



LEONARDO MOREIRA BORGES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO CONTENDO
BORRA DE CAFÉ NA ADUBAÇÃO DA CULTURA DO
MILHO**

**LAVRAS – MG
2021**

LEONARDO MOREIRA BORGES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO CONTENDO BORRA DE CAFÉ NA
ADUBAÇÃO DA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais – PPGTIA, área de concentração em Solo e sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Guilherme Lopes
Orientador

Prof. Dr. Luiz Fernando Favarato
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Leonardo Moreira Borges de.

Avaliação de composto orgânico contendo borra de café na
adubação da cultura do milho / Leonardo Moreira Borges de Souza.
- 2021.

66 p. : il.

Orientador(a): Guilherme Lopes.

Coorientador(a): Luiz Fernando Favarato.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Compostagem. 2. Adubação orgânica. 3. Subprodutos
agroindustriais. I. Lopes, Guilherme. II. Favarato, Luiz Fernando.
III. Título.

LEONARDO MOREIRA BORGES DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO CONTENDO BORRA DE CAFÉ NA
ADUBAÇÃO DA CULTURA DO MILHO**

**EVALUATION OF ORGANIC COMPOUND CONTAINING COFFEE GROUNDS IN
THE FERTILIZATION OF MAIZE CROP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais – PPGTIA, área de concentração em Solo e sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de março de 2021.

Dr. Guilherme Lopes UFLA

Dr. Enio Tarso de Souza Costa UFU

Dr. Luiz Fernando Favarato INCAPER

Prof. Dr. Guilherme Lopes
Orientador

Dr. Luiz Fernando Favarato
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

DEDICATÓRIA

À minha filha, pequenina Iara, à minha esposa, Lu, e
aos meus pais, Maira e Edmundo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A caminhada até aqui não foi tão simples como talvez possa parecer. A decisão de fazer um mestrado, poucos meses após o nascimento da minha filha, logo se revelou como desafiadora. Não foram poucos os momentos de questionamentos, se deveria prosseguir ou não. Alguns acontecimentos simplesmente me colocavam em dúvida o tempo todo. As semanas que passava longe da pequenina, que me faziam parecer que tinha perdido uns três meses de desenvolvimento dela, não foram fáceis. Houve também as adversidades climáticas, que faziam questão de atormentar e boicotar o meu experimento, botando-o literalmente por água abaixo em determinado momento. Tive que recomeçar tudo do zero. Não foi fácil conciliar os estudos e continuar com o foco no trabalho. Não foi fácil, mas consegui. E devo isso à muitas pessoas. São tantas, que talvez possa esquecer de cita-las nominalmente. Mas, vamos aos agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Maira e Edmundo, e aos meus irmãos, pela criação, amor e carinho que me trouxeram até aqui. Agradeço à minha companheira, Luciana, por todo o amor, compreensão, inspiração e motivação nos momentos difíceis. Agradeço à minha filhota, Iara, que tão pequenininha e já me ensina coisas que nunca aprendi antes. Agradeço à minha sogra, Rogéria, por ter tido a disponibilidade de se deslocar da sua residência, em outro município, para ajudar a Lu nos meus dias de ausência por causa das aulas. Agradeço ao meu orientador, Guilherme Lopes, por me ter confiado a condução de um experimento fisicamente longe da sua supervisão e pela paciência e disponibilidade em me ajudar com todas as minhas dúvidas. Agradeço ao INCAPER, por possibilitar a conciliação dos meus estudos com o trabalho. Agradeço também aos meus colegas de instituição, especialmente ao Luiz Fernando, por ter sido o meu coorientador e ter me ajudado muito na construção e condução do trabalho, ao Afonso, por ter disponibilizado a área para a montagem do experimento e sempre ter deixado as portas da fazenda abertas para o que eu precisasse, ao Ronildo, Carmélio e Max, por terem contribuído com o árduo trabalho nas atividades de campo na condução do experimento, e ao Rogério Guarçoni, pela sua importante contribuição na parte estatística do trabalho. Agradeço à Prefeitura Municipal de Viana, nas pessoas do Pópó e João Henrique, que se colocaram à disposição no fornecimento do composto orgânico. Agradeço ao seu João e dona Beth, pela acolhida na sua residência por um valor de hospedagem simbólico, e por me fazer sentir como na minha própria casa. Agradeço aos colegas e amigos de mestrado, especialmente ao Paulo César (PC), Lucélia e Luisa, pelo companheirismo, momentos de descontração e por tornarem os dias longe de casa mais agradáveis. Agradeço ao Programa de Pós-graduação do

Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, por ofertarem um programa de pós-graduação de excelência.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, me trouxeram até aqui e tiveram alguma influência nessa minha trajetória.

RESUMO

A geração de subprodutos pelos processos industriais é uma realidade e tem sido um grande desafio no que tange ao seu tratamento e destinação final adequados desses materiais. A borra de café é o principal resíduo gerado na agroindústria do café solúvel e uma das alternativas de tratamento e destinação final desse resíduo é a sua compostagem, com o uso posterior do composto como fertilizante orgânico. A compostagem pode ser considerada como uma técnica que converte resíduos agroindustriais em um produto com valor nutricional para as plantas, estável e isento de contaminantes. Recentemente, foi implantada na Fazenda Experimental de Viana (FEV), que pertence ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, e está localizada no município de Viana - ES, uma usina de compostagem para solucionar o problema de destinação de resíduos da agroindústria do café gerados pela Realcafé na fabricação do café solúvel. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do composto orgânico produzido por esta usina para ser utilizado como fonte de nutrientes no cultivo do milho. Comparou-se o uso de diferentes doses de aplicação do composto em complementação à adubação mineral. Foram avaliados parâmetros agronômicos, como o crescimento e a produtividade da planta, aspectos nutricionais através da análise foliar, e de fertilidade do solo, pela análise do solo. Também foi feita uma avaliação econômica de cada tratamento. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e cinco tratamentos, com o cultivo do milho da cultivar INCAPER ES - 203, em sistema irrigado. Os tratamentos foram: 1) 100 % de composto orgânico; 2) 75% de composto orgânico + 25% adubação mineral; 3) 50% de composto orgânico + 50% adubação mineral; 4) 25% de composto orgânico + 75% adubação mineral; e 5) 100% de adubação mineral. Os tratamentos foram submetidos e comparados estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Como resultados, os tratamentos que receberam o composto orgânico apresentaram desempenho no desenvolvimento e na produtividade do milho inferior ao tratamento que recebeu apenas adubação mineral. Na avaliação da produtividade em grãos, os tratamentos 4 e 5 apresentaram maiores produtividades, diferindo estatisticamente dos demais. Os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si na avaliação econômica, demonstrando a viabilidade de se aplicar o composto orgânico. Concluiu-se com este estudo que o composto orgânico contendo borra de café apresentou resultados satisfatórios para a adubação da cultura do milho, principalmente quando utilizado de forma complementar à adubação mineral. O uso do composto orgânico, puro ou em associação à adubação mineral, mesmo apresentando menores produtividades, demonstrou viabilidade econômica quando comparado ao tratamento com adubação mineral, devido ao seu menor custo de adubação.

Palavras-chave: Compostagem. Adubação orgânica. Subprodutos agroindustriais.

ABSTRACT

The generation of by-products by industrial processes is a reality and it has been a big challenge, in terms of their adequate treatment and final destination. The coffee grounds is the main waste generated in the agro-industrialization of soluble coffee, being its use as organic fertilizer after the composting process one important alternative for final destination of this by-product. Composting can be considered as a technique that converts agro-industrial by-product into a product with nutritional value for plants, which is stable and free in terms of contaminants presence. Recently, at the Experimental Farm of Viana (FEV), which is located in the municipality of Viana - ES and belongs to the Capixaba Institute of Research, Technical Assistance, and Rural Extension - INCAPER, a composting plant was established for solving a problem of coffee agribusiness residues disposal that are generated by Realcafé in the manufacture of soluble coffee. This work aimed to evaluate the potential of the organic compound produced by this plant, to be used as fertilizer for cultivating maize crop. The use of different doses of this organic compound were tested in combination with mineral fertilization. Agronomic parameters were assessed, such as plant growth and productivity, nutritional status of corn leaves, and soil fertility analysis performed after the maize cultivation. An economic evaluation of each treatment was also carried out based on the costs of the fertilizers and the price of corn that was produced. The experiment was carried out in a randomized block design, with five treatments and four replicates. The corn cultivar was the cultivar INCAPER ES - 203, which was grown using an irrigated system. The treatments were: 1) 100% organic compound; 2) 75% organic compound + 25% mineral fertilizer; 3) 50% organic compound + 50% mineral fertilizer; 4) 75% organic compound + 25% mineral fertilizer, and 5) 100% mineral fertilizer. The treatments were submitted and compared statistically by the Scott-Knott test at 5% probability. As a result, the treatments that received the organic compound have showed development performance and corn productivity lower than that when only mineral fertilizer was applied. For grain yield/productivity, treatments 4 and 5 showed higher yields, differing statistically from the others. The treatments did not differ from each other in the economic evaluation that was carried out, demonstrating the economic viability of applying the studied organic compound. In conclusion, the organic compound containing coffee grounds presented satisfactory results for fertilizing maize crop, especially when used in combination with mineral fertilization. The use of the assessed organic compound, pure or in association with mineral fertilization, even with lower yields being verified, demonstrated economic viability when compared with treatments with mineral fertilization, due to its lower fertilization cost.

Keywords: Composting. Organic fertilization. Agro-industrial by-product.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases da compostagem relacionadas com a temperatura e tempo.	18
Figura 2 - Visão geral da área do experimento.	23
Figura 3 - Pátio de compostagem.	25
Figura 4 - Coleta de amostra do lote de composto utilizado no experimento.	26
Figura 5 - Croqui da parcela experimental.	30
Figura 6 - Preparo do solo e calagem.	31
Figura 7 - Preparo da área e controle de plantas daninhas.	32
Figura 8 - Recipientes utilizados na aplicação dos adubos	32
Figura 9 - Sulcos de plantio, balizamento e marcação da área, adubação no sulco de plantio e plantio.	33
Figura 10 - Evolução do cultivo do milho.	34
Figura 11 - Colheita do milho.	35
Figura 12 - Avaliações de espessura do colmo e altura de plantas aos 30 e 60 DAE.	36
Figura 13 - Secagem natural a campo das espigas de milho.	37
Figura 14 - Operações de debulhagem, pesagem e contagem para as avaliações de produtividade do milho.	38
Figura 15 - Amostragem das folhas para análise foliar.	39
Figura 16 - Coleta de amostras para a análise de solo das parcelas.	40
Figura 17 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características agronômicas.	46
Figura 18 - Dados pluviométricos do município de Viana para o mês de Março de 2020.	48
Figura 19 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características de análise foliar.	49
Figura 20 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características de análise de solo.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos da análise de solo realizada na área experimental antes do cultivo do milho.	24
Tabela 2 - Caracterização dos materiais utilizados e do composto produzido na FEV.....	27
Tabela 3 - Quantidades de NPK requeridas pela cultura e fornecidas pelos diferentes tratamentos.	29
Tabela 4 - Dosagens das adubações em kg ha ⁻¹ e em g m ⁻¹ para cada tratamento.	30
Tabela 5 - Cotações dos componentes de receita e custos de produção dos adubos utilizados nos diferentes tratamentos.....	41
Tabela 6 - Quantidade de adubos por tratamento em sacos de 50 kg por ha.	41
Tabela 7 - Produtividades dos tratamentos em sacas de 60 kg.....	42
Tabela 8 - Médias das características agronômicas.....	43
Tabela 9 - Médias das características agronômicas.....	44
Tabela 10 - Médias das análises foliares.	47
Tabela 11 - Médias das análises de solo.....	51
Tabela 12 - Receita bruta, custos e receita líquida com a adubação.	53
Tabela 13 - Médias da receita líquida após a adubação.	54

LISTA DE SIGLAS

AM	Adubo mineral
C	Carbono
C/N	Carbono/Nitrogênio
Ca	Cálcio
CO	Composto orgânico
CTC	Capacidade de troca catiônica
D/H	Dia/Homem
DAE	Dias após a emergência
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
FEV	Fazenda Experimental de Viana
ha	Hectare
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
K	Potássio
KCL	Cloreto de potássio
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
NO ₃ ⁻	Nitrato
NPK	Formulação de nitrogênio, fósforo e potássio
P	Fósforo
PMV	Prefeitura Municipal de Viana
SS	Superfosfato simples
t	Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Resíduos e subprodutos agroindustriais.....	16
3.2 Compostagem.....	17
3.3 Efeitos da matéria orgânica no solo	19
3.4 Uso da borra de café como composto orgânico.....	20
3.5 Adubação orgânica na cultura do milho em pequenas propriedades rurais	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Caracterização da área experimental	23
4.2 Composto utilizado no experimento	24
4.3 Tratamentos e cultivo do milho.....	28
4.3.1 Tratamentos	28
4.3.2 Cultivo do milho	31
4.4 Variáveis analisadas	35
4.4.1 Avaliações agronômicas	35
4.4.2 Análise foliar	38
4.4.3 Análise de solo após o cultivo do milho	39
4.4.4 Análise econômica	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Avaliações agronômicas	43
5.2 Análise foliar	46
5.3 Avaliações de solo	50
5.4 Análise econômica	53
6 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A –MEMORIAL DE CÁLCULO PARA AS ADUBAÇÕES DOS TRATAMENTOS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos pelos processos industriais é um grande desafio no que tange ao seu tratamento e destinação final adequados considerando os efeitos nocivos que podem trazer ao meio ambiente, se tratados ou descartados de forma inadequada. A crescente preocupação com o meio ambiente faz com que, cada vez mais, órgãos governamentais e indústrias se unam para a promoção de políticas públicas e ações que diminuam os impactos negativos das atividades econômicas e industriais que tenham potencial poluidor. No Brasil, diversas formas de produção agroindustrial acontecem de maneira paralela à produção agrícola. Em grande parte, o beneficiamento desses produtos irá gerar, inevitavelmente, diversos tipos de resíduos.

O café é uma das *commodities* agrícolas mais valiosas do mercado internacional, com a sua exportação mundial atingindo a marca de 10,21 milhões de sacas em janeiro de 2021 (ICO, 2021). Ele é comumente comercializado na forma de grãos, em pó, ou em café solúvel, e é a segunda bebida mais consumida no Brasil (ABIC, 2018). O Brasil exportou 91.963 toneladas de café solúvel no ano de 2019 (ABICS, 2020), o que evidencia o grande volume desse produto na participação da comercialização brasileira. A borra de café (ou lodo de café) é o principal resíduo gerado na indústria de café solúvel, sendo, normalmente, destinada aos aterros sanitários e lixões (KONDAMUDI; MOHAPATRA; MISRA, 2008). Por esse resíduo ser oriundo dos grãos de café, infere-se que suas propriedades possam ser exploradas para diferentes destinos industriais (BALLESTEROS; TEIXEIRA; MUSSATTO, 2014).

Um dos usos possíveis para esse resíduo ou melhor caracterizado como subproduto, seria na agricultura, servindo de adubo como composto orgânico. A compostagem pode ser considerada como uma técnica que converte resíduos agroindustriais em um produto com valor nutricional para as plantas, estável, isento de contaminantes e que pode ser utilizado como condicionador de solos e fertilizante (ROS *et al.*, 2006).

Recentemente, em parceria com a Prefeitura Municipal de Viana (PMV) e a Realcafé (indústria de café solúvel), foi implantada, na Fazenda Experimental de Viana (FEV), que pertence ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER e está localizada no município de Viana - ES, uma usina de compostagem para solucionar o problema de descarte de resíduos de agroindústria do café (principalmente a borra de café), gerados pela empresa Realcafé na fabricação do café solúvel. Na usina, esses resíduos são misturados a outros tipos de resíduos orgânicos para a obtenção do composto orgânico após o processo da compostagem. Esse composto é distribuído para os agricultores de base familiar do município e dos municípios vizinhos para a sua utilização como fertilizante orgânico das

lavouras. Entretanto, se faz necessária a adequação dos processos da usina, bem como a avaliação do composto gerado e a obtenção de recomendações gerais para a aplicação desse composto nas lavouras agrícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o potencial de uso do composto orgânico produzido na usina de compostagem do INCAPER para ser utilizado como fonte de nutrientes na adubação da cultura do milho, ao ser aplicado isoladamente ou em diferentes proporções com adubos minerais.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Comparar o desempenho dos tratamentos (composto orgânico isolado e combinado com diferentes proporções de adubos químicos) como fonte de nutrientes na cultura do milho;
- Avaliar as características químicas do solo após a aplicação do composto orgânico isolado e em complementação com adubos minerais;
- Avaliar a viabilidade econômica com a adoção dos diferentes tratamentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos e subprodutos agroindustriais

Os resíduos agroindustriais são gerados na transformação de matérias-primas provenientes da produção agropecuária em produtos. Esses produtos podem ser relacionados a alimentos, madeira, couro, fibras, combustíveis, etc. De acordo com Araújo (2009), a agroindústria é entendida como todo segmento industrial, seja para a produção de produtos alimentícios ou para a transformação de matéria-prima agropecuária em produtos intermediários para fins alimentares e não alimentares.

O setor agroindustrial atualmente é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos, cujo o manejo inadequado pode contaminar o solo, o ar e os corpos hídricos, resultando em problemas ambientais. De acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e Agricultura – FAO, 1,3 bilhão de toneladas de resíduos agroindustriais são gerados por ano no mundo (FAO, 2013). Por conta da geração de resíduos sólidos cada vez maior e visando mitigar os efeitos nocivos dos tratamentos e descarte inadequados destes, a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, obrigou os geradores de resíduos sólidos a aderirem uma gestão de gerenciamento desses resíduos. Segundo Valente *et al.* (2009), essa gestão de gerenciamento deve priorizar, na seguinte ordem: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos, e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Um ponto importante é que os resíduos agroindustriais, de maneira geral, podem apresentar valor econômico agregado, se tratados da maneira correta. Por isso, podem ser reutilizados em sistemas produtivos ou inseridos em novas cadeias produtivas, reduzindo custos de produção, como também podem ser transformados em diferentes tipos de subprodutos. Os resíduos agroindustriais passíveis de serem reutilizados e que não sofrem o seu tratamento e destinação adequados, trazem grandes prejuízos econômicos para a sociedade, pois diminuem a disponibilidade de recursos e de renda (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015), além de gerar problemas ambientais. Outro fator interessante e que evidencia a importância da necessidade do melhor aproveitamento dos resíduos agroindustriais, é que cerca de 1/3 dos alimentos com potencial de servir para o consumo humano são desperdiçados, ou como resíduos resultantes do processamento, ou como perca na cadeia produtiva (FAO, 2013).

Por fim, para a tomada de decisão no tipo de tratamento e destinação final do resíduo, deve-se considerar a natureza e especificidade do resíduo, além de aspectos econômicos. Os

custos envolvidos no tratamento e destinação dos resíduos e a possível agregação de valor deste material, indicará a sua destinação final, seja esta de caráter alimentício ou não (COSTA FILHO *et al.*, 2017).

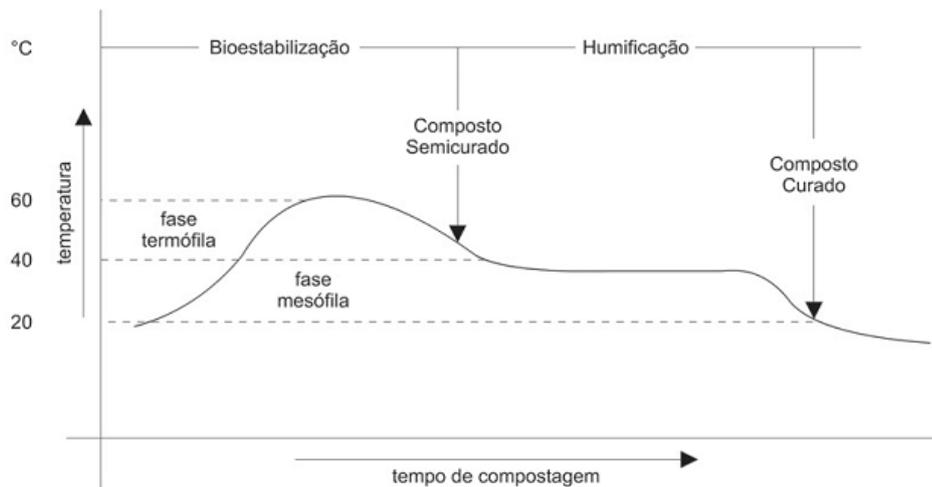
3.2 Compostagem

A compostagem é definida como um processo natural de decomposição biológica da matéria orgânica de origem animal e vegetal, realizada por diversos tipos de microrganismos, que gera um produto estável e rico em matéria orgânica, em condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade (COOPER *et al.*, 2010). De acordo com Bueno *et al.* (2008), a compostagem é uma forma econômica e natural de reciclagem da matéria orgânica, definida como decomposição e estabilização biológica de substratos orgânicos, sob condições que favoreçam temperaturas ótimas para microrganismos termofílicos, para a produção de um produto final estável, livre de patógenos e que pode ser aplicado como fertilizante nas plantações. O ciclo do processo de produção do composto orgânico dura, em média, de 90 a 120 dias após a mistura dos materiais orgânicos, dependendo, principalmente, da relação C/N do resíduo. O composto é considerado pronto quando seu volume atinge 1/3 do volume inicial e seus componentes iniciais não são mais identificados, devido à sua degradação (DINIZ FILHO *et al.*, 2007).

As fases mesófila, termófila e de maturação (ou cura) são os diferentes estádios da compostagem (KIEHL, 2002). Na fase inicial, ou mesófila, ocorre o aumento das colônias de microrganismos mesófilos e intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação rápida da temperatura. Esta fase leva em torno de, no máximo, 24 horas até atingir temperatura de 45 °C no interior das leiras. A depender da composição do material orgânico e do método utilizado na compostagem, é possível que seja mais longa (até três dias), ou mais curta, durando menos de 15 horas (KIEHL, 2002). A fase termófila é caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, com predominância da faixa de 50 °C a 65 °C, que irá proporcionar condições ideais para a ação dos microrganismos termófilos, com intensa degradação do material, formando água, e manutenção da geração de calor e vapor d'água (KIEHL, 2002). A fase de cura tem como característica a degradação de substâncias orgânicas mais resistentes por microrganismos mesófilos, redução da atividade microbiana e queda da temperatura e umidade das leiras. Enquanto que a fase termófila é dominada por bactérias, os fungos e actinomicetos predominam na fase de cura e possuem o mesmo papel na degradação da matéria orgânica. É na fase de maturação que ocorre grande formação de compostos orgânicos. Nessa etapa, a

atividade biológica é baixa e o composto perde a capacidade de auto aquecimento, o que diminui a velocidade de decomposição. Alguns fatores como conteúdo de oxigênio, conteúdo de água, relação carbono/nitrogênio do substrato e pH influenciam essa sucessão de grupos de microrganismos durante o processo de compostagem (KIEHL, 2002).

Figura 1 - Fases da compostagem relacionadas com a temperatura e tempo.



Fonte: D'Almeida e Vilhena (2000).

A manutenção da umidade adequada é importante, pois o seu excesso ou escassez é capaz de estancar a atividade microbiana. O primeiro por via indireta impedindo a difusão do oxigênio na leira, e a segunda por via direta, reduzindo a umidade a níveis desfavoráveis para a atividade biológica da compostagem. Por isso, procura-se equilibrar e manter a umidade na compostagem entre 40%. Com níveis acima de 65%, a água concorre muito com o ar pelos espaços porosos da matriz da leira, dificultando a difusão do ar e, por consequência, propiciando condições para atividade microbiana anaeróbica (KIEHL, 2002). A relação carbono/nitrogênio (C/N) de um determinado resíduo orgânico influencia diretamente a atividade microbiana e os grupos que vão predominar em sua decomposição, o que interfere no tempo de decomposição. Quanto maior a relação C/N, maior o tempo de decomposição do material. Para um bom processo de compostagem, considera-se valores iniciais entre 30 e 40 mais adequados à decomposição dos materiais orgânicos. Os microrganismos utilizam 25 a 30 partes de C para cada parte de N assimilada. O carbono é usado como fonte de energia e para a formação da estrutura das células microbianas, enquanto o nitrogênio é importante na formação das proteínas, e, especialmente, DNA e RNA microbiano, influenciando diretamente na capacidade de reprodução e crescimento da população das diferentes espécies de bactérias fungos e

actinomicetos (EPSTEIN, 1997). O pH tem influência em qualquer atividade microbiana. Diferentes espécies de microrganismos se adaptam e têm atividade ótima em diferentes faixas de pH, e cada resíduo utilizado na mistura para compostagem vai influenciar a dinâmica microbiana principalmente na fase inicial da compostagem. A mistura ácida ($\text{pH} < 4$), por exemplo, com excesso de restos de polpas de frutas e cascas de frutas, podem retardar a ação microbiana na compostagem, já que uma porção menor de espécies tem plena atividade metabólica em faixas extremas, pH muito ácido ou muito básico. Deve-se ter atenção para formular misturas que resultem em um pH médio entre 5,0 a 7,0 que é plenamente satisfatório à atividade microbiana (EPSTEIN, 1997).

3.3 Efeitos da matéria orgânica no solo

Os fertilizantes químicos são os principais responsáveis pelo fornecimento de nutrientes essenciais às culturas agrícolas, principalmente fósforo, nitrogênio e potássio. Diferente dos fertilizantes químicos, o composto orgânico, além de enriquecer o solo com nutrientes minerais, também fornece matéria orgânica para o solo. Por isso, a ação do composto orgânico é diferente da ação dos fertilizantes sintéticos, já que a ação do primeiro ocorre de forma mais lenta, para alcançar, a longo prazo, um equilíbrio no solo (SÁNCHEZ; OSPINA; MONTOYA, 2017).

A matéria orgânica no solo pode trazer vários benefícios, entre eles, físicos, químicos e biológicos. Mesmo que em pequenas quantidades, a matéria orgânica, por meio do composto orgânico, também fornece macro e micronutrientes ao solo. Também ajuda no aproveitamento dos fertilizantes sintéticos, aumentando a retenção dos nutrientes no solo e diminuindo as perdas destes pela lixiviação, o que possibilita um tempo maior para que as plantas possam absorver esses minerais (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA, 2014). Durante o processo de compostagem, são formados precursores de substâncias húmicas, que são adicionadas ao solo com a aplicação do composto. Com o tempo são liberados ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e húmica, que contribuem com uma menor lixiviação e permitem a absorção de nutrientes de forma controlada pelas plantas (CANELLAS *et al.*, 2015).

Além disso, já é bastante conhecido o papel da matéria orgânica na melhoria dos aspectos físicos do solo. Ela pode melhorar a estrutura do solo, favorecendo uma melhor capacidade de absorção de água e melhor aeração do solo, possibilitando um ambiente mais favorável para que ocorra a expansão do sistema radicular das plantas (PRIMAVESI, 2006).

Outro efeito benéfico para o solo é a tendência de estabilização do pH próximo à neutralidade, além de diminuir a toxidez causada por pesticidas. A matéria orgânica também

favorece a maior atividade microbiológica do solo (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004). Ao ser aplicado no solo, o composto orgânico pode melhorar a infiltração e retenção de água, reduzir as perdas por erosão e diminuir as variações de temperatura, favorecendo um maior equilíbrio ecológico e assim efetuar um controle natural das pragas, melhorando a sanidade das culturas, e fornecer nutrientes para o crescimento das plantas (TORRENTÓ; MARTÍNEZ; HUERTA, 2008). Então, podemos concluir que a matéria orgânica contribui para a melhoria dos aspectos químicos, físicos e biológicos dos solos.

3.4 Uso da borra de café como composto orgânico

O café, por ser uma bebida de grande consumo, é responsável por uma grande quantidade de resíduos de baixo valor que são gerados no cultivo e beneficiamento do grão e no processo de agroindustrialização da bebida. Os principais resíduos gerados durante a fase de cultivo e beneficiamento são a polpa, a casca, a mucilagem e a água residuária. A borra de café é um resíduo gerado da produção de café solúvel pelas indústrias, da produção de café convencional coado e da produção de café expresso nas residências e cafeterias. Segundo Vegro e Carvalho (1994), para cada 1 kg de café solúvel são gerados 2 kg de borra úmida com cerca de 75 a 80% de umidade.

De acordo com Ferreira (2011), as potencialidades do aproveitamento da borra de café não têm sido tão estudadas como a da polpa e casca de café. Também, a borra de café contém semelhanças com a polpa e a casca na sua composição, como a presença de cafeína, taninos e polifenóis, tornando-o um resíduo tóxico. Ainda, segundo o mesmo autor, a borra de café pode ser submetida a um processo de compostagem e utilizada como adubo orgânico. Alguns estudos já aconteceram com o intuito de avaliar a utilização da borra de café na produção de cogumelos, biogás, composto/vermicomposto e de biodiesel (PANDEY *et al.*, 2000; KONDAMUDI; MOHAPATRA; MISRA, 2008; COUTO *et al.*, 2009; SANTOS, 2010). A mistura da borra de café com lixo orgânico doméstico mostrou ser bastante eficiente na vermicompostagem por *Lumbricus rubellus* (ADI; NOOR, 2009). O vermicomposto apresentou maiores teores de K e Mg do que o vermicomposto obtido somente a partir de lixo orgânico doméstico e também não apresentou mudanças nas outras características nutricionais. Segundo Couto *et al.* (2009), a grande quantidade de lipídios do tipo triglicerídeos e ésteres de álcool diterpeno que estão presentes na borra de café possibilitam a produção de biodiesel a partir do óleo extraído da borra. Já existem alguns resultados promissores demonstrando o seu potencial como matéria-prima para a produção de biodiesel (SANTOS, 2010).

A borra de café pode ser tóxica para os componentes biológicos do solo devido a sua composição química, além disso, pode ocorrer a imobilização de nutrientes e problemas com fitotoxidez com a incorporação de resíduos orgânicos no solo sem a degradação completa (BUTLER *et al.*, 2001). De acordo com Ferreira (2011), a compostagem da borra de café é uma alternativa importante para a utilização desse resíduo como fertilizante orgânico. Segundo o autor, existem evidências de que o uso da borra de café crua, sem ser compostada, interfere na mineralização do nitrogênio da matéria orgânica. Deste modo, a borra de café ao ser aplicada diretamente no solo pode reduzir a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Em trabalho realizado pelo mesmo autor, a borra de café compostada aumentou o crescimento de alface, quando aplicada em doses iguais ou superiores a 15% (v/v).

3.5 Adubação orgânica na cultura do milho em pequenas propriedades rurais

O milho é uma das principais culturas cultivadas em muitas das propriedades familiares do estado do Espírito Santo. Geralmente é cultivado em propriedades com produção animal e disponibilidade de esterco para ciclagem na agricultura (SCHERER, 2011). É uma cultura amplamente utilizada na alimentação humana e também é um importante componente de rações para diversos animais (TESTA *et al.*, 1996).

As plantas, em geral, necessitam de 17 elementos químicos para a sua nutrição, os quais podem ser obtidos do solo, do ar, da água e de adubos orgânicos e minerais (MARSCHENER, 1995). Dentre estas fontes, os adubos orgânicos destacam-se pela possibilidade de fornecerem todos os elementos requeridos pelas plantas, além de apresentarem viabilidade econômica e disponibilidade, principalmente, em pequenas propriedades rurais (STRECK; KÄMPF; DALMOLIN, 2008). Uma vez aplicados no solo, os adubos orgânicos sofrem transformações que levam à formação de uma mistura complexa de compostos em diferentes estádios de decomposição, a qual é conhecida como matéria orgânica do solo (CAMARGO, 1999).

Nos plantios convencionais de milho, as adubações minerais e orgânicas são usadas em larga escala havendo, portanto, a necessidade de se definir os melhores produtos e doses a serem aplicados no intuito de maximizar os lucros, a produtividade e a qualidade. A matéria orgânica, pelo seu efeito na melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, contribui para o aumento da produtividade e para a melhor qualidade do produto final (SALES JÚNIOR *et al.*, 2005). O conhecimento de fontes, doses e formas de aplicação de adubos orgânicos é de grande importância no cultivo orgânico do milho, tanto em relação ao aproveitamento dos resíduos agroindustriais poluidores do meio ambiente, quanto à independência do agricultor em

produzir adubo em sua propriedade, além das inúmeras vantagens do uso da matéria orgânica no manejo do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Viana (FEV), nas coordenadas 20°22'23.40''S; 40°30'58.37''O, localizada no município de Viana – ES, região metropolitana da Grande Vitória. A fazenda pertence ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER. Dentro da área da fazenda (Figura 2), há uma usina de compostagem, que produz o composto utilizado no experimento, bem como a área de implantação do experimento com o cultivo de milho.

Figura 2 - Visão geral da área do experimento.



Legenda:

- Usina de Compostagem
- Área do experimento

Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

O local em que o cultivo de milho foi conduzido é composto por um solo da ordem Neossolo Flúvico (RY) distrófico, sendo numa área de baixada, com topografia plana, de pouca declividade. Essa área tem sido utilizada para o cultivo de feijão e milho e também já foi utilizada para o plantio de cana.

Os resultados da análise química do solo, antes do cultivo do milho (experimento) encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos da análise de solo realizada na área experimental antes do cultivo do milho.

Atributos	Unidade	Resultado
Fósforo Mehlich-1/	mg dm ⁻³	25
Potássio (k) 1/	mg dm ⁻³	150
Enxofre (S) 3/	mg dm ⁻³	16
Cálcio (Ca) 4/	cmol _c dm ⁻³	1,6
Magnésio (Mg) 4/	cmol _c dm ⁻³	0,3
Alumínio (Al) 4/	cmol _c dm ⁻³	0,2
H + Al 5/	cmol _c dm ⁻³	3,8
pH em H ₂ O 6/	--	5,5
Matéria orgânica 8/	dag kg ⁻¹	1,6
Ferro (Fe) 1/	mg dm ⁻³	167
Zinco (Zn) 1/	mg dm ⁻³	4,7
Cobre (Cu)	mg dm ⁻³	2,2
Manganês (Mn)	mg dm ⁻³	71
Boro (B) 9/	mg dm ⁻³	0,52
Sódio (Na) 1/	mg dm ⁻³	10
Relação Ca/Mg	--	5,3
Relação Ca/K	--	4,2
Relação Mg/K	--	0,8
Sat. Ca na CTC	%	26,3
Sat. Mg na CTC	%	4,9
Sat. K na CTC	%	6,3
Índice saturação Na	%	0,7
Soma de Bases (SB)	cmol _c dm ⁻³	2,3
CTC efetiva (t)	cmol _c dm ⁻³	2,5
CTC a pH 7,0 (T)	cmol _c dm ⁻³	6,1
Sat. alumínio (m)	%	8
Saturação de Bases (V)	%	38

1/ Extração: HCl 0,05 mol/L +H₂SO₄ 0,025 mol/L; 3/ Extração: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L; 4/ Extração: KCl 1mol/L; 5/ Solução Tampão SMP; 6/ pH em H₂O 1:2,5; 8/ Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 2H₂O + 4 mol/L H₂SO₄ 10 mol/L; 9/ Extração: BaCl₂ 2H₂O 0,125%

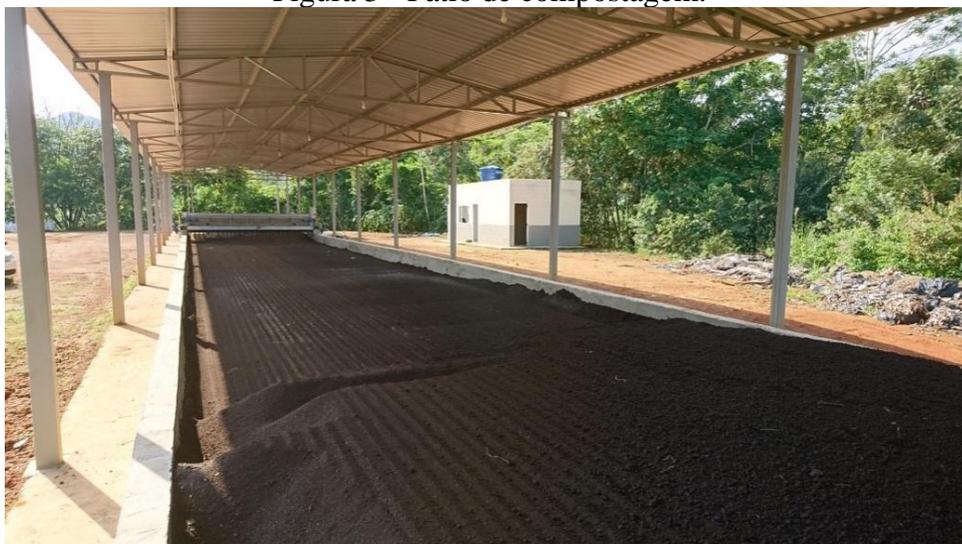
Fonte: Autor (2020).

4.2 Composto utilizado no experimento

A usina de compostagem que está em operação na FEV foi criada para possibilitar o aproveitamento do resíduo de borra de café, proveniente do processo da industrialização do café solúvel, em um composto orgânico com potencial de uso na agricultura. A empresa Realcafé gera, semanalmente, cerca de 60 toneladas de borra com a industrialização do café solúvel. Esse resíduo é levado para a usina, onde é disposto no pátio de compostagem, em camadas alternadas com serragem, restos de podas e casca de café, para que ocorra uma mistura desses materiais.

No pátio de compostagem (Figura 3), os resíduos, depois de dispostos em camadas, são revirados por uma máquina que desliza pelo pátio de compostagem, realizando o reviramento e a mistura da pilha, lentamente. Essa etapa dura duas semanas e o reviramento constante favorece que a pilha de composto saia do pátio de compostagem no início da fase de estabilização do processo de compostagem. Depois, o composto é retirado do pátio e é depositado em uma nova pilha, onde permanece por aproximadamente um mês, para então poder ser distribuído aos agricultores.

Figura 3 - Pátio de compostagem.



Fonte: Autor (2019).

Como a usina está passando por um processo de adequação das suas atividades, ainda não existe uma proporção exata dos materiais utilizados na mistura, porém, todo lote é feito com uma mistura que possibilite a obtenção de uma relação C/N na faixa de 25:1 a 35:1, tida como ótima para o início do processo da compostagem (KIEHL, 2004). No lote que foi utilizado no experimento, a proporção dos materiais na mistura foi de 45% de borra de café, 35% de serragem, 15% de restos de poda e 5% de palha de café. A serragem, além de possuir elevada relação C/N, também facilita o reviramento, diminui a formação de agregados grandes (placas) e acelera a secagem.

O composto usado no experimento foi coletado no dia 17 de dezembro de 2019. Foram coletadas oito amostras simples de forma aleatória sobre a pilha do lote do composto, de maneira a garantir amostras localizadas, tanto na parte mais externa, como no interior da pilha, conforme as imagens da Figura 4. As amostras simples foram depositadas em um carrinho de mão e misturadas, obtendo-se uma amostra composta, de aproximadamente 400 g, que foi

enviada para o laboratório para análises. Os parâmetros que foram avaliados para alguns dos materiais utilizados na formulação do lote do composto, bem como a análise do composto que foi aplicado no experimento estão apresentados na Tabela 2.

Figura 4 - Coleta de amostra do lote de composto utilizado no experimento.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 2 - Caracterização dos materiais utilizados e do composto produzido na FEV.

Parâmetros	Unidade	Palha de café	Restos de poda	Borra de café	Composto orgânico
Umidade a 60 - 65 °C	%	3,05	6,95	29,52	44,40
pH em CaCl ₂	--	--	--	7,05	7,20
CTC	mmol _c kg ⁻¹	--	--	--	455,00
Matéria Orgânica Total	%	87,96	94,93	81,76	52,05
Matéria Orgânica Compostável	%	86,40	94,50	78,30	35,10
Carbono Orgânico 1/	%	48,00	52,50	43,50	19,50
Relação C/N	--	13/1	36/1	12/1	10/1
Nitrogênio (N)2/	%	3,58	1,56	3,56	1,98
Fósforo (P ₂ O ₅)3/	%	0,43	0,22	0,54	1,00
Potássio (K ₂ O)3/	%	3,09	1,13	0,75	1,36
Cálcio (Ca)3/	%	1,59	1,94	0,87	6,89
Magnésio (Mg)3/	%	0,66	0,20	0,11	0,94
Enxofre (S)3/	%	--	--	0,47	0,60
Ferro (Fe)3/	%	--	--	0,71	1,72
Zinco (Zn)3/	mg kg ⁻¹	--	--	38,2	111,8
Cobre (Cu)3/	mg kg ⁻¹	--	--	47,5	337,5
Manganês (Mn)3/	mg kg ⁻¹	--	--	94,7	1.368
Boro (B)4/	mg kg ⁻¹	--	--	4,1	26,0

1/ Oxidação com Bicromato de potássio; 2/ Digestão sulfúrica; 3/ Digestão nitro-perclórica; 4/ Digestão seca

Fonte: Autor (2020).

4.3 Tratamentos e cultivo do milho

4.3.1 Tratamentos

Neste experimento foi avaliado o composto orgânico produzido na usina de compostagem da Fazenda Experimental de Viana. O composto foi utilizado na adubação do cultivar de milho INCAPER ES 203 como fonte única e como fonte complementar de nutrientes, comparando-o com a adubação mineral. De acordo com a caracterização agrônômica do composto, a análise de solo da área e as exigências de fertilidade para a cultura do milho no estado do Espírito Santo (PREZOTTI, 2010). Foi calculada a dose total do composto necessária para fornecer todo o N requerido pela cultura. As exigências de NPK consideradas para o cálculo das doses das adubações foram de 110 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O. Considerou-se o N neste cálculo por se tratar do macronutriente mais requerido pela cultura do milho e um dos que estão em maiores níveis no composto. Os tratamentos receberam doses do composto orgânico de maneira decrescente, sendo que, um tratamento recebeu a dose total, apenas com o composto orgânico e sem nenhum tipo de complementação, e desse ponto foi diminuindo-se 25% da dose do composto em cada tratamento, e acrescentando fontes químicas de adubos NPK (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio) de forma a completar os níveis de NPK exigidos pela cultura, até alcançar a adubação puramente mineral.

O tratamento que recebeu apenas o composto orgânico teve déficit no suprimento de P e suprimento excedente de K. O déficit de P se deve ao fato de que a dose de composto utilizada neste tratamento não possuiu a quantidade de P necessária para suprir a exigência da cultura e não houve a complementação com fonte mineral, já que somente o composto orgânico foi utilizado. Como esse tratamento representa a forma de uso mais comum desse composto pelos agricultores da região, procurou-se não fazer ajustes na complementação dos outros macronutrientes neste caso, a fim de representar a forma de uso mais comum na região. O excedente de K se deu pelo fato de que no cálculo das dosagens de composto utilizadas nos tratamentos foi considerado um índice de conversão da forma orgânica para a mineral de 50% para o N e para o P, por se tratar de primeiro ano de cultivo, e de 100% para o K. Na Tabela 3, estão as quantidades de NPK em quilos por ha requeridas pela cultura e consideradas para o cálculo das doses das adubações e as quantidades que foram fornecidas com as adubações dos diferentes tratamentos.

Tabela 3 - Quantidades de NPK requeridas pela cultura e fornecidas pelos diferentes tratamentos.

	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
Quantidades requeridas pela cultura	110	100	70
Quantidades fornecidas T1	110	56*	151**
Quantidades fornecidas T2	110	100	113**
Quantidades fornecidas T3	110	100	75**
Quantidades fornecidas T4	110	100	70
Quantidades fornecidas T5	110	100	70

* Quantidades em déficit; ** Quantidades em excesso.

Fonte: Autor (2020).

O experimento foi conduzido com delineamento em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e quatro repetições, resultando em 20 parcelas experimentais cultivadas com o milho INCAPER ES 203 em sistema irrigado, sendo os tratamentos descritos a seguir:

T1) 100 % de composto orgânico;

T2) 75% de composto orgânico + 25% adubação mineral;

T3) 50% de composto orgânico + 50% adubação mineral;

T4) 25% de composto orgânico + 75% adubação mineral;

T5) 100% de adubação mineral.

As doses das adubações para cada tratamento podem ser conferidas na Tabela 4:

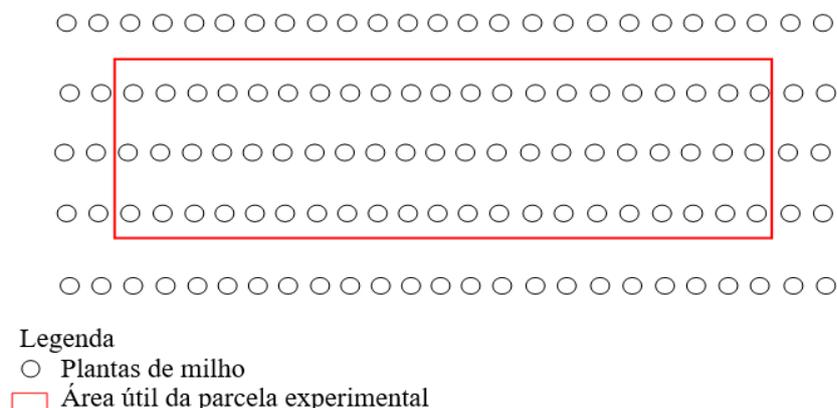
Tabela 4 - Dosagens das adubações em kg ha⁻¹ e em g m⁻¹ para cada tratamento.

Tratamentos	Dosagens em kg ha ⁻¹	Dosagens em g m ⁻¹
T1	20.000 kg ha ⁻¹ do composto.	1.600 g m ⁻¹ de composto.
T2	15.000 kg ha ⁻¹ do composto + 60 kg ha ⁻¹ de ureia + 322 kg ha ⁻¹ de superfosfato simples.	1.200 g m ⁻¹ de composto + 5 g m ⁻¹ de ureia (parcelado em duas vezes) + 26 g m ⁻¹ de superfosfato simples.
T3	10.000 kg ha ⁻¹ do composto + 120 kg ha ⁻¹ de ureia + 400 kg ha ⁻¹ de superfosfato simples.	800 g m ⁻¹ de composto + 9,6 g m ⁻¹ de ureia (parcelado em 2 vezes) + 32 g m ⁻¹ de superfosfato simples.
T4	5.000 kg ha ⁻¹ do composto + 180 kg ha ⁻¹ de ureia + 477 kg ha ⁻¹ de superfosfato simples + 53 kg ha ⁻¹ de KCL.	400 g m ⁻¹ de composto + 14,5 g m ⁻¹ de ureia (parcelado em duas vezes) + 38 g m ⁻¹ de superfosfato simples + 4,2 g m ⁻¹ de KCL.
T5	0 kg ha ⁻¹ do composto + 240 kg ha ⁻¹ de ureia + 555 kg ha ⁻¹ de superfosfato simples + 117 kg ha ⁻¹ de KCL.	0 gm ⁻¹ do composto + 19,2 g m ⁻¹ de ureia (parcelado em duas vezes) + 44 g m ⁻¹ de superfosfato simples + 9,5 g m ⁻¹ de KCL.

Fonte: Autor (2020).

O memorial de cálculo das dosagens das adubações encontra-se no Apêndice A deste trabalho. As parcelas foram formadas com cinco fileiras de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, resultando em uma densidade de cultivo de 62.500 plantas ha⁻¹. Para evitar o efeito de bordadura, foi desconsiderado 0,5 m da bordadura, sendo avaliadas as três fileiras centrais conforme Figura 5.

Figura 5 - Croqui da parcela experimental.



Fonte: Autor (2019).

4.3.2 Cultivo do milho

Na data de 20 de setembro de 2019 foi feita a calagem e o preparo do solo (Figura 6) para o plantio do milho. Foi aplicada uma dose a lanço de $2,03 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, com PRNT de 96%. Foi utilizado para calcular a dose de calcário o método de saturação de bases, procurando elevar o valor V para 70%, de acordo com Prezotti (2010).

Figura 6 - Preparo do solo e calagem.



Fonte: Autor (2019).

Na data de 03 de janeiro de 2020, foi necessário fazer uma nova aração e gradagem na área para o controle das plantas daninhas, e, posteriormente, fazer o preparo dos sulcos de plantio (Figura 7).

Figura 7 - Preparo da área e controle de plantas daninhas.



Fonte: Autor (2020).

Nos dias 16 e 17 de janeiro de 2020, foram feitos os sulcos para plantio, o balizamento e marcação da área, o plantio da cultura e as adubações com o composto, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. As adubações com a ureia foram parceladas em duas vezes, com a primeira aplicação feita aos 15 dias após a emergência das plantas (DAE) e com 40% da dose total requerida, e a segunda parcela aos 40 DAE, com 60% restantes da dose total requerida.

As adubações foram feitas de maneira manual e aplicadas no sulco de plantio. Para isso, as quantidades de adubo por metro linear que foram requeridas para cada tipo de adubo e tratamento, foram colocadas em um recipiente único para cada tipo de adubo e pesadas. Então foi feita uma marcação em cada recipiente, que correspondia à dose de adubo a ser aplicada (Figura 8).

Figura 8 - Recipientes utilizados na aplicação dos adubos



Fonte: Autor (2020).

Para a aplicação dos adubos, foram feitos tutores de 1 m, com o auxílio de uma trena, para que fosse aplicada, em linha e ao longo do tutor, as quantidades de adubos contidas nos recipientes marcados (Figura 9).

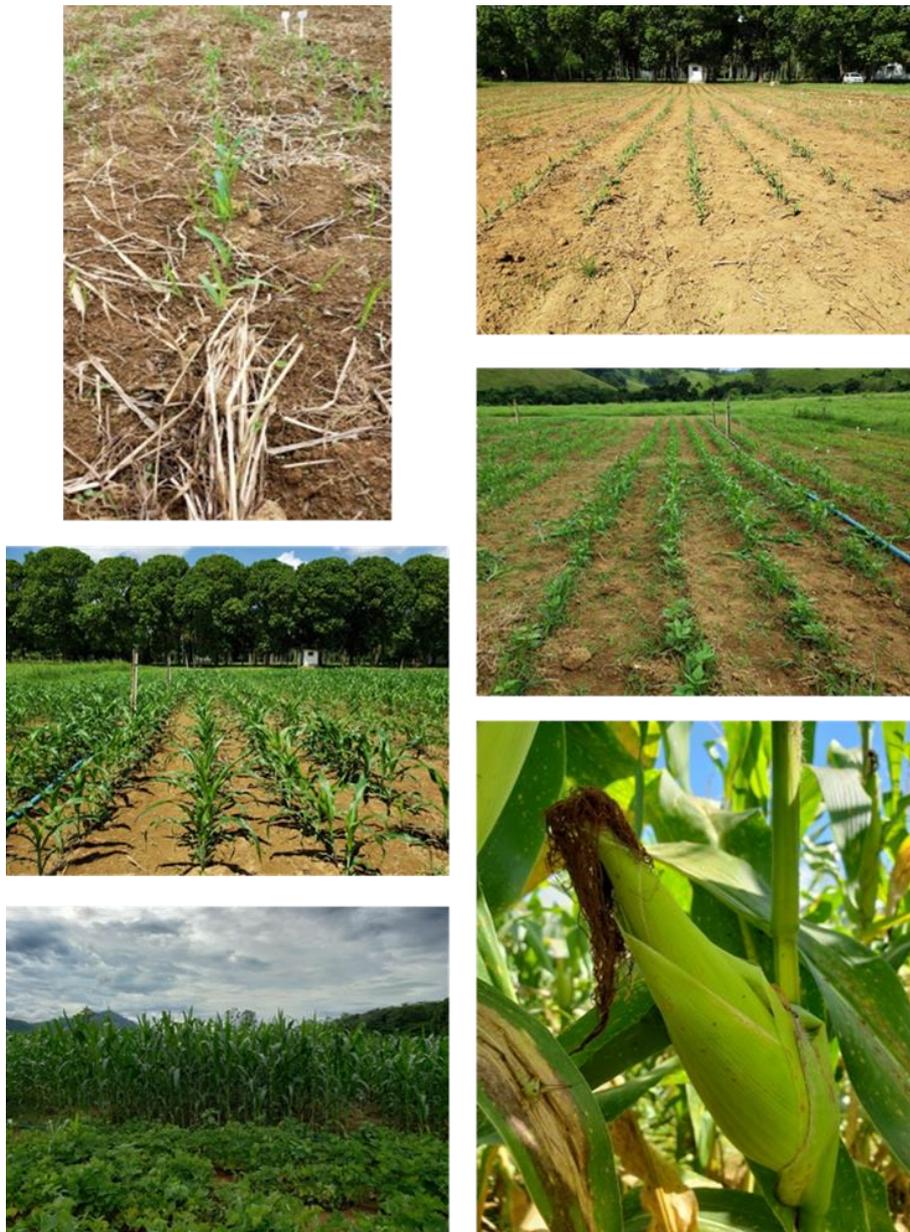
Figura 9 - Sulcos de plantio, balizamento e marcação da área, adubação no sulco de plantio e plantio.



Fonte: Autor (2020).

A emergência das plantas ocorreu no dia 25 de janeiro. Nos dias 30 de janeiro e 18 de fevereiro, foram feitas as capinas manuais, para controle de plantas daninhas. No dia 07 de fevereiro ocorreu o desbaste de plantas e a primeira adubação de cobertura com ureia. Em 18 de fevereiro ocorreu uma aplicação do produto comercial Dipel[®], na dose de 1L ha⁻¹, para combate da lagarta do cartucho do milho. E na data de 05 de março foi feita a última adubação com ureia. Os diferentes estádios da evolução da cultura no campo estão na Figura 10.

Figura 10 - Evolução do cultivo do milho.



Fonte: Autor (2020).

A colheita manual do milho (Figura 11) foi feita no dia 17 de abril. Foram colhidas as espigas dentro da área útil das parcelas e colocadas em sacos separados e identificados, por parcela.

Figura 11 - Colheita do milho.



Fonte: Autor (2020).

4.4 Variáveis analisadas

Para avaliar possíveis diferenciações entre os tratamentos, as seguintes variáveis foram avaliadas neste trabalho: medição de altura e espessura das plantas, produtividade de espigas com palha (kg ha^{-1}), produtividade de grãos (kg ha^{-1}), peso médio de mil grãos, análise foliar e do solo após a colheita do milho de todas as parcelas do experimento. Também foi feita uma avaliação econômica com os diferentes tratamentos.

4.4.1 Avaliações agronômicas

Os parâmetros agronômicos avaliados foram: a altura das plantas e espessura do colmo, aos 30 DAE e aos 60 DAE, produtividade de espigas com palha (kg ha^{-1}), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e peso de mil grãos.

Nas avaliações de altura de plantas, a medição foi feita com o auxílio de uma trena aos 30 DAE, e de uma régua adaptada aos 60 DAE. Já as medições da espessura de colmo foram feitas com o uso de paquímetro. Cada parcela teve oito plantas avaliadas, escolhidas ao acaso dentro da área útil da parcela, de acordo com Repke *et al.* (2013). As avaliações aos 30 DAE foram feitas no dia 24 de fevereiro de 2020, no estágio de desenvolvimento V5 e as de 60 DAE foram feitas no dia 26 de março de 2020, no estágio de desenvolvimento R1. Nas medições de altura foi considerado para medição o nível do solo até a inserção da última folha verdadeira (bandeira) com o colmo. Nas medições da espessura do colmo, o paquímetro foi colocado imediatamente abaixo da inserção da folha bandeira com o colmo (Figura 12).

Figura 12 - Avaliações de espessura do colmo e altura de plantas aos 30 e 60 DAE.



Fonte: Autor (2020).

As avaliações de produtividade de espigas de milho com palha, produtividade de grãos e peso de mil grãos foram feitas depois da secagem do milho. Como houve a necessidade de antecipação da colheita por causa de ataque de aves, os grãos de milho estavam com umidade inadequada para armazenamento e fora do padrão de umidade para a comercialização do grão. Por isso, buscou-se a secagem do milho a umidade aproximada de 13%, através de secagem natural a campo. As espigas colhidas de cada parcela foram colocadas para secar ao sol durante sete dias (Figura 13).

Figura 13 - Secagem natural a campo das espigas de milho.



Fonte: Autor (2020).

Após a secagem, as espigas colhidas de cada parcela foram pesadas e depois debulhadas em debulhador manual (Figura 14). Com o peso das espigas e dos grãos após a debulhagem, foram obtidas as estimativas de produtividade em kg ha^{-1} para cada parcela.

Figura 14 - Operações de debulhagem, pesagem e contagem para as avaliações de produtividade do milho.



Fonte: Autor (2020).

4.4.2 Análise foliar

A coleta de folhas para a análise foliar foi feita no dia 17 de março de 2020, na ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento). Seguindo as recomendações de Martinez, Carvalho e Souza (1999), foram coletadas amostras no terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central, de oito plantas em cada parcela (Figura 15). Cada amostra foi acondicionada em sacos de papel, identificadas e enviadas para

o laboratório, no mesmo dia da coleta. A amostragem ocorreu 12 dias após a adubação nitrogenada.

Figura 15 - Amostragem das folhas para análise foliar.



Fonte: Autor (2020).

4.4.3 Análise de solo após o cultivo do milho

A coleta das amostras para a análise de solo (Figura 16) foi feita com o auxílio de um enxadão e um cavador reto. O enxadão foi utilizado para abrir os buracos de 0 a 20 cm. O cavador reto foi utilizado para a raspagem da “parede” do perfil de solo e coleta do material. Foram colhidas cinco amostras simples em cada parcela e misturadas para a obtenção de uma amostra composta por parcela, resultando em 20 amostras. Elas foram retiradas na linha de plantio, dentro da área útil da parcela e em pontos ao acaso. A coleta foi realizada no dia 06 de maio de 2020.

Figura 16 - Coleta de amostras para a análise de solo das parcelas.



Fonte: Autor (2020).

4.4.4 Análise econômica

Foi feita uma análise econômica para saber qual dos tratamentos teve o maior retorno econômico. Para isso, a produtividade de cada tratamento foi convertida em sacas de 60 kg ha⁻¹ para ser feito o cálculo da receita líquida após a adubação simulando a venda da produção por ha. Os valores gastos com os adubos e com a sua aplicação representaram os custos, os quais variaram em função das diferentes adubações realizadas para cada tratamento. Para compor a receita, foi considerada a cotação da saca de 60 kg de milho, cotada no dia 12 de dezembro de 2020 e para compor o custo, os valores cobrados na região pelo saco de 50 kg, de ureia, de superfosfato simples e de cloreto de potássio, e pela diária de um homem para trabalhar na aplicação dos adubos. Esses valores estão apresentados na Tabela 5. Não foram utilizados outros custos de produção na análise, por serem iguais em todos os tratamentos e por não contribuírem na avaliação econômica das diferentes adubações utilizadas nos tratamentos.

Tabela 5 - Cotações dos componentes de receita e custos de produção dos adubos utilizados nos diferentes tratamentos.

Componentes	Cotações (R\$)
Saca de milho (60 kg)	71,00
Composto orgânico (t)	5,00
Ureia (saco de 50 kg)	122,00
Superfosfato simples (saco de 50 kg)	70,00
Cloreto de potássio (saco de 50 kg)	110,00
Diária (homem dia ⁻¹)	80,00

Fonte: Autor (2020).

Como os tratamentos que receberam adubação mineral tiveram o seu parcelamento, considerou-se que nestes foram necessárias três diárias por ha para realizar as três adubações (uma no plantio e mais dois parcelamentos em cobertura). O tratamento que recebeu apenas o composto orgânico necessitou de uma diária por ha para que fosse feita a adubação (uma adubação na ocasião do plantio). A maior parte dos agricultores familiares desta região que cultivam o milho realizam os tratos culturais com operações manuais, por isso foi considerada a aplicação manual do adubo. As quantidades de fertilizantes minerais em sacos de 50 kg por ha necessárias para cada tratamento estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade de adubos por tratamento em sacos de 50 kg por ha.

Tratamentos	Ureia	Superfosfato simples	Cloreto de potássio
100 % CO	00	00	00
75% CO + 25% AM	02	07	00
50% CO + 50% AM	03	08	00
25% CO + 75% AM	04	10	01
100% AM	05	12	03

CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Fonte: Autor (2020).

Na Tabela 7 estão descritas as produtividades de cada tratamento convertidas em sacas de 60 kg por ha.

Tabela 7 - Produtividades dos tratamentos em sacas de 60 kg.

Tratamentos	Produtividade em kg ha⁻¹	Produtividade em sacas de 60 kg
T1 - 100 % CO	3354	55
T2 - 75% CO + 25% AM	3722	62
T3 - 50% CO + 50% AM	3343	55
T4 - 25% CO + 75% AM	4277	71
T5 - 100% AM	4531	75

CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Fonte: Autor (2020).

Para calcular a receita líquida nos diferentes tratamentos foi utilizada a fórmula abaixo.

$$A = B - C$$

Onde:

A = Receita líquida com a aplicação dos adubos por ha.

B = Receita bruta por ha.

C = Custos da adubação.

(1)

Ressalta-se que esse cálculo não é de fato o lucro obtido pelo produtor, já que não se considerou todos os custos de produção envolvidos e apenas aqueles ligados ao manejo da adubação, que é o alvo dos tratamentos do presente trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliações agronômicas

Os resultados de altura das plantas e espessura do colmo estão apresentados na Tabela 8. Nota-se que foram observadas diferenças entre as médias dos tratamentos para a altura das plantas avaliadas no estágio V5. O tratamento contendo 100% de adubação mineral foi superior em relação aos demais. Para as demais variáveis não foram observadas diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Médias das características agronômicas.

Tratamento	Altura das plantas - estágio V5 (m)	Espessura do colmo estágio V5 (cm)	Altura das plantas - estágio R1 (m)	Espessura do colmo estágio R1 (cm)
T1 - 100% do composto orgânico	0,610 b	1,250 a	2,225 a	0,650 a
T2 - 75% composto e 25% adubação mineral	0,563 c	1,167 a	2,187 a	0,700 a
T3 - 50% composto orgânico e 50% adubação mineral	0,623 b	1,250 a	2,258 a	0,750 a
T4 - 25% composto orgânico e 75% adubação mineral	0,630 b	1,200 a	2,297 a	0,733 a
T5 - 100% adubação mineral	0,720 a	1,300 a	2,273 a	0,750 a
Média	0,629	1,233	2,248	0,717
CV (%)	5,22	7,95	4,06	8,82

¹Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2020).

Esses resultados podem ser explicados devido ao adubo mineral liberar os nutrientes mais rápido para as plantas logo após a sua aplicação, pois esses adubos apresentam alta solubilidade. Enquanto que os adubos orgânicos precisam de um tempo para que ocorra a sua mineralização e assim disponibilizem para as plantas todos os nutrientes que possuem (KIEHL, 2002).

Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para as seguintes variáveis: produtividade de espigas com palha e peso de 1000 grãos, conforme Tabela 9. Já para a produtividade de grãos, os tratamentos contendo 100% de adubação mineral e 25% de adubação orgânica + 75% de adubação mineral foram semelhantes e superiores aos demais, os quais também não diferenciaram entre si. Com relação à produtividade, constata-se que os nutrientes aportados via adubo orgânico não devem ultrapassar a proporção de 25% em relação à exigência da planta.

Tabela 9 - Médias das características agronômicas.

Tratamento	Produtividade de espigas com palha (kg ha⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)	Peso de 1000 grãos (g)
T1 - 100% do composto orgânico	4292 a	3354 b	233,0 a
T2 - 75% composto e 25% adubação mineral	4750 a	3722 b	236,3 a
T3 - 50% composto orgânico e 50% adubação mineral	4250 a	3343 b	233,3 a
T4 - 25% composto orgânico e 75% adubação mineral	5249 a	4277 a	225,0 a
T5 - 100% adubação mineral	5750 a	4531 a	235,8 a
Média	4858	3846	232,7
CV (%)	15,12	13,90	3,62

¹Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

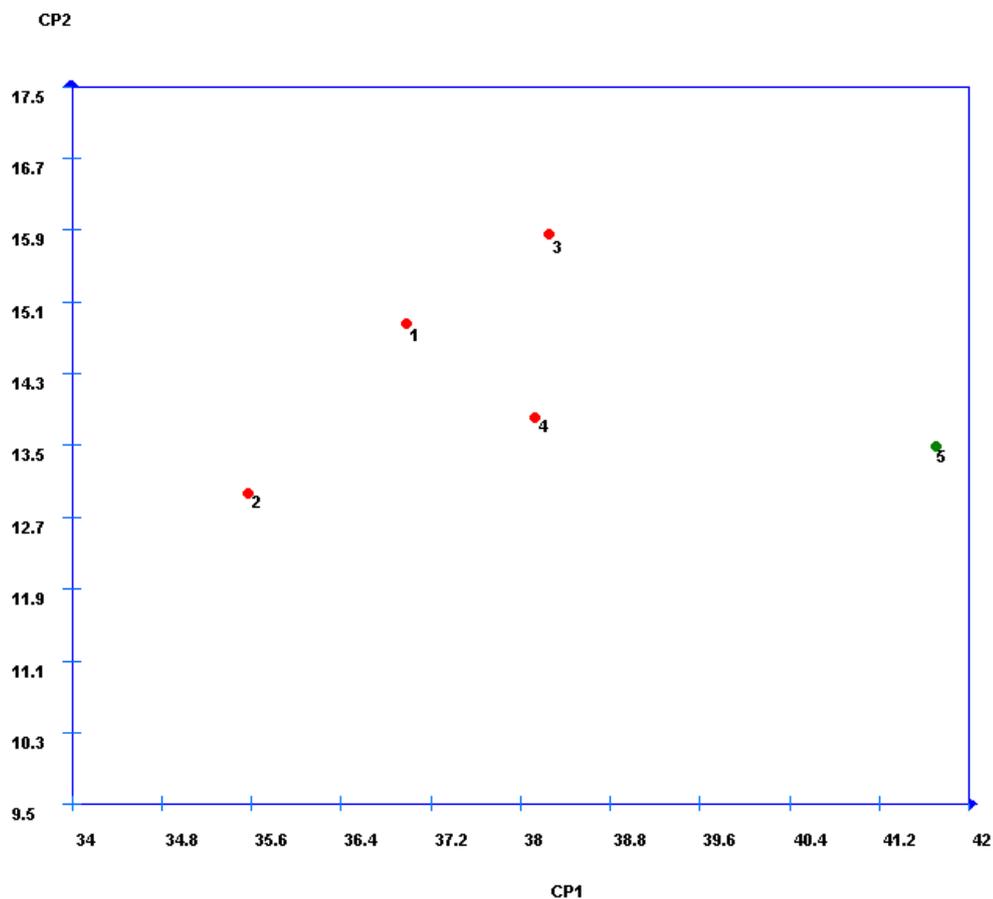
Fonte: Autor (2020).

Esses resultados na produtividade podem estar relacionados à velocidade de liberação dos nutrientes para as plantas em relação às fontes utilizadas. Os nutrientes presentes no adubo orgânico precisam de tempo maior para que ocorra a sua mineralização e absorção, quando comparadas as fontes minerais (KIEHL, 2002). Esse tempo maior na disponibilidade dos nutrientes, conseqüentemente afetará na produtividade do cultivo, sobretudo no primeiro ciclo de cultivo, pois mesmo que tenha sido considerado o índice de conversão no cálculo da dose do composto orgânico, esse índice é considerado para o prazo de um ano, tempo maior do que o ciclo da cultura do milho. Como a matéria orgânica possui um efeito residual, é de se esperar que, ao passar do tempo e com a continuidade da aplicação do composto orgânico, a

produtividade das áreas que receberam a adubação orgânica seja equivalente às que receberam somente adubação mineral. Outro fator que pode ter influenciado na menor produtividade do tratamento que recebeu apenas o composto orgânico, é o fato que este tratamento não recebeu todo o aporte de P requerido pela cultura, embora as concentrações na folha não indicaram deficiência.

Na Figura 17 observa-se a dispersão dos cinco tratamentos quanto às características agronômicas, e pode-se observar que a dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais (CP), CP1 e CP2, formaram dois grupos distintos que absorveram 91,66% da variação existentes nas características originais, sendo o CP1 com 73,21% e o CP2 com 18,45%. O primeiro grupo foi formado pelo tratamento 1 - 100% adubação mineral, ponto destacado pela cor verde, e o segundo grupo pelos demais tratamentos, pontos destacados pela cor vermelha. Os resultados apresentados na Figura 17 confirmam os apresentados na Tabela 8 e Tabela 9, onde o tratamento 5 – 100% de adubação mineral, foi superior aos demais para as características produtividade de milho em grãos.

Figura 17 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características agronômicas.



Fonte: Autor (2020).

5.2 Análise foliar

Na Tabela 10, observa-se que não houve diferenças entre os níveis foliares de macronutrientes e micronutrientes dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Médias das análises foliares.

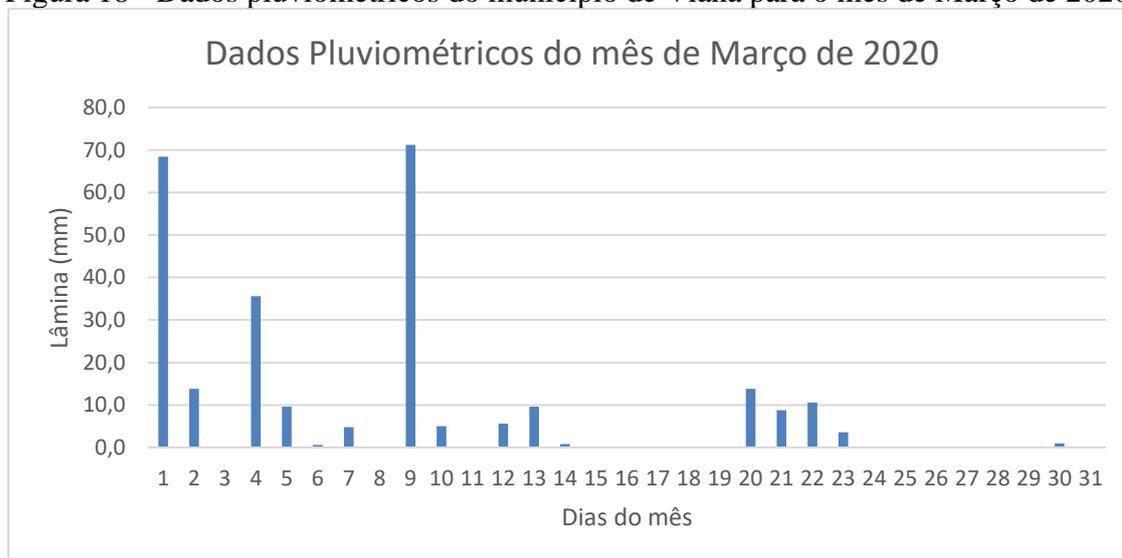
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
T1 - 100% do composto orgânico	19,83 a	3,02 a	22,35 a	7,43 a	0,943 a	1,418 a	226,75 a	13,25 a	6,00 a	37,75 a	13,50 a
T2 - 75% composto e 25% adubação mineral	20,49 a	3,34 a	23,13 a	7,40 a	1,030 a	1,583 a	204,75 a	16,75 a	7,00 a	39,25 a	11,50 a
T3 - 50% composto orgânico e 50% adubação mineral	22,49 a	3,30 a	22,04 a	8,10 a	0,943 a	1,640 a	232,75 a	15,75 a	7,00 a	41,00 a	10,75 a
T4 - 25% composto orgânico e 75% adubação mineral	22,05 a	3,28 a	25,29 a	6,84 a	1,137 a	1,800 a	205,33 a	13,33 a	7,67 a	41,33 a	13,67 a
T5 - 100% adubação mineral	23,84 a	3,62 a	24,07 a	6,86 a	0,943 a	1,735 a	173,25 a	16,50 a	7,75 a	46,75 a	11,25 a
Média	21,74	3,31	23,37	7,32	0,999	1,635	208,57	15,12	7,08	41,22	12,13
CV (%)	14,37	20,08	7,76	18,91	12,04	9,73	22,7	23,21	23,69	10,2	17,55

¹Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2020).

Os teores médios de N apresentados entre os tratamentos demonstraram deficiência deste nutriente. Em parte, essa deficiência pode ser explicada devido à grande precipitação ocorrida logo após a última adubação com ureia. De acordo com os dados meteorológicos para o município de Viana (Figura 18), foi registrada uma precipitação de 71,2 mm no dia 09 de março (INCAPER, 2020), apenas quatro dias após a adubação de cobertura com ureia. A data de coleta das folhas para a análise foliar foi no dia 17 de março. Em todo o mês de março foram registrados 263 mm de chuva. Esse grande acumulado de chuva pode ter contribuído para perdas de N por escoamento superficial na área do experimento e também por lixiviação. De acordo com Ernani, Sangoi e Rampazzo, (2002), a aplicação de N amoniacal através da adição de matéria orgânica no solo, pode contribuir para perdas de N pelo processo de lixiviação, quando condições de oxigenação, umidade e temperatura estão favoráveis para à atividade microbiana responsáveis pela nitrificação. Outro fator é que com o aumento da CTC nos tratamentos que receberam o composto orgânico, o NO_3^- fica mais suscetível às perdas por lixiviação. Silva *et al.* (1999) observaram que o teor de N do limbo foliar de abóbora híbrida decresceu a medida em que se aumentou a dose de composto orgânico associado ao decréscimo de adubo mineral na adubação.

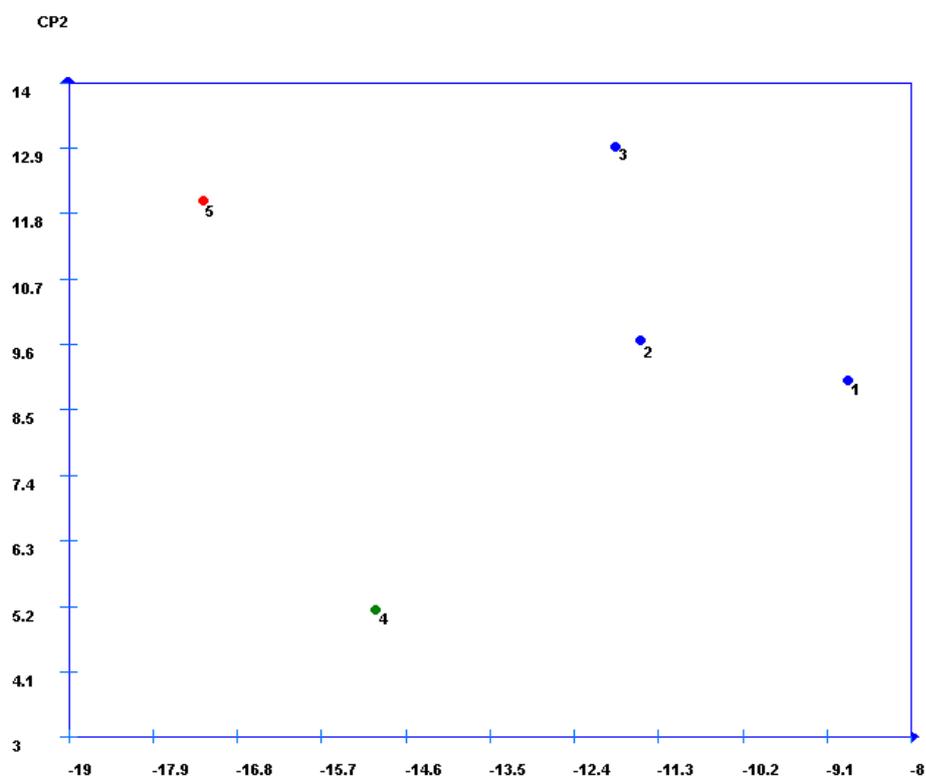
Figura 18 - Dados pluviométricos do município de Viana para o mês de Março de 2020.



Fonte: Autor (2020).

O gráfico da Figura 19 apresenta a dispersão dos cinco tratamentos quanto às características de análise foliar e pode-se observar que a dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, que formaram três grupos distintos e que os dois componentes absorveram 76,67% da variação existentes nas características originais, sendo o CP1 com 41,08% e o CP2 com 35,59%. O primeiro grupo foi formado pelo tratamento 5 - 100% adubação mineral, ponto destacado pela cor vermelho, o segundo grupo pelo tratamento 4 - 25% composto orgânico e 75% adubação mineral, ponto destacado pela cor verde, e, por último, o terceiro grupo formado pelos demais tratamentos, representados pela cor azul. Os resultados apresentados na Figura 19 mostram que o tratamento com 100% de adubação mineral e o tratamento com 75% de adubação mineral e 25% de composto orgânico são dissimilares aos demais tratamentos, considerando as características de análise foliar.

Figura 19 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características de análise foliar.



Fonte: Autor (2020).

5.3 Avaliações de solo

As variáveis avaliadas das análises de solo dos tratamentos, com exceção do teor de Mn, não apresentaram diferenças entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Tabela 11).

Tabela 11 - Médias das análises de solo.

Parâmetros	T1 - 100% do composto orgânico	T2 - 75% composto orgânico e 25% adubação mineral	T3 - 50% composto orgânico e 50% adubação mineral	T4 - 25% composto orgânico e 75% adubação mineral	T5 - 100% adubação mineral	Média	CV (%)
P Mehlich	29,25 a	40,50 a	42,75 a	35,67 a	41,00 a	37,83	31,56
K	160,00 a	177,50 a	155,00 a	143,33 a	114,50 a	150,07	17,41
S	11,25 a	9,25 a	8,75 a	8,67 a	10,50 a	9,68	35,71
Ca	4,00 a	5,00 a	4,63 a	4,20 a	3,48 a	4,26	20,21
Mg	0,850 a	1,000 a	0,875 a	0,900 a	0,775 a	0,880	16,63
pH	6,65 a	6,85 a	6,78 a	6,73 a	6,50 a	6,70	3,49
MO	1,850 a	1,900 a	1,900 a	1,867 a	1,800 a	1,863	14,91
Fe	124,75 a	115,75 a	139,25 a	156,67 a	120,25 a	131,33	44,09
Zn	3,10 a	3,43 a	3,10 a	3,33 a	3,03 a	3,20	16,06
Cu	2,30 a	3,38 a	2,58 a	2,43 a	1,58 a	2,45	17,44
Mn	66,75 b	91,25 a	76,75 a	86,33 a	67,75 b	77,77	13,30
B	0,580 a	0,545 a	0,523 a	0,523 a	0,633 a	0,561	15,08
Na	14,25 a	17,50 a	13,50 a	12,00 a	5,50 b	12,55	22,91
SB	5,30 a	6,53 a	5,95 a	5,53 a	4,58 a	5,58	18,84
CTC efetiva	5,30 a	6,53 a	5,95 a	5,53 a	4,58 a	5,58	18,84
CTC a pH 7	7,63 a	8,60 a	8,08 a	7,83 a	7,13 a	7,85	9,88
Saturação de Bases	67,95 a	75,88 a	73,18 a	69,97 a	63,85	70,16	9,93

¹Médias seguidas de uma mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

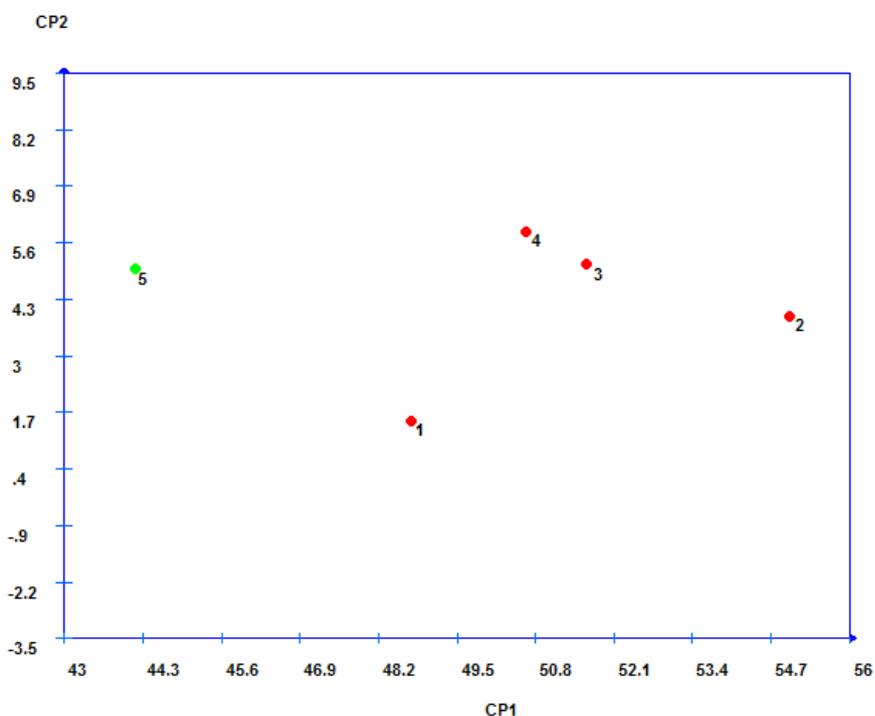
Fonte: Autor (2020).

Como a dose total de composto orgânico foi calculada com base no N e o teor de P no composto orgânico é baixo, as parcelas do tratamento que recebeu somente adubação orgânica não tiveram a quantidade necessária de P para satisfazer a cultura adicionada no solo. Isso fez com que este tratamento apresentasse os menores valores médios deste nutriente entre os tratamentos. Mesmo assim, não foi observada diferença deste nutriente em nenhum dos tratamentos.

Os valores médios dos teores de K e Ca no solo, de cada tratamento, tiveram aumento à medida em que foram aumentando as proporções do composto orgânico até o percentual de 75% de composto orgânico + 25% de adubação mineral. Este tratamento apresentou o maior valor das médias destes nutrientes, com valores de $177,5 \text{ mg dm}^{-3}$ e $5,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o K e Ca, respectivamente, conforme Tabela 11. Foi observado que os valores mínimos das médias de K e Ca, no valor de $114,5 \text{ mg dm}^{-3}$ e $3,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, foi apresentado no tratamento que recebeu somente adubação mineral. Esse comportamento pode ser explicado devido ao composto orgânico apresentar bons teores destes nutrientes. Outro ponto é que como a dose de composto orgânico a ser utilizada foi calculada com base no N e para este nutriente, assim como para o P, foi considerado um índice de conversão de 50% para o primeiro ano de cultivo, no caso do K, que teve um índice de conversão considerado de 100%, a quantidade deste nutriente recebida em alguns tratamentos foi maior do que a recomendada para a cultura, resultando um excedente de K. Quando observamos apenas os valores médios da CTC efetiva e da CTC a pH 7,0, podemos notar variações entre os valores mínimo e máximo das médias, entre os tratamentos, semelhantes ao dos níveis de K e Ca, evidenciando a íntima relação entre essas bases com a CTC do solo.

A dispersão dos cinco tratamentos quanto às características dos valores de análise de solo pode ser observada na Figura 20. Pode-se observar que a dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2, que formaram dois grupos distintos e que os dois componentes absorveram 86,28% da variação existentes nas características originais, sendo o CP1 com 73,42% e o CP2 com 12,86%. O primeiro grupo foi formado pelo tratamento 5 - 100% adubação mineral, ponto destacado pela cor verde, e o segundo grupo pelos demais tratamentos, pontos destacados pela cor vermelha. Os resultados apresentados na Figura 20 mostram que o tratamento com 100% de adubação mineral é dissimilar aos demais tratamentos, considerando as características de análise de solo.

Figura 20 - Diagrama de dispersão em relação aos dois primeiros componentes principais dos cinco tratamentos: 1-100% do composto orgânico; 2-75% composto e 25% adubação mineral; 3-50% composto orgânico e 50% adubação mineral; 4-25% composto orgânico e 75% adubação mineral; 5-100% adubação mineral; quanto às características de análise de solo.



Fonte: Autor (2020).

5.4 Análise econômica

Os resultados com a receita líquida após a adubação, receita bruta e custos com a adubação por ha de cada tratamento estão apresentados na Tabela 12:

Tabela 12 - Receita bruta, custos e receita líquida com a adubação.

Tratamentos	Receita bruta/ha	Custos com adubação/ha	Receita líquida após adubação/ha
T1 - 100 % CO	R\$ 3.905,00	R\$ 180,00	R\$ 3.725,00
T2 - 75% CO + 25% AM	R\$ 4.402,00	R\$ 1.049,00	R\$ 3.353,00
T3 - 50% CO + 50% AM	R\$ 3.922,75	R\$ 1.216,00	R\$ 2.706,75
T4 - 25% CO + 75% AM	R\$ 5.017,33	R\$ 1.563,00	R\$ 3.454,33
T5 - 100% AM	R\$ 5.325,00	R\$ 2.020,00	R\$ 3.305,00

CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Fonte: Autor (2021).

Quando comparadas as médias da receita líquida após a adubação pelo teste de Scott-Knott, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias da receita líquida após a adubação.

Tratamentos	Receita líquida após a adubação (R\$/ha)
T1 - 100% CO	3725,00 a
T2 - 75% CO + 25% AM	3353,00 a
T3 - 50% CO + 50% AM	2706,75 a
T4 - 25% CO + 75% AM	3454,33 a
T5 - 100% AM	3305,00 a
Média	3308,82
CV (%)	19,06

¹Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

CO: Composto orgânico; AM: Adubo mineral.

Fonte: Autor (2021).

Esses resultados mostram que, mesmo com as maiores produtividades obtidas no tratamento que recebeu 100% de adubo mineral, a diminuição crescente dos custos para efetuar as adubações nos tratamentos, à medida em que diminuíram as porcentagens de adubos minerais nas doses das adubações, contribuíram para que esses tratamentos apresentassem receita líquida com a adubação parecida ao tratamento que recebeu apenas a adubação mineral. Esse fato indica a potencialidade de uso do composto contendo a borra de café como fertilizante na agricultura, considerando aspectos econômicos. Apesar de haver, em determinadas situações, redução de produtividade, a receita líquida após a adubação não foi reduzida comparativamente ao uso de adubos minerais. Assim, o uso do composto como fertilizante pode ser considerado como uma forma adequada de destinação final do subproduto (borra de café), apresentando vantagens agronômicas, econômicas e ambientais.

Foi observado que todos os tratamentos que receberam adubação mineral tiveram aumentos consideráveis nos custos de produção envolvidos na prática de adubação, quando comparado ao tratamento que recebeu apenas o composto orgânico. Isso se deve ao maior custo dos adubos minerais e a necessidade de parcelamento das adubações, resultando em mais gastos com mão de obra. Vale lembrar, que foi considerado apenas os custos com a adubação (custos dos adubos e a sua aplicação) para compor os custos. Por isso esses valores não representam

um real valor de lucro, tendo que ser considerados outros custos de produção para a obtenção deste valor.

6 CONCLUSÕES

O composto orgânico produzido na Fazenda Experimental de Viana com o uso de resíduo de borra de café, apresentou resultados satisfatórios na nutrição da cultura do milho, principalmente quando utilizado de forma complementar à adubação mineral.

O composto orgânico reduziu o custo das adubações quando aplicado em maiores proporções substituindo os adubos minerais. A adubação com composto orgânico apresentou lucratividade equivalente à adubação mineral, devido ao menor custo de adubação por ha.

REFERÊNCIAS

- ABIC. **Associação Brasileira da Indústria do Café**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://abic.com.br/estatisticas/#4178>. Acesso em: 20 set. 2018.
- ABICS. **Associação Brasileira da Indústria do Café Solúvel**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agenciap1.files.wordpress.com/2020/01/relatc3b3rio-do-cafc3a9-solc3bavel-do-brasil-jan2020.pdf>. Acesso em: 8abr. 2021.
- ADI, A. J.; NOOR, Z. M. Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 100, n. 2, p. 1027–1030, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.024>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- ARAÚJO, M. J. **Fundamentos de agronegócios**. 2. ed. São Paulo-SP: Atlas, 2009.
- BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 3493–3503, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- BRASIL. **Presidência da República**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2 ago. 2010. Seção 1, p. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 6 mar. 2021.
- BUENO, P. *et al.* Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 99, n. 11, Exploring Horizons in Biotechnology: A Global Venture, p. 5069–5077, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.087>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- BUTLER, T. A. *et al.* Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. **Journal of Environmental Quality**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 2141–2148, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2141>
- CAMARGO, F. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre-RS: Gênese, 1999.
- CANELLAS, L. P. *et al.* Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 196, Biostimulants in Horticulture, p. 15–27, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- COOPER, M. *et al.* **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático**. Piracicaba-SP: USP/ESALQ, 2010. *E-book*.
- COSTA FILHO, D. V. *et al.* Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais na Elaboração de Subprodutos. *In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS–COINTER–PDVAGRO*, 2017, Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN – Campus Natal Central). **Anais**. Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN – Campus Natal Central): [s. n.], 2017. p. 8. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/02/APROVEITAMENTO-DE-RES%C3%84DUOS-AGROINDUSTRIAIS-NA-ELABORA%C3%87%C3%83O-DE-SUBPRODUTOS.pdf>

COUTO, R. M. *et al.* Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds. **The Journal of Supercritical Fluids**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 159–166, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.09.009>. Acesso em: 7 mar. 2021.

D'ALMEIDA, D. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo-SP: IPT:CEMPRE, 2000.

DINIZ FILHO, E. T. *et al.* A PRÁTICA DA COMPOSTAGEM NO MANEJO SUSTENTÁVEL DE SOLOS. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 27–36, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.18378/rvads.v2i2.41>. Acesso em: 7 mar. 2021.

EPSTEIN, E. **The Science of composting**. Lancaster: Technomic, 1997.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 993–1000, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400017>. Acesso em: 7 mar. 2021.

FAO. **FAO - Notícias: O desperdício alimentar tem consequências ao nível do clima, da água, da terra e da biodiversidade – novo estudo da FAO**. [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/pt/item/204029/icode/>. Acesso em: 7 mar. 2021.

FERREIRA, A. **Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 95 f. 2011. masterThesis - Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Bragança - Portugal, 2011. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/6889>. Acesso em: 7 mar. 2021.

ICO. **International Coffee Organization**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.ico.org>. Acesso em: 8 abr. 2021.

INCAPER. **Previsão do tempo**. [S. l.], 2020. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/previsao-do-tempo-24h>. Acesso em: 10 maio 2020.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3. ed. Piracicaba-SP: Edição do autor, 2002.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba-SP: Edição do autor, 2004.

KONDAMUDI, N.; MOHAPATRA, S. K.; MISRA, M. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 56, n. 24, p. 11757–11760, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf802487s>

MARSCHENER, H. **Mineral Nutrition of Higher plants**. London: Academic Press, 1995.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (org.). **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. p. 143–168.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 1968–1987, 2015. Disponível em: <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/880>. Acesso em: 7 mar. 2021.

OLIVEIRA, F. N.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/418734/uso-da-compostagem-em-sistemas-agricolas-organicos>

PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 153–162, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X). Acesso em: 7 mar. 2021.

PREZOTTI, L. C. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória-ES: Instituto Capixaba de Pesquisas, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, 2010.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. 18. ed. São Paulo-SP: Nobel, 2006.

REPKE, R. A. *et al.* Eficiência da *Azospirillum brasilense* Combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 214–226, 2013.

ROS, M. *et al.* Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 38, n. 12, p. 3443–3452, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.017>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SALES JÚNIOR, R. *et al.* Aspectos quantitativos e qualitativos de melão cultivado sob doses de fertilizantes orgânicos. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 718–721, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000300005>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, [s. l.], v. 69, p. 136–153, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SANTOS, D. M. **Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial**. 2010. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.86.2010.tde-11112010-082539>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SCHERER, E. E. Efeitos de fontes de esterco e composto orgânico na produção de milho e feijão no sistema orgânico sob plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 60–64, 2011. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/691>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. dos; LIMA, P. C. de. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 61, n. supl., p. 829–837, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000008>. Acesso em: 7 mar. 2021.

SILVA, N. F. *et al.* ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA DA ABÓBORA HÍBRIDA: ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], p. 19–28, 1999. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2882>. Acesso em: 7 mar. 2021.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre-RS: EMATER/RSASCAR, 2008.

TESTA, V. M. *et al.* **O desenvolvimento sustentável do Oeste Catarinense**. Florianópolis-SC: EPAGRI, 1996.

TORRENTÓ, M. S.; MARTÍNEZ, M. L.; HUERTA, O. Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. **Ediciones Mundi-Prensa**, Madrid, 2008. Compostaje, p. 76–90. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3229468>. Acesso em: 7 mar. 2021.

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, [s. l.], v. 58, n. 224, p. 59–85, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v58i224.5074>. Acesso em: 7 mar. 2021.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. **Informações econômicas**, [s. l.], v. 24, p. 9–16, 1994.

APÊNDICE A –MEMORIAL DE CÁLCULO PARA AS ADUBAÇÕES DOS TRATAMENTOS

Para se calcular a quantidade total de composto necessária para fornecer todo o N recomendado para a cultura foi utilizada a seguinte Equação 1:

$$X = \frac{A}{(B/100) \times (D/100) \times (C/100)} \quad (2)$$

Onde: X = Quantidade do composto orgânico a ser aplicado em kg⁻¹ ha.

A = Quantidade do nutriente requerido pela cultura em kg⁻¹ ha.

B = Matéria seca do composto (%).

D = Teor do nutriente na matéria seca do composto (%).

C = Índice de conversão do nutriente (%).

De acordo com a análise de solo e o Manual de Adubação do Espírito Santo, a quantidade de NPK requeridos pela cultura do milho em cultivo irrigado, são: de 110 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹, respectivamente.

O nutriente balizador para a dosagem do composto será o N, por este ser o mais requerido pela cultura e também um dos de maior disponibilidade no composto.

Sendo assim, aplicando a fórmula, teremos:

$$X = \frac{110}{(55,6/100) \times (1,98/100) \times (50/100)} = 19,98 \text{ ou } 20 \text{ t ha}^{-1}$$

Calculando as quantidades de adubo:

Quantidades N P K a serem fornecidas

N	P	K
110 kg ha ⁻¹	100 kg ha ⁻¹	70 kg ha ⁻¹

Ureia

- **T5**
100 kg ureia ----- 46 kg de N
x-----110 kg de N
x = 239,13 kg ha⁻¹ de ureia ou 240 kg ha⁻¹
- **T4**
75% de 240 = 180 kg ha⁻¹
- **T3**
50% de 240 = 120 kg ha⁻¹
- **T2**
25% de 240 = 60 kg ha⁻¹
- **T1**
Fornecido exclusivamente pelo composto.

Super simples

- **T1**
Considerando o teor de 1 % de P₂O₅ na base seca de 55,6%, em 20 t do composto será fornecido 111 kg de P₂O₅ pelo composto.
Considerando índice de conversão de 50% para o primeiro ano de aplicação, será fornecido 56 kg de P₂O₅.

- **T2**

75% de 56 = 42 kg de P_2O_5 que serão fornecidos pelo composto.

Quantidade de super simples necessária para completar a exigência da cultura:

100 kg – 42 kg = 58 kg de P_2O_5 restantes

100 kg de ss ----- 18 kg de P_2O_5

x----- 58 kg de P_2O_5

x = 322 $kg\ ha^{-1}$ de ss

- **T3**

50% de 56 = 28 kg de P_2O_5 que serão fornecidos pelo composto.

Quantidade de super simples necessária completar a exigência da cultura:

100 kg – 28 kg = 72 kg de P_2O_5 restantes

100 kg de ss ----- 18 kg de P_2O_5

x----- 72 kg de P_2O_5

x = 400 $kg\ ha^{-1}$ de ss

- **T4**

25% de 56 = 14 kg de P_2O_5 que serão fornecidos pelo composto.

Quantidade de super simples necessária para completar a exigência da cultura:

100 kg – 14 kg = 86 kg de P_2O_5 restantes

100 kg de ss ----- 18 kg de P_2O_5

x----- 86 kg de P_2O_5

x = 477 $kg\ ha^{-1}$ de ss

- **T5**

100kg de ss ----- 18 kg de P_2O_5

X ----- 100 kg de P_2O_5

X = 555 $kg\ ha^{-1}$ de ss

KCL• **T1**

Considerando teor de 1,36% de K_2O na base seca de 55,6%, em 20 t do composto será fornecido 151 kg de K_2O pelo composto. 81 kg a mais que a quantidade requerida.

* O índice de conversão de nutrientes da forma orgânica para a forma mineral para o K é de 100%.

• **T2**

75% de 151 = 113 kg de K_2O serão fornecidos pelo composto. 43 kg a mais que o requerido.

• **T3**

50% de 151 = 75 kg de K_2O serão fornecidos pelo composto. 5 kg a mais que o requerido.

• **T4**

25% de 151 = 38 kg de K_2O serão fornecidos pelo composto.

70 kg – 38 kg = 32 kg de K_2O

Quantidade de KCL necessária para completar a exigência da cultura:

100 kg de KCL ----- 60 kg de K_2O

x----- 32 kg de K_2O

x = 53 kg/ha de KCL

• **T5**

100 kg de KCL ----- 60 kg de K_2O

X ----- 70 kg de K_2O

X = 117 kg/ha de KCL

Dosagens dos tratamentos definidas em kg ha⁻¹:

T1) 20 t ha⁻¹ do composto;

T2) 15 t ha⁻¹ do composto + 60 kg ha⁻¹ de ureia + 322 kg ha⁻¹ de super simples;

T3) 10 t ha⁻¹ do composto + 120 kg ha⁻¹ de ureia + 400 kg ha⁻¹ de super simples;

T4) 5 t ha⁻¹ do composto + 180 kg ha⁻¹ de ureia + 477 kg ha⁻¹ de super simples + 53 kg ha⁻¹ de KCL;

T5) 0 t ha⁻¹ do composto + 240 kg ha⁻¹ de ureia + 555 kg ha⁻¹ de super simples + 117 kg ha⁻¹ de KCL.

Dosagens dos tratamentos em gm⁻¹:

As adubações foram aplicadas em suco ou na linha de plantio, por isso foram calculadas as doses em g/m, utilizando a equação:

$$\mathbf{g/m\ linear = (Q \times E)/10}$$

(3)

Onde: g/m linear = quantidade de adubo a ser aplicada em gramas por metro linear.

Q = quantidade de adubo recomendada em kg ha⁻¹

E = espaçamento em metros

Dosagens dos tratamentos em g m⁻¹ linear:

T1) 1.600 g m⁻¹ de composto;

T2) 1.200 g m⁻¹ de composto + 5 g m⁻¹ de ureia (parcelado em 2 vezes) + 26 g m⁻¹ de super simples;

T3) 800 g m⁻¹ de composto + 9,6 g m⁻¹ de ureia (parcelado em 2 vezes) + 32 g m⁻¹ de super simples;

T4) 400 g m⁻¹ de composto + 14,5 g m⁻¹ de ureia (parcelado em 2 vezes) + 38 g m⁻¹ de super simples + 4,2 g m⁻¹ de KCL;

T5) 0 t ha⁻¹ do composto + 19,2 g m⁻¹ de ureia (parcelado em 2 vezes) + 44 g m⁻¹ de super simples + 9,5 g m⁻¹ de KCL.