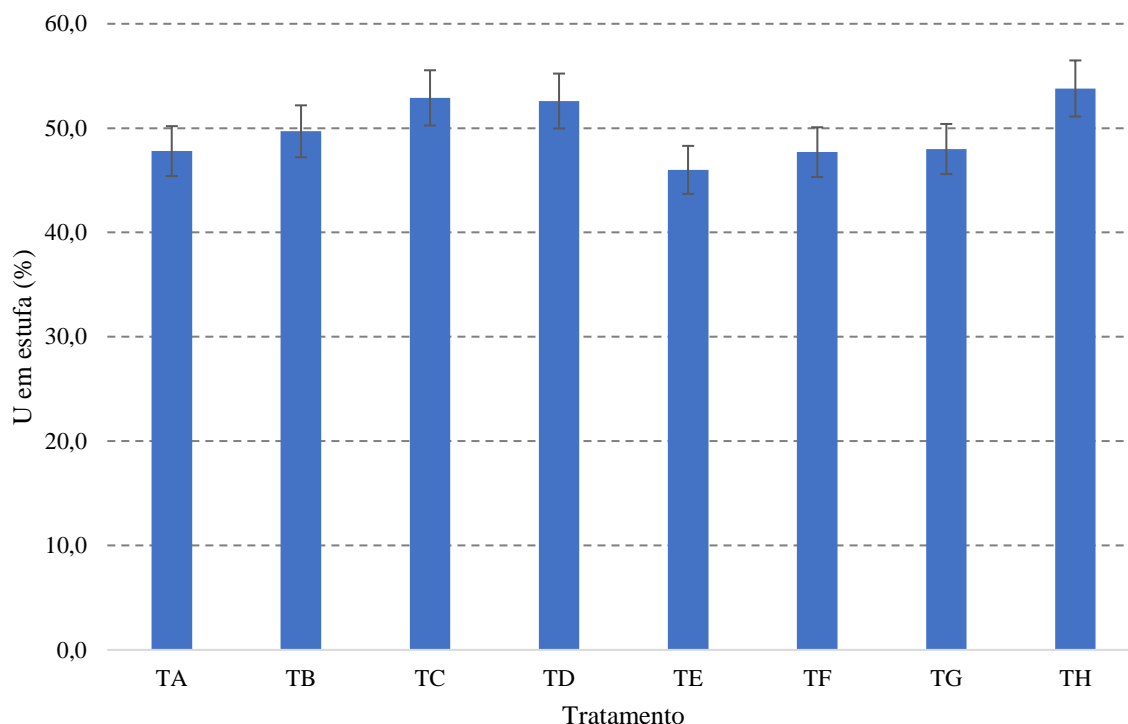


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 28 ilustra as médias dos tratamentos avaliados para a umidade em estufa. O tratamento H apresentou o maior teor (53,8%).

Figura 28 – Médias dos tratamentos avaliados para o teor de umidade em estufa (%)



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

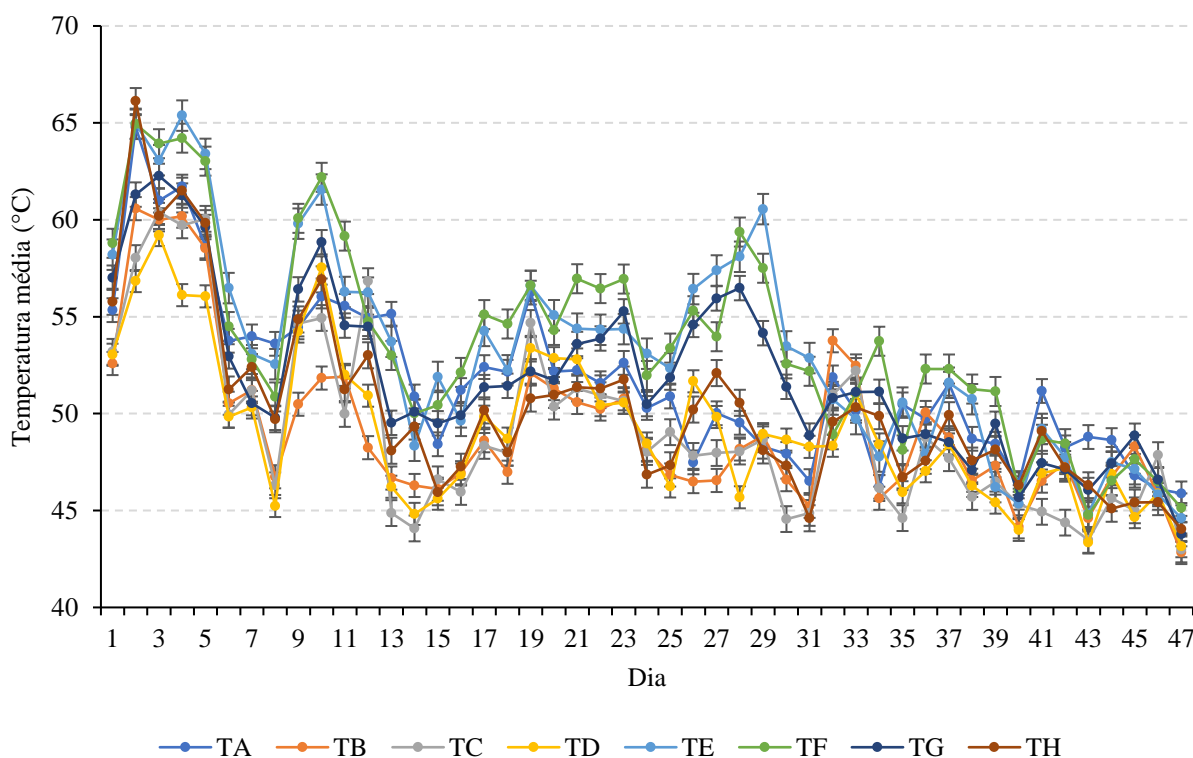
Os maiores teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Zn e %CO dos tratamentos E, F G e H podem ser explicados por sua constituição (1 volume de material de cama do *Compost Barn*, 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado). Já os maiores teores de Fe dos tratamentos A, B, C e D também podem ser explicados por sua constituição (1 volume de esterco bovino, 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado).

Teixeira et al. (2004), avaliando composto orgânico estabilizado de lixo orgânico, capim e caroço de açaí encontraram a seguinte composição química, média: 3,55% de N; 2,43% de P; 1,18% de K; 3,49% de Ca; 0,33% de Mg; e 0,96% de S; 213 ppm de B; 149 ppm de Cu; 6200 ppm de Fe; 737 ppm de Mn; e 267 ppm de Zn; carbono orgânico 69,25%; relação C:N de 11 e pH de 6,42. Os valores de N, P, K, Ca, S, B, Cu, Mn, Zn, porcentagem de carbono orgânico e relação C:N foram superiores aos encontrados neste trabalho, o que pode ser explicado pelas características da matéria orgânica decomposta, método de compostagem e o período de avaliação, que foi de 13 semanas, superior ao período de avaliação deste trabalho. A queda no pH também pode ser explicada por tal fato, visto que foi realizada a cura do composto em pátio

isolado da área experimental.

Na Figura 29 estão ilustradas as curvas de temperaturas médias, em °C, para cada um dos tratamentos avaliados, ao longo do período experimental. Para todos os tratamentos, a temperatura máxima foi atingida entre o 3° e 5° dia após a implantação do experimento, alcançando valor mínimo no 48° dia de experimento. Entre todos os tratamentos, a temperatura mais elevada foi observada para o tratamento H, que no 3° dia de experimento atingiu 66,1°C, ao passo que a temperatura mínima foi observada no tratamento D, que atingiu a temperatura de 43,1 °C no 48° dia de experimento (Figura 29).

Figura 29 - Temperaturas médias na superfície e profundidades de 20 e 40 cm (em °C) para os tratamentos durante o experimento.



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

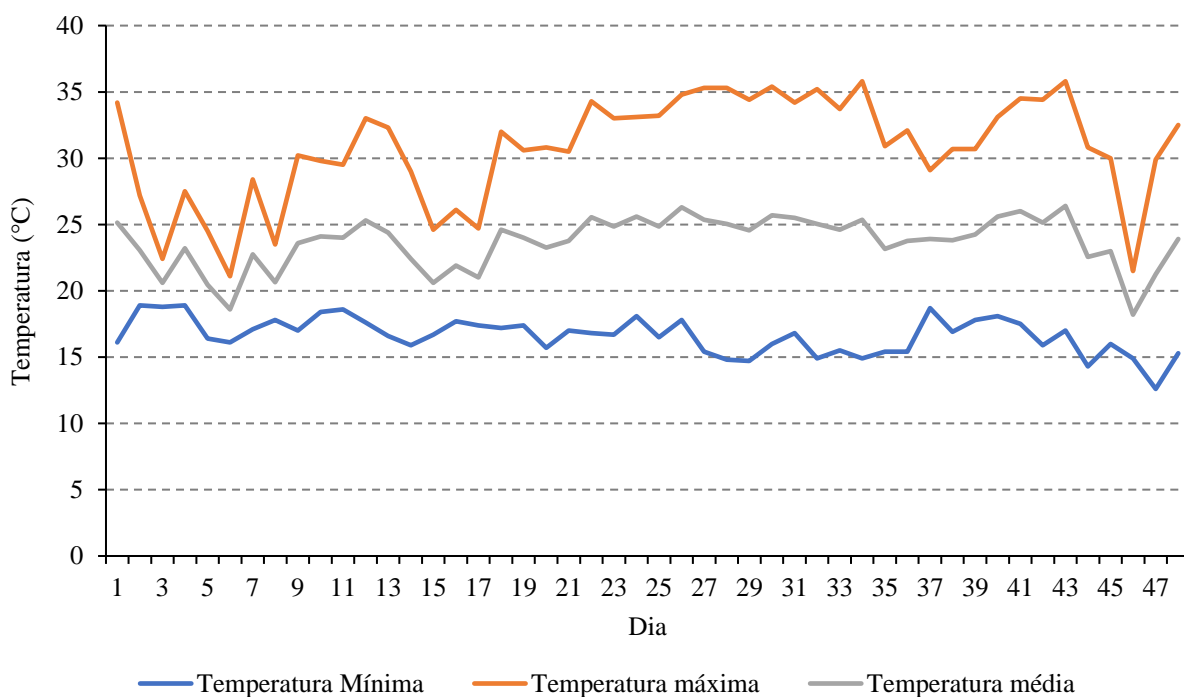
As temperaturas mais elevadas nos primeiros dias após a montagem das leiras, segundo Vital et al. (2018) é um indicativo que há atividade de bactérias e fungos termofílicos na degradação dos resíduos. Por essa razão, aos 7 dias as leiras foram revolvidas. As temperaturas variaram entre 64,7 e 45,8 °C para o tratamento A; entre 60 e 42,8 °C para o tratamento B; entre

60,4 e 42,9 °C para o tratamento C; entre 59,2 e 43,1 °C para o tratamento D; entre 65,6 e 44,3 °C para o tratamento E; entre 63,9 e 45,1 °C para o tratamento F; entre 62,3 e 43,8 °C para o tratamento G e entre 66,1 e 44,1 para o tratamento H °C (Figura 29).

Vital et al. (2018), avaliando a compostagem de resíduos sólidos orgânicos observou valores de temperatura média entre 63 e 39 °C, valores próximos aos encontrados neste trabalho.

A Figura 30 ilustra as temperaturas mínima, máxima e média durante o experimento. Os gráficos indicam que as condições ambientais não influenciaram a temperatura das leiras, visto que as variações na temperatura ambiental não causaram alterações nas temperaturas das leiras.

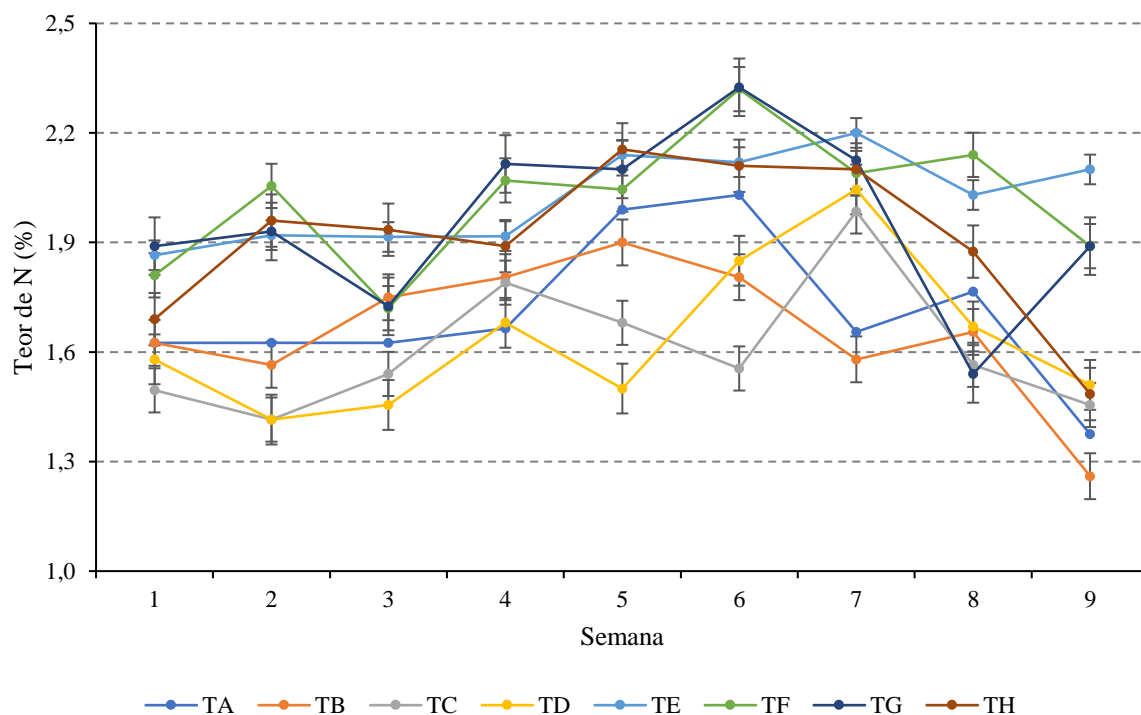
Figura 30 – Temperaturas ambientais mínima, máxima e média, em °C, ao longo do período experimental.



Fonte: Do autor (2022).

A Figura 31 ilustra a variação das médias dos teores de nitrogênio para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de nitrogênio apresentou seu máximo na 6ª semana experimental.

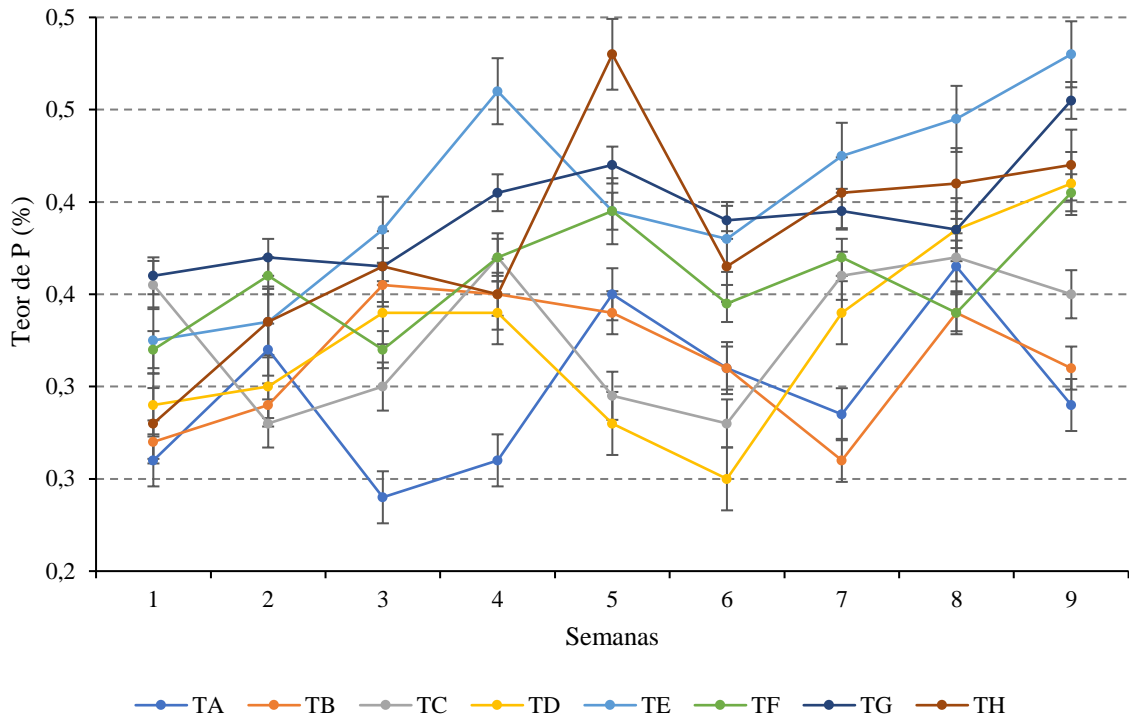
Figura 31 – Teor de nitrogênio (N – em %) dos tratamentos durante o experimento



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.  
 Fonte: Do autor (2022).

A Figura 32 ilustra a variação das médias dos teores de fósforo para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de fósforo apresentou tendência de incremento ao longo das 9 semanas, alcançando seu máximo na 9ª semana.

Figura 32 – Teor de fósforo (P – em %) dos tratamentos durante o experimento



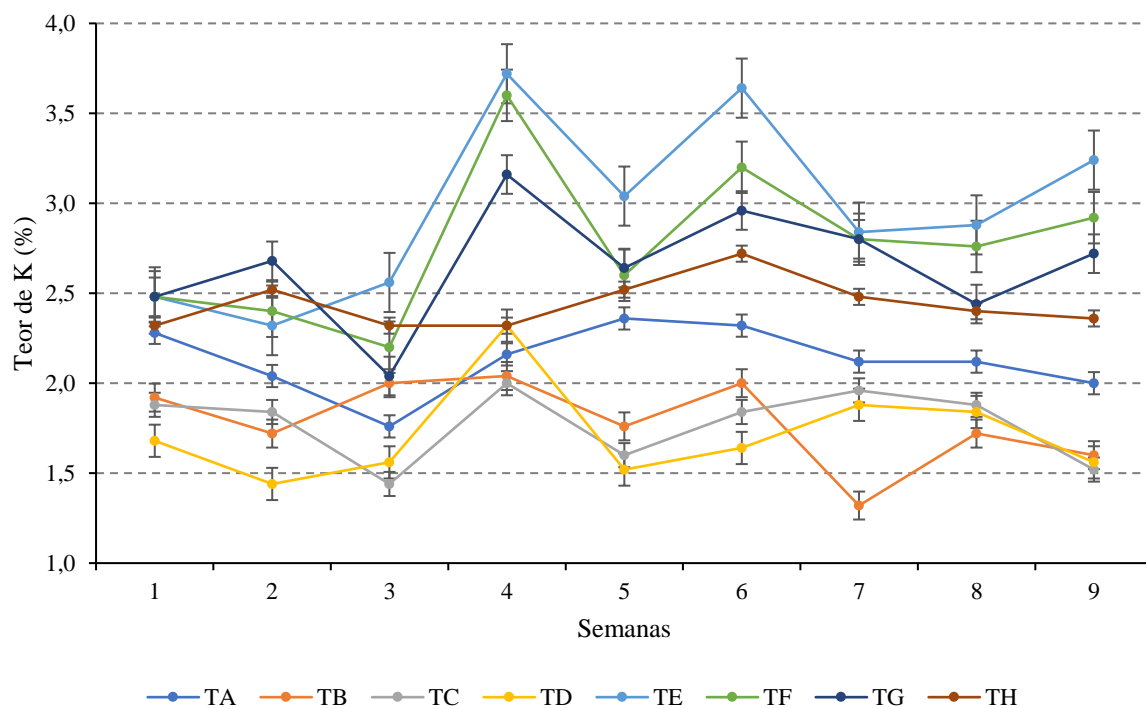
TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 33 ilustra a variação das médias dos teores de potássio para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de potássio apresentou variação ao longo das 9 semanas, alcançando seu máximo na 4<sup>a</sup> semana.



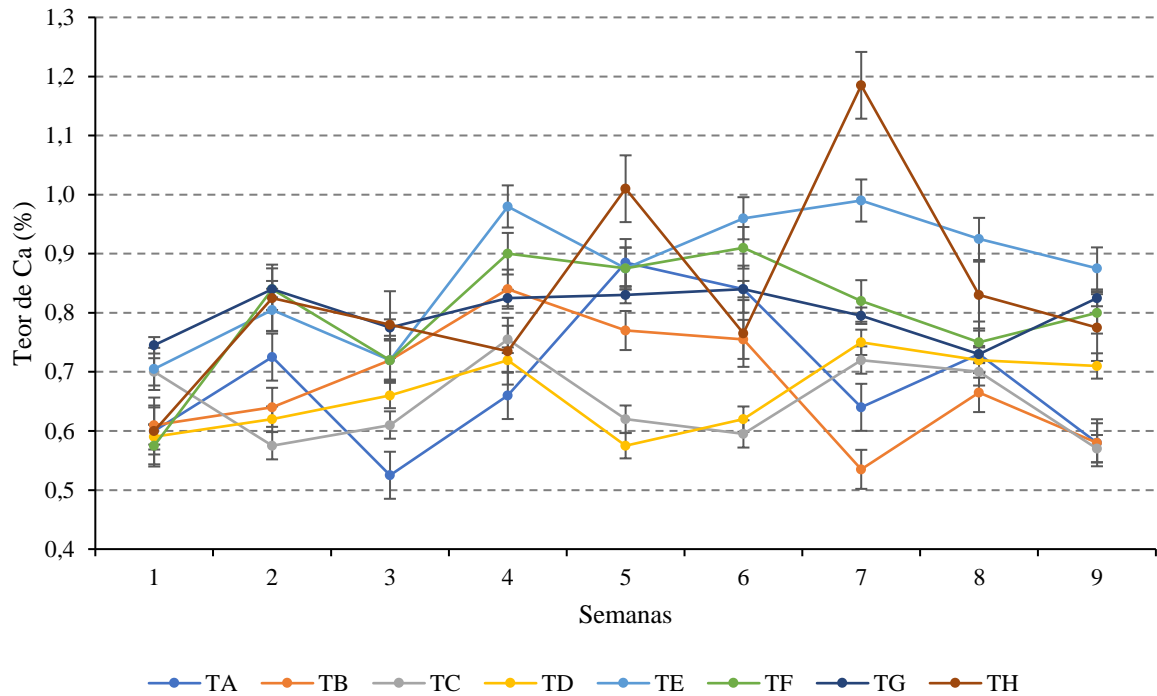
Figura 33 – Teor de potássio (K – em %) dos tratamentos durante o experimento



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.  
 Fonte: Do autor (2022).

As curvas de variação dos valores médios de teor de Cálcio para cada um dos tratamentos avaliados estão ilustradas na Figura 34. É possível observar que o teor de cálcio apresentou variação ao longo das 9 semanas, alcançando seu máximo na 7ª semana.

Figura 34 – Teor de cálcio (Ca – em %) dos tratamentos durante o experimento

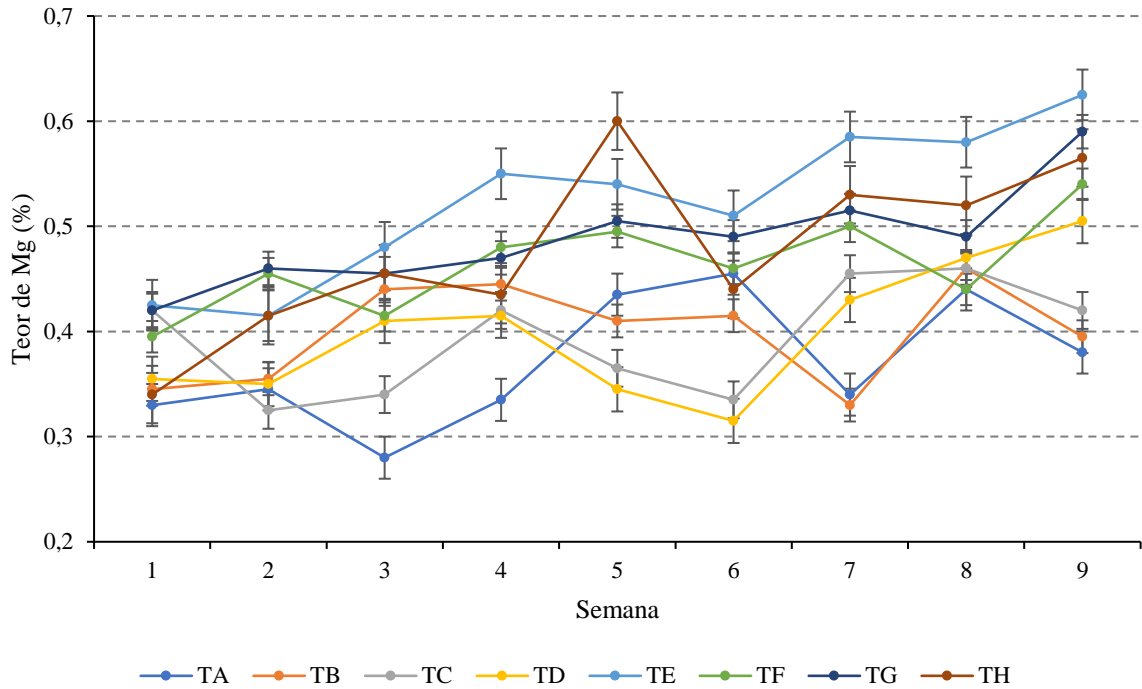


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 35 ilustra a variação das médias dos teores de magnésio para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de magnésio apresentou tendência de incremento, alcançando seu máximo na 9ª semana experimental.

Figura 35 – Teor de magnésio (Mg – em %) dos tratamentos durante o experimento

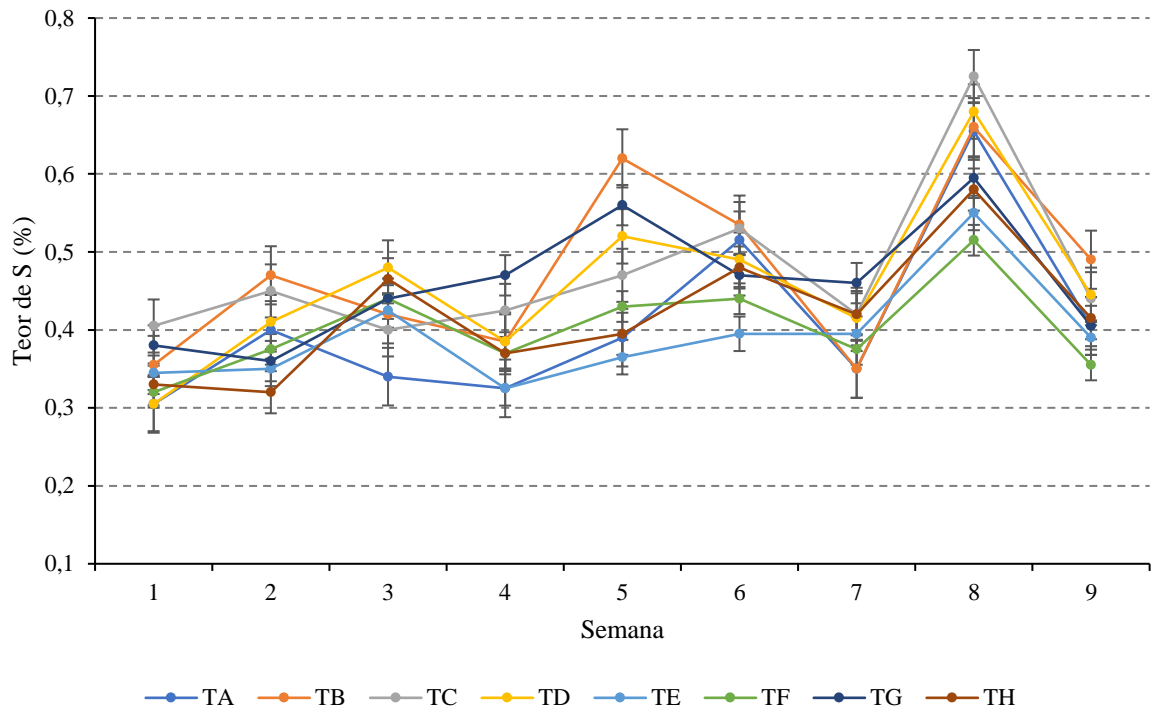


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 36 ilustra a variação das médias dos teores de enxofre para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de enxofre apresentou variações ao longo das semanas, alcançando seu máximo na 8ª semana experimental.

Figura 36 – Teor de enxofre (S – em %) dos tratamentos durante o experimento

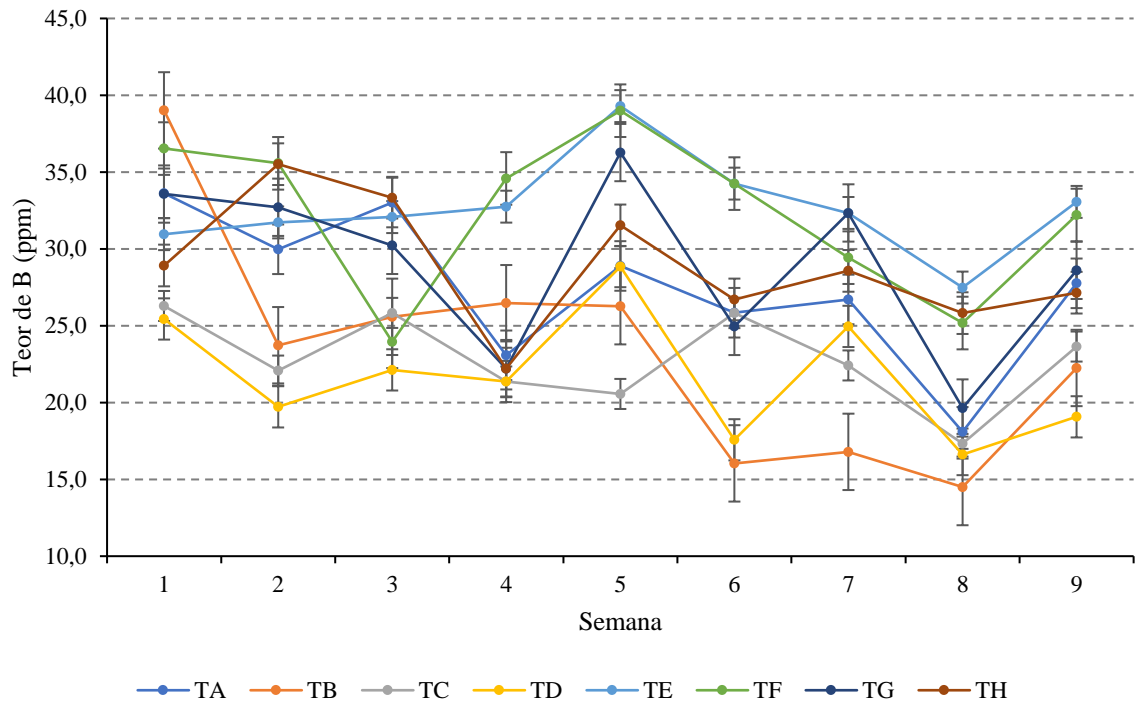


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 37 ilustra a variação das médias dos teores de boro para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de boro apresentou variações ao longo das semanas, alcançando seu máximo na 5ª semana experimental.

Figura 37 – Teor de boro (B - em ppm) dos tratamentos durante o experimento

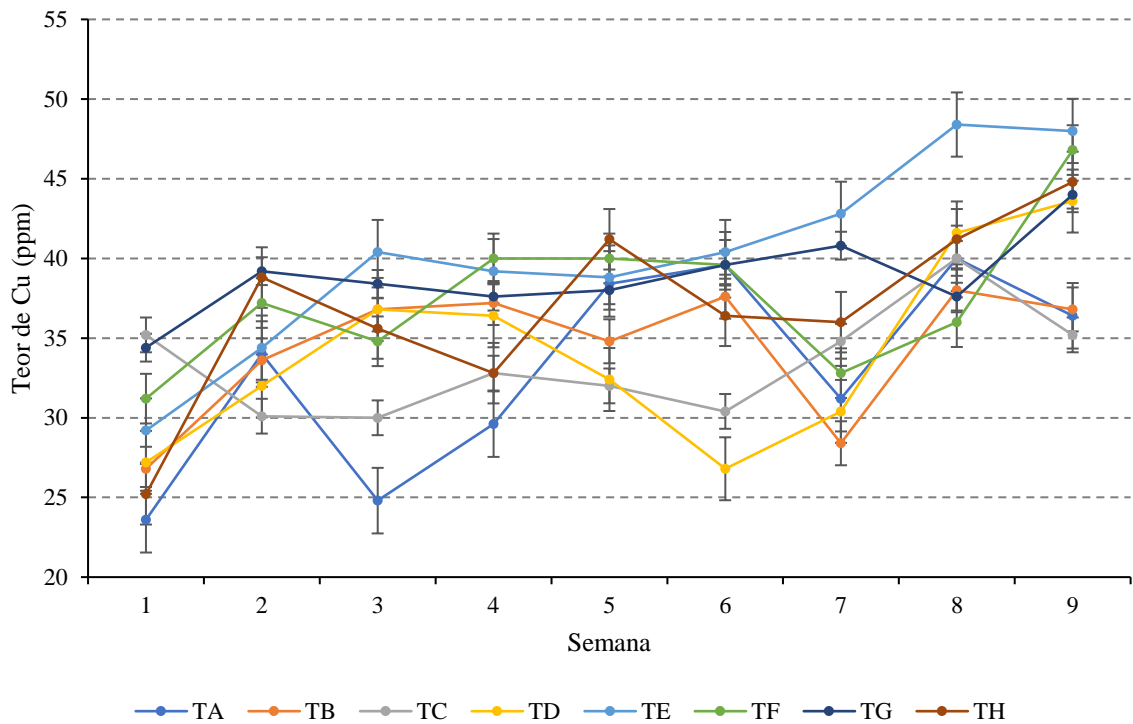


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 38 ilustra a variação das médias dos teores de cobre para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de cobre apresentou tendência de incremento, alcançando seu máximo na 9ª semana experimental. Tal tendência era esperada para a maioria dos nutrientes, visto que, como explica Damasceno (2020), o processo de compostagem permite uma maior liberação dos nutrientes presentes na forma orgânica, por meio da mineralização.

Figura 38 – Teor de cobre (Cu - em ppm) dos tratamentos durante o experimento

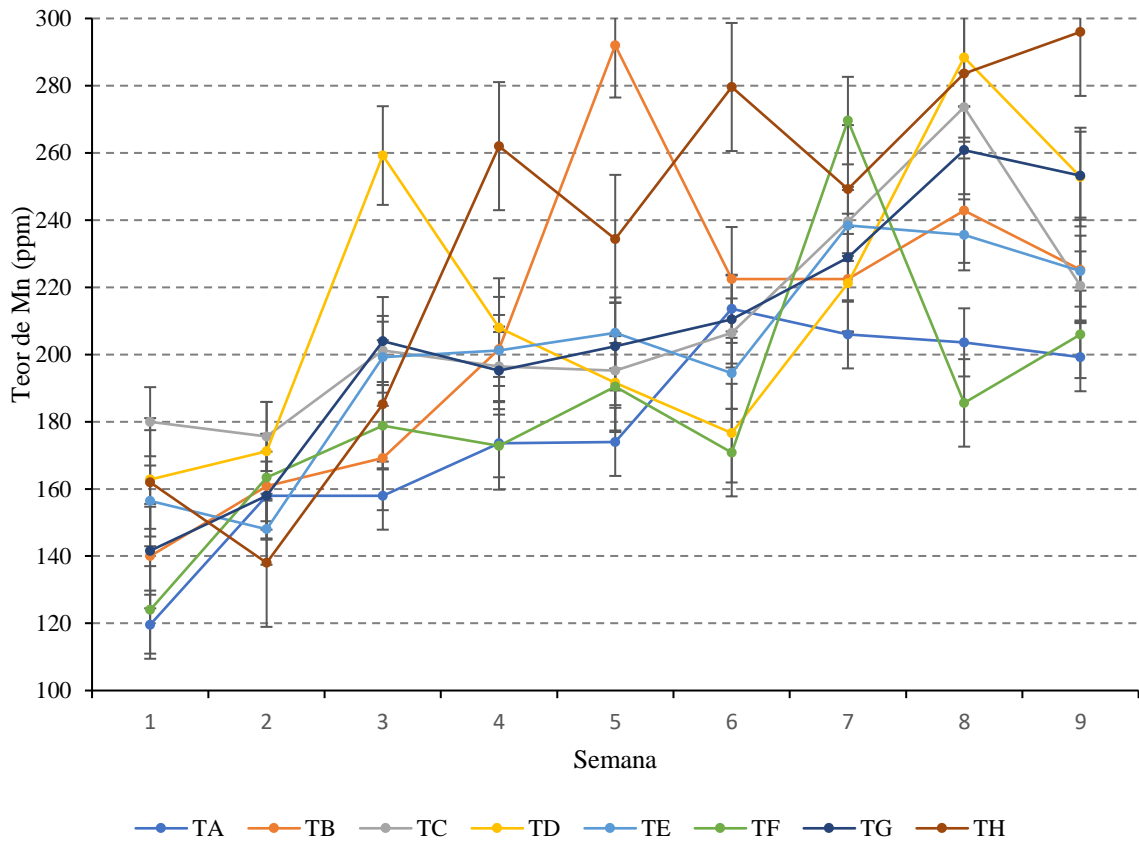


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 39 ilustra a variação das médias dos teores de manganês para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de manganês apresentou tendência de incremento, alcançando seu máximo na 9ª semana experimental.

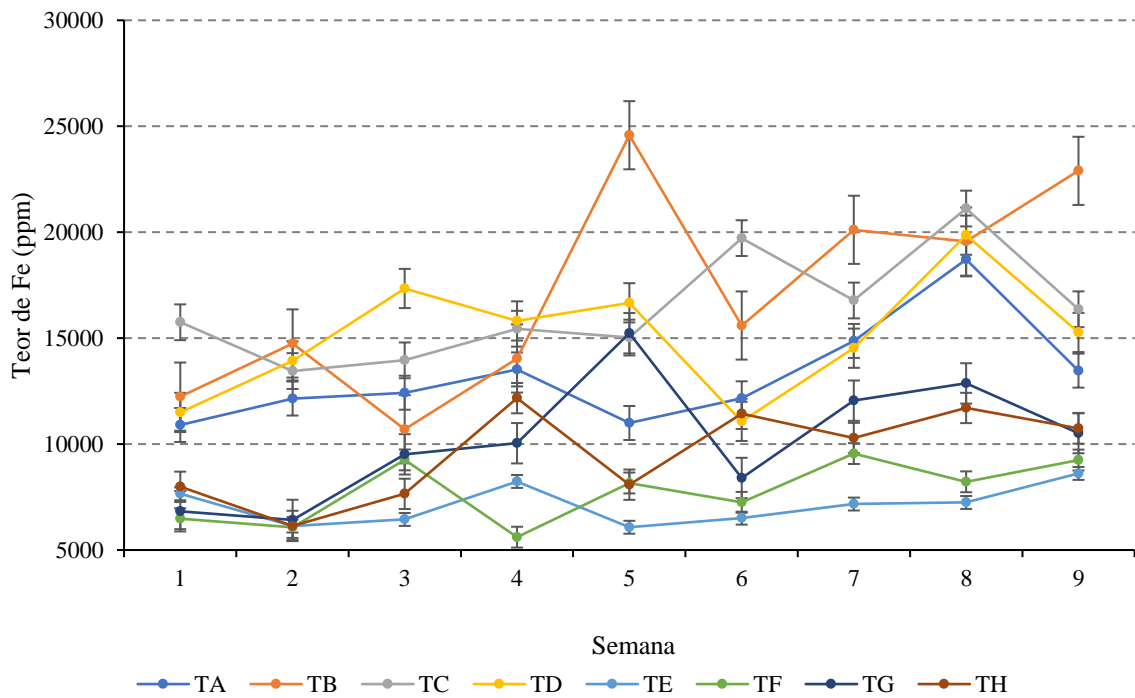
Figura 39 – Teor de manganês (Mn - em ppm) dos tratamentos durante o experimento



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D;  
 TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.  
 Fonte: Do autor (2022).

A Figura 40 ilustra a variação das médias dos teores de ferro para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de ferro apresentou pequena tendência de incremento, alcançando seu máximo na 9ª semana experimental.

Figura 40 – Teor de ferro (Fe - em ppm) dos tratamentos durante o experimento



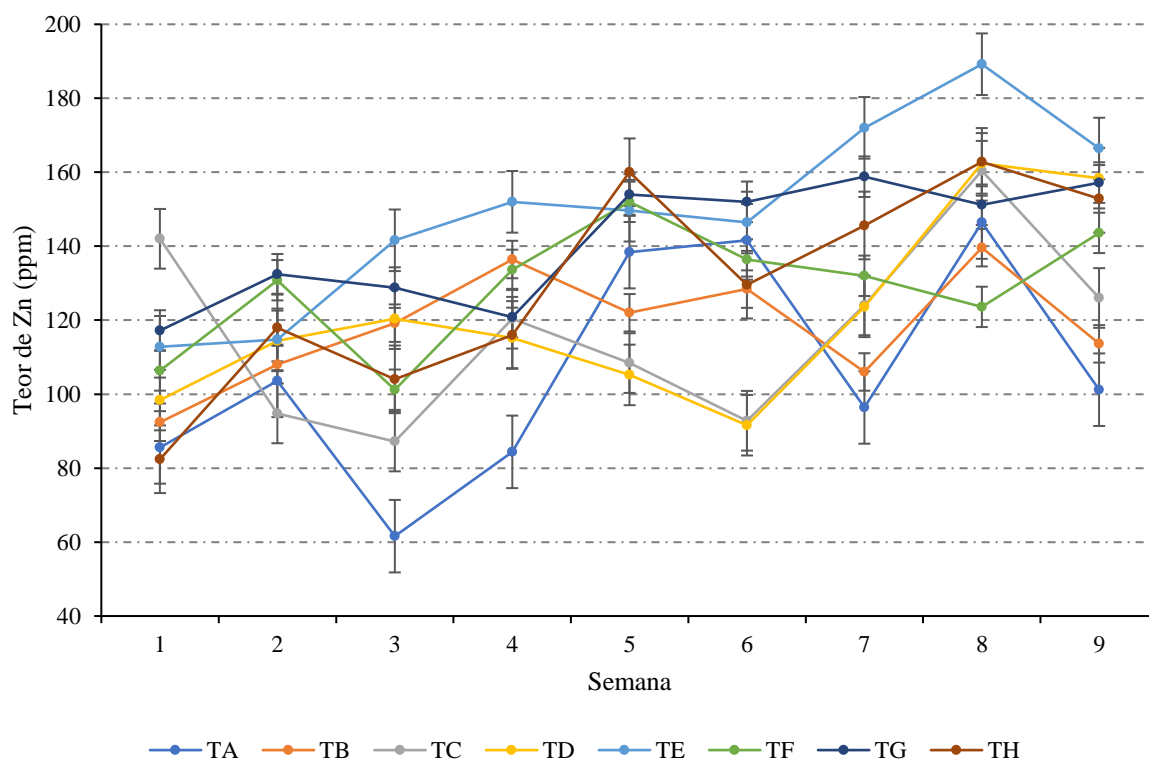
TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 41 ilustra a variação das médias dos teores de zinco para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de zinco apresentou tendência de incremento, alcançando seu máximo na 8ª semana experimental.



Figura 41 – Teor de zinco (Zn – em ppm) dos tratamentos durante o experimento

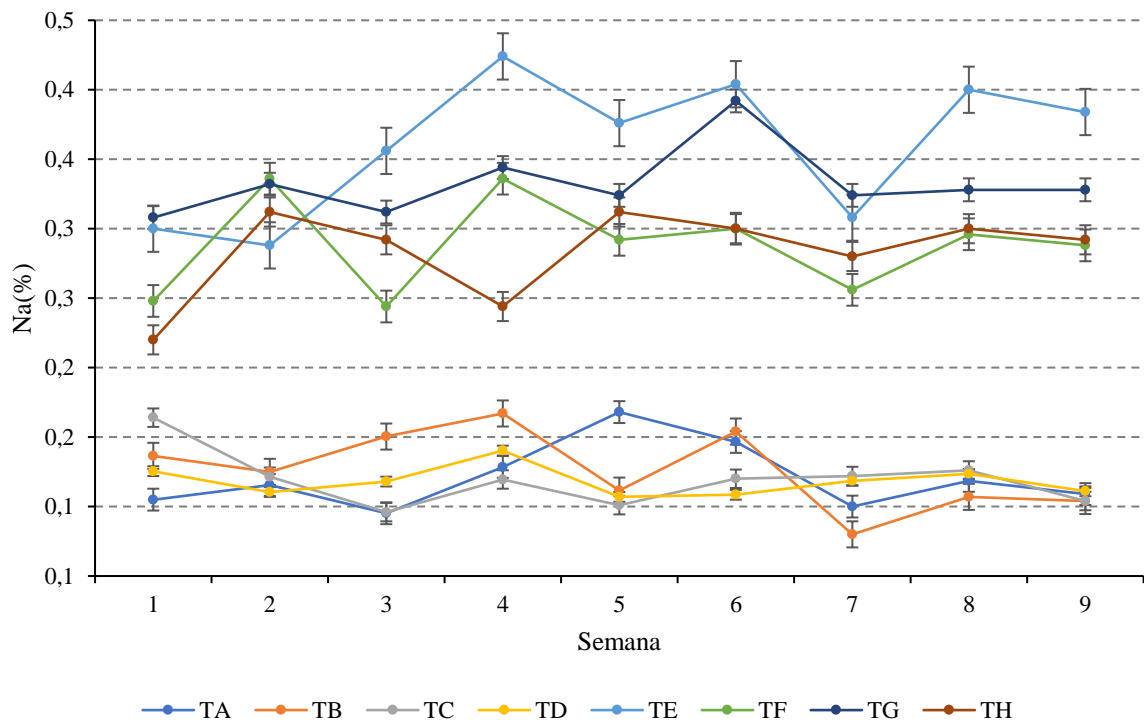


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 42 ilustra a variação das médias do teor de sódio para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de sódio variou em 2 grupos, estando no grupo com maior teor os tratamentos E, F G e H, se mantendo superior ao longo do período experimental e alcançando teor máximo na 9ª semana. Tal fato pode ser justificado pela adição de esterco bovino em tais tratamentos. Já o grupo com menor teor de sódio engloba os tratamentos A, B, C e D, com teor máximo na 4ª semana experimental.

Figura 42 – Teor de sódio (Na – em %) dos tratamentos durante o experimento

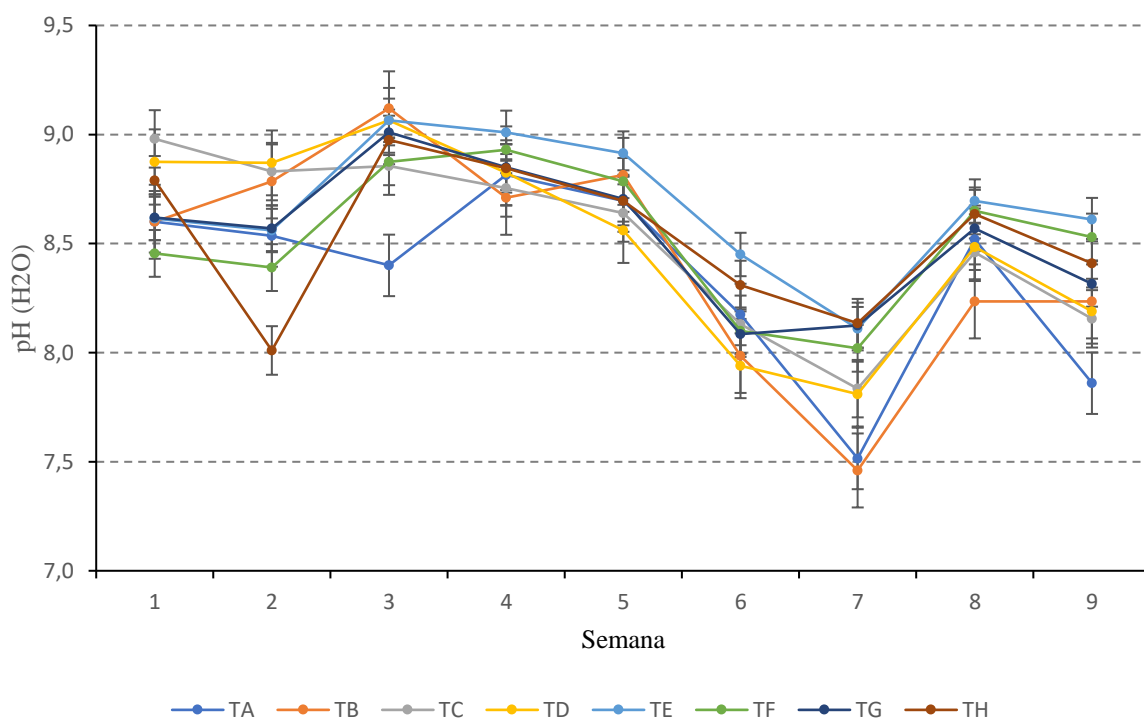


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

Costa et al. (2009), avaliando a compostagem de resíduos provenientes do abate de bovinos e suínos, encontraram valores médios de 2,5% de N, 7,1 g.kg<sup>-1</sup> de P, 7,6 de K g.kg<sup>-1</sup>, 1,9 g.kg<sup>-1</sup> de Mg, 47790 mg.kg<sup>-1</sup> de Fe, 212,9 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn 108,1 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu e 453,3 mg.kg<sup>-1</sup> de Mn. Os valores obtidos pelos autores eram superiores aos observados no presente estudo, o que pode ser explicado pelas características do resíduo a ser decomposto.

A Figura 43 ilustra a variação das médias do pH para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que pH apresentou variação ao longo das semanas, alcançando seu máximo na 3ª semana e mínimo na 7ª semana experimental.

Figura 43 – pH (em H<sub>2</sub>O) dos tratamentos durante o experimento

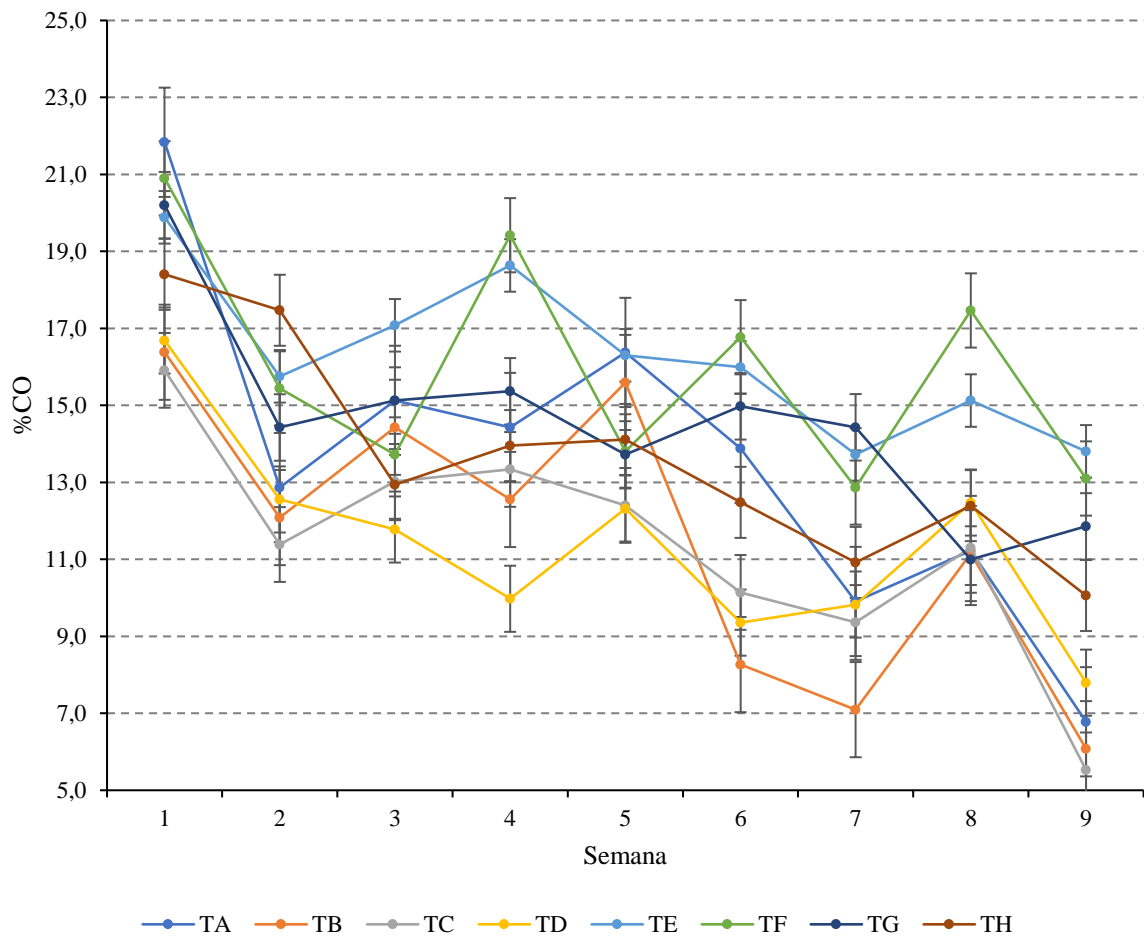
TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D;  
 TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.  
 Fonte: Do autor (2022).

O pH elevado em todos os tratamentos (maior que 8,5) nas semanas iniciais indica uma elevada proporção de N no substrato, o que se justifica pela relação C/N inicial inferior ao recomendado pela literatura (30:1) (Figura 29). Entretanto, a partir da 3ª semana foi observada tendência de queda nos valores de pH. Pode-se inferir que a redução dos valores de pH nas fases iniciais foi causada pela volatilização da amônia, nitrificação microbiana, emissão de CO<sub>2</sub> e produção de ácidos orgânicos e inorgânicos (KROTH, 2021).

Chen et al. (2015) relataram que o pH ótimo varia entre 5,5 a 8,0 e, de acordo com Hachicha et al. (2009), o pH do composto maturado deve estar entre 6,0 e 8,5. Portanto, os valores retratados na última semana experimental deste estudo estão em conformidade com o que era esperado.

A Figura 44 ilustra a variação das médias do teor de carbono orgânico para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que o teor de carbono orgânico apresentou tendência de queda, alcançando seu mínimo na 9ª semana experimental.

Figura 44 – Teor de carbono orgânico (CO – em %) dos tratamentos durante o experimento

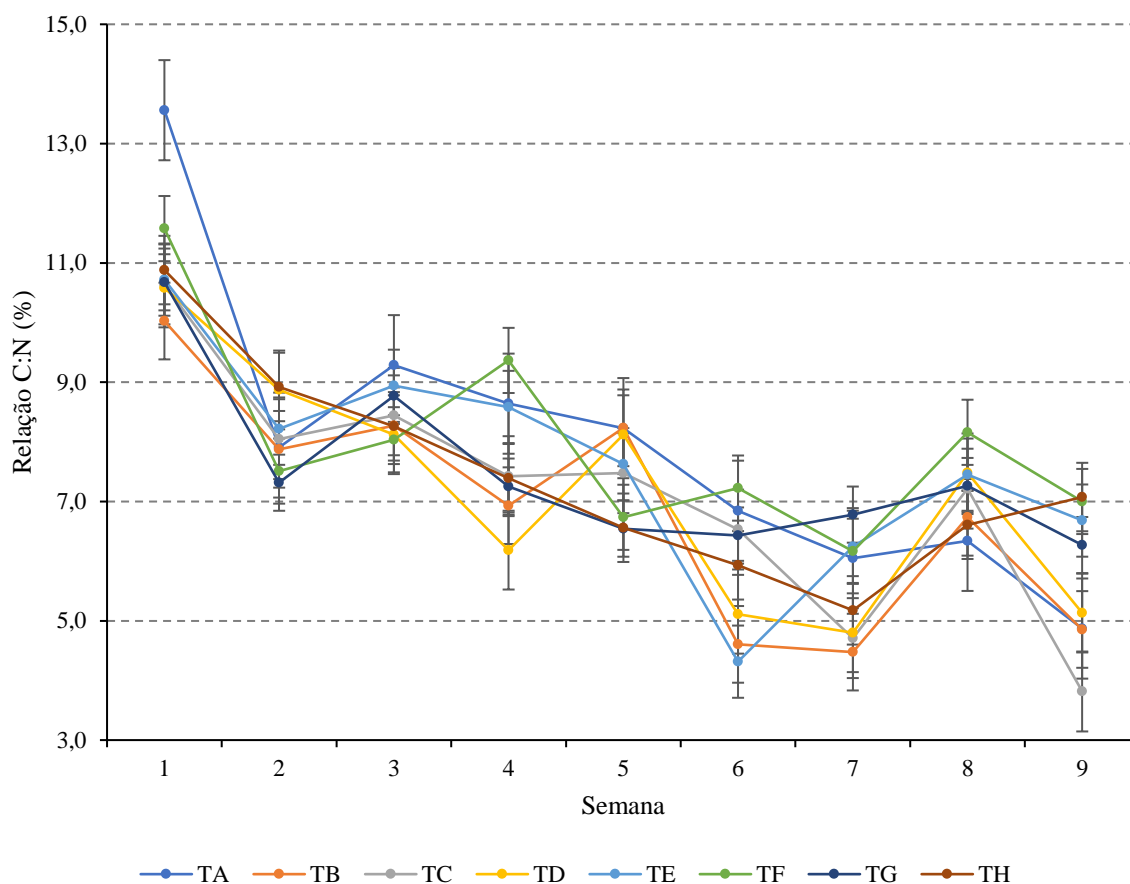


TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.  
 Fonte: Do autor (2022).

Sunada et al. (2015) avaliaram a eficiência da compostagem no tratamento e reciclagem do resíduo sólido de abatedouro avícola, e obtiveram teores inicial e final (após 147 dias) de carbono orgânico iguais a 21,00% e 19,46%, respectivamente. Os valores iniciais foram próximos aos retratados neste estudo, porém ligeiramente superiores, o que pode ser explicado pelas diferenças entre os substratos utilizados e pela aplicação de inoculante.

A Figura 45 ilustra a variação das médias da relação carbono:nitrogênio para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que a relação C:N apresentou tendência de queda, alcançando seu mínimo na 6ª semana experimental e posterior tendência de estabilização.

Figura 45 – Relação C:N (em %) dos tratamentos durante o experimento



TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

Fonte: Do autor (2022).

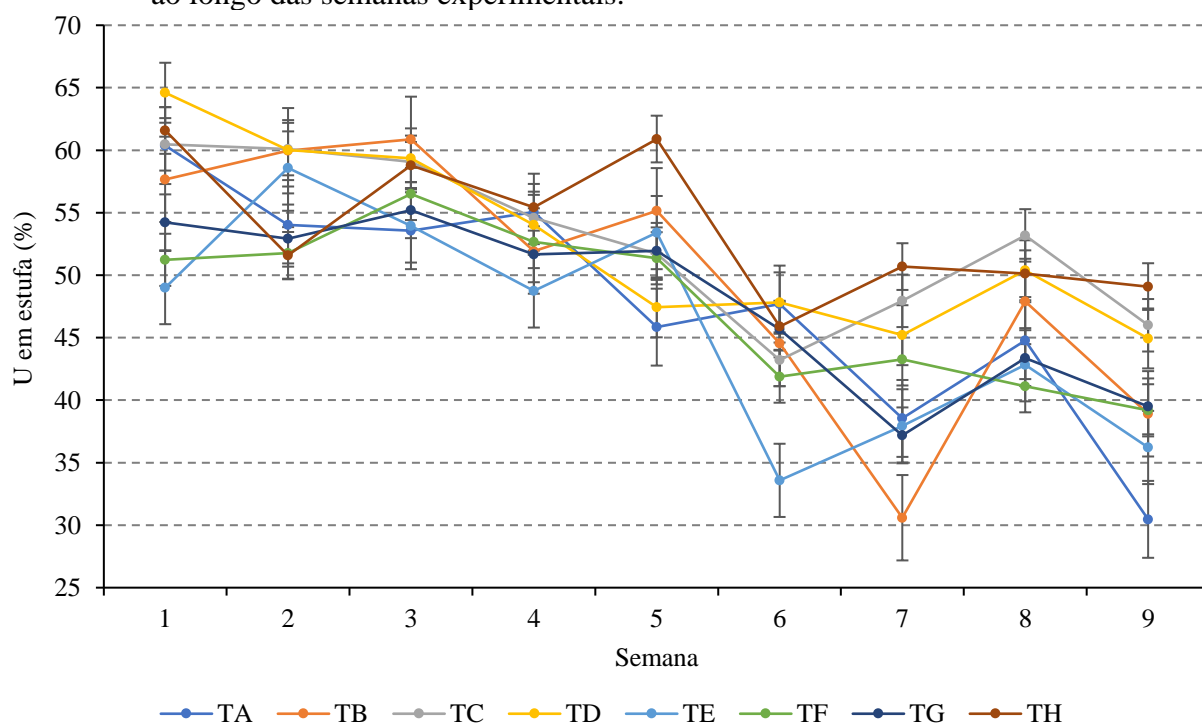
A Instrução Normativa N° 23 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA/2005) determina que o composto conte com no mínimo de 40,0% de matéria orgânica, 1,0% de nitrogênio, relação C:N de no máximo 18:1 e umidade (máximo de 50%). Neste estudo, obteve-se um composto com relação C:N entre 4,5:1 e 7:1 ao final do processo de compostagem. Estes resultados são uma evidência da eficiência do processo de compostagem, visto que, conforme Damasceno (2020), compostos com elevada relação C:N podem causar prejuízos ambientais, em razão de sua contaminação, além da incapacidade de as plantas absorverem seus nutrientes.

Por meio dos resultados ilustrados na Figura 46, é possível inferir que, apesar da baixa relação C:N inicial nos diferentes tratamentos, evidenciando que mesmo em relações C:N mais baixas, o processo de compostagem pode continuar ocorrendo, mesmo que de forma mais lenta.

Pesquisando a compostagem de esterco de suínos e palha de arroz, Zhu (2007) observou que a relação inicial de 20/1 foi benéfica ao processo de compostagem. Benito et al. (2006) avaliando a compostagem de resíduos de podas, notaram que a relação C/N variou entre 22/1 e 48/1, valores distintos dos obtidos no presente estudo.

A Figura 46 ilustra a variação das médias da umidade em estufa para cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais. É possível observar que a umidade apresentou tendência de queda, alcançando seu mínimo e posterior estabilização na 6ª semana experimental.

Figura 46 – Umidade, obtida em estufa (%) do material utilizado em cada um dos tratamentos ao longo das semanas experimentais.



\*TA: Tratamento A; TB: Tratamento B; TC: Tratamento C; TD: Tratamento D; TE: Tratamento E; TF: Tratamento F; TG: Tratamento G; TH: Tratamento H.

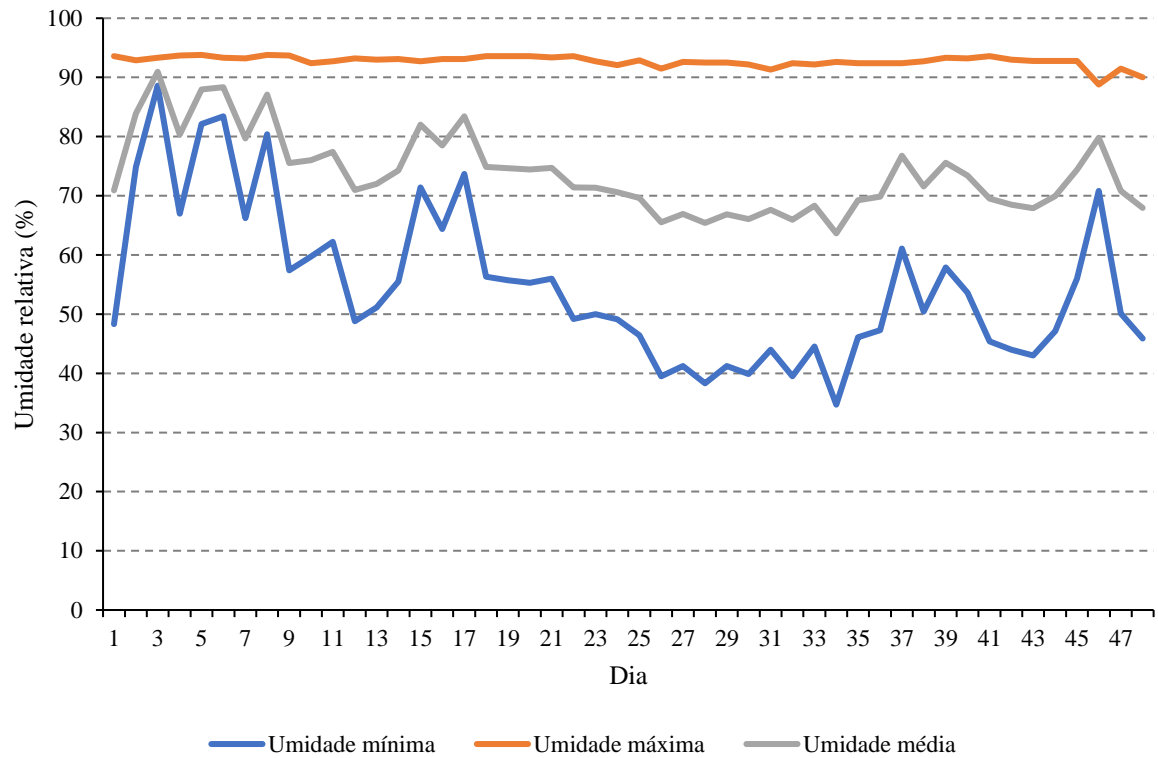
Fonte: Do autor (2022).

De acordo com a instrução normativa N°. 23, de 31 de agosto de 2005, o composto obtido com a aplicação de todos os tratamentos na realização deste estudo apresentou umidade entre 30 e 50%, estando abaixo do valor máximo recomendado e, portanto, adequado.

Na Figura 47 estão ilustradas as curvas de umidade relativa do ar mínima, máxima e média ao longo dos dias do período experimental. Por meio das citadas curvas, pode-se observar que houve aumento de umidade relativa do ar mínima a partir do 43º dia do período

experimental, que pode ter contribuído para o incremento de umidade nas leiras em compostagem.

Figura 47 – Umidade relativa do ar mínima, média e máxima (%) durante o experimento



Fonte: Do autor (2022).

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho observamos que há indícios que a aplicação de inoculante na maneira como o experimento foi conduzido, não proporcionou aceleração e maior liberação de nutrientes na compostagem da cama de sistema de Compost Barn, visto que os tratamentos que não continham o produto alcançaram desempenhos semelhantes. A principal diferença entre os tratamentos ocorreu na média de alguns macro e micronutrientes e teor de carbono orgânico em função da composição das leiras. No geral, os tratamentos compostos por 1 volume de material de cama do *Compost Barn*, 1 volume de restos de silagem de milho, 1 volume de casca de café e 1 volume de capim Napier picado (TCB) proporcionou maiores níveis de alguns macro e micronutrientes e porcentagem de carbono orgânico. Novos estudos se fazem necessários para entender melhor a relação entre a composição das leiras e liberação de nutrientes.



## REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, J. K. et al. Quantification of Greenhouse Gas Emissions from Windrow Composting of Garden Waste. **J. Environ. Qual.**, v. 39, p. 713–724, 2010.
- ANDRADE, R. R. **Ambiência e bem-estar animal na produção intensiva de leite em sistemas *Compost Barn* fechados para a tipologia construtiva e clima do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2021.
- BENITO, M. A.; MASAGUER A.; MOLINER, R. A. Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. **Bioresource Technol.**, v. 97, p. 2071-2076, 2006.
- BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L. **Compost-bedded pack barns in Kentucky.** Lexington: University of Kentucky College of Agriculture, 2013.
- BLACK, R. A. ET AL. **Kentucky Compost-bedded pack project.** [s.l.] University of Kentucky College to Agriculture, 2013.
- BOINA, W. L. O. **Aceleração do processo de compostagem de lodos gerados em reatores uasb com inóculo comercial.** Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, 2018.
- BRITO, E. C. **Produção intensiva de leite em *Compost Barn*: Uma avaliação técnica e econômica sobre a sua viabilidade.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.
- CALDATO, E. M. R. **Manual técnico de construção e manejo de *Compost Barn* para vacas leiteiras.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2019.
- CESTONARO, T.; BARROS, R. T. DE V. Sampling representativeness using trier in characterizing composting windrows of solid urban waste based on Pierre Gy's Sampling Theory. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 359–370, 2019.
- CHEN, Ruirui et al. N<sub>2</sub>O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure. **Journal of Environmental Management**, v. 160, p. 121- 127, 2015.
- COOPER, M. et al. **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático.** Série Prod ed. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca, 2010.
- COSTA, M. S. S. M. et al. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wK8RbNrKLHJyyKDtMbnvTTC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- DALBERTO, G. **Produção De Leite Em Sistema *Compost Barn* No Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul.** Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model.** Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- DAMASCENO, F. A. ***Compost Barn* como uma alternativa para a pecuária leiteira.** 1. ed. Editora Gulliver, 2020.

DAZZI, J. BRINGHENTI, J. R. T.; TEIXEIRA, R. A. Compostagem: fatores que a influenciam e a importância do processo em pequena escala para gestão de resíduos orgânicos nos centros urbanos. **Engema**, p. 1–10, 2018.

FÁVERO, S. **Fatores associados à qualidade do leite, higiene animal e concentração bacteriana na cama de vacas leiteiras confinadas no sistema de compostagem.**

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, 2015.

FERNANDES, P. Estabilização e Higienização de Biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 312.

FLECK, L. **Modelagem matemática da cinética da decomposição aeróbia da matéria orgânica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

GOMES, L. F. **Caracterização de composto orgânico de misturas de resíduos de origem animal, vegetal e mineral submetidas a doses de inoculantes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2019.

GOMES, L. S. P. *et al.* Níveis de substituição de ureia por esterco bovino na adubação de capim-marandu. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, 2018.

GUESINE, G. D. **Sistema Compost Barn para bovinos leiteiros e seus reflexos nos parâmetros ambientais, desempenho e produção durante o verão em diferentes fases da lactação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Universidade de São Paulo, 2020.

HACHICHA, S., *et al.* Biological activity during co-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manured-Physico-chemical characterization of the processed organic matter. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, p. 402-409, 2009.

HECK, K. *et al.* Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2012.

INÔ, C. F. A. **Adubação orgânica com esterco bovino na cultura do milho (zea mays l.) no cariri paraibano.** Monografia (Especialização em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal de Campina Grande, 2021.

JANNI, K. A. *et al.* Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 97–102, 2007.

JERÔNIMO, G. J. **Potencialização da compostagem com aplicação do biocomposto e dimensionamento de pátio para cidade de médio porte.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2019.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

MAGALHÃES, A. C. M. **Adubação orgânica com base na taxa de mineralização de nutrientes do composto orgânico.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Ceará, 2018.

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. D. O. Compostagem: a importância da reutilização

dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, n. 1, p. 1–25, 2020.

MATOS, W. S. R. **Limites da eficiência alimentar em bovinos leiteiros**. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). **Anais...2014**

MÁXIMO, K. A. **Inoculação de microrganismos como aceleradores no processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) - Instituto Federal de Minas Gerais, 2018.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T. DE; LEITE, D. F. Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento *Compost Barn*. **Pubvet**, v. 13, n. 2, p. 1–14, 2019.

MUXFELDT, L. **Qualidade do leite e da cama em sistema *Compost Barn***. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2020.

NOGUEIRA, R. **Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

NUNES DA SILVA, P. H.; SANCHES, P. Comparação de bem-estar animal na produção de leite em *Compost Barn* e leite a pasto. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG**, v. 3, p. 189–193, 2020.

NUTRON. **Air Fryer: Um método alternativo e prático para estimar a matéria seca de alimentos volumosos utilizados em confinamentos**. 25 set. 2018. Disponível em: <https://blog.nutron.com.br/air-fryer-metodo-alternativo-para-estimar-a-materia-seca-em-confinamentos-bovinos-de-corte/>. Acesso em: 8 fev. 2022.

PEREIRA, R. F. **Efeito da aplicação de inoculantes na compostagem de resíduos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, 2017.

PILATTI, J. A. **O comportamento diurno e bem-estar de vacas em sistema de confinamento *Compost Barn***. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

RADAVELLI, W. M. et al. **Características da Cama de *Compost Barns* em Regiões Subtropicais**. Anais Simpósio do Leite. **Anais...2017**

RÖSLER, J. A. **Automação da ventilação em sistema *Compost Barn*: implicações no comportamento e fisiologia térmica de vacas leiteiras**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

SAKOGLOU, S.; DRZEWINSKI, S. B. L.; KAPP JUNIOR, C. Viabilidade econômica-financeira da atividade leiteira em sistema *Compost Barn*. **Scientia Rural**, v. 1, 2020.

SANTOS, L. F.; PEREIRA, D. S.; LANA, R. P. Micro-organismos Eficientes (EM): uma realidade presente em sistemas agroecológicos. In: CARMO, D. L. et al. (Eds.). **Pesquisa em Agroecologia: conquistas e perspectivas**. Viçosa, MG: FUNABRE, 2019.

SCHOGOR, A. L. B.; DANIELI, B.; SAVIO, R. L. Conhecendo o *Compost Barn*: desafios e virtudes. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 20, n. 2, p. 99–104, 2018.

SHANE, E. M.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 26, p. 465–473, 2010.

SILVA, J. R. **Automação do processo de compostagem: uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Goiás, 2019.

SOARES, A. A. **Variabilidade espacial do microclima em sistema *Compost Barn*: influência na qualidade da cama , variabilidade espacial do microclima em sistema *Compost Barn* : influência na qualidade da cama.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

SOUZA, L. A. *et al.* Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, p. 194–212, 2020.

SOUZA, L. A. DE; CARMO, D. DE F. DO; SILVA, F. C. DA. Uso De Microrganismos Eficazes Em Compostagem De Resíduos Sólidos Orgânicos De Feira E Restaurante Use of Em At Composting of Organic Solid Waste From Fair and Restaurant. **TEC-USU**, v. 2, n. 2, p. 42–52, 2020.

SOUZA, P. O. DE. **Avaliação de diferentes inoculantes na compostagem em biorreatores de bancada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C. Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Ursula**, v. 2, n. 2, p. 42–54, 2019.

SUNADA, N. S. *et al.* Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 178-183, 2015. DOI <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120261>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/TdvQzMKS7KmQCqYsV4sXf4B/?lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2022.

TEIXEIRA, L. B *et al.* Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural. **Circular Técnica 33**. Embrapa: Belém, Pa, p. 1-8, 2004.

VASCONCELOS, O. L. S. *et al.* Métodos de compostagem doméstica de materiais orgânicos produzidos em ambiente urbano / Domestic composting methods of organic materials produced in urban environment. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 40341–40353, 2021.

VERAS, R. S. **Compostagem de resíduos de alimentos e podas trituradas de árvores em leiras estáticas como mecanismo de redução de GEE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, 2018.

VILELA, N. M. S. **comparação dos métodos de compostagem por leiras estáticas aeradas e por reviramento no tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, 2019.

VITAL, A. F. M. *et al.* Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos e Produção de Biofertilizante Enriquecido. **Revista Saúde e Ciência online**, v. 7, n. 2, 2018.

VISENTIN, R. **Viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para fins agrícolas.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

WAGNER, J. **Processo de granulação aeróbia em reatores em bateladas sequenciais em**

**condições de baixa carga orgânica.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

WEI, Y. et al. An optimized regulating method for composting phosphorus fractions transformation based on biochar addition and phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 139–146, 2016.

WEI, Y. et al. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. **Bioresource Technology**, v. 271, p. 66–74, 2019.

XI, B. et al. Effect of multi-stage inoculation on the bacterial and fungal community structure during organic municipal solid wastes composting. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 399–405, 2015.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 9-13, 2007.