

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS AGRÍCOLA PORTO GRANDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

RAIENNE SILVA E SILVA
ROSIELE JANAINA BRITO PEREIRA

GONGOCOMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO DE HÚMUS

Porto Grande - AP

2025

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586g Silva, Raienne Da Silva e Silva
 GONGOCOMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA NA PRODUÇÃO DE
 HÚMUS / Raienne Da Silva e Silva Silva, Rosiele Janaina Brito Pereira
 Pereira. - Porto Grande, 2025.
 44 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande,
Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2025.

Orientadora: Alyne Cristina Sodré Lima Lima.
Coorientadora: Diego Pagung Ambrosini Ambrosini.

1. fertilizante orgânico. 2. diplópodes. 3. sustentabilidade agrícola. I.
Pereira, Rosiele Janaina Brito Pereira. I. Lima, Alyne Cristina Sodré Lima,
orient. II. Ambrosini, Diego Pagung Ambrosini, coorient. III. Título.

RAIENNE SILVA E SILVA
ROSIELE JANAINA BRITO PEREIRA

GONGOCOMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO DE HÚMUS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso
Bacharelado em engenharia agrônoma
como requisito avaliativo para obtenção do
título de engenheira agrônoma.

Orientadora: Dra. Alyne Cristina Sodré
Lima.

Coorientador: Dr. Diego Pagung Ambrosini

Porto Grande - AP

2025

RAIENNE SILVA E SILVA
ROSIELE JANAINA BRITO PEREIRA

GONGOCOMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA NA PRODUÇÃO DE HÚMUS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso
Bacharelado em Engenharia Agrônoma
como requisito avaliativo para obtenção
do título de Engenheira agrônoma.
Orientadora: Dra. Alyne Cristina Sodré
Lima.
Coorientador: Dr. Diego Pagung Ambrosini

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ALYNE CRISTINA SODRE LIMA
Data: 13/01/2026 13:16:03-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª. Dra. Alyne Cristina Sodré Lima (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente



LEONITA BEATRIZ GIRARDI
Data: 12/01/2026 22:32:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª. Dra. Leonita Beatriz Girardi
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente



LILIA RAQUEL FE DA SILVA
Data: 13/01/2026 09:01:58-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª. Dra. Lília Raquel Fé da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 12 / 12 / 2025.

Conceito/Nota: ___

AGRADECIMENTOS

Eu, Raienne da Silva e Silva

Expresso minha sincera gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela força, sabedoria e bênçãos concedidas ao longo de toda essa jornada, guiando meus passos e iluminando meu caminho.

À minha família, pelo apoio incondicional, pela paciência e por serem meu porto seguro nos momentos de desafio. Seu incentivo foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

À minha Orientadora, Alyne Lima, pela orientação valiosa, pela dedicação e pelos ensinamentos que enriqueceram não apenas este trabalho, mas a minha formação acadêmica. Sua expertise e paciência foram pilares para o desenvolvimento desta pesquisa. À minha dupla de TCC, Rosiele Brito, pela parceria incansável, pela colaboração em todos os momentos e pelo apoio mútuo durante todo o processo. Foi uma honra compartilhar esta etapa ao seu lado.

Por fim, a todos os amigos, professores e colegas que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista, o meu muito obrigado(a).

Eu, Rosiele Janaina Brito Pereira

A Deus, pela força divina que me sustenta diariamente e me permite seguir com determinação na busca pelos meus propósitos de vida.

Aos meus pais, pelo incentivo constante aos estudos, pelo apoio incondicional e por garantirem o conforto e os cuidados necessários para que eu pudesse trilhar esta jornada acadêmica com menos dificuldades.

Às minhas irmãs, que tornam mais leves os desafios do dia a dia e sempre me proporcionam apoio emocional.

À minha orientadora, Alyne Lima, e ao meu coorientador, Diego Pagung, pelas orientações, dedicação e pelas valiosas contribuições científicas que enriqueceram este trabalho e a minha formação.

E, por fim, agradeço imensamente à minha parceira de TCC, Raienne Silva, pela paciência, pela confiança depositada em nossa parceria e pelo companheirismo ao longo da elaboração deste trabalho tão significativo.

RESUMO

O húmus é a matéria orgânica final e estabilizada do solo, rica em nutrientes e ácidos húmicos, essencial para a fertilidade e estrutura do solo. Sua produção pode ser potencializada pela ação de organismos decompositores, como os gongolos (*Trigoniulus corallinus*), que são diplópodes detritívoros conhecidos como embuás, eficientes na fragmentação e transformação de resíduos vegetais em composto orgânico de alta qualidade, um processo conhecido como gongocompostagem. O estudo avaliou o valor nutricional do gongocomposto, um fertilizante orgânico produzido a partir da ação desses diplópodes. O estudo descritivo, foi desenvolvido ao longo de 120 dias, avaliou três sistemas de gongocompostagem, sendo um constituído apenas por esterco bovino, outro apenas por esterco caprino e um terceiro sistema composto pela associação de esterco bovino, esterco caprino e resíduos vegetais. As análises físico-químicas (Umidade, pH, Matéria orgânica Total, Carbono Orgânico, macro e micronutrientes e Condutividade elétrica) revelaram que o gongocomposto apresentou pH neutro (6,0 - 6,8), elevado teor de matéria orgânica (39,34% - 51,44%) e relação C/N estável (17-18), indicando maturação adequada. O gongocomposto exibiu teores de NPK (Nitrogênio (1,13 - 1,69 % m/m), Fósforo (0,70 - 1,66 % m/m) e Potássio (0,15 - 0,30 % m/m)) inferiores, porém destacaram-se pela significativa presença de Cálcio (6,37 - 12,75 % m/m), Magnésio (3,25 - 8,50 % m/m) e micronutrientes, além de uma boa estabilidade da matéria orgânica. Entre as amostras testadas, o húmus produzido a partir de esterco caprino e resíduos vegetais apresentou a maior média de qualidade geral, com os teores mais elevados de matéria orgânica total (42,53 - 55,23 %) e micronutriente. Concluiu-se que o gongocomposto é um fertilizante orgânico viável e de qualidade, com potencial para atuar como condicionador de solo e fonte complementar de nutrientes, promovendo a sustentabilidade agrícola através do aproveitamento de resíduos e da redução da dependência de insumos sintéticos.

Palavras-chave: fertilizante orgânico; diplópodes; sustentabilidade agrícola; resíduos orgânicos.

ABSTRACT

Humus is the final, stabilized organic matter of the soil, rich in nutrients and humic acids, essential for soil fertility and structure. Its production can be enhanced by the action of decomposer organisms, such as millipedes (*Trigoniulus corallinus*), which are detritivorous diplopods known as millipedes, efficient in fragmenting and transforming plant residues into high-quality organic compost, a process known as millipede composting. This study evaluated the nutritional value of millipede compost, an organic fertilizer produced from the action of these diplopod. The research, with a qualitative and descriptive approach, developed over 120 days, evaluated three millipede composting systems: one consisting only of bovine manure, another only of goat manure, and a third system composed of a combination of bovine manure, goat manure, and plant residues. Physicochemical analyses (Moisture, pH, Total Organic Matter, Organic Carbon, macro and micronutrients, and Electrical Conductivity) revealed that the gongocompost had a neutral pH (6.0 - 6.8), a high organic matter content (39.34% - 51.44%), and a stable C/N ratio (17-18), indicating adequate maturation. The gongocompost exhibited lower levels of NPK (Nitrogen (1.13 - 1.69% w/w), Phosphorus (0.70 - 1.66% w/w), and Potassium (0.15 - 0.30% w/w)), but stood out for the significant presence of Calcium (6.37 - 12.75% w/w), Magnesium (3.25 - 8.50% w/w), and micronutrients, in addition to good organic matter stability. Among the samples tested, the humus produced from goat manure and plant residues showed the highest average overall quality, with the highest levels of total organic matter (42.53 - 55.23%) and micronutrients. It was concluded that gongocompost is a viable and high-quality organic fertilizer, with the potential to act as a soil conditioner and a complementary source of nutrients, promoting agricultural sustainability through the use of residues and the reduction of dependence on synthetic inputs.

Keywords: organic fertilizer; millipedes; agricultural sustainability; organic waste.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Limpeza e implantação do experimento | 23 |
| Figura 2 - Pontos de coleta dos gongolos | 24 |
| Figura 3 - Processo inicial de produção de gongocomposto | 25 |
| Figura 4 - Processo de coleta dos húmus | 26 |
| Figura 5 - Identificação das amostras | 27 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Teor de umidade das amostras Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 30 |
| Gráfico 2 - pH das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 31 |
| Gráfico 3 - Condutividade elétrica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 32 |
| Gráfico 4 - Teor de matéria orgânica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 34 |
| Gráfico 5 - Teor de macronutrientes (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O e S), das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 37 |
| Gráfico 6 – Teor de macronutrientes (Ca e Mg), das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 38 |
| Gráfico 7 - Teor de Micronutrientes nas amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 39 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Parâmetros Físicos analisados das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 32 |
| Quadro 2 - Teor de Matéria Orgânica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 34 |
| Quadro 3 - Teor de Macronutrientes das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 36 |
| Quadro 4 - Teor de Micronutrientes nas amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV) | 39 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|---|
| CE | Condutividade Elétrica |
| C/N | Carbono e Nitrogênio |
| CTC | Capacidade de Troca Catiônica |
| GB | Gongocomposto à base de esterco bovino |
| GC | Gongocomposto à base de esterco caprino |
| GCBV | Gongocomposto à base de esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal |
| MAPA | Ministério da Agricultura e Pecuária |
| MO | Matéria Orgânica |
| UFU | Universidade Federal de Uberlândia |
| SMWW | Standard Methods for the examination of water and wastewater |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | PROBLEMÁTICA DE PESQUISA | 15 |
| 3 | OBJETIVOS | 16 |
| 3.1 | Objetivo Geral | 16 |
| 3.2 | Objetivos Específicos | 16 |
| 4 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 4.1 | Gongolos (Diplopoda): Organismos Detritívoros Essenciais no Solo | 17 |
| 4.2 | Ação Mecânica, Digestiva e Ambiente Intestinal Microbiano | 17 |
| 4.3 | Produção de Fezes com Alto Potencial Húmico | 18 |
| 4.4 | Gongocompostagem | 19 |
| 4.5 | Húmus: Produto Estável da Decomposição Orgânica | 20 |
| 4.6 | Importância Biológica | 21 |
| 4.7 | Funções Ecológicas e Agronômicas do Húmus | 21 |
| 5 | METODOLOGIA | 23 |
| 5.1 | Gongolários | 23 |
| 5.2 | Coleta dos Gongolos (Diplópodes) | 24 |
| 5.3 | Substratos utilizados | 25 |
| 5.4 | Análises físico-químicas | 26 |
| 5.4.1 | pH | 27 |
| 5.4.2 | Umidade | 27 |
| 5.4.3 | Matéria orgânica | 27 |
| 5.4.4 | Carbono orgânico | 28 |
| 5.4.5 | Nitrogênio total | 28 |
| 5.4.6 | Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Ferro, Zinco, Cobre, Manganês e Boro | 28 |
| 5.4.7 | Relação C/N (carbono/nitrogênio) | 28 |
| 5.5 | Análises estatística | 28 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 7 | CONCLUSÃO | 40 |
| | REFERÊNCIAS | 41 |

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o uso intensivo de fertilizantes químicos tem sido uma das principais estratégias adotadas pela agricultura convencional para garantir altos índices de produtividade (FAO, 2022). No entanto, essa prática tem gerado preocupações crescentes quanto aos impactos ambientais e à sustentabilidade do sistema agrícola. A aplicação excessiva e muitas vezes desbalanceada de adubos minerais pode causar a acidificação do solo, contaminação de corpos d'água por lixiviação de nitratos e fosfatos, além da redução da biodiversidade do solo (Zhang *et al.*, 2024). Segundo a FAO (2023), aproximadamente 30% dos solos agrícolas do mundo apresentam algum grau de degradação relacionado ao manejo inadequado de insumos químicos. Diante desse cenário, alternativas sustentáveis que promovam a manutenção da fertilidade do solo com menor impacto ambiental, como o uso de composto orgânico estabilizado via gongocompostagem, tem ganhado destaque na busca por uma agricultura mais resiliente e equilibrada segundo a FAO; Embrapa, 2015.

A gongocompostagem é um processo biotecnológico que utiliza diplópodes, popularmente conhecidos como gongolos ou embuá (*Trigoniulus corallinus*), para transformar resíduos orgânicos em compostos ricos em nutrientes. Estudos recentes demonstram que o gongocomposto apresenta propriedades físico-químicas favoráveis, como maior teor de umidade, carbono, nitrogênio, cálcio e magnésio, além de promover maior taxa de germinação e desenvolvimento de mudas de hortaliças quando comparado ao vermicomposto (Costa *et al.*, 2022).

Os gongolos (classe Diplopoda) são artrópodes detritívoros essenciais para a ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres, atuando na fragmentação ativa de serapilheira e resíduos vegetais lignocelulósicos (Fontanetti, 2021). Sua ação mecânica, através da mastigação, e enzimática, pela microbiota digestiva, converte matéria orgânica complexa em formas mais acessíveis para a atividade microbiana, acelerando a decomposição e a humificação (Hopkin; *et al*, 2022). Estudos ecofisiológicos demonstram que esses organismos possuem alta eficiência na assimilação de carbono e cálcio, contribuindo significativamente para a formação e estruturação do solo (Santos *et al.*, 2023). Além disso, sua sensibilidade a contaminantes e alterações ambientais os consolida como relevantes bioindicadores da qualidade do ecossistema (Oliveira; *et al*, 2022). Para além de sua função ecológica natural, os gongolos apresentam grande potencial biotecnológico, nomeadamente em processos de gongocompostagem para valorização de resíduos orgânicos (Costa *et al.*, 2024).

Apesar dos avanços, ainda são necessários estudos comparativos que avaliem a

qualidade nutricional dos compostos orgânicos produzidos por diferentes métodos, como a gongocompostagem e a vermicompostagem. A análise do grau de maturação desses compostos, por meio de índices de humificação e espectroscopia no infravermelho, são fundamentais para garantir sua eficácia e segurança na agricultura (Pereira, 2024).

O projeto Gongocompostagem como estratégia de produção de húmus, insere-se no contexto devido à crise global de degradação do solo e dependência de fertilizantes químicos, problema crítico no mundo e no Brasil, quarto maior consumidor mundial desses insumos. No Amapá, onde a agricultura familiar é predominante, a falta de alternativas sustentáveis limita a produtividade e aumenta custos.

A gongocompostagem surge como solução inovadora, transformando resíduos orgânicos locais em adubo de alta qualidade, reduzindo impactos ambientais e promovendo autonomia aos produtores.

Academicamente, o estudo avança no entendimento da eficiência de *Trigoniulus corallinus* na compostagem, gerando dados comparativos com fertilizantes convencionais. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar o valor nutricional do gongocomposto, equiparando com outros fertilizantes químicos amplamente utilizados na agricultura, como fertilizantes químicos e orgânicos disponíveis na região.

2. PROBLEMÁTICA DE PESQUISA

Diante do crescimento da demanda por alimentos e da intensificação das práticas agrícolas, o uso de fertilizantes químicos tornou-se uma solução amplamente adotada para suprir as necessidades nutricionais das plantas. No entanto, essa dependência crescente por adubos sintéticos tem causado impactos negativos significativos no solo, na água e na biodiversidade. Em especial, pequenos produtores, como os do Amapá, enfrentam não apenas a limitação no acesso a esses insumos caros, mas também as consequências da degradação ambiental associada ao seu uso prolongado e desregulado.

A escassez de alternativas locais, economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis para substituição dos fertilizantes minerais evidencia a necessidade urgente de buscar soluções adaptadas à realidade da agricultura familiar e aos desafios da sustentabilidade. A utilização de compostos orgânicos surge como uma opção promissora, mas ainda há lacunas científicas relevantes sobre a eficiência comparativa desses compostos, sobretudo os produzidos via gongocompostagem, frente aos fertilizantes comerciais convencionais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliação físico-química de gongocomposto produzido no município de Porto Grande-AP.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar as propriedades físico-químicas do gongocomposto produzido por *Trigoniulus corallinus* ao longo de 120 dias.

Comparar a qualidade nutricional do gongocomposto obtido a partir de esterco bovino, esterco caprino e da associação destes com resíduos vegetais, considerando macro e micronutrientes e a estabilidade da matéria orgânica.

Avaliar o potencial do gongocomposto como fertilizante orgânico, identificando o sistema de produção que apresenta melhor qualidade para uso como condicionador de solo e fonte complementar de nutrientes na agricultura sustentável.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Gongolos (Diplopoda): Organismos Detritívoros Essenciais no Solo

Os gongolos, pertencentes à classe Diplópodes, são artrópodes detritívoros amplamente distribuídos nos ecossistemas tropicais e subtropicais. Vive em serrapilheira, matéria orgânica em decomposição e solos ricos em umidade, onde exercem importante papel ecológico na fragmentação de resíduos vegetais e na aceleração do processo de decomposição da matéria orgânica (Gonçalves; *et al*, 2021).

Sua presença está diretamente relacionada à manutenção da saúde do solo, especialmente em áreas com cobertura vegetal diversificada. Eles atuam fisicamente na estruturação do solo e biologicamente na ciclagem de nutrientes, o que os torna indicadores naturais da qualidade ambiental. Estudos como os de Zimmer e Topp (2000) confirmam que esses organismos contribuem significativamente para os fluxos biogeoquímicos ao ingerirem e excretam matéria parcialmente decomposta, que se incorpora aos húmus do solo.

Pesquisas recentes indicam que os diplópodes não apenas fragmentam mecanicamente a serapilheira, mas também promovem modificações bioquímicas relevantes nos resíduos vegetais, aumentando a atividade de enzimas do solo como a fosfatase ácida, a deidrogenase e a urease (Souza *et al.*, 2024). Essa atividade intensifica a disponibilidade de nutrientes essenciais, principalmente nitrogênio e fósforo, favorecendo o crescimento vegetal. Além de seu papel ecológico, os diplópodes têm despertado interesse agrônômico, principalmente no contexto da agricultura orgânica e regenerativa. Sua utilização em práticas como a gongocompostagem representa uma alternativa de baixo custo e alto retorno ambiental e produtivo. A Embrapa (2020) reconhece os diplópodes como aliados na produção de compostos orgânicos com qualidade superior, especialmente em regiões tropicais.

4.2 Ação Mecânica, Digestiva e Ambiente Intestinal Microbiano

O trato digestivo dos diplópodes é colonizado por uma microbiota altamente diversificada, composta por bactérias, fungos, actinobactérias e protozoários, que desempenham papel fundamental na digestão de materiais vegetais ricos em lignina e celulose (Zimmer; *et al* 2000). Essa simbiose permite aos gongolos processar matéria orgânica complexa e transformá-la em compostos biodisponíveis para a biota do solo.

Wang *et al.* (2018) demonstram que a microbiota intestinal desses organismos abriga cepas únicas de microrganismos celulolíticos e ligninolíticos, capazes de atuar em condições

anaeróbias parciais. Essa condição favorece a fermentação de substratos vegetais, gerando metabólitos secundários que atuam na estabilização do material orgânico. Além disso, parte dos microrganismos excretados com as fezes coloniza o solo, promovendo um efeito probiótico.

Essa relação simbiótica entre diplópodes e sua microbiota não apenas otimiza a digestão da matéria orgânica, mas também contribui para a construção de uma comunidade microbiana mais estável no solo. Estudos recentes com metagenômica (Santos *et al.*, 2023) revelam a presença de genes associados à fixação biológica de nitrogênio e à solubilização de fósforo, indicando que esses microrganismos também exercem funções ecológicas relevantes fora do corpo do hospedeiro.

A diversidade microbiana presente no trato intestinal dos diplópodes ainda é pouco explorada, mas há indícios de que possa ser fonte de novos bioprodutos, como antibióticos naturais e biofertilizantes. Isso abre caminho para futuras pesquisas biotecnológicas, considerando a adaptabilidade dos microrganismos a ambientes ricos em lignina e polissacarídeos.

Portanto, o ambiente intestinal dos diplópodes deve ser reconhecido como um microecossistema com alta relevância funcional para a dinâmica da matéria orgânica no solo. Essa complexa interação entre o hospedeiro e sua microbiota contribui diretamente para o aumento da fertilidade do solo, a promoção da saúde vegetal e a manutenção da biodiversidade edáfica.

4.3 Produção de Fezes com Alto Potencial Húmico

As fezes dos diplópodes são compostos orgânicos ricos em nutrientes, substâncias húmicas e microrganismos benéficos, sendo consideradas um produto de alto valor agrônomico. Essas excretas apresentam pH próximo da neutralidade, alta capacidade de retenção de água, razão C/N equilibrada e boa estabilidade estrutural (Antunes, 2017; Silva *et al.*, 2023).

A composição das fezes de diplópodes inclui fragmentos vegetais parcialmente decompostos, ácidos húmicos e fúlvicos, microrganismos simbióticos e compostos orgânicos recalcitrantes. Esse conjunto favorece a formação de agregados estáveis no solo, contribuindo para a estruturação e aeração do perfil edáfico. Segundo Ferreira *et al.* (2025), solos tratados com gongocomposto apresentaram aumento significativo da capacidade de troca catiônica (CTC) e da estabilidade de agregados.

Do ponto de vista biológico, as fezes dos diplópodes funcionam como bioinóculo, introduzindo novas comunidades microbianas no solo e estimulando a atividade enzimática da

microbiota existente. Essa interação sinérgica amplia a capacidade do solo em mineralizar a matéria orgânica, facilitando o fornecimento contínuo de nutrientes às plantas (Pereira *et al.*, 2024).

Além disso, as fezes dos diplópodes apresentam potencial para atuar como fertilizante orgânico direto, podendo ser aplicadas em culturas de ciclo curto, viveiros de mudas e sistemas agroflorestais. Estudos em andamento indicam que sua aplicação regular melhora os atributos físicos e químicos do solo e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos (Costa *et al.*, 2024). Dessa forma, o potencial húmico das fezes dos diplópodes as torna uma alternativa viável e sustentável para o manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção agroecológicos. Sua utilização representa um avanço no uso racional da biodiversidade do solo como ferramenta para a agricultura regenerativa.

4.4 Gongocompostagem

A gongocompostagem é uma técnica de biotransformação de resíduos orgânicos que utiliza a ação dos diplópodes para acelerar o processo de decomposição e estabilização da matéria orgânica. Diferente da compostagem tradicional, a gongocompostagem combina a atividade detritívora dos diplópodes com a decomposição microbiana aeróbica, proporcionando um processo mais eficiente e com maior valor agrônômico (Embrapa, 2020).

Segundo Antunes (2017), a inclusão de diplópodes em pilhas de compostagem pode reduzir o tempo de maturação em até 30%, resultando em composto com maior teor de ácidos húmicos, menor fitotoxicidade e melhor capacidade de retenção de umidade. Esses benefícios tornam o gongocomposto um insumo ideal para uso em horticultura, floricultura, viveiros de mudas e agricultura orgânica.

A atividade dos diplópodes promove ainda um revolvimento natural dos resíduos, facilitando a oxigenação e a homogeneização dos materiais em decomposição. Além disso, os resíduos excretados são ricos em microrganismos benéficos, o que contribui para a inoculação microbiana do composto final, favorecendo o solo quando aplicado (Souza; *et al.*, 2023).

Do ponto de vista ambiental, a gongocompostagem contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso, associados a processos de decomposição anaeróbica em lixões e aterros. Também promove o sequestro de carbono estável no solo, contribuindo para o enfrentamento das mudanças climáticas (Ferreira *et al.*, 2025). A popularização da gongocompostagem depende do desenvolvimento de protocolos técnicos padronizados e da multiplicação de colônias de diplópodes em cativeiro. A pesquisa científica vem avançando nesse campo, destacando a viabilidade técnica e econômica da utilização desses

organismos como agentes biológicos para compostagem acelerada em pequena e média escala (Costa *et al.*, 2024).

4.5 Húmus: Produto Estável da Decomposição Orgânica

Os húmus são a fração mais estável da matéria orgânica do solo, resultante da decomposição e humificação de resíduos vegetais e animais, mediada principalmente por microrganismos, minhocas e diplópodes. Sua formação envolve complexos processos químicos e biológicos que transformam compostos orgânicos simples em estruturas moleculares recalcitrantes, como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (Silva; *et al.*, 2007).

Esses compostos desempenham funções fundamentais na manutenção da fertilidade do solo, atuando como reservatórios de nutrientes, tamponantes do pH e agentes de estruturação física do solo. De acordo com Souza e Almeida (2023), solos ricos em húmus apresentam maior porosidade, melhor retenção de água e maior atividade microbiana, o que favorece o desenvolvimento radicular das plantas e o equilíbrio da biota edáfica.

A formação dos húmus depende da qualidade da matéria orgânica adicionada ao solo e da atividade biológica dos organismos decompositores. A presença de substâncias lignocelulósicas, como aquelas provenientes das fezes dos diplópodes, contribui para a produção de compostos húmicos mais complexos e duráveis. Esse aspecto é essencial em regiões tropicais, onde a rápida mineralização da matéria orgânica compromete a estabilidade dos nutrientes no solo (Ferreira *et al.*, 2025).

Pesquisas recentes destacam a importância dos diplópodes na aceleração da humificação da matéria orgânica. Ao fragmentar mecanicamente os resíduos vegetais e favorecer a colonização microbiana, os mesmos potencializam a formação dos húmus e contribuem para a sustentabilidade dos sistemas produtivos agrícolas (Costa *et al.*, 2024). Além disso, a aplicação de gongocomposto no solo tem demonstrado aumento no teor de carbono orgânico total e na atividade de enzimas oxidativas associadas à estabilização da matéria orgânica.

Assim, os húmus podem ser compreendidos não apenas como um produto final da decomposição, mas como um agente ativo na construção da fertilidade natural do solo. Sua presença está associada à resiliência agrícola, à redução da dependência de insumos químicos e à promoção de uma agricultura mais sustentável e alinhada com os princípios da agroecologia.

4.6 Importância Biológica

Os húmus atuam como uma reserva de nutrientes de liberação lenta, o que garante

fornecimento contínuo de elementos essenciais às plantas, mesmo em períodos de baixa fertilização externa. Além disso, sua presença favorece a formação de associações simbióticas com microrganismos do solo, como micorrizas arbusculares e rizobactérias promotoras de crescimento (Pereira *et al.*, 2024).

Essas interações simbióticas ampliam a capacidade das plantas de absorver nutrientes, especialmente fósforo, e contribuem para o fortalecimento do sistema radicular. Estudos como os de Silva *et al.* (2023) mostram que solos com alto teor de húmus apresentam maior diversidade microbiana, maior biomassa e maior atividade enzimática, fatores fundamentais para o equilíbrio ecológico dos agroecossistemas.

Além disso, os húmus servem como substrato e fonte de energia para comunidades microbianas heterotróficas, estimulando a decomposição adicional de resíduos orgânicos e promovendo a mineralização de nutrientes. Esse ciclo de retroalimentação aumenta a eficiência do sistema solo-planta e reduz perdas por lixiviação e volatilização.

A atividade microbiana estimulada pelos húmus também desempenha papel relevante no controle biológico de patógenos. Diversos estudos indicam que solos ricos em húmus são menos suscetíveis à infestação de fungos fitopatogênicos, graças à competição e antagonismo exercidos por microrganismos benéficos presentes na rizosfera (Santos; *et al.*, 2021).

4.7 Funções Ecológicas e Agronômicas do Húmus

Os húmus exercem funções ecossistêmicas e agronômicas integradas, atuando sobre os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo. Fisicamente, comporta-se como um condicionador estrutural, promovendo a formação de agregados estáveis que aumentam a porosidade, a capacidade de retenção de água e a aeração, características fundamentais para o desenvolvimento radicular e para a manutenção da microbiota ativa (Silva *et al.*, 2023).

Do ponto de vista biológico, os húmus favorecem a criação de um ambiente propício ao crescimento de comunidades microbianas benéficas, como fungos micorrízicos, actinobactérias e bactérias heterotróficas (Pereira *et al.*, 2024). Essas comunidades são fundamentais na mineralização da matéria orgânica e no fornecimento contínuo de nutrientes às plantas o que reforça a sustentabilidade da produção agrícola.

Os húmus, por sua vez, atuam como fonte de energia e suporte para esses microrganismos, estimulando sua atividade enzimática e sua participação na ciclagem de nutrientes (Moura *et al.*, 2023). Ecologicamente, os húmus contribuem para a redução da erosão e da lixiviação de nutrientes ao melhorar a estrutura superficial do solo e favorecer a infiltração da água (Lopes *et al.*, 2023). Dessa forma, minimiza-se o escoamento superficial e a perda de

partículas finas e nutrientes, como nitrato e fósforo, para camadas mais profundas ou para corpos hídricos. Devido à sua natureza coloidal, os húmus também aumentam a capacidade de retenção e troca de cátions, especialmente cálcio, magnésio e potássio (Ferreira *et al.*, 2025).

Agronomicamente, em regiões tropicais caracterizadas por elevada temperatura e pluviosidade, os húmus atuam como uma reserva de nutrientes de liberação lenta, promovendo maior eficiência no uso de adubos e maior resiliência da produção frente à variabilidade climática (Costa *et al.*, 2024). Ele também contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), essencial para a disponibilidade de nutrientes em solos altamente intemperizados, como os latossolos.

Além disso, os húmus desempenham um papel relevante no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas, visto que sua estrutura molecular recalcitrante permite o armazenamento de carbono no solo por longos períodos (Souza; *et al.*, 2023). Assim, sua presença beneficia não apenas a produtividade agrícola, mas também a conservação ambiental e os compromissos climáticos globais.

5. METODOLOGIA

Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa de abordagem descritiva, quanto à avaliação da qualidade físico-química do gongocomposto enquanto fertilizante orgânico alternativo. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Instituto Federal do Amapá (IFAP), Campus Agrícola de Porto Grande, com análise interpretativa dos atributos físico-químicos do composto, considerando seu potencial de uso em sistemas agrícolas sustentáveis.

5.1 Gongolários

A construção dos gongolários foi realizada com adaptações, seguindo princípios dimensionais alinhados com padrões técnicos estabelecidos na literatura para garantir a eficiência do processo. As estruturas, com dimensões de 3,0 m de comprimento, 0,9 m de largura e 0,5 m de altura, foram subdivididas em quatro compartimentos de 1,5 m x 0,9 m cada (Figura 1).

Essas medidas estão de acordo com as preconizadas por Kiehl (1985), que recomenda leiras ou compartimentos com largura entre 0,8 e 1,2 m e altura próxima a 0,5 m para favorecer o manejo adequado e a manutenção das condições ideais de temperatura e aeração (figura 1).

Figura 1 - Limpeza e implantação do experimento.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para a execução dos gongolários, foram reaproveitados materiais disponíveis no próprio campus, como tijolos, cimento e telhas Brasilite que seriam descartados como entulho, promovendo assim práticas de reutilização e sustentabilidade (figura 1).

5.2 Coleta dos Gongolos (Diplópodes)

A espécie de diplópode utilizada foi *Trigoniulus corallinus* (conhecida popularmente como embuá ou gongolos), selecionada por sua elevada taxa reprodutiva e eficiência na degradação da matéria orgânica (Antunes *et al.*, 2017).

A coleta dos gongolos foi realizada na Fazenda Experimental do Instituto Federal do Amapá (IFAP), Campus Agrícola Porto Grande e em ambiente urbano, ambientes caracterizados pela elevada disponibilidade de matéria orgânica em decomposição, condição essencial para a ocorrência natural de diplópodes detritívoros.

Os indivíduos foram encontrados principalmente sob o aprisco de caprinos (figura 2), local com acúmulo de fezes, bem como nas proximidades das baias de bovinos e bubalinos, áreas reconhecidas por favorecerem a atividade desses organismos devido à alta concentração de resíduos orgânicos e umidade do substrato.

A presença de vegetação nativa e resíduos vegetais em decomposição ao redor das composteiras (figura 2) também contribuiu para a ocorrência dos gongolos nesses locais, conforme descrito em estudos recentes sobre a ecologia e o habitat preferencial de diplópodes em ambientes agrícolas e periurbanos (Santos; *et al.*, 2021; Silva; *et al.*, 2022).

Outro ponto de coleta ocorreu em ambiente domiciliar, em frente à residência de uma das pesquisadoras, especificamente sob uma árvore, onde havia acúmulo de folhas secas e galhos em decomposição (figura 2).

Figura 2 - Pontos de coleta dos gongolos.



a) e b) pontos de coleta, aprisco e área próxima aos gongolários; c) gongolos.

Fonte: autoria própria (2025).

Esse tipo de microambiente é amplamente descrito na literatura como favorável à presença de diplópodes, pois oferece abrigo, alimento e condições adequadas de umidade e temperatura. A ocorrência desses organismos em áreas urbanas com cobertura vegetal confirma

sua ampla adaptação e importância ecológica no processo de fragmentação e decomposição da matéria orgânica, atuando como agentes fundamentais na ciclagem de nutrientes (Antoniolli *et al.*, 2020; Corrêa *et al.*, 2023).

Não foi estabelecida uma quantidade fixa de indivíduos coletados, uma vez que a literatura indica que sistemas de compostagem com diplópodes podem funcionar de forma eficiente mesmo sem controle rigoroso do número de organismos, desde que haja disponibilidade de alimento e condições ambientais adequadas. Essa estratégia de reposição contínua está de acordo com abordagens recentes adotadas em estudos experimentais envolvendo macrofauna do solo aplicada à compostagem orgânica (Ferreira *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022).

5.3 Substratos utilizados

Foram utilizados no processo de gongocompostagem resíduos vegetais associados a substratos de origem animal, especificamente esterco bovino e esterco caprino. Esses materiais foram distribuídos em diferentes compartimentos (figura 3), formando amostras distintas conforme o tipo e a combinação dos resíduos, sendo: Gongocomposto à base de esterco caprino (GC); Gongocomposto à base de esterco bovino (GB); e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).

Figura 3 - Processo inicial de produção de gongocomposto.



a)



b)



c)

a) Adição de estercos; b) Revolvimento do composto; c) Inoculação dos gongolos

Fonte: Autoria própria (2025).

Cada compartimento foi periodicamente irrigado (três vezes na semana), revolvido (uma vez por semana) e adicionado mais substratos (uma vez na semana) até alcançar 25 cm de altura, e coberto com cobertura vegetal seca, a fim de manter condições adequadas de umidade e aeração para o desenvolvimento dos gongolos.

O processo completo de gongocompostagem teve duração total de 120 dias, conforme preconizado pela Embrapa (Embrapa, 2017). A coleta do húmus foi realizada com o auxílio de um trado tipo Uhland, utilizando-se o anel volumétrico de numeração 21 com 270 cm³ (Figura 4). Após a remoção da cobertura vegetal, o trado foi introduzido no composto até completar o volume do anel, permitindo retirar amostras padronizadas de forma precisa.

Figura 4 - Processo de coleta dos húmus.



a)

b)

c)

a) Remoção da cobertura vegetal; b) coleta do húmus; c) gongocomposto maturado.

Fonte: Autoria própria (2025).

Foram retiradas três amostras simples de cada Gongocomposto (GC; GB; GCBV), para realização das análises físico-químicas.

5.4. Análises físico-químicas

As três amostras foram devidamente identificadas e acondicionadas (Figura 5) e, posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Consultoria LTDA (FULLIN), localizado na Avenida Prefeito Samuel Batista Cruz, nº 1.099, Centro, Linhares – ES. As análises foram realizadas pelo referido laboratório, seguindo metodologias oficiais reconhecidas, conforme protocolos do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), de acordo com o laudo técnico emitido.

Figura 5 - Identificação das amostras.



a)

b)

c)

a) Húmus produzido; b) Ensacamento das amostras; c) Identificação das amostras.

Fonte: Autoria própria (2025).

As análises foram realizadas conforme descrição:

5.4.1 pH

O pH e a condutividade elétrica foram determinados em extrato 1:10 (húmus:água destilada). Para cada amostra, 10 g de material foram diluídos em 100 mL de água e agitados até completa homogeneização. Após repouso, o sobrenadante foi analisado em pHmetro digital e condutivímetro calibrados. A leitura de cada parâmetro levou cerca de 15 minutos (MAPA, 2023).

5.4.2 Umidade

A umidade foi quantificada por secagem em estufa a 60–65 °C, seguindo o procedimento padrão do laboratório. A perda de massa após aquecimento permitiu calcular a porcentagem final de umidade de cada húmus. A secagem teve duração aproximada de 24 horas (MAPA, 2023).

5.4.3 Matéria orgânica

A matéria orgânica foi obtida pelo método de Walkley & Black (1934), que utiliza a oxidação da matéria orgânica por dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio sulfúrico concentrado. Após a reação, o excesso de oxidante foi titulado para calcular o teor de carbono oxidável e, a partir dele, o valor de M.O. O processo completo demandou entre 24 e 48 horas devido ao tempo de repouso necessário para estabilização da reação.

5.4.4 Carbono orgânico

O carbono orgânico foi calculado com base no consumo de dicromato durante a titulação. O laboratório aplicou os coeficientes definidos pelas normas oficiais e converteu o teor obtido em matéria orgânica utilizando o fator 1,724, conforme estabelecido no método de Walkley & Black (1934).

5.4.5 Nitrogênio total

O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl (MAPA, 2023), que envolveu: Digestão ácida com H_2SO_4 e catalisador; Neutralização com NaOH; Destilação; Captura do destilado em solução de ácido bórico; Titulação final para quantificação do nitrogênio. O processo completo por conjunto de amostras durou de 6 a 8 horas.

5.4.6 Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Ferro, Zinco, Cobre, Manganês e Boro

Os teores de fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) foram obtidos a partir de digestão ácida e posterior leitura em espectrofotômetro ou equipamentos equivalentes, seguindo os métodos oficiais adotados pelo laboratório FULLIN. Todos os valores obtidos constam no laudo técnico original.

5.4.7 Relação C/N (carbono/nitrogênio)

A relação C/N de cada húmus foi calculada dividindo-se o carbono orgânico pelo nitrogênio total, (Walkley & Black, 1934). O valor obtido serviu de indicador do grau de maturação e estabilização do composto, conforme faixas de referência apresentadas pelo próprio laboratório.

5.5. Análises estatística

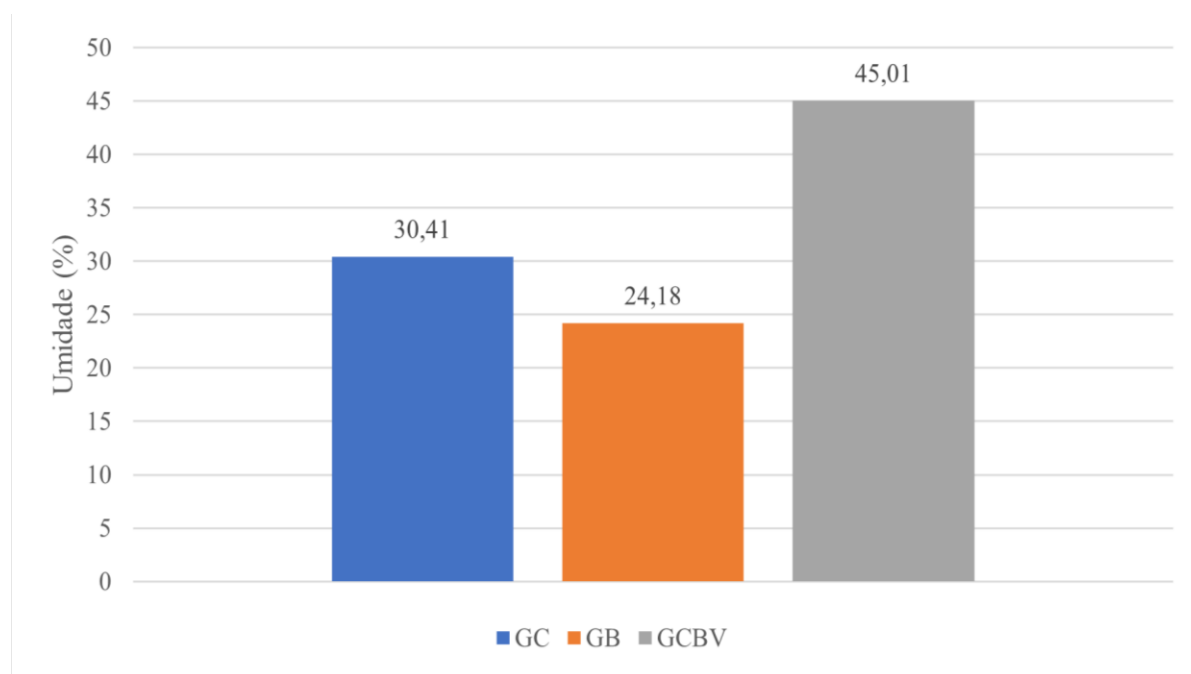
Os dados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a análises estatística descritiva, incluindo valores absolutos e apresentados em gráficos de barra e quadros.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises físico-químicas realizadas ao final dos 120 dias de gongocompostagem demonstraram que as três amostras, GC, GB e GCBV, alcançaram parâmetros compatíveis com compostos orgânicos maturados.

Os teores de umidade dos gongocompostos variaram entre 24,18% e 45,01% (Gráfico 1), com maior valor observado nas amostras GCBV, seguido pelo GC e GB (Quadro 1). Esses resultados indicam que o material atingiu um nível de umidade adequado para compostos orgânicos maturados, sem excesso de água que pudesse favorecer processos anaeróbios ou comprometer sua estabilidade.

Gráfico 1 - Teor de umidade das amostras Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



Fonte: Autoria própria (2025).

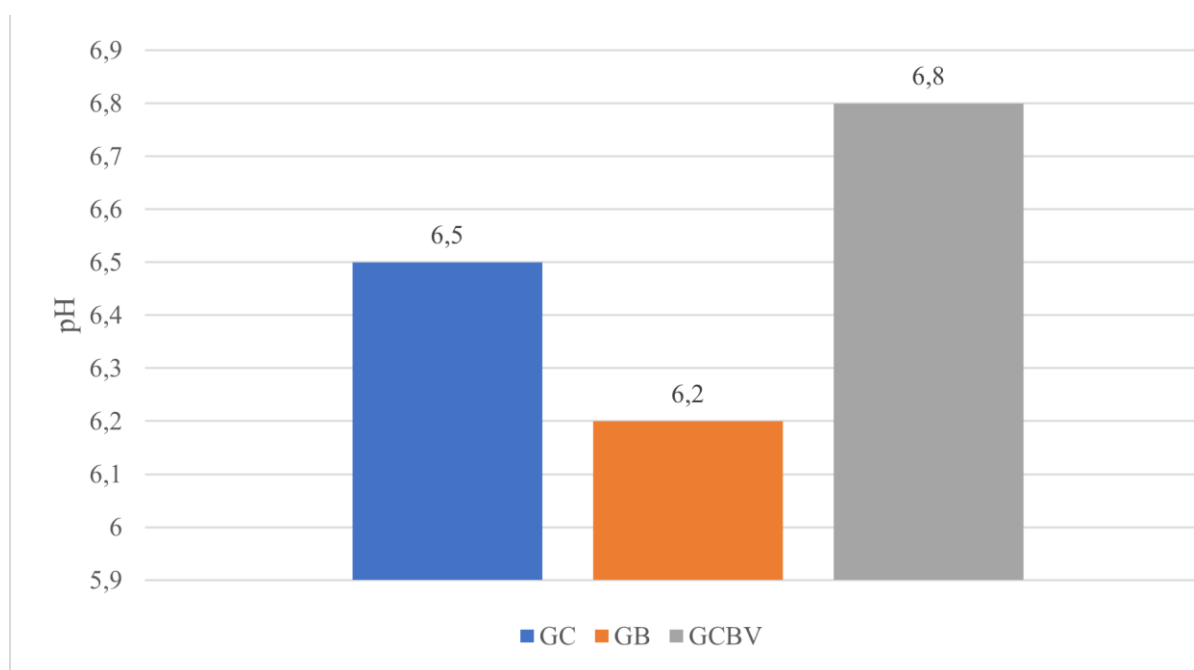
De acordo com Bernal *et al.* (2009), teores de umidade entre 30% e 50% são considerados ideais para a manutenção da atividade microbiana benéfica e para a conservação das frações húmicas formadas durante o processo de compostagem.

A maior retenção hídrica observada no tratamento GCBV pode ser atribuída à maior diversidade de substratos orgânicos utilizados, especialmente à presença de resíduos vegetais, que aumentam a capacidade de adsorção de água do composto.

A matéria orgânica humificada atua como agente condicionador, melhorando a retenção de água e a estrutura do solo após a aplicação do produto. Segundo Brady e Weil (2013) e Brito *et al.* (2022), compostos orgânicos com umidade equilibrada contribuem para a redução do estresse hídrico das plantas e para o aumento da eficiência do uso da água em sistemas agrícolas.

O pH observado nas três amostras, variando entre 6,0 e 6,8, (Gráfico 2, Quadro.1) enquadra-se na faixa ideal para compostos orgânicos maturados, reforçando que o processo de decomposição alcançou a fase de estabilidade segundo Bernal *et al.* (2009). Nesse intervalo, ocorre redução significativa de ácidos orgânicos voláteis, típicos das etapas iniciais da decomposição, indicando que a matéria orgânica foi devidamente bioestabilizada. Segundo Silva *et al.* (2023), valores próximos da neutralidade são marcadores confiáveis de compostos seguros para aplicação agrícola.

Gráfico 2 - pH das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



Fonte: Autoria própria (2025).

Além disso, compostos nessa faixa de pH atuam de forma positiva no solo ao minimizar riscos de fitotoxicidade, especialmente em cultivos sensíveis. O pH equilibrado favorece condições adequadas para desenvolvimento inicial das plantas, evitando distúrbios no crescimento radicular. Hernández *et al.* (2020) relatam que compostos levemente ácidos promovem maior mobilidade e disponibilidade de micronutrientes essenciais como ferro,

manganês e zinco.

Quadro 1 - Parâmetros Físicos analisados das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).

| Gongocomposto | | | | |
|-----------------------------|---------|------------|----------|----------|
| Parâmetros | Unidade | Húmus GCBV | Húmus GC | Húmus GB |
| Umidade 60-65°C | % | 45,01 | 30,41 | 24,18 |
| pH CaCl ₂ | - | 6,8 | 6,8 | 6,2 |
| Condutividade Elétrica (CE) | mS/cm | 1,7 | 1,9 | 1,85 |

Fonte: Autoria própria (2025).

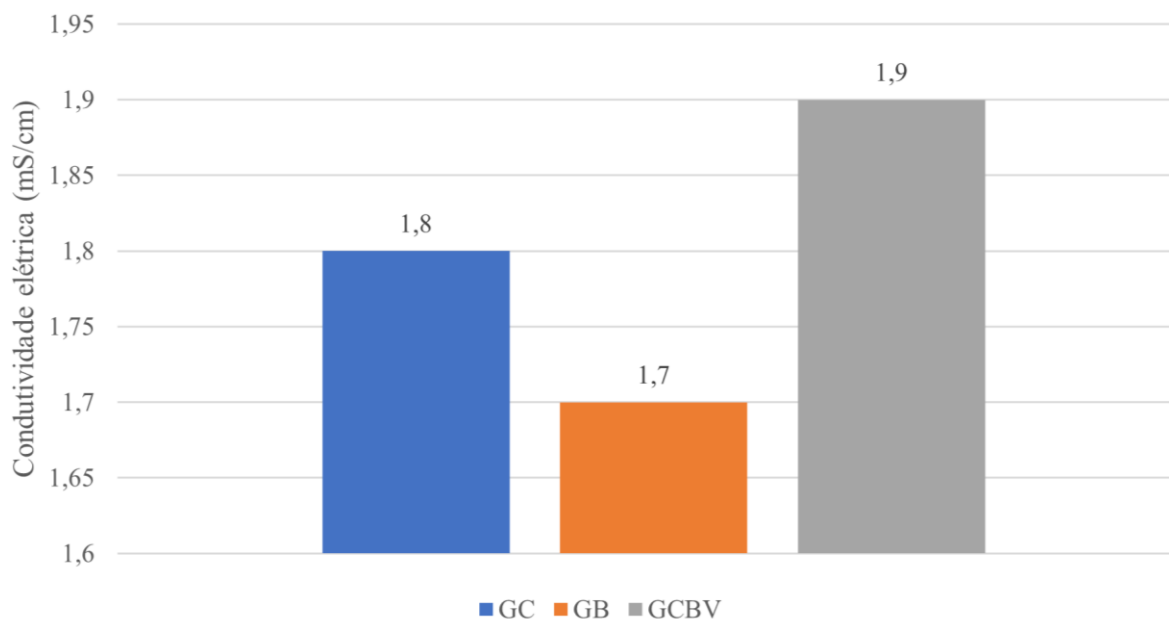
Segundo Awasthi *et al* (2020) outro ponto relevante é a interação entre o pH do composto e a microbiota do solo. Solos tratados com compostos estabilizados apresentam aumento de microrganismos benéficos, como bactérias nitrificantes e fungos sapróbios. Esses organismos desempenham funções-chave na ciclagem de nutrientes, acelerando a disponibilização gradual de compostos nitrogenados e fosfatada, o que potencializa o efeito prolongado do húmus produzido.

Os valores de condutividade elétrica (CE) entre 1,70 e 1,90 mS/cm (Quadro.1, Gráfico 3), observados nas amostras indicam ausência de acúmulo excessivo de sais, contendo o composto dentro dos padrões recomendados para uso agrícola. Esses níveis são característicos de compostos equilibrados, nos quais a mineralização dos resíduos não resultou em salinização crítica. Zhang *et al.* (2022) destacam que compostos com CE inferior a 2,5 mS/cm têm melhor desempenho em hortaliças, reduzindo riscos de estresse salino.

Em termos fisiológicos, níveis moderados de CE garantem que nutrientes como cálcio, magnésio e potássio possam ser liberados de maneira eficiente sem comprometer processos osmóticos das plantas. Compostos com salinidade controlada auxiliam na manutenção da hidratação celular e promovem absorção balanceada dos elementos essenciais. Isso é especialmente importante em sistemas de cultivo intensivo, segundo Liang *et al.* (2021).

Ainda estudado por Liang *et al.* (2021) a CE moderada também evidencia o equilíbrio entre nutrientes solúveis e frações orgânicas mais estáveis presentes no gongocomposto. Esse balanço é crucial para que haja liberação gradual dos nutrientes ao longo do ciclo da cultura, evitando lixiviação e garantindo melhor eficiência agrônômica. Assim, a condutividade registrada reforça o potencial do composto para uso contínuo sem gerar degradação ou salinização dos solos.

Gráfico 3 - Condutividade elétrica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



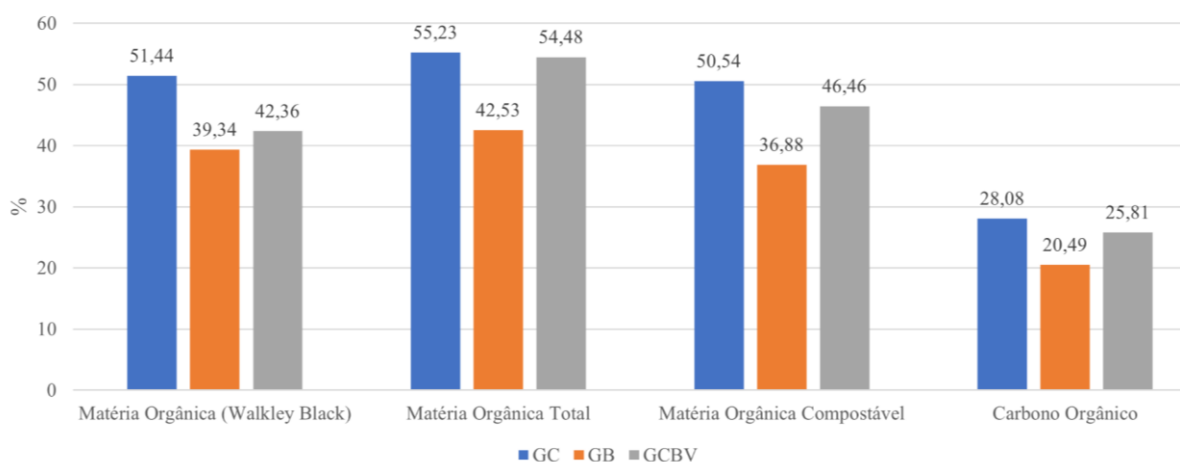
Fonte: Autoria própria (2025).

Os teores de matéria orgânica variando entre 39,34% e 51,44% (Gráfico 4, Quadro 2) evidenciam uma elevada e significativa concentração de frações húmicas, resultantes dos processos de decomposição e estabilização da matéria orgânica ao longo da gongocompostagem. Esses valores são substancialmente superiores aos níveis mínimos de referência indicados na literatura para a classificação de insumos orgânicos de boa qualidade, uma vez que materiais orgânicos destinados à aplicação agrícola apresentam, de modo geral, teores considerados adequados quando superiores a 15–20%, sendo valores acima de 30% indicativos de compostos altamente estabilizados e com elevado potencial de melhoria da qualidade do solo (FAO, 2017; Embrapa, 2020; USDA-NRCS, 2022).

As frações húmicas presentes são responsáveis por conferir ao composto propriedades físico-químicas superiores, como maior capacidade de retenção de água, aumento da agregação das partículas do solo e maior estabilidade estrutural. López-Mosquera *et al.* (2020) destacam que resíduos orgânicos de origem caprina e bovina, ricos em materiais lignocelulósicos, favorecem processos mais intensos de humificação, contribuindo para a formação de compostos com elevados teores de matéria orgânica estável, o que corrobora os resultados observados

neste estudo.

Gráfico 4 - Teor de matéria orgânica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



Fonte: Autoria Própria (2025).

Do ponto de vista agrônomo, a combinação entre matéria orgânica elevada e carbono estável resulta em importantes benefícios: como uma maior capacidade de troca catiônica, incremento da porosidade e melhoria da retenção hídrica. Essas características tornam o gongocomposto especialmente útil em solos com baixa fertilidade natural, permitindo maior resiliência das plantas frente a estresses hídricos e promovendo condições ideais para o enraizamento (Antunes, 2017).

A relação Carbono/Nitrogênio (C/N), entre 17 e 18% (Quadro.2), indica que o material atingiu estágio de maturação compatível com compostos curados e biologicamente estáveis. Valores dentro dessa faixa demonstram que a maior parte do carbono mais facilmente degradável foi convertido em compostos húmicos, reduzindo riscos de imobilização de nitrogênio no solo após a aplicação. Ferreira *et al.* (2023) ressaltam que compostos com C/N inferior a 20 apresentam melhor sincronização entre oferta e demanda de nitrogênio pelas plantas.

Além disso, essa proporção favorece a ativação de enzimas essenciais nos processos de ciclagem, como urease e desidrogenase, intensificando a mineralização de formas orgânicas de nitrogênio. Estudos como os de Kader *et al.* (2021) descrevem que compostos com C/N equilibrado promovem maior eficiência na liberação de íon amônio (NH_4^+) e íon nitrato (NO_3^-), beneficiando culturas de ciclo rápido como hortaliças.

Quadro 2 - Teor de Matéria Orgânica das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).

| Gongocomposto | | | | |
|---|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Parâmetros | Unidade | Húmus GCBV | Húmus GC | Húmus GB |
| M.O Total | % | 54,48 | 55,23 | 42,53 |
| Matéria Orgânica (Walkley Black) | % | 42,36 | 51,44 | 39,34 |
| Carbono Orgânico | % | 25,81 | 28,08 | 20,49 |
| Relação C/N | | 18 | 17 | 18 |

Fonte: Autoria Própria (2025).

O equilíbrio C/N também melhora a estrutura do composto, influenciando positivamente sua capacidade de retenção e liberação controlada de nutrientes. Esse comportamento reduz picos de disponibilidade, evitando toxicidade nutricional, e garante fornecimento contínuo ao longo do ciclo de cultivo. Dessa forma, a relação C/N observada confirma a qualidade do gongocomposto como insumo de alta performance agrônômica (Ferreira *et al.*, 2023).

Os teores de nitrogênio total entre 1,13% e 1,69% (Quadro 3, Gráfico 5) demonstram que o composto atua como fonte eficiente de N de liberação lenta, garantindo suprimento gradual às plantas. Moreira *et al.* (2020) destacam que esse comportamento evita perdas por volatilização ou lixiviação, comuns em fontes minerais. A mineralização progressiva do composto permite suprimento adequado durante todo o desenvolvimento vegetativo.

Os valores de fósforo total observados, variando entre 0,70% e 1,66% (Quadro 3, Gráfico 5), são coerentes com compostos orgânicos maduros e de boa qualidade agrônômica, situando-se dentro ou acima da faixa de referência normalmente descrita para fertilizantes orgânicos sólidos, a qual geralmente oscila entre 0,3% e 1,5% de P, dependendo da matéria-prima e do grau de humificação (Embrapa, 2017; FAO, 2019).

Teores nessa magnitude indicam adequado enriquecimento fosfatado do composto, representando contribuição significativa para processos metabólicos essenciais das plantas, como a transferência de energia (ATP), o desenvolvimento radicular e a formação de estruturas reprodutivas. Além disso, o fósforo presente em compostos orgânicos encontra-se, em grande parte, associado a complexos húmicos, o que favorece sua liberação gradual e aumenta a eficiência de absorção pelas plantas. Nesse contexto, Santos *et al.* (2022) destacam que a liberação orgânica de fósforo reduz sua fixação em solos ácidos, condição comum em regiões

tropicais, ampliando a disponibilidade efetiva desse nutriente no sistema solo–planta, o que reforça a qualidade nutricional do gongocomposto avaliado.

Quanto ao potássio (K₂O), os teores entre 0,15% e 0,30% (Quadro 3, Gráfico 5), indicam desempenho relevante na regulação osmótica, fotossíntese e resistência a estresses hídricos. Embora menores que fontes minerais, tais valores são adequados para compostos orgânicos, pois o K₂O presente tende a ser rapidamente solúvel, disponibilizando-se após as primeiras irrigações, característica já destacada por Bernal *et al.* (2017). Isso confere ao gongocomposto capacidade de atuar tanto como condicionador quanto como suplemento nutricional complementar (Embrapa, 2020).

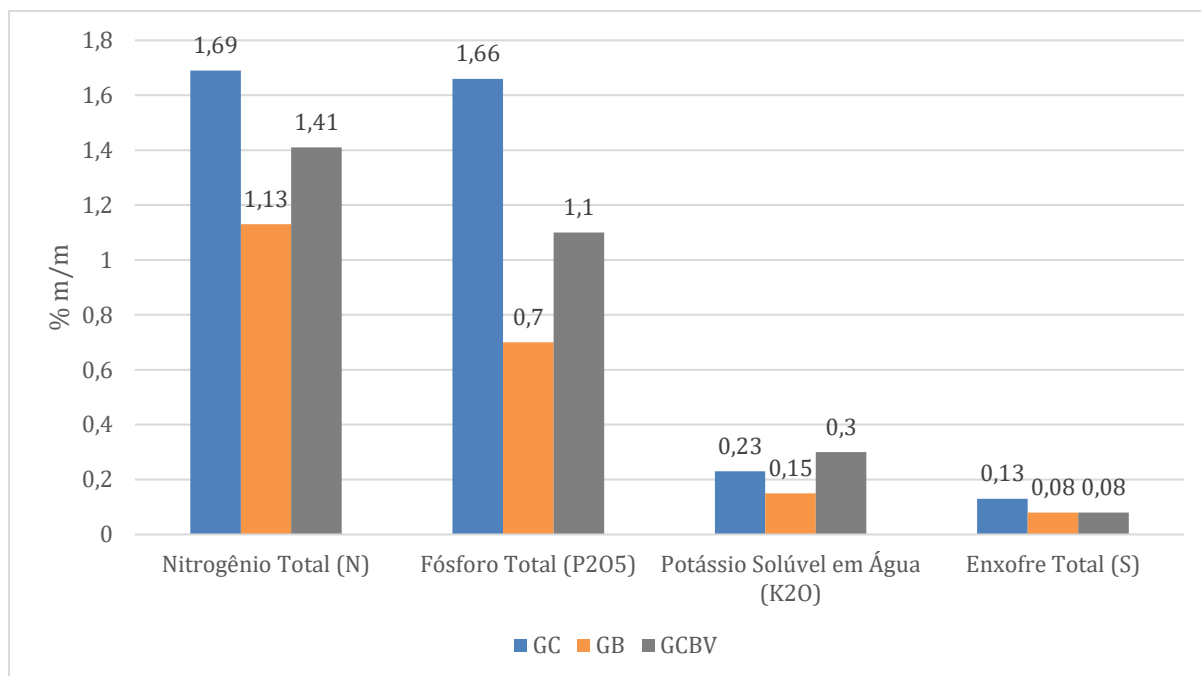
Quadro 3 -Teor de Macronutrientes das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).

| Gongocomposto | | | | |
|---|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Parâmetros | Unidade | Húmus GCBV | Húmus GC | Húmus GB |
| Nitrogênio Total (N) | %m/m | 1,41 | 1,69 | 1,13 |
| Fósforo Total (P₂O₅) | %m/m | 1,1 | 1,66 | 0,7 |
| Potássio Solúvel em Água (K₂O) | %m/m | 0,3 | 0,23 | 0,15 |
| Cálcio (Ca) | %m/m | 10,5 | 12,75 | 6,37 |
| Magnésio (Mg) | %m/m | 8,5 | 5,1 | 3,25 |
| Enxofre Total (S) | %m/m | 0,08 | 0,13 | 0,08 |

Fonte: Autoria própria (2025).

Os teores de enxofre total (S) encontrados nos gongocompostos, variando entre 0,08 e 0,13% (Gráfico 5), indicam que o processo de gongocompostagem foi eficiente na retenção desse nutriente essencial, mesmo após 120 dias de decomposição. O maior valor observado no húmus GC pode estar relacionado à composição inicial do esterco, reconhecidamente mais concentrado em compostos orgânicos sulfurados quando comparado ao esterco bovino. Esses resultados corroboram estudos que apontam que esterco de pequenos ruminantes tendem a produzir compostos com maior concentração de enxofre, devido à dieta rica em forragens e à menor diluição hídrica dos resíduos (Bernal *et al.*, 2009; López-Mosquera *et al.*, 2020).

Gráfico 5 - Teor de macronutrientes (N, P₂O₅, K₂O e S), das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



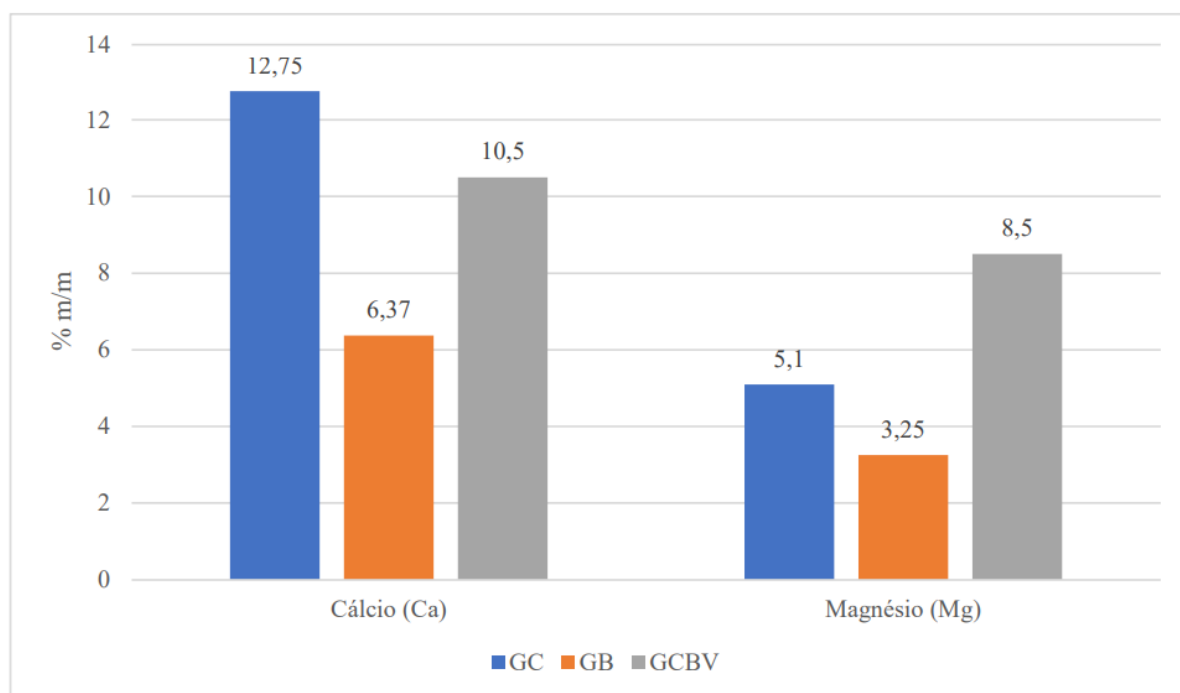
Fonte: Autoria própria (2025).

Do ponto de vista agrônomo, a presença de enxofre associado à matéria orgânica confere ao gongocomposto uma vantagem significativa em relação aos fertilizantes minerais, nos quais o enxofre é rapidamente solubilizado e sujeito à lixiviação. No gongocomposto, o enxofre é liberado de forma gradual, acompanhando a mineralização da matéria orgânica, o que favorece a absorção contínua pelas plantas e reduz riscos de deficiência ao longo do ciclo da cultura. Considerando que o enxofre participa diretamente da síntese de aminoácidos, proteínas e enzimas, sua disponibilidade equilibrada é fundamental para o crescimento vegetal e para a eficiência do uso do nitrogênio. Assim, os valores observados reforçam o potencial do gongocomposto como fonte complementar de enxofre, especialmente em solos tropicais intemperizados e sistemas agrícolas de base sustentável (Marschner, 2012; Brady; *et al* 2013).

As três amostras apresentaram elevados teores de cálcio (Quadro 3, Gráfico 6), elemento essencial para a integridade das paredes celulares e para o bom funcionamento do sistema radicular. Compostos ricos em Ca contribuem para maior agregação do solo, formação de estrutura granular estável e redução da compactação. Arifin *et al.* (2022) afirmam que compostos com alta disponibilidade de cálcio promovem aumento significativo no pH tampão e melhoram a fertilidade de solos ácidos.

O magnésio, fundamental para a síntese de clorofila e ativação de enzimas fotossintéticas, também apresentou valores consideráveis nas amostras, entre 3,25 e 8,5 % (Quadro 3, Gráfico 6). Essa característica torna o composto uma fonte estratégica para culturas sensíveis à deficiência de Mg, como hortaliças folhosas. Estudos indicam que compostos com Mg adequado aumentam a taxa fotossintética e melhoram o acúmulo de biomassa (Oliveira *et al.*, 2022).

Gráfico 6 – Teor de macronutrientes (Ca e Mg), das amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



Fonte: Autoria própria (2025).

Micronutrientes como Fe, Zn e Mn, encontrados em concentrações elevadas, desempenham papéis-chave no metabolismo vegetal (Quadro 4, Gráfico 6). O ferro atua em reações redox e síntese de clorofila; o zinco é essencial para produção de auxinas e alongação celular; e o manganês participa de etapas da fotólise da água durante a fotossíntese. A presença abundante desses elementos reforça o potencial do gongocomposto como condicionador biogeoquímico do solo, ampliando sua aplicabilidade agrônômica (Costa, 2024).

Os teores de boro (B) observados nos gongocompostos variaram de 0,0004% a 0,0015% (Quadro 4, Gráfico 7), com maiores concentrações nas amostras Húmus GCBV e Húmus GB.

Embora os valores absolutos sejam baixos, esses resultados são condizentes com a natureza do boro como micronutriente essencial requerido em pequenas quantidades pelas plantas.

Quadro 4 - Teor de Micronutrientes nas amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).

| | | Gongocomposto | | |
|----------------------|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Parâmetros | Unidade | Húmus C+B+V | Húmus Caprino | Húmus Bovino |
| Zinco (Zn) | %m/m | 1,138 | 1,8 | 1,05 |
| Cobre (Cu) | %m/m | 0,004 | 0,003 | 0,002 |
| Manganês (Mn) | %m/m | 2,4 | 2,025 | 1,9 |
| Boro (B) | %m/m | 0,0015 | 0,0004 | 0,0015 |

Fonte: Autoria própria (2025).

A maior concentração nas amostras que incluíram substratos de origem animal (Quadro 4, Gráfico 7) sugere que a diversidade de materiais orgânicos favoreceu a retenção desse elemento durante o processo de gongocompostagem, possivelmente devido à maior formação de complexos orgânicos capazes de adsorver e estabilizar o boro segundo López-Mosquera *et al* (2020).

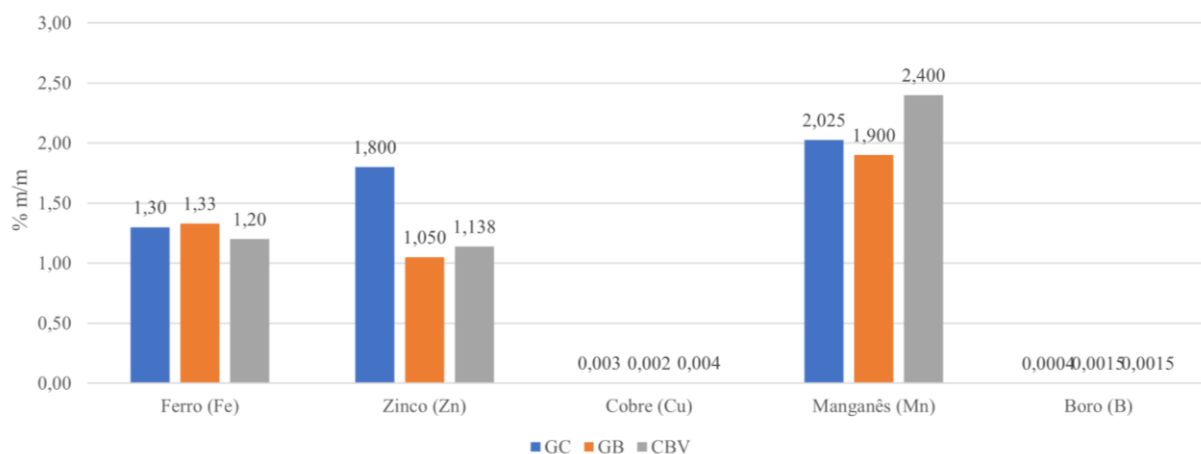
Segundo a Embrapa (2023), a presença de boro associado à matéria orgânica do gongocomposto representa uma vantagem em relação às fontes minerais, nas quais o nutriente é altamente solúvel e suscetível à lixiviação e à toxicidade. Em solos tropicais altamente intemperizados, a deficiência de boro é recorrente, e sua reposição via adubação orgânica contribui para uma liberação mais gradual e sincronizada com a demanda das plantas.

Além disso, o boro desempenha papel fundamental na integridade da parede celular, na divisão celular e no transporte de carboidratos, sendo determinante para o crescimento radicular e reprodutivo (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2017). Assim, os teores observados indicam que o gongocomposto pode atuar como fonte complementar de boro, promovendo equilíbrio nutricional e reduzindo riscos associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos (Marschner, 2012; Silva *et al.*, 2007).

As análises realizadas confirmaram que o gongocomposto produzido pode ser classificado como um húmus de excelente qualidade, uma vez que apresenta características físico-químicas compatíveis e superiores aos valores de referência descritos para fertilizantes orgânicos estabilizados. O pH observado, situado próximo à neutralidade, enquadra-se na faixa

considerada ideal para compostos maduros (6,0 a 7,5), favorecendo a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana do solo (Embrapa, 2020; FAO, 2017).

Gráfico 7 - Teor de Micronutrientes nas amostras de Gongocomposto à base de esterco caprino (GC), Gongocomposto à base de esterco bovino (GB) e Gongocomposto formulado com esterco caprino, esterco bovino e resíduo vegetal (GCBV).



Fonte: Autoria Própria (2025).

O elevado teor de matéria orgânica, substancialmente acima dos valores mínimos recomendados para fertilizantes orgânicos sólidos (> 20%), indica alto grau de humificação e potencial para melhoria das propriedades físicas e químicas do solo. Ademais, a relação C/N encontrada situa-se dentro do intervalo característico de materiais plenamente estabilizados (< 15:1), evidenciando a maturidade do composto e reduzindo riscos de imobilização de nitrogênio após a aplicação no solo (Bernal *et al.*, 2009; Embrapa, 2017). Em conjunto, esses parâmetros confirmam a elevada qualidade agronômica do gongocomposto avaliado.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que os gongocompostos avaliados apresentam características físico-químicas adequadas para aplicação agrícola, podendo ser utilizados tanto como fonte complementar de nutrientes quanto como importantes condicionadores de solos. Os elevados teores de matéria orgânica, associados ao equilíbrio químico, pH próximo da neutralidade e presença significativa de macro e micronutrientes, evidenciam que o processo de gongocompostagem foi eficiente na estabilização dos resíduos orgânicos e na formação de frações húmicas de alta qualidade. Esses atributos conferem ao material potencial para melhorar a estrutura do solo, aumentar a capacidade de retenção de água, estimular a atividade biológica e favorecer a disponibilidade gradual de nutrientes às plantas, aspectos fundamentais para sistemas agrícolas sustentáveis, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados.

Do ponto de vista comparativo, embora os três tratamentos tenham apresentado desempenho satisfatório, o gongocomposto GC destacou-se qualitativamente como o mais equilibrado, por apresentar maiores teores de matéria orgânica estabilizada, bom conteúdo de carbono orgânico, adequada disponibilidade de nutrientes e ausência de limitações químicas que comprometam seu uso agrícola. Esse equilíbrio indica um material com maior potencial agronômico, tanto como condicionador de solo quanto como insumo orgânico para sistemas produtivos. O GB e o GCBV também demonstraram elevada qualidade, porém com maior variação entre os parâmetros avaliados, o que sugere diferenças relacionadas à composição dos resíduos de origem.

A importância desta pesquisa reside no fato de demonstrar, de forma qualitativa e aplicada, o potencial da gongocompostagem como tecnologia sustentável para o manejo de resíduos orgânicos na região amazônica, contribuindo para a valorização de recursos locais e para a redução da dependência de fertilizantes químicos convencionais. Além disso, o estudo reforça a viabilidade do uso do húmus de gongolos como alternativa regional para a melhoria da qualidade dos solos agrícolas. Recomenda-se a continuidade de estudos, especialmente em condições de campo, a fim de validar o desempenho agronômico do gongocomposto em diferentes culturas e sistemas produtivos, consolidando seu uso como insumo orgânico sustentável adaptado às condições edafoclimáticas da região.

REFERÊNCIAS

- ANILKUMAR, C.; IPE, C.; BINDU, S.; CHITRA, C. R.; MATHEW, P. J.; KRISHNAN, P. N. Evaluation of millicompost versus vermicompost. **Current Science**, v. 103, n. 2, p. 140–143, jul. 2012.
- ANTUNES, L. F. S. **Produção de gongocompostos e sua utilização como substrato para mudas de alface**. 2017. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington, D.C., 1998.
- ARIFIN, Y. F. *et al.* Soil amendment with calcium-rich organic compost and its effects on soil structure and fertility. **Journal of Soil Science**, 2022.
- BERNAL, M. P. *et al.* Compost characteristics and their impact on soil properties and plant growth. **Agriculture**, 2017.
- BERNAL, M. P.; Albuquerque, J. A.; Moral, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. **Bioresource Technology**, 2009.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRITO, L. F. *et al.* Organic amendments and water retention in tropical soils. **Soil & Tillage Research**, 2022.
- CARVALHO, L. F.; MEYER, S. T. Dynamics of nutrient availability in organic fertilizers and implications for crop nutrition. **Journal of Soil Use and Management**, v. 37, p. 102–113, 2021.
- CHAN, M. T.; SELVAM, A.; WONG, J. W.; LEE, P. K. Valorization of organic fraction of municipal solid waste as a precursor for synthesis of biochar and activated carbon. **Waste Management**, v. 49, p. 528–536, 2016.
- COSTA, J. L. A. da *et al.* Gongocompostagem como alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos orgânicos. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 11, n. 2, p. 42–54, 2022. Disponível em: <https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/7086> . Acesso em: 15 abr. 2025.
- COSTA, M. A. *et al.* Dinâmica de nutrientes em solos tropicais com diferentes manejos de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 48, e0220013, 2024.
- COSTA, V. M.; ALMEIDA, R. S.; FARIA, C. R. Organic residues and soil fertility: a review of agronomic benefits in tropical systems. **Agronomy Advances**, v. 12, p. 455–470, 2022.
- DE OLIVEIRA, L. C.; BOSQUILIA, T. B.; CHAGAS, M. F. Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares: Estudo de caso em uma instituição de ensino superior. **Revista Ciência**

Agronômica, v. 48, n. 3, p. 484–492, 2017.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação**. Brasília: Embrapa, 2020.

EMBRAPA. **Manual de compostagem com uso de minhocas e gongolos**. Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020.

EMBRAPA. **Boro no solo e na nutrição das plantas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/micronutrientes/boro>. Acesso em: 27 out. 2025.

FAO. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Soil organic carbon: the hidden potential**. Rome: FAO, 2017.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World Fertilizer Trends and Outlook to 2022**. Roma: FAO, 2022. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/dd6bcfa2-51e9-4160-88d5-5601cb7d2944>. Acesso em: 20 de Nov. 2025.

FERREIRA, A. C. *et al.* Relationship between C/N ratio and maturity in organic composts. **Composting Science & Utilization**, 2023.

FERREIRA, J. P. *et al.* Capacidade de troca catiônica e estabilidade de agregados em solos enriquecidos com húmus de minhoca. **Revista de Agroecologia**, v. 20, n. 1, p. 85–92, 2025.

GONÇALVES, M. C.; BENTO, C. B. P. A importância dos gongolos (Diplopoda) na ciclagem da matéria orgânica e formação do húmus. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 148–159, 2021.

GRATTAN, S. R.; Grieve, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, 1999.

HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.

HERNÁNDEZ, T. *et al.* Role of compost pH in nutrient availability and microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry**, 2020.

INSAM, H.; De Bertoldi, M. Microbiology of the composting process. In: Diaz et al. (Eds.) **Compost Science and Technology**. Wageningen Academic Publishers, 2007.

KADER, M. A. *et al.* Enzymatic activity and nitrogen mineralization in compost amended soils. **Applied Soil Ecology**, 2021.

KARTHIGEYAN, M.; ALAGESAN, P. Millipede composting: a novel method for organic waste recycling. **Recent Research in Science and Technology**, v. 3, n. 9, p. 62–67, 2011.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil Ecology**. Dordrecht: Springer, 2001.

- LEHMANN, J.; Kleber, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, 2015.
- LIANG, C. *et al.* Electrical conductivity and nutrient release in compost systems. **Waste Management**, 2021.
- LOPES, R. T. *et al.* Erosão e perda de nutrientes em sistemas agrícolas sob diferentes tipos de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, 2023.
- LÓPEZ-MOSQUERA, M. E. *et al.* Characteristics of manures and composts from goat and cattle residues. **Journal of Environmental Management**, 2020.
- LOURENÇO, K. S. *et al.* Influence of pig manure compost on organic matter fractions and chemical attributes of soil under brachiaria. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3087–3100, 2015.
- MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd ed. Academic Press, 2012.
- MARTINS, A. P.; SANTOS, I. M.; FERREIRA, E. B. Quality indicators of organic composts and their influence on soil properties. **Environmental Agriculture Research**, v. 8, n. 2, p. 210–225, 2023.
- MOREIRA, F. M. S.; *et al.* Mineralization and nitrogen release from organic fertilizers. **Soil Use and Management**, 2020.
- MORETTI, S.; Fonseca, M. D. Organic compost effects on soil chemical and biological quality. **Brazilian Journal of Soil Science**, 2021.
- MOURA, C. A. *et al.* Atividade microbiana em solos tratados com compostos orgânicos ricos em húmus. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, e59904, 2023.
- NAYAK, A. K. *et al.* Vermicompost application improves soil health and vegetable crop productivity: A comprehensive review. **Scientia Horticulturae**, v. 332, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423824006009> . Acesso em: 20 abr. 2025.
- OLIVEIRA, P. H.; GRUTZMACHER, D. D. Electrical conductivity and maturity indicators in composts produced from animal manures. **Brazilian Journal of Sustainable Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 55–67, 2022.
- PEREIRA, L. F. *et al.* Microbiota do solo e estabilidade da matéria orgânica húmica. **Revista Brasileira de Microbiologia do Solo**, v. 12, n. 4, p. 267–274, 2024.
- PEREIRA, T. S. **Análise do grau de maturação de compostos orgânicos por espectroscopia no infravermelho**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Paulo, Diadema. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/67059> . Acesso em: 20 abr. 2025.
- PRABHAS, D. *et al.* Comparative study of characteristics of biocompost produced by millipedes and earthworms. Pelagia Research Library. **Advances in Applied Science**

Research, v. 2, n. 3, p. 94–98, 2011.

RIBEIRO, H. J.; SOUZA, G. M.; LIMA, A. C. C/N ratio as a predictor of compost maturation in animal-based organic fertilizers. **Journal of Agricultural Waste Management**, v. 6, p. 88–96, 2020.

SANTOS, M. A.; ROMERO, L. A.; MÉNDEZ, J. A. Greenhouse gas emissions and economic analysis of composting and anaerobic digestion: A case study of industrial tomato in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 569–576, 2023.

SANTOS, R. F.; MORAIS, L. P.; GONÇALVES, V. Compost stabilization indicators based on pH and organic matter decomposition. **Soil & Environment Journal**, v. 41, p. 350–362, 2021.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275–374.

SILVA, R. M. *et al.* Propriedades físicas de solos tropicais influenciadas pelo húmus. **Journal of Soil and Water**, v. 47, n. 2, p. 102–110, 2023.

SOUZA, J. R.; ALMEIDA, D. S. O papel do húmus no sequestro de carbono em solos tropicais. **Ciência Ambiental**, v. 32, n. 1, p. 45–56, 2023.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil health indicators: organic matter**. Washington, DC: USDA-NRCS, 2022.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29–38, 1934.

ZHANG, D. *et al.* Salinity and nutrient behavior in mixed organic compost. **Waste Management**, 2022.

ZIMMER, M.; TOPP, W. Microorganisms and cellulose digestion in the gut of the Diplopod *Glomeris marginata*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1731–1737, 2000.